

УДК 622.23.05: 622.235

ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЛЯ КАНАЛОВЫХ ВОЛН В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ

Саттаров С. С.

(ТОО «Объединенная химическая компания, г. Астана,
Казахстан)

Кенжин Б. М.

(Карагандинский машиностроительный консорциум,
г. Караганда, Казахстан)

Смирнов Ю. М.

(Карагандинский государственный технический университет,
г. Караганда, Казахстан)

Показано можливість застосування голографічних систем для каналових хвиль. Розглянуті результати моделювання та шахтних сейсмічних досліджень по сейсмічній голографії. Показані особливості реалізації голографічного методу в шахтній сейсморозвідці, а також деякі тенденції його розвитку.

Possibility of application of holographic systems for canal waves is shown. Results of modeling and mine seismic researches on seismic holography are considered. Features of a holographic method realization in mine seismic prospecting and also some tendencies of its development are shown.

Переход зоны геологических нарушений при ведении горных работ всегда вызывает нарушение их ритмичности, требует применения дополнительных организационно-технических мероприятий, затрат времени и средств на переход нарушенных зон. Это касается всех без исключения видов горных работ: ведения очистных работ, управления горным давлением, проведения гор-

ных выработок, предотвращения газодинамических явлений (ГДЯ) и т.д.

Согласно [1], в Карагандинском бассейне на стадии геологической разведки выявляются лишь 0,8 % общего числа разрывных нарушений с амплитудой до 5 м, а при эксплуатации – 92,9 %. Вскрываются малоамплитудные нарушения проводимыми выработками неожиданно, и поэтому, они могут вызвать внезапное обрушение боковых пород, повышенное газовыделение, инициирование ГДЯ и другие осложнения. Вследствие этого повышение достоверности геологической информации о нарушениях (особенно малоамплитудных) угольных пластов был и остается актуальной проблемой в угольно промышленности.

Несмотря на разнообразие форм конседиментационных и тектонических нарушений можно выделять основные параметры, характеризующие эти нарушения [2]. Конседиментационные нарушения в целом можно характеризовать шириной d , углом наклона γ , изменением мощности ΔH , а локальные нарушения – протяженностью l (рис. 1 а). Пликативные нарушения характеризуются радиусом кривизны R и углом наклона γ (рис. 1 б), а дизъюнктивные – вертикальной амплитудой A и шириной B зоны деформированной породы (рис. 1 в).

Распространение каналовой волн в сложнопостроенных волноводах можно представить следующим образом. Для однозначного понимания обозначим начало нарушений точкой N , а окончание – точкой K (рис. 1). Часть пласта, содержащего источник S и расположенного до нарушения, обозначим как SN , а часть пласта после нарушения, где расположен приемник, соответственно KP .

На участке SN происходит формирование каналовой волны, параметры которой определяются параметрами источника S и свойствами углепородного массива с волноводом (угольным пластом). Если величина SN больше области формирования каналовой волны, то волновое поле в начале нарушения представляет собой поле каналовой волны. Если величина SN меньше области формирования каналовой волны, то в точке N наблюдается сложная волновая картина.

В зоне нарушения **НК** происходит полное или частичное разрушение устойчивого интерференционного волнового поля (канальной волны) за счет изменения углов падения и отражения, коэффициентов отражения, преломления и рассеяния, дифракции и поглощения многократно отраженных объемных волн. Таким образом, в зоне нарушения **НК** будет наблюдаться сложная волновая картина.

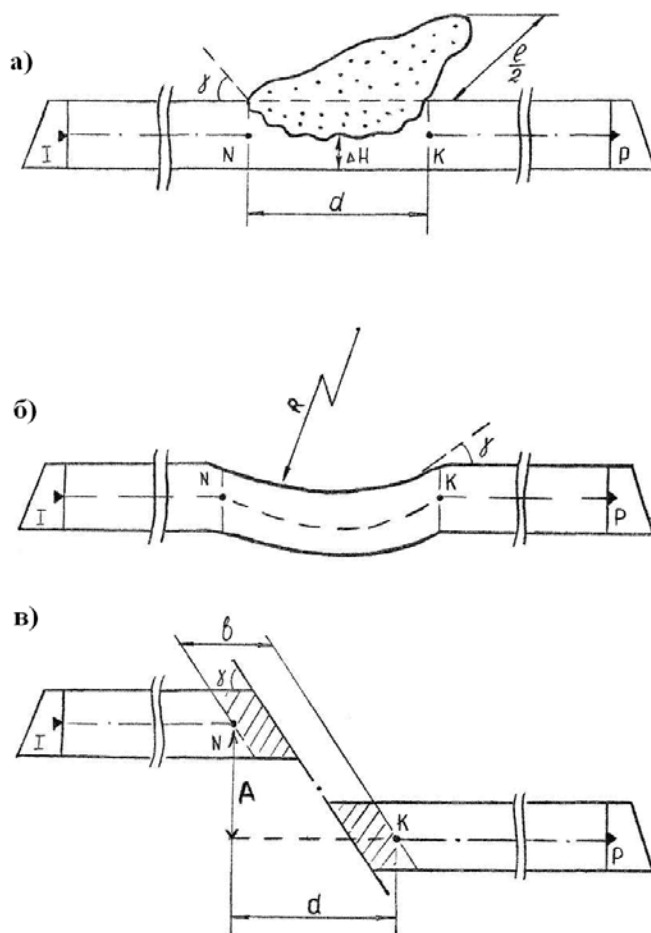


Рис. 1. Геологические модели конседиментационных (а), пликативных (б) и дизъюнктивных (в) нарушений

При переходе из зоны нарушения (точка **К**) в угольном пласте после нарушения (участок **КР**) также наблюдается формирование каналовой волны, параметры которой будут определяться параметрами «входного» волнового поля, образующегося в точке **К** зоны нарушения **НК** и строением углепородного массива на участке **КР**.

