

УДК 550.834

И.А. Санфиров, А.И. Бабкин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ШАХТНЫХ
СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА ВЕРХНЕКАМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ
КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ**

Семинар № 3

Kрупнейшее в Европе Верхнекамское месторождение калийных солей (ВКМКС) располагается в средней части Предуральского прогиба. Месторождение интенсивно разрабатывается с 1929 г., и значительная его часть находится в пределах жилой застройки и крупных промышленных предприятий городов Березники и Соликамск [3]. В связи с этим особое внимание уделяется предотвращению возможных аварийных ситуаций, связанных с ведением горного производства.

Возникновение аварийных ситуаций на калийных рудниках обусловлено несоответствием параметров ведения горных работ конкретным горно-геологическим условиям разработки. В этой связи необходимо постоянное и своевременное пополнение горно-геологических данных на всех стадиях разработки месторождения. Оперативное решение данной задачи возможно только за счет привлечения геофизических методов. Выбор метода обуславливается особенностями геологического строения объекта изучения.

Сложное геологическое строение (тонкая слоистость, наличие интенсивной складчатости пластов, значительная горизонтальная и латеральная изменчивость скоростей распростране-

ния упругих волн) предопределяет применение метода отраженных волн (МОВ) по методике общей глубинной точки (МОГТ) [6]. Реализация сейсмоакустических наблюдений из горных выработок повышает информативность МОГТ. Этому способствует улучшение разрешающей способности метода за счет увеличения частотного состава регистрируемого волнового поля, отсутствие рыхлых приповерхностных отложений и, следовательно, интенсивного поглощения сейсмической энергии.

Методические особенности сейсморазведочных исследований МОГТ во внутренних точках среды (в горных выработках) обусловлены различием условий регистрации, направлением распространения упругих волн, пространственным расположением и размерами поисковых геологических объектов, их акустической контрастностью. Важное значение имеют горнотехнические условия проведения наблюдений (геометрия выработок, наличие выработок в непосредственной близости от линии наблюдений, литологический состав вскрытого пласта и пр.).

Наибольшая информативность шахтных сейсмоакустических методов может быть достигнута только путем решения методических вопросов оп-

тимального выбора параметров систем регистрации. При этом необходимо учитывать возможность регистрации волн различных классов и типов. Использование волн различных классов значительно увеличивает круг решаемых поисково-геологических задач и позволяет проводить исследования в ограниченных горнотехнических условиях. Регистрация разнотипных волновых полей и их дальнейшая совместная интерпретация дает возможность решения более тонких задач, таких как: определение некоторых физико-механических характеристик разрабатываемого горного массива, литологического состава, наличия очагов газового скопления. Имеют значение и методические решения практической реализации сейсмоакустических наблюдений в условиях горной выработки: ориентация сейсмоприемников, направление излучения упругих колебаний, взаимное расположение линий возбуждения и сбора данных.

Основными характеристиками систем регистрации являются: минимальное удаление пункта возбуждения (ПВ) от пункта приема (ПП) - X_{min} ; максимальное удаление ПВ от ПП - X_{max} ; расстояние между ПВ - ΔX_{PV} ; расстояние между ПП - ΔX_{PP} .

При решении той или иной задачи критерием успешного получения достоверного материала является соответствие размеров излучаемого объекта и разрешающей способности применяемого метода. На последнюю существенное влияние оказывает оптимальный выбор параметров интерференционных систем наблюдений [4]. Выбор параметров систем регистрации МОГТ осуществляется на основании следующих положений: 1) X_{min} не должен превышать глубины бли-

жайшей целевой границы – H_{min} ; 2) X_{max} сравнимо с глубиной дальней целевой границы – H_{max} ; 3) ΔX_{PV} выбирается в соответствии с необходимой кратностью наблюдений; 4) ΔX_{PP} должно быть больше радиуса корреляции случайных шумов, но меньше S длины волны – λ , при этом следует учитывать предельные размеры поисковых объектов – r в соответствии с диаметром первой зоны Френеля ($r=d_F/2$).

