

УДК 550.834:622.12

## ОПЫТ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ЗОН УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА В КАРАГАНДИНСКОМ УГОЛЬНОМ БАССЕЙНЕ

**Саттаров С. С.**

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

**Кенжин Б. М.**

(ТОО «Карагандинский машиностроительный консорциум»,  
г. Караганда, Казахстан)

**Мустафин Р. К.**

(Карагандинский филиал АО «Азимутэнержисервис»,  
г. Караганда, Казахстан)

**Смирнов Ю. М.**

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

**Компанец А. И.**

(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*Наведено результати шахтних сейсмічних досліджень в Карагандинському вугільному басейні. На основі аналізу геологічної будови вуглепородного масиву, його щільнісних і акустичних властивостей розроблено сейсмогеологічні моделі та показано можливість виявлення геологічних неоднородностей масиву методами шахтної сейсмозв'язки, що ґрунтується на каналових хвилях.*

*The results of underground seismic surveying in the Karaganda Coal Basin are described. On the basis of geologic structure of coal-rock mass, its density and acoustic properties seismic-geological models are developed and possibility of detecting geological heterogeneities of rock mass by methods of seismic exploration in mines based on channel-wave signals is shown.*

Потенциально опасные зоны углепородного массива возникают в случае, когда напряжения углепородного массива превышают предел прочности угля и вмещающих горных пород в районе ведения горных работ. Системный подход [1] позволяет выделить три типа полей напряженно-деформированного состояния (НДС) (подсистем) – «геодинамические поля НДС» в пределах блока недр, «естественные поля НДС горного массива» в пределах шахтного поля и «поля НДС горной выработки». Взаимное влияние этих полей НДС (подсистем) может привести к газодинамическим явлениям.

Естественные поля НДС горного массива определяется его геологическим строением (физико-механическими свойствами горных пород, морфологией, структурой и геологическими нарушениями). В зонах геологической неоднородности углепородного массива происходит изменение полей НДС массива, которое при приближении горной выработки может спровоцировать негативные геомеханические процессы, в т.ч. газодинамические явления (ГДЯ). Таким образом, зоны геологической неоднородности горного массива являются зонами, потенциально опасными по ГДЯ, а их прогнозирование является актуальной задачей, особенно, для выбросоопасных пластов.

К настоящему времени накоплен довольно большой опыт прогнозирования геологических нарушений на всех стадиях освоения месторождения. Используются как самостоятельные методы, так и комплексирование различных методов.

Ведущим институтом в области горной геофизики является УкрНИМИ Национальной академии наук Украины [2].

Внедрение шахтных геофизических методов для прогноза малоамплитудной геологической нарушенности угольных пластов впервые проводилась на шахтах Карагандинского угольного бассейна экспедицией «Карагандауглеразведка» Всесоюзного геологического объединения (ВГО) «Союзуглегеология» Министерства угольной промышленности СССР с 1980 года и до развала СССР в 1991 году. За весь период работы экспедиции «Карагандауглеразведка» проведен прогноз геологической нарушенности на 2500 объектах на 20 шахтах Карагандинского бассейна.

Достоверность прогноза по результатам горных работ составила 80 %, что указывает на эффективность шахтной сейсморазведки.

Исследования в области прогноза геологических нарушений проводились по двум направлениям:

- прогноз положений и параметров отдельных нарушений;
- количественная оценка нарушенности угольных пластов.

Результаты опытно-экспериментальных работ показали, что наиболее эффективными для решения поставленной задачи являются сейсмакустические исследования [3, 4]. Для практического применения методов шахтной сейсморазведки были изучены сеймогеологические модели углепородного массива бассейна, на основе математического моделирования исследованы оптимальные условия возбуждения, регистрации и распространения упругих колебаний в угольных пластах, разработаны методики проведения сейсмических исследований МОВ и МСП, программное обеспечение по обработке и интерпретации их результатов, в том числе сейсмической голографии.

Сейсмогеологические модели углепородного массива Карагандинского бассейна

В таблице 1 приведены результаты исследования характера слоистости и литологического состава углевмещающей толщи по геологическим разрезам 2470 шахтопластов [3]. При этом количество слоев в кровле и почве пласта подсчитывалось до слоя толщиной более пяти мощностей угольного пласта, который принимался за полупространство.

Из таблицы 1 следует, что для Карагандинского бассейна характерны следующие геологические модели кровли и почвы пласта – полупространство (32 %), один слой (32 %) и два слоя (19 %). При этом, первый слой в кровле и почве пласта в основном представлен аргиллитом (54-64 %), второй слой – алевролитом (40-42 %) или песчаником (32-34 %). Полупространство в равной степени представлено аргиллитом, алевролитом и песчаником (по 30 %).

Для зон геологических нарушений угольных пластов характерны как свои индивидуальные особенности, так и их совместное нахождение (ассоциации).