Из вышеизложенного следует, что влияние зоны нарушения на параметры проходящей каналовой волны можно моделировать «вторичным» источником S_K , расположенным в точке K , параметры которого определяются характером волнового поля в конце зоны нарушения. Последнее, в свою очередь, зависит от строения и свойств самой зоны нарушения. Поэтому, можно считать, что местоположение и параметры «вторичного» источника каналовых волн определяются положением, строением и свойствами зоны нарушения угольного пласта.

Согласно принципу Гюйгенса - Френеля, каждую точку неоднородности, «освещенную» упругой волной от излучателя, можно считать «вторичным» источником. В случае восстановления каждого такого «вторичного» источника, которые в совокупности составляют объект, можно получить изображение всего объекта.

Голографические преобразования позволяют восстановить сейсмические изображения таких «вторичных» источников и представляют собой сейсмическую разведку нового, более высокого уровня и, естественно, предъявляют ряд дополнительных требований к качеству регистрируемых волновых полей и средствам обработки данных наблюдений. В частности, значительно повышаются требования к полноте и упорядоченности сети наблюдений, точности регистрации динамических характеристик сейсмических волн, допустимому уровню помех, архитектуре и быстродействию устройств обработки данных и т. п.

Именно, поле «вторичных» источников (отраженных, дифракционных и других) волн, образованных на границах разделов и различных неоднородностях среды, несет в себе основную часть полезной информации о структуре и физических свойствах горных пород, слагающих геологическую среду [3].

Сущность голографического (дифракционного) преобразования сейсмических записей заключается в регистрации и последующем восстановлении волнового поля в среде в обращенном времени. Регистрация сейсмограммы представляет собой решение прямой дифракционной задачи сейсморазведки для реальных сред, а построение изображения – решение обратной [3]. Рассматриваемый способ прямого и обратного дифракционного пре-

образования подобен способу регистрации и последующего дифракционного восстановления волновых фронтов когерентного оптического излучения, впервые предложенного Д. Габором в 1948 г. [3].

В общем виде решение обратной дифракционной задачи, описывающее распространение волн от голограммы, можно представить в виде интегрального преобразования [3]:

$$P(x_1, y_1, z_1) = \int_S P(x_0, y_0, z_0) * K(x_1 - x_0, y_1 - y_0, z_1 - z_0) dx_0 dy_0,$$

где $P(x_0, y_0, z_0)$ – значения поля в плоскости регистрации;
 $P(x_1, y_1, z_1)$ – значения поля в плоскости восстановления z_1 ;
 $K(x_1 - x_0, y_1 - y_0, z_1 - z_0)$ – ядро преобразования.

В наземной сейсморазведке применяемые алгоритмы и программы голографического восстановления рассматривают трехмерные волновые поля. Для правильного восстановления волнового поля объемных волн в пространстве x, y, t необходимо решение краевой задачи для трехмерного волнового уравнения [4]. Для случая каналовых волн необходимо рассматривать решение краевой задачи для двумерного волнового поля, решение которого при расстояниях r намного превышающую длину волны λ ($Kr \gg 1$) имеет асимптотическое представление в виде функции Ханкеля нулевого порядка первого и второго рода:

$$H_0 = \sqrt{\frac{2}{\pi Kr}} * e^{\pm i(Kr - \frac{\pi}{4})},$$

где $K = 2\pi/\lambda$ – волновое число.

Решение двумерного волнового поля в виде цилиндрических волн рассмотрено в [4], где показано, что интеграл Релея второго рода для случая $Kr \gg 1$, соответствующий каналовым волнам, имеет вид:

$$P(x_1, y_1) = -\frac{e^{\frac{i-3}{4}\pi}}{\sqrt{\lambda_K}} \int_l P(x_0, y_0) * \frac{e^{-ikr}}{\sqrt{r}} * \text{COS}(\bar{n}, \bar{r}) * dl,$$

где k , λ_k – соответственно волновое число и длина волны, зависящие от частоты восстановления ω и дисперсии фазовой скорости $V(\omega)$;

r – расстояние между точками регистрации (x_0, y_0) и восстановления (x_1, y_1) .

Полученное решение стало основой разработанного алгоритма и программы голографического восстановления поля канальных волн в угольных пластах [3].

Результаты физического моделирования по восстановлению в объемных и двумерных моделях подробно рассмотрены в [6]. Результаты объемного моделирования показали возможность восстановления изображения источника в однородной среде. При двумерном моделировании на однородной (см. рис. 2, а) и неоднородной моделях (см. рис. 2, б) восстановление волнового поля проводилось по голограммам времени прихода, амплитуды и интенсивности (квадрат амплитуды) различных фаз импульсного сигнала (см. рис. 3).