В качестве примера решения методического вопроса выбора оптимальной системы наблюдений во внутренних точках среды приведем результаты опытных работ [2]. В пределах одного профиля применялись две системы регистрации: 1) традиционная для шахтной сейсморазведки - $X_{min} = 2$ м, $X_{max} = 12$ м, $\Delta X_{PV} = \Delta X_{PP} = 2$ м; 2) новая, отличающаяся только шагом пунктов приема - $\Delta X_{PP} = 1$ м. Параметры записи для обеих систем единые. Обработка и интерпретация выполнялись по огибающей акустического сигнала. Волновые картины первой и второй частей профиля (рис. 1) различаются по частоте и динамической выразительности. Преобладающая частота второй части выше в 1,5–2 раза (рис. 2). Причина смещения амплитудного спектра в сторону высоких частот связана с уменьшением интервала между ПП. Если оптимальным для регистрации определенных преобладающих частот волн является система наблюдений с шагом ПП равным $S \lambda$, то для первой части профиля ($\Delta X_{PP}=2$ м) при скорости распространения упругих волн в солях 4000 м/с имеем преобладающую частоту 1 кГц. Следовательно, при уменьшении ΔX_{PP} до 1 метра верхняя граница спектра регистрируемых колебаний смещается к частотам порядка 2 кГц,

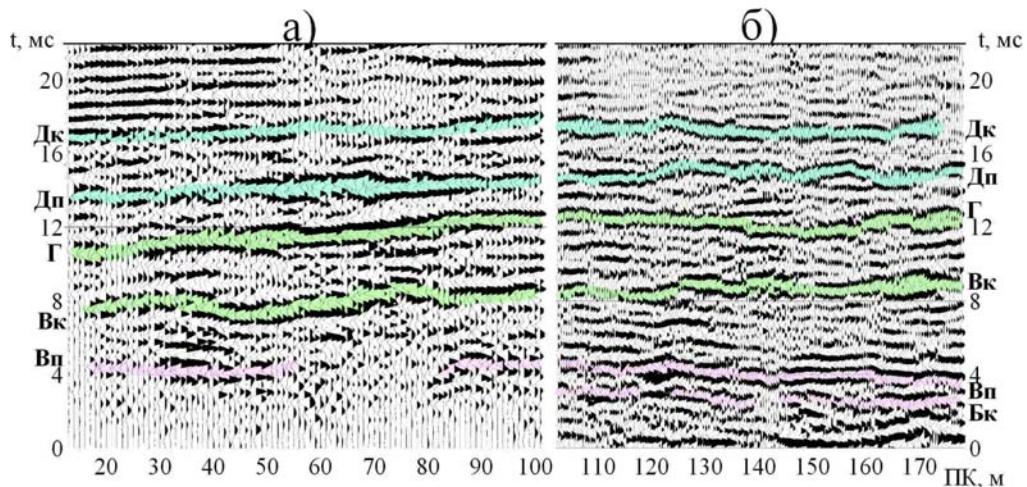


Рис. 1. Временной разрез МОГТ, полученный в горной выработке: а) $\Delta X_{\text{ПП}}=2 \text{ м}$; б) $\Delta X_{\text{ПП}}=1 \text{ м}$

