

УДК 622.271:550.834

**А.И. Бабкин**

## **ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ**

*Приведены результаты натурных экспериментов для реализации задач, связанных с пространственно интерференционными системами наблюдения во внутренних точках среды калийных рудников*

*Ключевые слова: сейсмоакустические наблюдения, калийные рудники, горные массивы, информативные характеристики волнового роля*

**Семинар № 2**

**В**озрастающая потребность в использовании геофизических методов контроля состояния разрабатываемого массива на Верхнекамском месторождении калийных солей (ВКМКС) продиктована все более жесткими требованиями к безопасности горного производства в условиях его интенсификации. Лидирующая роль в комплексе применяемых методов отводится сейсмоакустическим исследованиям. Это связано с большей разрешающей способностью сейсмоакустических наблюдений и меньшим искажающим влиянием на регистрируемые данные технологического оборудования (электрические кабели, подстанции). Кроме того, в условиях подземных выработок появляется возможность конструирования систем наблюдений для изучения массива в нескольких плоскостях разреза [1] с использованием волн различного класса и типа [4]. На сегодняшний день на рудниках ВКМКС наблюдения ведутся в традиционном профильном исполнении по линиям в одной или в двух расположенных рядом взаимно-перпендикулярных выработках [5]. Горно-технические условия

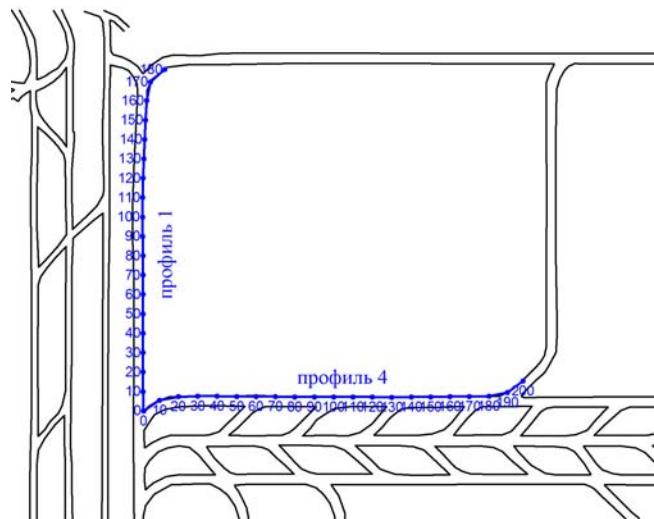
многопластовой отработки продуктивной толщи с прохождением разведочных и подготовительных выработок позволяет осуществлять сейсмоакустические наблюдения в пространственном исполнении.

Известные в наземной сейсморазведке методом общей глубинной точки площадные системы наблюдений позволяют получать информацию о строении геологической среды в объемном представлении – так называемые 3D кубы. Однако, успешная реализация пространственных высокодетализированных интерференционных систем наблюдений в горных выработках требует тщательного анализа волновых сейсмоакустических процессов в горном массиве. Это связано прежде всего с тем, что наблюдения проводятся не на поверхности полупространства, а во внутренних точках среды. В этом случае геологическая интерпретация получаемых данных возможна только при наличии достоверных представлений о направленности излучения и регистрации объемных упругих колебаний. Извлечение информативной составляющей волновых полей осложнено также регистрацией

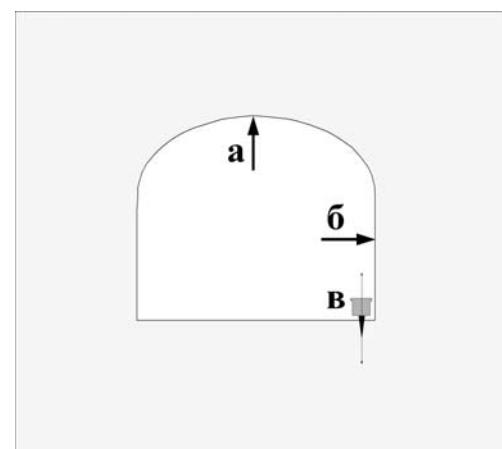
**Рис. 1. Положение сейсмоакустических профилей на плане горных работ**

на сейсмограммах волн различных типов. Последние присутствуют в равной степени вне зависимости от направленности оси чувствительности сейсмоприемников, вследствие обменных процессов на границе целик-выработки [4].