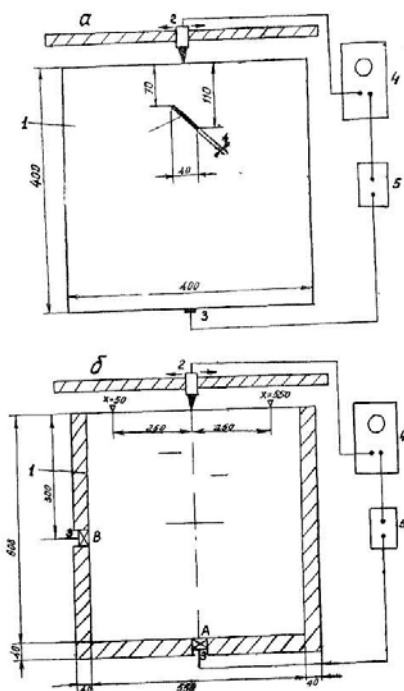


Рис. 2. Схема установки и параметры неоднородной (а) и однородной (б) моделей для двумерного моделирования: 1 – двумерная модель, 2 – приемный датчик, 3 – излучатель, 4 – регистратор ИПА-59, 5 – генератор

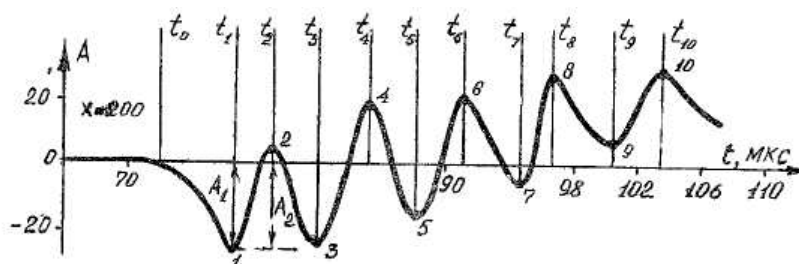


Рис. 3. Осциллограмма импульсного сигнала в точке $x = 200$ (неоднородная модель)

По различным фазам импульсного сигнала рассчитывалась голограмма на профиле регистрации двумерной модели:

$$H_i(x) = A_i(x) \times \exp[i \times \varphi_i(x)],$$

$$\varphi_i(x) = 2\pi \times f \times t_i(x),$$

где i – номер фазы (см. рис. 3);

x – координата точки «профильной» голограммы;

$A_i(x)$ – амплитуда i -той фазы в точке с координатой x ;

$t_i(x)$ – время прихода i -той фазы в точке с координатой x ;

f – частота восстановления голограммы.

На рис. 4 показаны годографы времени прихода скоррелированных фаз импульсного сигнала.

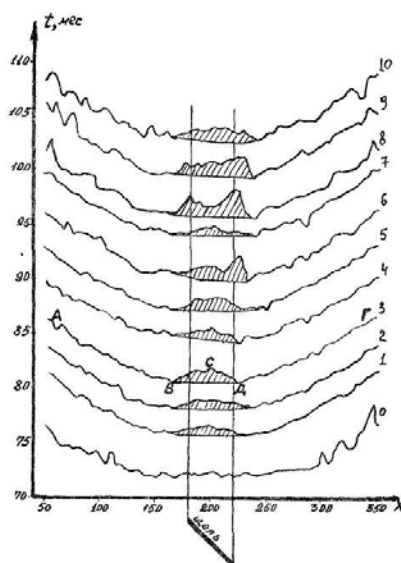
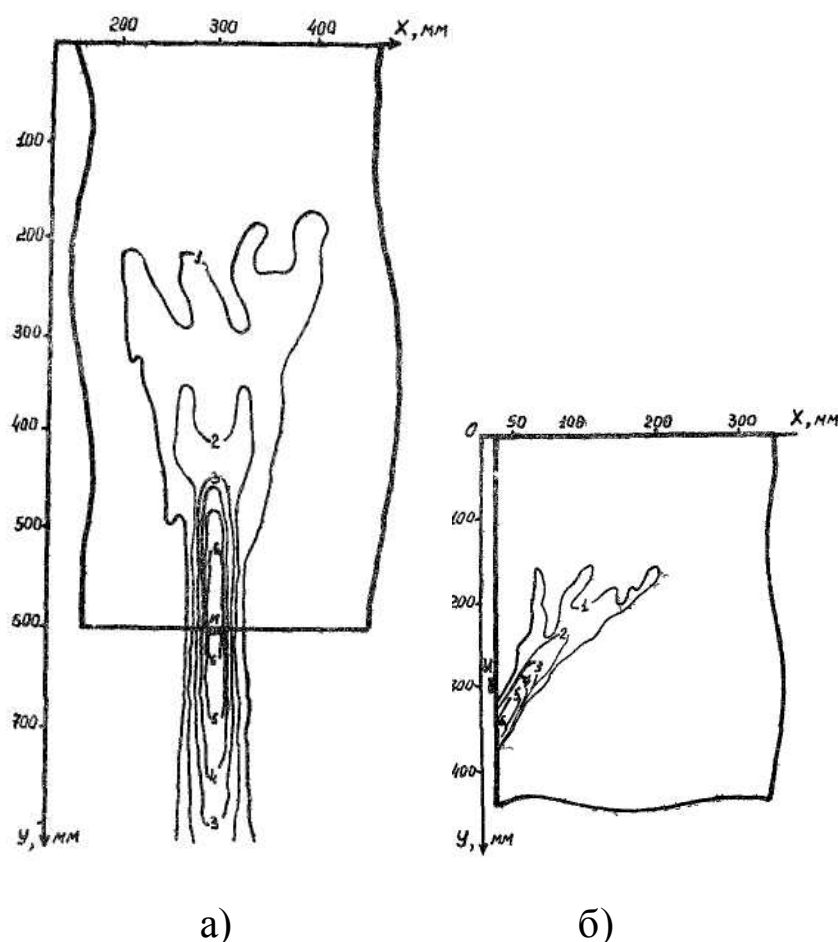


Рис. 4. Годографы времени прихода различных фаз для неоднородной модели: 0-10 – номера фаз

Как видно, над областью щели наблюдается увеличение времени прихода фаз с 1 по 10. На годографе фазы первого вступления (фаза 0) увеличения времени вступления практически не наблюдается. Общий характер годографов времени вступления фаз соответствует годографу точечного источника.