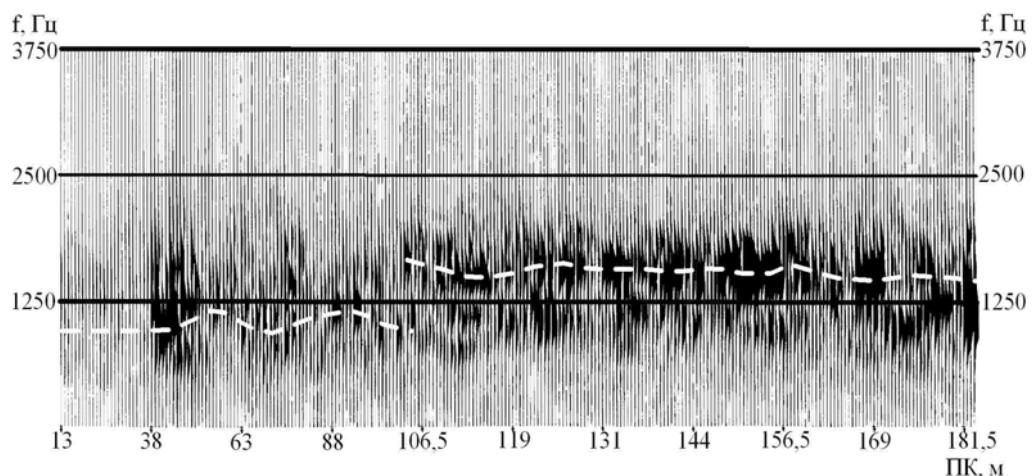


Рис. 2. Амплитудный спектр шахтного сейсмоакустического профиля

что наглядно иллюстрирует представленный рисунок (рис. 2, в). На основании этого следует, что для получения разрешающей способности акустических наблюдений в соответствии с частотой посыпанного сигнала (10 – 12 кГц) необходимо расположение датчиков с шагом $\leq 0,1 \text{ м}$.

Однако увеличение частотного состава регистрируемых волн ведет к большей трудоемкости проведения

акустических исследований. В данной ситуации для решения требующих высокой детальности задач, теоретически обоснована и методически реализована следующая технология проведения сейсмоакустических исследований: На первом этапе, для решения конкретных горно-геологических задач в выработках выполняются сейсморазведочные исследования с применением традиционных для шахтных

Таблица 1

Параметры системы наблюдений

<i>Сейсмические исследования</i>	<i>Акустические исследования</i>
$X_{\min} = 0 \text{ м};$ $X_{\max} = 46 \text{ м};$ $\Delta X_{\Gamma\Gamma} = \Delta X_{\Pi\Pi} = 2 \text{ м.}$ $\Delta t = 0,125 \text{ мс};$	$X_{\min} = 1 \text{ м};$ $X_{\max} = 12 \text{ м};$ $\Delta X_{\Gamma\Gamma} = \Delta X_{\Pi\Pi} = 1 \text{ м.}$ $\Delta t = 40 \text{ мкс};$

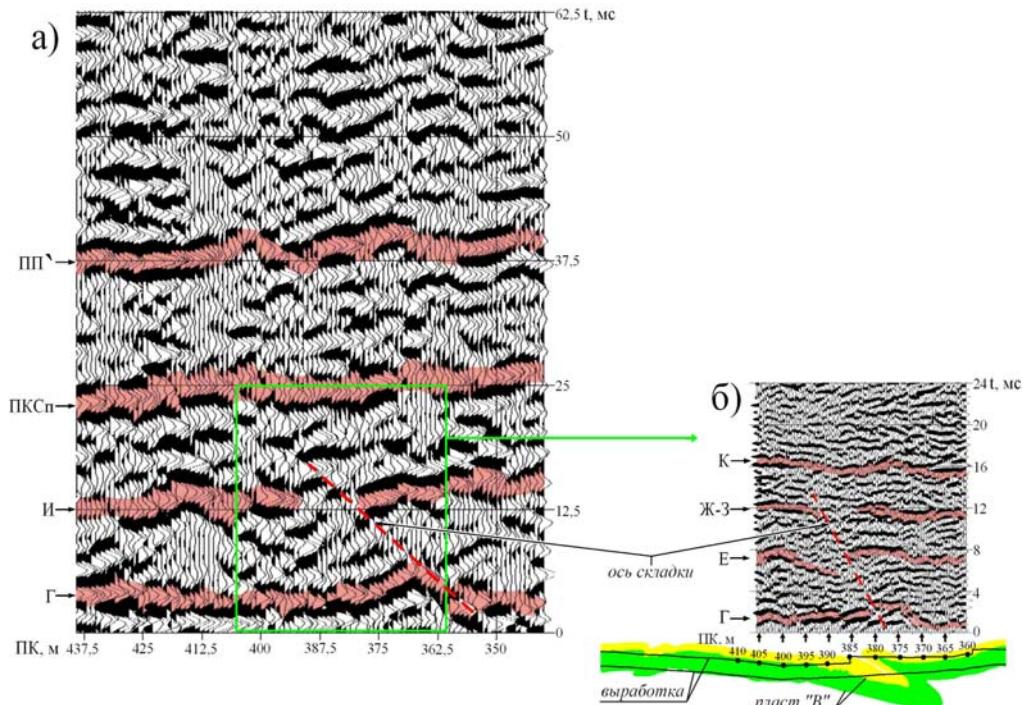


Рис. 3. Согласование волновых полей в сейсмическом (а) и акустическом (б) диапазоне частот