Таблица 1

Характеристика углевмещающей толщи Карагандинского бассейна [3]

Строение углепородного массива		Частость Wсл. m-го слоя (%)	Литологический состав m-го слоя - частость Wлит. m-го слоя (%)			
Положение	m - номер слоя от угольного пласта		Аргиллит	Алевролит	Песчаник	Переслаивание
<b>Кровля пласта</b>	Полу-пространство	32,6	37,1	28,7	31,4	1,1
	4	4,5	26,7	39,1	30,2	4,0
	3	9,2	31,6	38,4	23,7	6,3
	2	19,0	16,7	42,3	34,4	6,6
	1	32,8	64,6	28,2	5,5	1,7
<b>УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ</b>						
<b>Почва пласта</b>	1	32,2	54,0	26,5	15,9	3,6
	2	16,3	18,8	40,0	32,9	9,3
	3	8,8	36,9	30,2	26,3	6,6
	4	4,5	36,1	32,1	25,8	6,0
	Полу-пространство	32,1	26,2	30,3	39,6	3,9

На (рис. 1) показаны консидемтационные нарушения, формирующиеся одновременно с осадконакоплением (расщепления, размывы пластов). При фациальном выклинивании пласта, в отличие от размывов, наблюдается постепенный переход контактирующих слоев.

Для различных фационально-генетических условий осадконакопления свойственны определенные консидемтационные нарушения (таблица 2). Для аллювиально-дельтовых отложений равновероятны и расщепления, и размывы, а кластические дайки крайне редки.

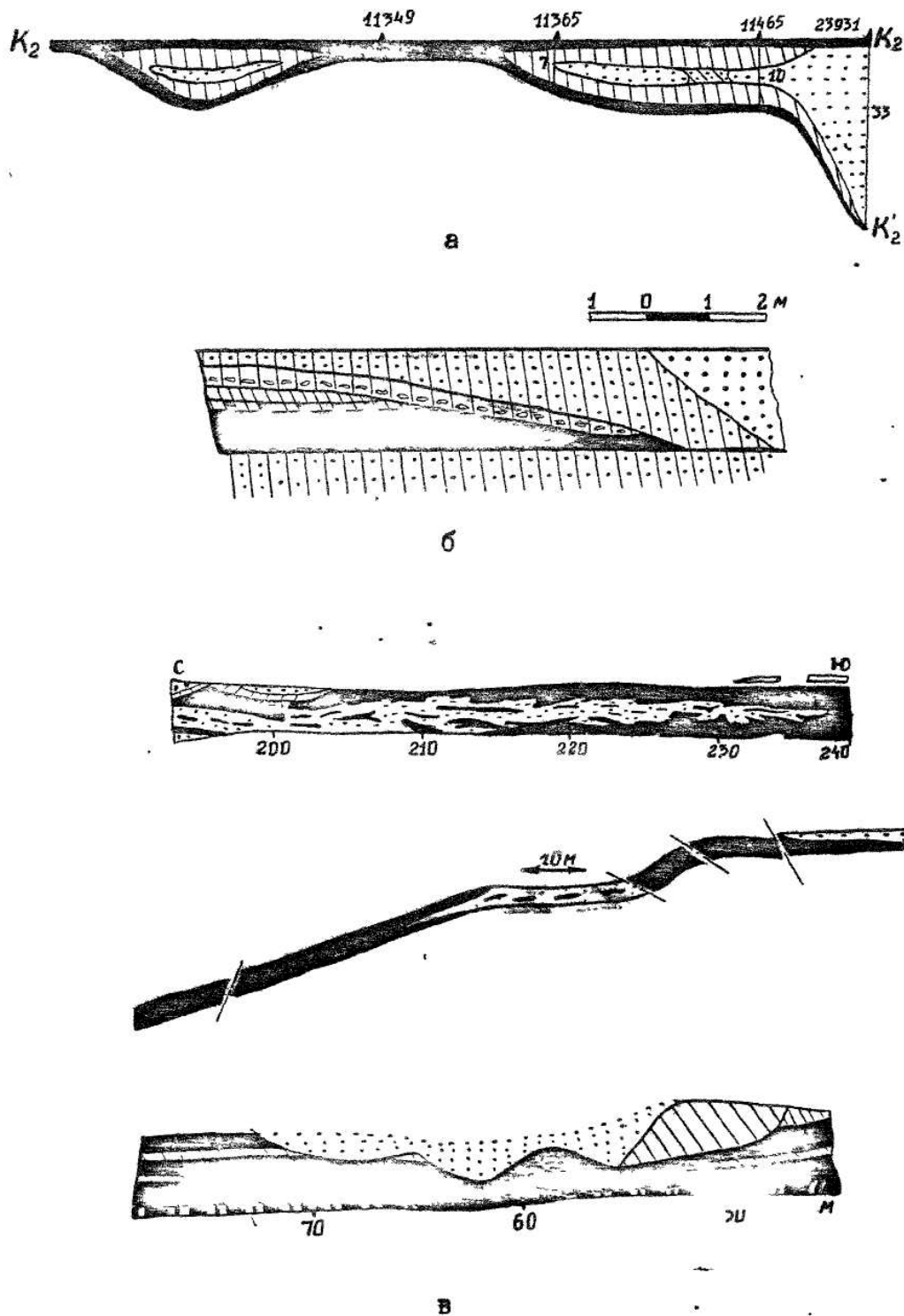


Рис. 1. Расщепление (а), абразионный (б) и аллювиально-дельтовый (в) размывы угольных пластов Карагандинского бассейна