Результаты восстановления волнового поля в однородной и неоднородной моделях приведены на рис. 5 и 6 соответственно. Экспериментальные исследования на однородной модели показали, что наилучшие результаты восстановления получаются при использовании фазового аргумента $\varphi(x)$, рассчитываемого по годографам времени прихода фаз.



- а) по фазовому аргументу φ , фаза 0,
б) по полному полю для S-волн

Рис. 5. Результаты восстановления голограммы в однородной модели (И – излучатель)

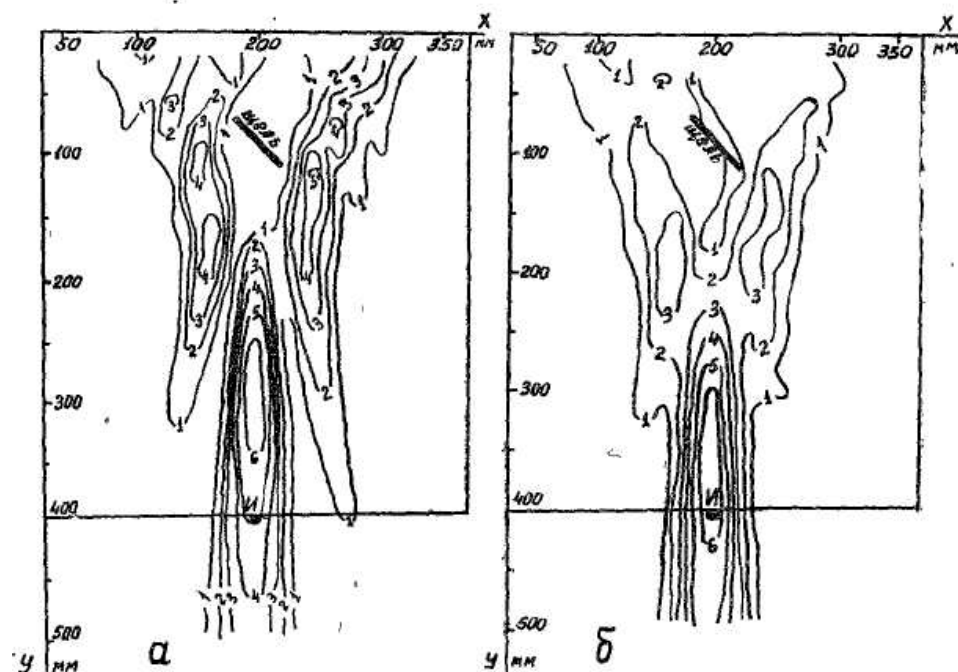


Рис. 6. Результаты восстановления голограмм в неоднородной модели, рассчитанных по параметрам фазы 10 (а) и фазы 0 (б)

При восстановлении голограмм по фазовому аргументу $\varphi(x)$ (см. рис. 6,а) видно, что верхнему и нижнему краям щели с точностью до $1,5\lambda$ отвечают области больших значений интенсивности поля (изолинии 5 и 4 соответственно). Это объясняется тем, что края щели являются вторичными источниками дифрагированных волн. В области самой щели наблюдается минимальное значение интенсивности волнового поля. Следовательно, можно говорить о получении сейсмического изображения щели, точнее, «светящихся» ее краев. Наиболее «яркая» область максимума интенсивности поля (изолиния 6) под щелью дает представление о положении источника.

Строение волнового поля, восстановленное по голограмме, рассчитанной по моменту первого вступления (фаза 0), имеет свои особенности (см. рис. 6, б). Хотя общий характер поля не изменяется, положение двух боковых областей повышенных значений его интенсивности (изолиния 3) не соответствует краям щели, т. е. изображения щели практически не получено. Следует

отметить, что область максимальных значений волнового поля (изолиния б) лучше характеризует положение излучателя.

Результаты двумерного моделирования на однородной и неоднородной моделях позволяют сделать ряд выводов по практическому применению алгоритма численного восстановления для случая импульсного возбуждения и регистрации волнового поля. Голограммы можно рассчитывать как по данным спектрального анализа, так и по голографическому методу регистрации времени прихода импульсов, что позволяет использовать сейсмограммы без специальной обработки. Лучшие результаты восстановления изображения неоднородности получаются при использовании фазового аргумента $\varphi(x)$, рассчитанных по голограммам времени прихода последующих после момента первого вступления фаз регистрируемых волн.

Исследование процесса формирования голографического восстановления волнового поля каналовых волн в угольных пластах проводилось на примере формирования сейсмических изображений точечных источников этих волн по голограммам, полученным путем математического моделирования [3]. В качестве «наблюденных» волновых полей использованы теоретические сейсмограммы каналовых волн, рассчитанные для различных расстояний R по разработанным в ПНИУИ и УФ ВНИМИ программам (рис. 7).