наблюдений систем регистрации. Это позволяет изучать весь интересующий интервал ВЗТ в пределах значительных площадей шахтных полей. На отдельных участках с признаками локальных геологических неоднородностей, которые могут представлять определенную опасность нарушения целостности ВЗТ, проводятся акустические исследования. В данном случае акустические наблюдения позволяют детализировать геологический разрез и уточнить природу выявленных ранее аномалий.

Для иллюстрации работы данной схемы приведём результаты практических наблюдений, проведенных в пределах вскрытой при отработке пласта крупной складки (рис.3). На первом этапе применялась методика непролольного профилирования МОГТ в сейсмическом диапазоне частот. В рамках второго этапа выполнены исследования «Акусто-ОГТ». Типовые параметры применяемых систем наблюдений представлены в табл. 1.

Конечный результат цифровой обработки сейсморазведочных данных -

временной разрез (рис. 3, а) характеризуется преобладающими частотами порядка 300-400 Гц. В интервале пикетов 360–405 на представленном

фрагменте сейсмического временного разреза наблюдается аномалия волнового поля, которая согласуется в

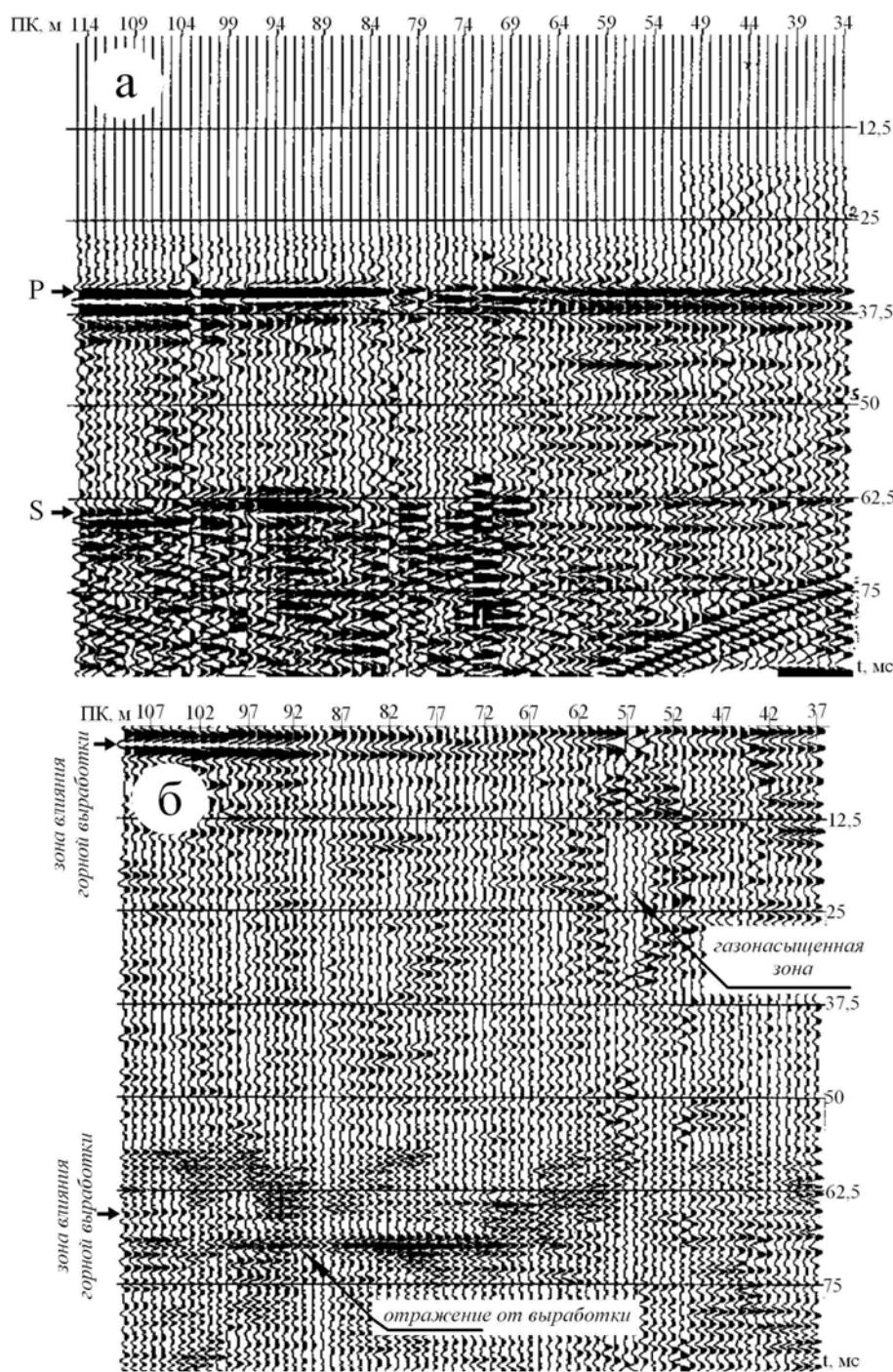


Рис. 4. Волновые поля МСП на проходящих (а) и отраженных (б) волнах

плане со вскрытой складкой. Согласно волновой картине сейсмического временного разреза складка не распространяется дальше подошвы покровной каменной соли. В целях более точной ее пространственной локализации проведены дополнительные исследования аномальной зоны в акустическом диапазоне частот (рис. 3, б).

Акустический временной разрез с преобладающими частотами порядка 1,5 кГц представлен в едином с сейсмическим разрезом масштабе. На нем уверенно выделяется ряд дополнительных отражающих горизонтов. Кроме того, акустические исследования позволили более точно определить пространственную ориентацию оси складки.