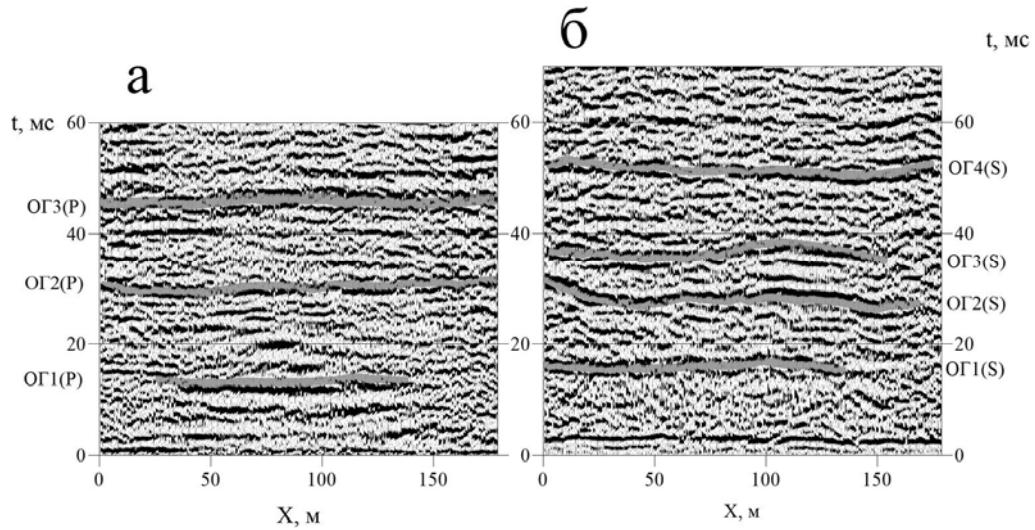
Для решения методических задач, связанных с успешной реализацией пространственных интерференционных систем наблюдений во внутренних точках среды, проведены натурные эксперименты. В пределах подготовленного для очистных работ целика реализованы сейсмоакустические наблюдения по смежным взаимно-перпендикулярным выработкам (рис. 1). Серия профильных наблюдений МОГТ по обоим штрекам заключалась в регистрации отраженных сигналов при направлении ударных воздействий в кровлю (рис. 2.а) и смежную стенку (рис. 2.б) выработок. Сейсмоприемники электродинамического типа устанавливались на почве в вертикальном направлении оси чувствительности (рис. 2.в). С целью выделения информативных элементов регистрируемых волновых полей проведена цифровая обработка данных, которая включала в себя набор традиционных для МОГТ процедур, адаптированных и скорректированных в соответствии с



особенностями применяемых систем наблюдений [6]. Граф обработки состоит из полосовой и обратной фильтрации, расчета и коррекции кинематических поправок, расчета остаточных фазовых сдвигов, вычитания интенсивных волн-помех с отличающимися от целевых отражений скоростными характеристиками, коррекции формы сигнала и когерентной фильтрации. Разделение волн продольного и поперечного типов на этапе цифровой обработки базируется на положениях частотной теории интерференционного приема, неоспоримым достоинством которой является направленная



**Рис. 2. Схема возбуждения упругих колебаний из горной выработки в вертикальной (а) и горизонтальной плоскостях (б) при регистрации вертикальными геофонами (в)**



**Рис. 3. Временные разрезы МОГТ, полученные при пространственном направлении излучения упругих колебаний в вертикальной плоскости. Р-волны (а), S-волны (б)**

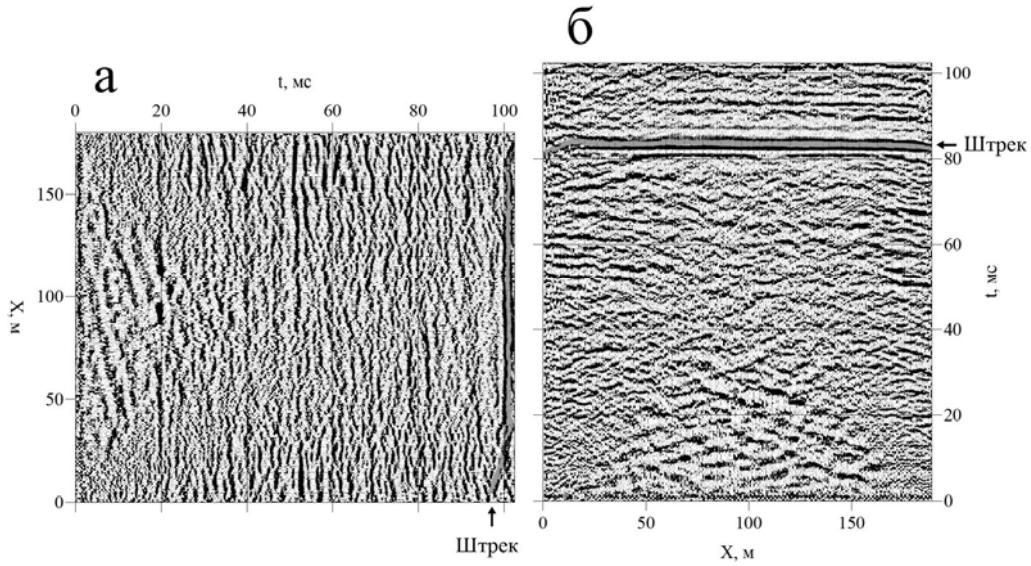
селекция по кинематическим характеристикам волн.