Результаты математического моделирования показывают принципиальную возможность применения методов сейсмической голографии для прогноза геологического строения угольного пласта. Анализ полученных результатов позволил разработать ряд требований для практического применения сейсмической голографии:

- длина и расположение профиля регистрации должна определяться диаметром первой зоны Френеля восстанавливаемых точек (зон нарушений);
- шаг регистрации не должен превышать длину волны λ ;
- восстановление волнового поля должно проводиться по данным спектрального анализа с учетом дисперсии фазовой скорости;

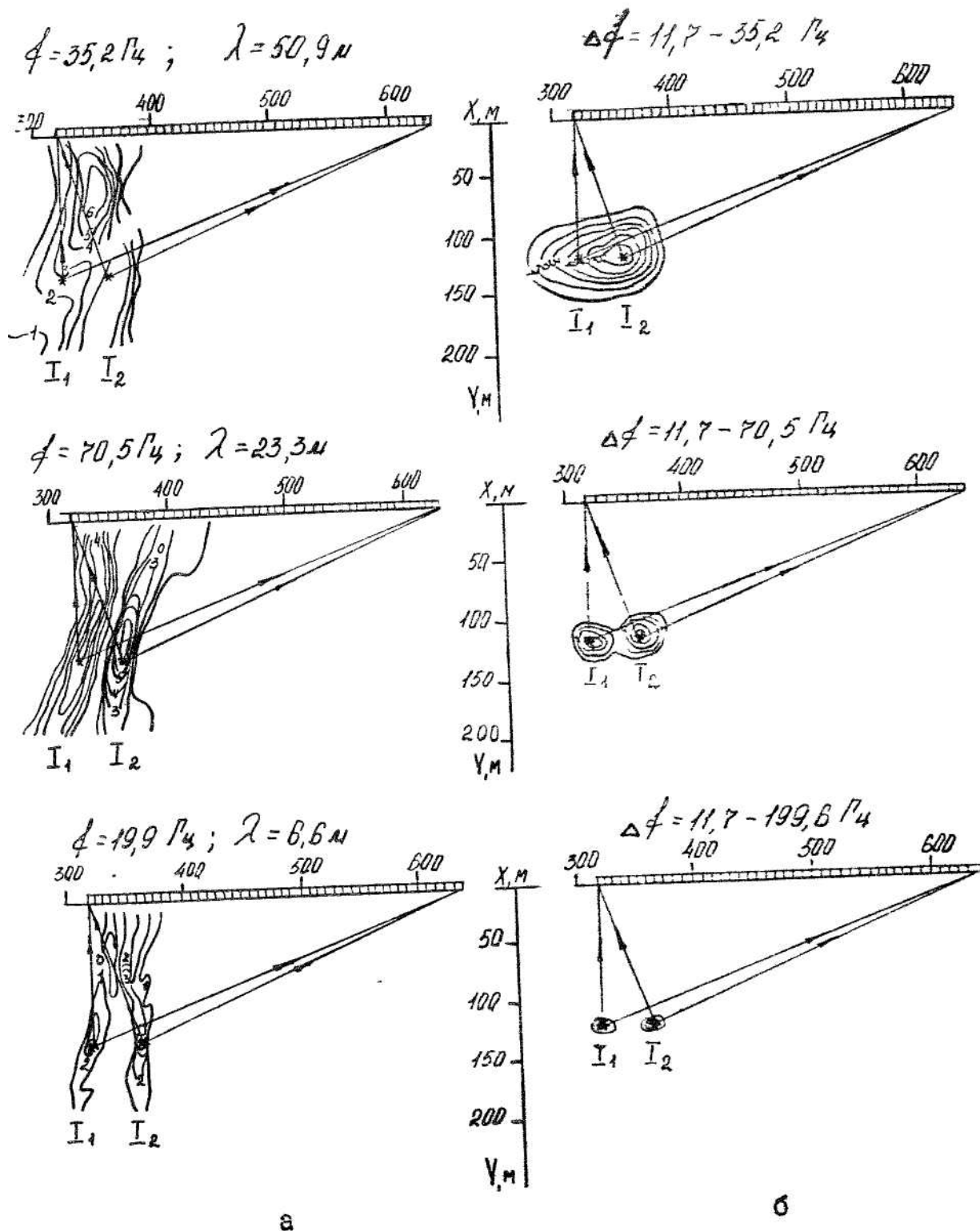


Рис. 7. Результаты восстановления волнового поля точечных источников I_1 и I_2 на одной частоте f (а) и в диапазоне частот Δf

– суммирование волновых полей, восстановленных на различных частотах в некотором частотном интервале, позволяет снизить требования к длине профиля и шагу регистрации;

– разрешающая способность голографического метода по глубине определяется частотным диапазоном, в котором проводится восстановление, а в горизонтальном направлении – длиной профиля регистрации.

Сейсмоакустический метод прогноза нарушенности угольных пластов на основе сейсмической голографии апробирован на шахте им. Калинина (пласт K_{10}). Геологической задачей сейсмических исследований являлось уточнение местоположения и трассирование сброса с амплитудой смещения 8,0 м, а также других возможных малоамплитудных тектонических нарушений пласта K_{10} в целиковой части шахтного поля на восток от конвейерного бремсберга пл. K_{10} (рис. 8). Сброс встречен горными работами при проходке конвейерного штрека 114- K_{10} -Ю с амплитудой смещения 8,4 м и вентиляционного штрека 114- K_{10} -Ю с амплитудой смещения 7,0 м и по данным геологоразведочного бурения прогнозировался в целиковой части шахтного поля с амплитудой смещения 8,0 м.