Конкретные геолого-геофизические особенности разрабатываемых месторождений и горнотехнические условия диктуют выбор той или иной методики шахтных сейсмоакустических исследований, базирующейся на использовании того или иного класса волн.

Так для метода сейсмического просвечивания (МСП) основной является информация о времени прихода проходящих через исследуемый объект волн. Наиболее эффективно применение МСП при наличии доступа с нескольких сторон исследуемого массива. Как показывает практика горного производства такая благоприятная ситуация складывается крайне редко. Чаще всего имеются лишь две разведочные выработки, что значительно сужает информационные возможности МСП. В подобных случаях достоверная пространственная локализация аномалеобразующих объектов проблематична. Если горнотехнические условия проведения геофизических исследова-

ний ограничиваются одиночной выработкой, вообще невозможно применение МСП в подобном варианте.

В этой связи, дополнительные технологические возможности раскрываются при реализации МСП на отраженных волнах. Неоспоримым преимуществом подобной реализации МСП является возможность проведения исследований массива при доступе хотя бы в одну выработку.

При МСП на отраженных волнах все скоростные аномалии исследуемого массива, вызванные наличием участков пород с измененными литологическими или физико-механическими свойствами будут проявляться в виде дополнительных отражающих элементов на окончательном временном разрезе.

Данное положение подтверждено практическими экспериментами [1]. Изучался массив между двумя параллельными штреками. В ходе исследований проведены традиционные работы МСП на проходящих волнах и впервые на отраженных. Конечный результат в виде волновых полей представлен на рис. 4.