Информативными результатами цифровой обработки по каждой выработке являются наборы пространственно-ориентированных конечных временных разрезов общей средней точки (ОСГ) для волн продольного (P) и поперечного (S) типов. Волны S-типа рассматриваются без учета их поляризации. Основанием для этого являются: несущественное различие в скоростях распространения SV- и SH-волн; неопределенность характера смещения частиц при формировании на контуре выработки обменных волн, регистрируемых продольными геофонами.

Как и следовало ожидать, временные разрезы, полученные при пространственном направлении излучения упругих колебаний в вертикальной плоскости, отображают сплоистую структуру строения вышележащих пород водозащитной толщи (ВЗТ). На волновых картинах как продольных, так и поперечных волн

выделяются отражающие горизонты (ОГ), соответствующие одним литологическим границам (рис. 3). Некоторое несоответствие интенсивности проявления тех или иных ОГ вызваны различием влияния горных пород на процессы распространения и отражения P- и S-волн.

При осуществлении наблюдений в горизонтальной плоскости на временных разрезах P-волн явно проявляется отражение от противоположно выработки (рис. 4). Для профиля №1 менее наглядно по причине недостаточного времени регистрации при большем удалении выработки от линии наблюдений. Критерием возможности проявления в поле отраженных волн в горизонтальной плоскости одиночной выработки являются горизонтальная и вертикальная разрешающие способности МОГТ, которые базируются на определенном соответствии размеров объекта с длиной волны и радиусом первой зоны Френеля [2]. Временные разрезы S-волн в горизонтальной плоскости, не отобра-



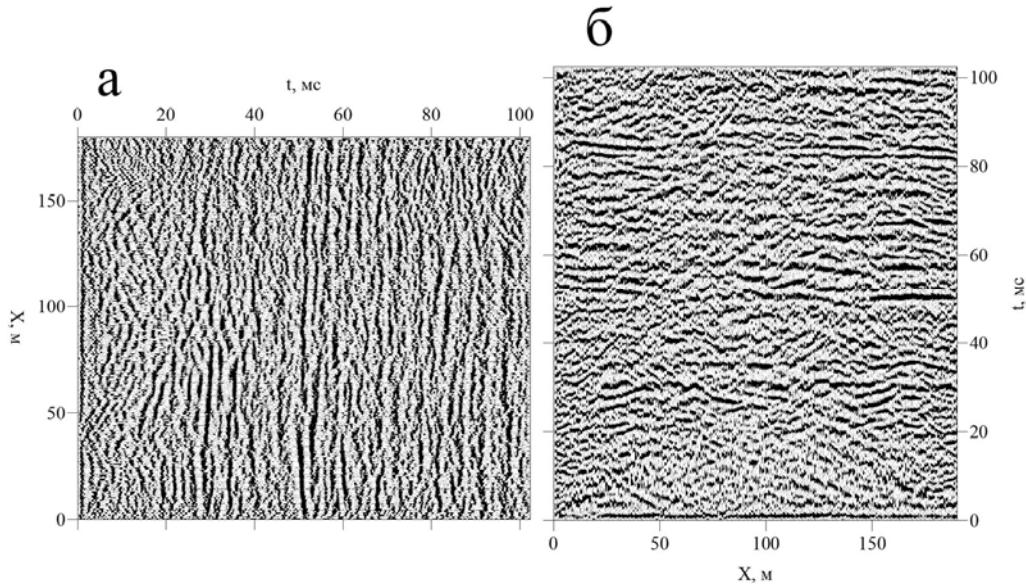
**Рис. 4. Временные разрезы МОГТ для Р-волн, полученные при пространственном направлении излучения упругих колебаний в горизонтальной плоскости.**  
А – профиль №1, б – профиль №4

жают противоположных выработок по причине выхода их ожидаемого времени регистрации за пределы длины записи сейсмограмм (рис. 5).