Для решения поставленной задачи использован комплекс методов МОВ ОГТ и МСП, проводимых одновременно. Метод МОВ ОГТ проводился в конвейерном бремсберге пласта K_{10} . Параметры системы наблюдения МОВ следующие: шаг приема – 5 м, взрывной интервал – 5 м, база приема – 45 м (10 каналов), вынос источника из-за нерегулярности системы наблюдения менялся от 80 до 110 м. Всего было сделано 44 взрыва (ПК 70 - ПК 27, конвейерный бремсберг). При проведении МОВ ОГТ два канала каждой расстановки геофонов использованы для метода МСП и располагались в вентиляционном штреке 114 K_{10} -Ю до (2 канал) и после (I канал) нарушений, встреченных этой выработкой. Таким образом, была отработана система наблюдения МОГТ с пятикратным перекрытием и дополнительно получены материалы МСП. Такая система наблюдений позволяет одновременно (от одного источника возбуждения) производить работы МОВ и МСП, что значительно сократило объемы шахтных работ.

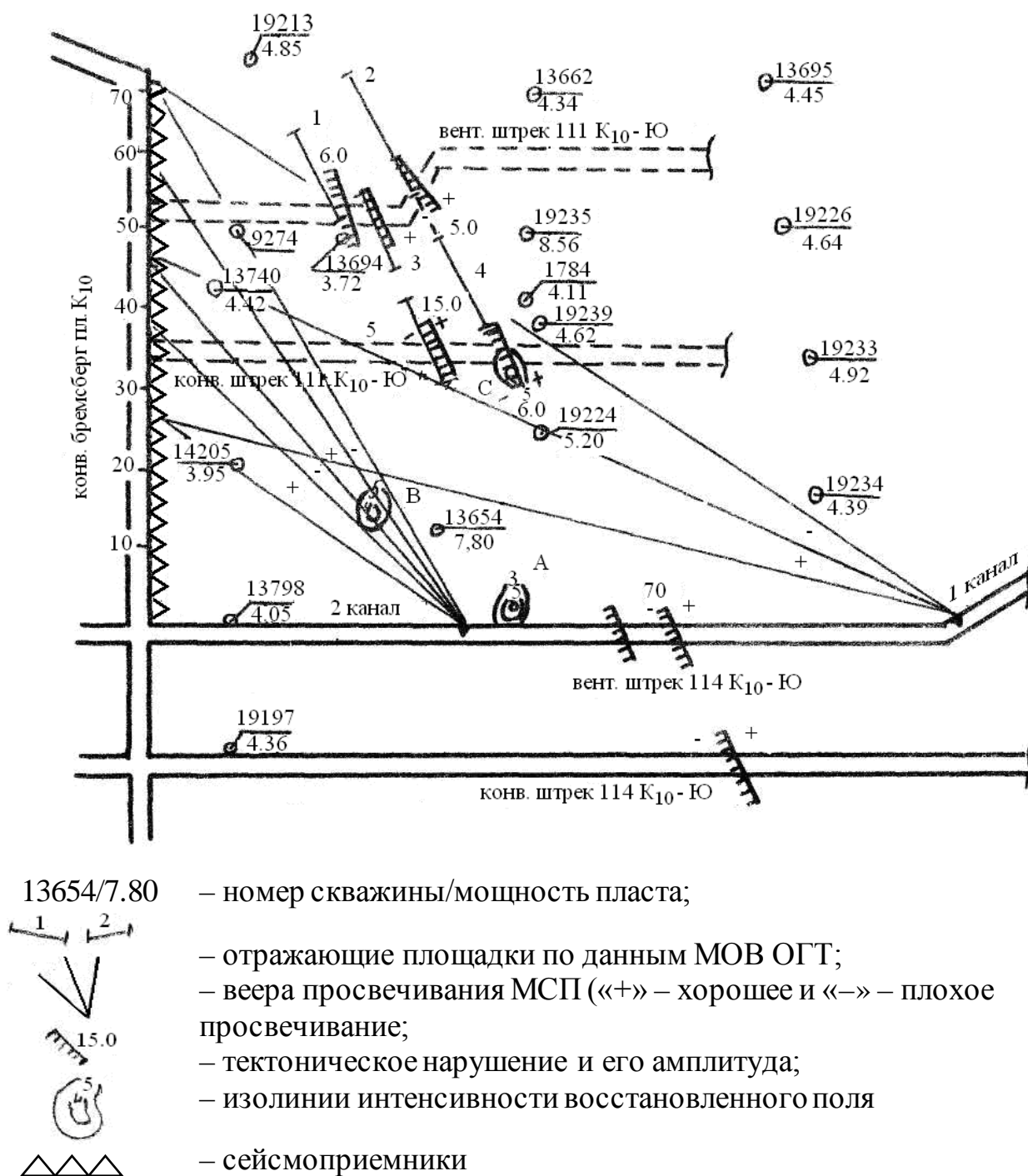


Рис. 8. Результаты сейсмического прогноза (пласт K_{10} , шахта им. Калинина)

Обработка данных шахтной сейсморазведки проводилась независимо друг от друга в УФ ВНИМИ (ныне – УкрНИМИ НАН Украины) и КарПТИ (ныне – КарГТУ). В первом случае основное

внимание уделялось обработке данных МОВ ОГТ с использованием комплекса программ СЦС-3, а во втором - данных МСП.

Обработка данных МОВ ОГТ проводилась по методике УФ ВНИМИ. Выбор параметров обработки проводился на основе анализа данных МСП (2 канал), который показал, что оптимальным частотным диапазоном является диапазон 92-180 Гц, а скорость каналовой волны по первым вступлениям равна 1200 м/с. На рис. 8 показаны отражающие площадки 1-5, построенные по данным МОВ ОГТ. Пройденные позже вентиляционный и конвейерный штреки 111 К10-Ю встретили в этих местах ряд нарушений амплитудой от 1 до 15 м.