Анализ даже только одних волновых картин показывает большую информативность временного разреза отраженных волн (рис. 4, б). Наряду с четким отражением от противоположного штрека однозначно выделяется аномальная зона с элементами дифракции в пределах пикетов 50 – 62 и времен от 6 до 37 мс, пространственная локализация которой достаточно уверена. Значительное затухание сигнала в области тени от данной аномалии предполагает высокие поглощающие свойства. Проведенные позже очистные работы показали, что данная аномалия, как и предполагалось, вы-

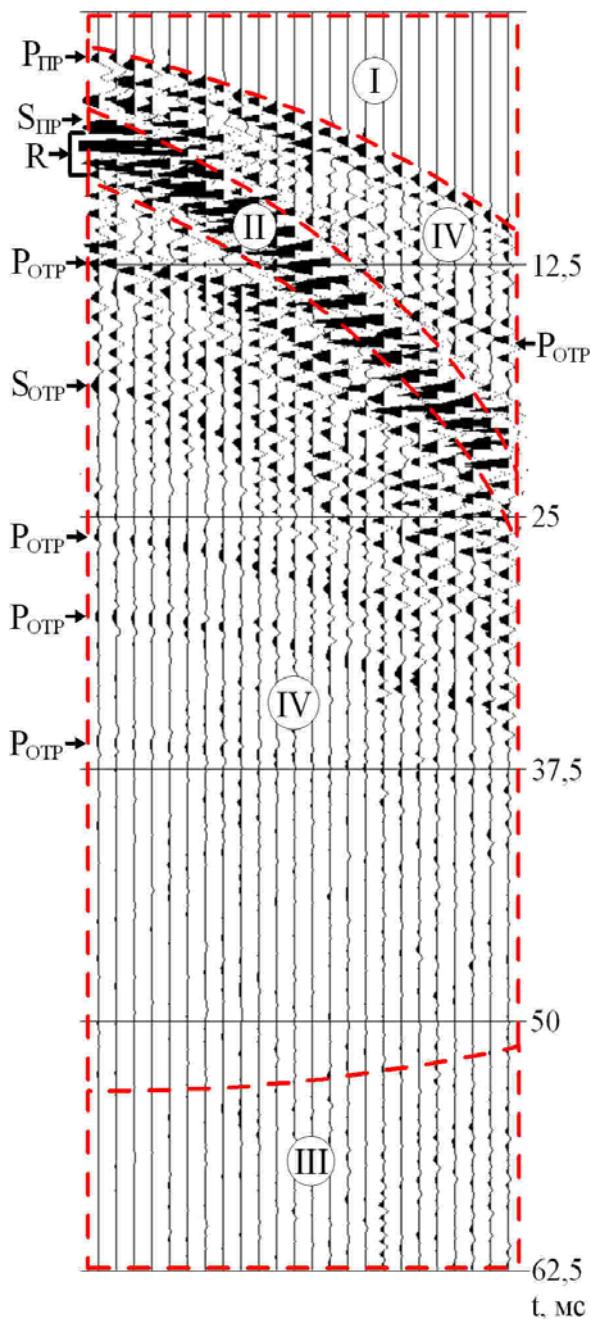


Рис. 5. Сейсмограмма, регистрируемая продольными сейсмоприемниками в горной выработке.

Области: I – присутствия записи; II – высокого уровня поверхности волн; III – низкого уровня регулярного сигнала; IV – благоприятная для регистрации полезного сигнала

ний возможно за счет совместного изучения закономерностей распро-

странения разнотипных волн. Кроме того, подобный подход обеспечивает возможность получения дополнительных, важных физических параметров породного массива - коэффициента Пуассона и отношения скоростей продольных и поперечных волн (γ).

При разработке полевой технологии много волновых сейсморазведочных исследований традиционно возникает вопрос аппаратурного обеспечения процессов возбуждения и приема разнотипных сейсмических колебаний. Методической особенностью сейсморазведочных исследований МОГТ в подземных выработках ВКМКС является возможность одновременной регистрации на полевых сейсмограммах как продольных так и поперечных волн с интенсивностью, достаточной для их дальнейшей совместной интерпретации [7]. Основанием этому является анализ исходных регистрируемых волновых полей

звана наличием газо-насыщенной зоны.