При возбуждении упругих колебаний в горизонтальной плоскости волны распространяются вдоль пластов, следовательно, характер волновой картины в интервале между началом записи и отражением от противоположной выработки не должен иметь выдержаные по разрезу оси синфазности. Однако, на рис. 5. достаточно уверено коррелируются псевдо ОГ, не имеющие геологического истолкования. Причем, отражение на времени 50 мс имеет схожий характер рисунка на разрезах Р- (рис. 4.а) и S-волн (рис. 5.а), что не может быть физически по причине различия в скоростях распространения волн этих типов. Следует отметить также заметное снижение интенсивности данного отражения в направлении к середине исследуемого целика на временном

разрезе Р-волн. При сравнительном анализе всего набора временных разрезов, относящихся к исследованиям в данной горной выработке, представленные ложные оси синфазности и по времени и по форме отождествляются с выделенными в вертикальной плоскости ОГ для поперечных волн (рис. 3.б – ОГ4).

В качестве объяснения данного явления приведем теоретические характеристики направленности источника типа сосредоточенной силы, приложенной к свободной поверхности (рис. 6) [3]. Достаточно близкие к теоретическим выкладкам имеют характеристики направленности, определенные экспериментально в исследованиях ряда авторов (рис. 7) [7]. Видно, что максимум направленности источника для поперечных волн соответствует диапазону углов  $\approx 40\text{--}50^\circ$  от направления воздействия на горный массив. Таким образом, при условии более выраженной акустической кон-



**Рис. 5. Временные разрезы МОГТ для S-волн, полученные при пространственном направлении излучения упругих колебаний в горизонтальной плоскости.**  
А – профиль №1, б – профиль №4

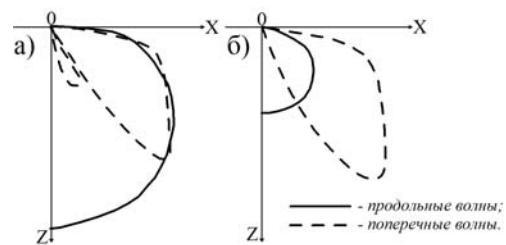
трастности геологического разреза в диапазоне этих углов, во внутренних точках среды могут регистрироваться отраженные S-волны, пришедшие к линии наблюдений не в плоскости направленности исследований. Присутствие ложных ОГ на временных разрезах P-волн имеет важное методическое значение с точки зрения оценки достоверности информации на краях профильных линий, где селекция регистрируемых сигналов теряет свою эффективность вследствие понижения кратности наблюдений.

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволяют сделать ряд методических выводов.

- При проведении сейсмоаку-

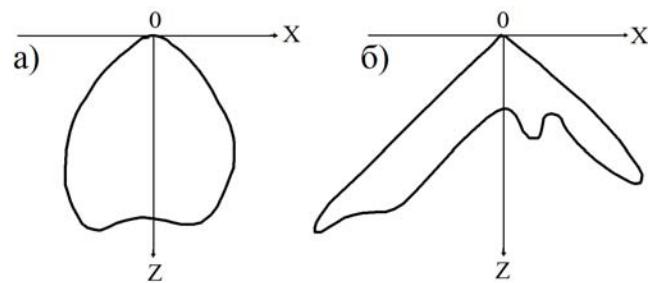
стических наблюдений МОГТ с использованием пространственных интерференционных систем регистрации данных с целью изучения породного массива из горных выработок необходимо выбирать интервал полезной записи с учетом возможной регистрации отраженных волн-помех, распространяющихся в направлениях, отличных от прихода целевых волн.

• В процессе цифровой обработки сейсмоакустических данных определяющую роль в повышении достоверности получаемых результатов играют процедуры коррекции кинематических поправок на основе де-



**Рис. 6. Характеристики направленности источника типа сосредоточенной силы, приложенной к свободной поверхности, для значений  $\gamma = 0,5$  (а) и  $= 0,2$  (б) по данным В. Н. Никитина**

**Рис. 7. Характеристики направленности импульсного источника по продольным (а) и поперечным (б) волнам по данным М. Б. Шнеерсона, В. В. Майорова**