При обработке данных МСП в КарПТИ (ныне КарГТУ) использованы традиционная веерная методика и голографическое восстановление волнового поля. Были построены сейсмогеологические модели пласта K_{10} на основе геологических разрезов скважин, расположенных в пределах исследуемого участка пласта [2]. Анализ разрезов этих скважин показал, что мощность пласта меняется от 3,95 м до 8,55 м. На основе разработанной сейсмогеологической модели пласта путем математического моделирования получены дисперсионные кривые фазовой и групповой скорости каналовой волны, рассчитанные для различных мощностей пласта ($H_y = 4 - 8$ м) и типов угля (блестящий - матовый). Анализ дисперсионных кривых показал, что параметры фазы Эйри изменяются в пределах $f_{\text{Э}} - 81-219$ Гц, $V_{\text{Э}} = 916 - 1176$ м/с. Совпадение диапазона изменения параметров фазы Эйри, рассчитанных для моделей пласта K_{10} , и параметров обработки МОВ ОГТ, выбранных в УФ ВНИМИ, еще раз доказывают достоверность разработанной методики построения сейсмогеологических моделей углепородного массива Карагандинского бассейна [2].

Веерная методика обработки данных МСП заключается в анализе параметров (амплитуда, частота и скорость) боковых и каналовых волн каждой сейсмограммы и выделения сейсмограмм (трасс) с «хорошим» и «плохим» прохождением этих волн. По совокупности этих трасс (веера) выделяются аномальные зоны углепородного массива.

Анализ графического материала, полученного на первом этапе обработки (программа GRAF), показал, что скорость боковых волн по времени первого вступления равна порядка 3000 м/с, а каналовых – 1200 м/с. Длительность цуга каналовых волн не превышает 0,3 с. Исходя из этого определение временных окон боковых (Δt_b) и каналовых (Δt_k) проводилось на основе расстояния R (взрыв - приемник) и предельных значений скоростей (3500 м/с - боковые и 1400 м/с - каналовые).

Графики амплитуды максимума огибающей K_a для 1 и 2 каналов МСП, полученные на втором этапе обработки (программа СПЕКТР), показали, что до нарушения (см. рис. 8, 2 канал) коэффициент $K_a > 1$, а после нарушения (см. рис. 8, 1 канал) - $K_a < 1$. Сложная форма графика K_a , характерная для 2 канала, свидетельствует о "неоднородности" строения пласта до нарушения. Поэтому на третьем этапе обработка для определения "базовых" значений параметров каналовой волны, характеризующих ненарушенный пласт, выбраны пакеты с наибольшими значениями коэффициента K_a (ПК 58, 48, 38, 34, 28).

Анализ амплитудных спектров и дисперсионных кривых групповой скорости каналовой волны показал, что частотный диапазон в ненарушенном пласте равен 30-300 Гц. При этом в спектре наблюдаются максимумы амплитуды на частотах кратных 50 Гц (50, 150, 250, 300, 350 и 450 Гц), что свидетельствует об электрических помехах в линиях связи. В связи с этим расчет дисперсионных кривых (программа SWAN) проводился до частоты 300 Гц. Анализ свидетельствует о наличии двух волновых пакетов в цуге каналовой волны. Для первого волнового пакета характерны более высокая скорость и частота ($V_{э1} = 1000-1040$ м/с, $f_{э1} = 130-250$ Гц). При этом наблюдается тенденция увеличения частоты фазы Эйри с уменьшением номера пакета от 100-150 Гц (ПК 69,58) до 200-250 Гц (ПК 38, 28).

Скорость фазы Эйри второго волнового пакета $V_{э2} = 900-940$ м/с, а частота – $f_{э2} = 80-120$ Гц). С уменьшением номера пакета дисперсионные свойства второго пакета ослабевают, и дисперсионная кривая для ПК 20 вырождается в прямую ($V=890$ м/с). Сравнение полученных кривых с теоретическими показывает, что по скорости $V_{э1}$ и частоте $f_{э1}$ близка к модели

пласта К10 с матовым углем, а второй волновой пакет соответствует модели пласта с блестящим углем. Таким образом, из анализа дисперсионных кривых видно, что для ненарушенного пласта характерно изменение мощности и петрографического типа угля. Полученные выводы в целом подтверждаются данными геологоразведочных работ. Так, в скважине № 13694, расположенной в районе 2 канала (см. рис. 8), мощность угольного пласта равна 7,8 м. В районе конвейерного бремсберга мощность пласта меняется от 3,95 до 4,42 м (скв. № 19197, 13798, 19205, 13940) и равна 6 м напротив ПК 50-60 (скв. № 19214).

С учетом полученных выше результатов для частотной фильтрации (программа FILVTX) были выбраны следующие диапазоны частот: 60-128 Гц, 104-140 Гц и 168-260 Гц. Из анализа графиков K_a , полученных после фильтрации сейсмических записей, видно, что наиболее оптимальным частотным диапазоном для выделения каналовых волн является диапазон 60-128 Гц. Для этого диапазона характерны наиболее высокие значения коэффициента K_a . Дальнейшая обработка данных МСП проводилась на основе сейсмических трасс после фильтра – 60-128 Гц.