Значительное повышение достоверности интерпретационных выводов при поиске подобных образова-

речных волн с интенсивностью, достаточной для их дальнейшей совместной интерпретации [7]. Основанием этому является анализ исходных регистрируемых волновых полей

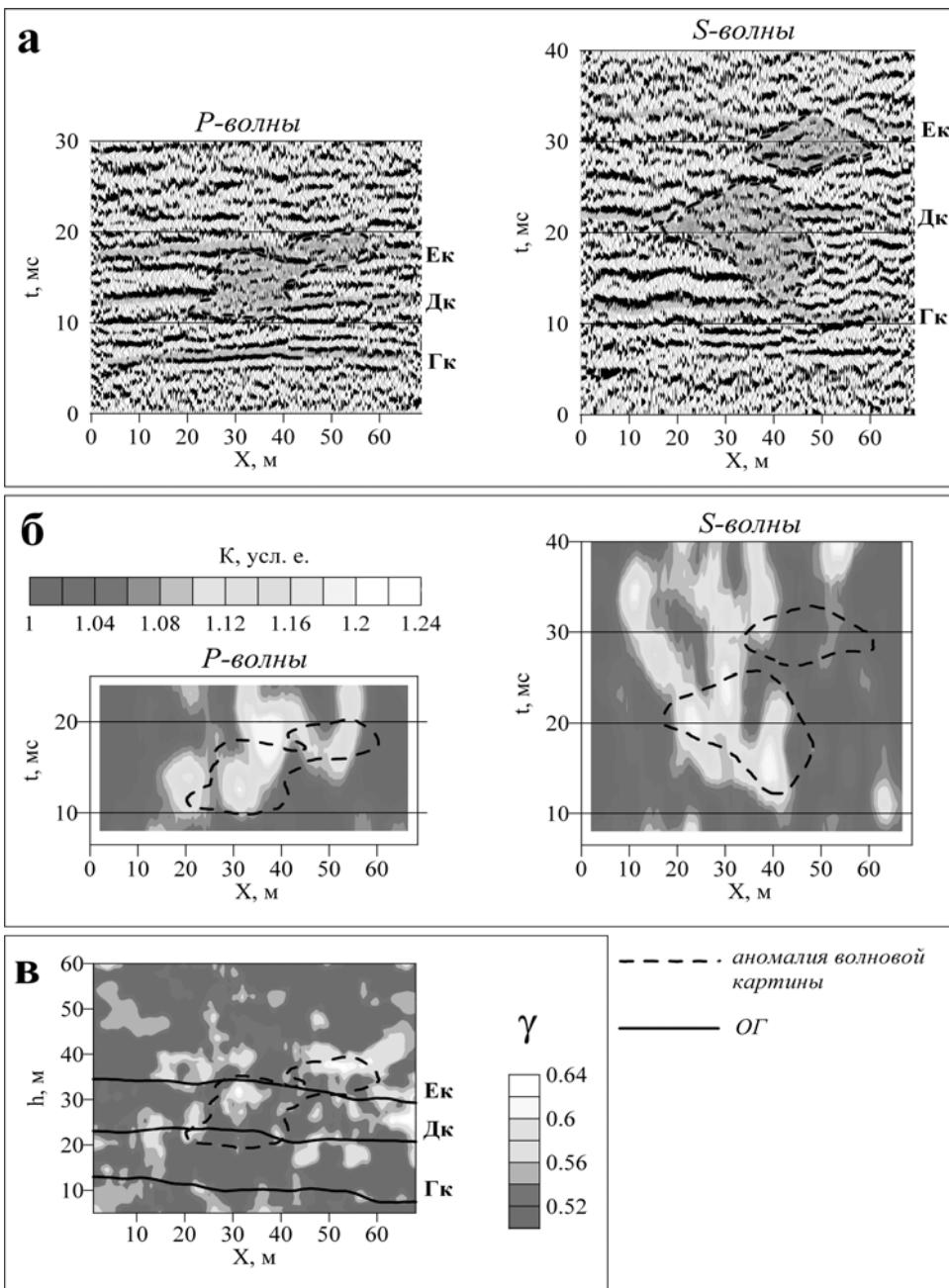


Рис. 6. Проявление газонасыщенных зон на временных разрезах (а), распределениях комплексного параметра (б) и параметра γ (в)

(рис. 5). Данное явление происходит благодаря образованию обменной волны

SSP в непосредственной близости от приемной линии на границе «целик – выработка». В процессе даль-

нейшей цифровой обработки зарегистрированного совокупного волнового поля отраженных волн осуществляется селективное разделение разнотипных отражений.