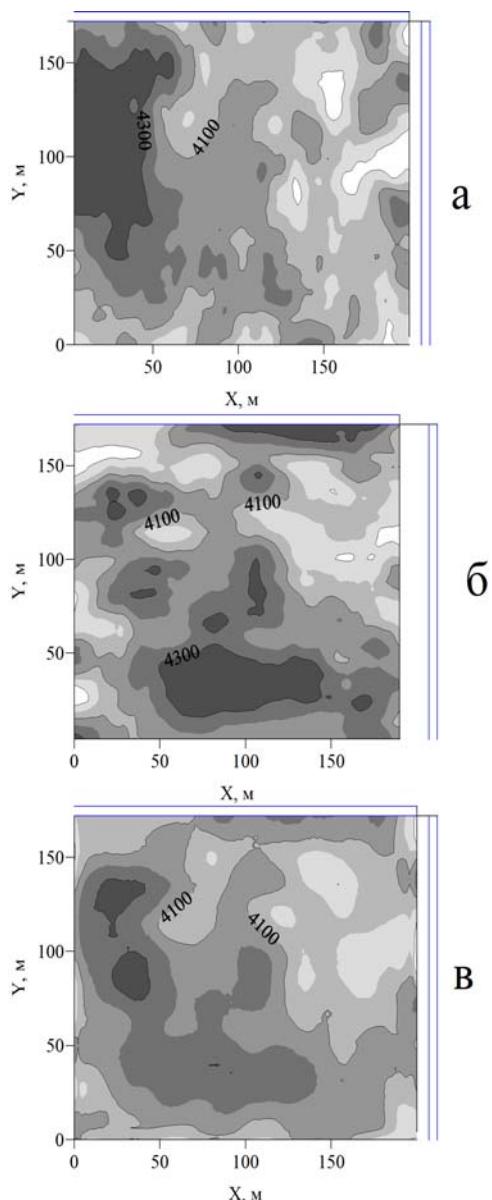
тального скоростного анализа регистрируемого волнового поля. При этом необходимо учитывать возможный диапазон изменения скоростей согласно априорной модели разреза и направлению распространения целевых волн.

- При расчете параметров систем наблюдений необходимо учитывать присутствие в регистрируемом волновом поле волн Р- и S-типа. Характеристики применяемых систем интерференционного приема должны обеспечивать селекцию разнотипных волн, достаточную для достоверной совместной интерпретации в рамках много волновых исследований.

Учет всех перечисленных методических особенностей шахтных сейсмоакустических исследований с использованием пространственных высоконформативных интерференционных систем наблюдений позволит получать достоверные пространственно-ориентированные представления о геологической среде. Информативные характеристики волнового поля, зарегистрированного в различных направлениях распространения волн, при совместной их интерпретации в меньшей степени зависят от искающего влияния процедур цифровой обработки.

**Рис. 8. Распределения скоростей продольных волн в пределах исследуемого целика в горизонтальной плоскости.**

а - по данным профиля №1, б - по данным профиля №4, в - среднее для обоих профилей



В качестве примера повышения достоверности получаемых данных представим распределения скоростей продольных волн в пределах исследуемого целика в горизонтальной плоскости (рис. 8). Как для профиля №1, так и для взаимно-перпендикулярного профиля №4 наблюдается общее понижение значений скоростей в северо-восточном направлении. Однако, в силу специ-

фики цифровой обработки в МОГТ, присутствует некоторая «вытянутость» элементов скоростного поля согласно пространственному положению линий наблюдений (рис. 8, а, б). А найденное как среднее для обоих волновых полей, распределение значений скоростей в целике сохранило характерную для каждого профиля зональность, но при этом без видимых линейных форм (рис. 8, в).

## 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. Мешбей В. И. Методика многократных перекрытий в сейсморазведке. Москва: Недра, 1985. 264 с.
3. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмики. Москва: Изд-во МГУ, 1981. 176 с.
4. 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.
5. Санфиров И.А. Бабкин А.И. Сейсморазведка МОВ в горных выработках соляных рудников/ «Геофизика», Москва: Евразиатское геофизическое общество (ЕАГО), №3, 2006. С.23-26.
6. Санфиров И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 168 с.
7. Шнеерсон М.Б., Майоров В.В. Наземная невзрывная сейсморазведка. М.: Недра, 1988. -237 с. ГИАБ

### Коротко об авторе

Бабкин А.И. – старший научный сотрудник Горного института Уральского отделения Российской академии наук, кандидат технических наук. Пермь, aib@mi-perm.ru



## РУКОПИСИ,

### ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

**Крылов И.Ю., Запенин И.В.** Определение величины контрольного натяжного усилия мощных ленточных конвейеров (731/01-10 от 23.09.09 г.) 6 с.

Изложены принципы определения величины контрольного натяжного усилия и рациональность применения жестких натяжных устройств мощных ленточных конвейеров.

**Krylov I.U., Zapenin I.V.** DEFINITION OF SIZE OF CONTROL TENSION EFFORT OF POWERFUL TAPE CONVEYORS

In article principles of definition of size of control tension effort and rationality of application of rigid tension devices of powerful tape conveyors are stated.