Из анализа графиков нормированной амплитуда максимума огибающей каналовой волны A_k и энергии цуга W_k следует, что минимальная амплитуда и энергия каналовых волн в ненарушенной части пласта соответствует ПК 60-70, а в нарушенной – ПК 45-70. В первом случае это свидетельствует о возможном "нарушении" пласта амплитудой не более половина мощности пласта ($K_a = 1-1,5$), а во втором случае – об увеличении амплитуды тектонического нарушения (больше мощности пласта).

При голографическом восстановлении волнового поля (программа HMCW) профиль взрывов МОВ ОГТ (ПК 27-70, конвейерный бремсберг) на основе принципа взаимности принят за профиль регистрации (голограмма). Восстановление волнового поля проводилось на 11 частотах в диапазоне 60-140 Гц с шагом 8 Гц. Значения амплитуда и фазы "вторичных" источников голограммы рассчитывались на основе спектрального анализа каналовых волн, который проводился с шагом 2 Гц. Амплитуда на выбранных частотах определялась как корень квадратный из площади определяемой интервалом ± 4 Гц около выбранной ча-

стоты восстановления и зависимостью $[S(j\omega)]^2$, полученной для пяти частот на данном интервале. Фаза определялась по результату векторной суммы пяти слагаемых $S(j\omega)$ в том же интервале. Длина волны $\lambda_k(\omega)$ для данной частоты восстановления рассчитывалась на основе дисперсионной кривой V_ϕ . Скорость V_ϕ изменялась линейно в пределах от 2100 м/с ($f = 60$ Гц) до 1400 м/с ($f = 140$ Гц).

Результаты восстановления волнового поля для 1 и 2 каналов показаны на рис. 8. Анализ поля в ненарушенной части пласта (2 канал) показал, что на фоне многочисленных локальных максимумов выделяются две наиболее "яркие" области интенсивности, которые на рис. 8 обозначены как «А» и «В». Как видно область «А» расположена в районе 2 канала («мнимого» источника) и является его сейсмическим изображением. Учитывая результаты интерпретации данных МСП, полученных выше, область «В» можно интерпретировать как область резкого увеличения мощности пласта от 4 до 8 м, сопровождаемое тектоническим нарушением амплитудой менее половины мощности пласта. Следует отметить, что область «В» находится в районе скважины № 13694 ($H_y = 7,8$ м) и её местоположение вполне удовлетворительно объясняет меньшие значения скорости фазы Эйри первого волнового пакета (1000-1020 м/с) по сравнению с теоретическими (1120-1160 м/с). Так время прихода первого пакета складывается из времени распространения каналовой волны в четырех - пятиметровом пласте от конвейерного бремсберга до области «В» со скоростью $V_\Sigma = 1160$ м/с и времени её распространения от области «В» до 2 канала в восьмиметровом пласте со скоростью $V_\Sigma = 920$ м/с. Расчеты показывают удовлетворительную сходимость расчетного и реального времени прихода первого пакета каналовой волны.

При восстановлении волнового поля 1 канала (нарушенный пласт) хорошо выделяется область максимума интенсивности поля в центральной части исследуемого участка (область «С», рис. 8). Сопоставление данных горных работ и структуры восстановленного волнового поля показывает, что в этом районе амплитуда тектонического нарушения резко возрастает (до 15 м), при этом, по данным, геологической службы, изменился угол

наклона сместителя этого нарушения. Именно этим можно объяснить то, что данный участок пласта является "вторичным" источником дифрагированных каналовых волн. Более детальный анализ сейсмических записей 1 канала позволил выделить годограф дифрагированной волны. Минимум времени прихода этого годографа приходится на магнитограммы № 382-334, соответствующие ПК 36-38. Последние расположены напротив области «С» и для них характерны минимальные расстояния до "вторичного" источника.

Из вышеизложенного следует, что голографическая обработка данных МСП позволила существенно дополнить информацию, полученную с помощью традиционных методов и способов обработки данных МСП и МОВ ОГТ. Это говорит о том, что разработанная методика сейсмоакустического прогноза на основе сейсмической голографии повышает информативность, достоверность и точность прогноза при значительном сокращении объема сейсмических работ.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Ходжаев Р. Ш. Экономическая оценка разработки нарушенных угольных пластов / Серия «Конкретная экономика для горняков» – М: Недра, 1978. – 156 с.
2. Саттаров С.С., Кенжин Б.М., Мустафин Р.К., Смирнов Ю.М., Компанец А. И. Опыт сейсмического прогноза потенциально опасных зон углепородного массива в Карагандинском угольном бассейне. / Сборник научных трудов УкрНИМИ НАН Украины, № 8. – 2011. – С. 30 – 42.
3. Тимошин Ю. В., Бирдус С.А., Мерший В.В. Сейсмическая голография сложнопостроенных сред.– М.: Недра, 1989. – 255 с.
4. Саттаров С. С. Разработка методики сейсмоакустического прогноза нарушенности угольных пластов на основе сейсмической голографии. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. Москва, ИГД им. Скочинского, 1989. – 220 с.

5. Васильев С.А. Некоторые вопросы теории продолжения волновых полей в сторону источника / Изв. АН СССР, серия Физика Земли, – 1973, № 3, – С. 35 – 47.
6. Саттаров С.С. Возможности метода сейсмической голографии в обнаружении нарушений в угольных пластах // Ержанов Ж.С., Векслер Ю.А., Жданкин Н.А., Колоколов С.Б. Механизм инициирования динамических явлений в подготовительных забоях. – Алма-Ата: Наука, 1984. – гл. 8. – С. 161 – 200.