На рис. 6 представлены результаты практических многоволновых сейсмоакустических исследований в верхнее полупространство горной выработки при поисках возможных очагов газонасыщения. По особенностям структуры волновых картин на разрезах продольных и поперечных волн выделяется по два участка (рис. 6, а). Изменения физических свойств массива в пределах выделенных зон оцениваются по согласованности поведения когерентности, частоты, интенсивности и эффективных скоростей для каждого типа волн. Суммарное проявление данных параметров представлено в пространственно-временном распределении комплексного параметра (рис. 5, б) [5]. Области повышенных значений параметра для продольных волн в данном случае связываются с газонасыщением массива. Для поперечных волн связь менее однозначная, поскольку влияние литологического фактора может преобладать. Значения комплексного параметра S-волн выходят за пределы первого аномального участка и распространяются вверх по разрезу. Проявление данной аномалии только для поперечных волн

может быть связано с литологическими изменениями слагающих разрез пород. В ряде случаев изменение состава отложений, например – повышение глинистости, более дифференцировано влияет на значения скоростей распространения упругих поперечных волн.

Важная дополнительная информация для интерпретации аномалий волновой картины содержится в поведении параметра γ (рис. 5, в). Распределение γ с учетом результатов скоростного анализа, представлено в масштабе глубин. Повышенные значения γ сосредоточены в верхних частях аномалий по продольным волнам. Подобное наложение позволяет с большей уверенностью говорить о газонасыщенности данных участков. Зоны повышенных значений γ , несовпадающие с волновыми аномалиями, могут быть обусловлены изменением литологического состава без нарушения структуры геологического разреза.

Представленные исследования иллюстрируют основные методические особенности реализации шахтных сейсмоакустических исследований на рудниках ВКМКС. Их применение позволяет определить строение и свойства геологических неоднородностей. Результаты исследований учитываются при формировании планов горных работ и используются в качестве исходной информации для геомеханических расчетов параметров их ведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабкин А.И. Новые интерпретационные возможности метода сейсмического просвечивания за счёт использования отраженных волн// Проблемы горного недроразведки и системологии. Материалы научной сессии Горного института УрО РАН. Пермь, 1999. С. 5–9.
2. Бабкин А.И. О необходимости согласования параметров интерференционных систем наблюдений с частотным составом излучаемого волнового поля//

- Комплексное освоение недр Западного Урала. Материалы научной сессии Горного института УрО РАН. Пермь, 1998. С. 113–114.
3. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение калийных солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. 429 с.
4. Мешбей В.И. Методика многократных перекрытий в сейсморазведке. Москва: Недра, 1985. 264 с.
5. Пригара А.М., Санфиров И.А. Использование динамических характеристик сейсмических записей для уточнения прочностных характеристик массивов горных пород/ Горное эхо, Пермь: ГИ УрО РАН, №3 (9), 2002. с. 31-33.
6. Санфиров И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 168 с.
7. Санфиров И.А., Бабкин А.И., Сальников А.П. Контроль состояния горного массива методом многоволновой шахтной сейсморазведки/ Горный Вестник, Москва: Академия горных наук, институт горного дела им. А.А. Скочинского, №6, 1998. с.94-99. ГИАБ

Коротко об авторах

Санфиров И.А. – доктор технических наук, заместитель директора по научной работе, Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, Пермь,
 Бабкин А.И. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Горного института Уральского отделения Российской академии наук, Пермь.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 3 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.Л. Шкуратник.



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ДУБЕЙКОВ-	Закономерности формирования инже-	25.00.08	д.г.-мн.н.

СКИЙ Станислав Густавович	нерно-геологических условий месторо- ждений твердых полезных ископаемых Урала и Приуралья		
---------------------------------	---	--	--