Таблица 2

Парагенетические соотношения консолидационных нарушений угольных пластов Карагандинского бассейна [3]

Признаки соотношений	Расщепления	Размывы	Кластические дайки
1. Отложения по условиям образования циклов осадконакопления:			
Прибрежно-морские	Частая	Менее частая	Редкая
Аллювиально-дельтовые	Частая	Частая	Вероятная
Озерно-аллювиальные	Менее частая	Редкая	Вероятная
2. Тектоно-структурные	Менее частая	Менее частая	Частая
3. Парагенетические	Размывы	Расщепления, кластические дайки	Размывы
4. Морфологические (увеличение мощности пласта)	Менее частая	Частая	Вероятная

Тектонические нарушения (рис. 2), оказывают наибольшее влияние на разработку шахтного поля и подразделяются на дизъюнктивные (с разрывом сплошности) и пликативные (без разрыва сплошности).

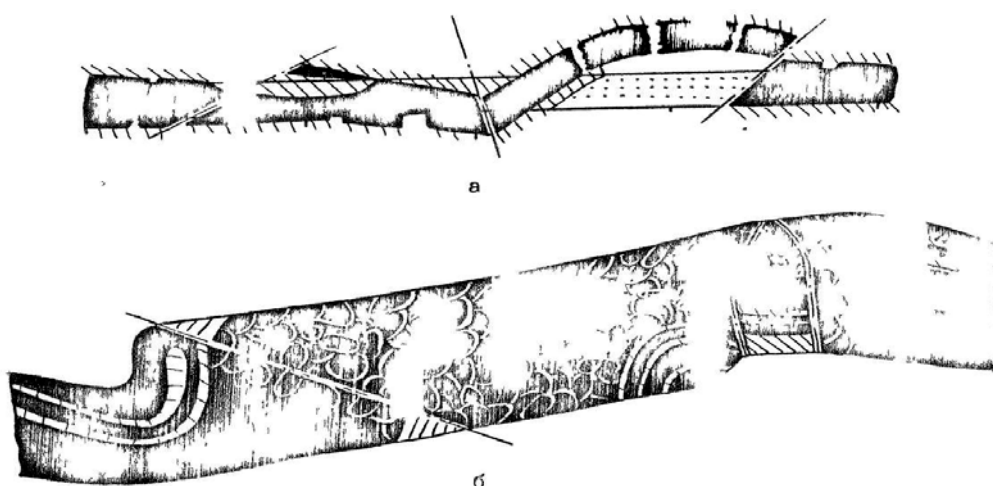


Рис. 2. Малоамплитудные тектонические нарушения угольных пластов Карагандинского бассейна

Результаты исследований параметров малоамплитудных разрывных нарушений [4] показывают, что среди них преобладают сбросы (62 %) с большими углами падения сместителя ( $60-90^\circ$ ) и амплитудой до 3 м. Эти нарушения составляют порядка 90 % всех разрывов. Величина показателя нарушенности промышленных запасов угля (число нарушений на 10 тыс. т запасов) в Карагандинском бассейне колеблется от 0,645 (Саранский участок) до 0,109 (Промышленный участок).

При геологической разведке выявляются лишь 0,3 % общего числа разрывных нарушений с амплитудой до 5 м, а при эксплуатации – 92,9 %. Именно эти нарушения представляют основные трудности при разработке пластов.

Характер зоны деформированных пород зависит от типа нарушения. Так у взбросов зона развития экзогенных трещин больше, чем у сбросов. Причем, у обоих типов нарушений более раздроблены висячие крылья. Ширина зоны экзогенной трещиноватости колеблется от 1-2 м у разрывов с амплитудой 0,5-1 м до 10-12 м у разрывов с амплитудой 5-8 м. Простираание трещин параллельно разломам.

Вокруг разрывов наблюдается образования мелких складок и расслоение пород на тонкие плитки. Экзогенные трещины в сочетании с расслоением создают у разрывов неустойчивую зону.

Несмотря на разнообразие форм конседиментационных и тектонических нарушений можно выделить основные параметры, характеризующие эти нарушения.

Конседиментационные нарушения в целом можно охарактеризовать шириной ( $d$ ), углом наклона пласт-нарушение ( $\gamma$ ), изменением мощности ( $\Delta H$ ), а локальные нарушения – протяженность ( $l$ ). Пликативные нарушения характеризуются радиусом кривизны ( $R$ ) и углом наклона ( $\gamma$ ) а дизъюнктивные – вертикальной амплитудой ( $A$ ), горизонтальным сдвигом ( $d$ ), углом сместителя ( $\gamma$ ) и шириной ( $v$ ) зоны деформированных пород.

Для Карагандинского бассейна наблюдается четкая дифференциация акустических и плотностных свойств угля и литологических разностей вмещающих пород (рис. 3, таблица 3).

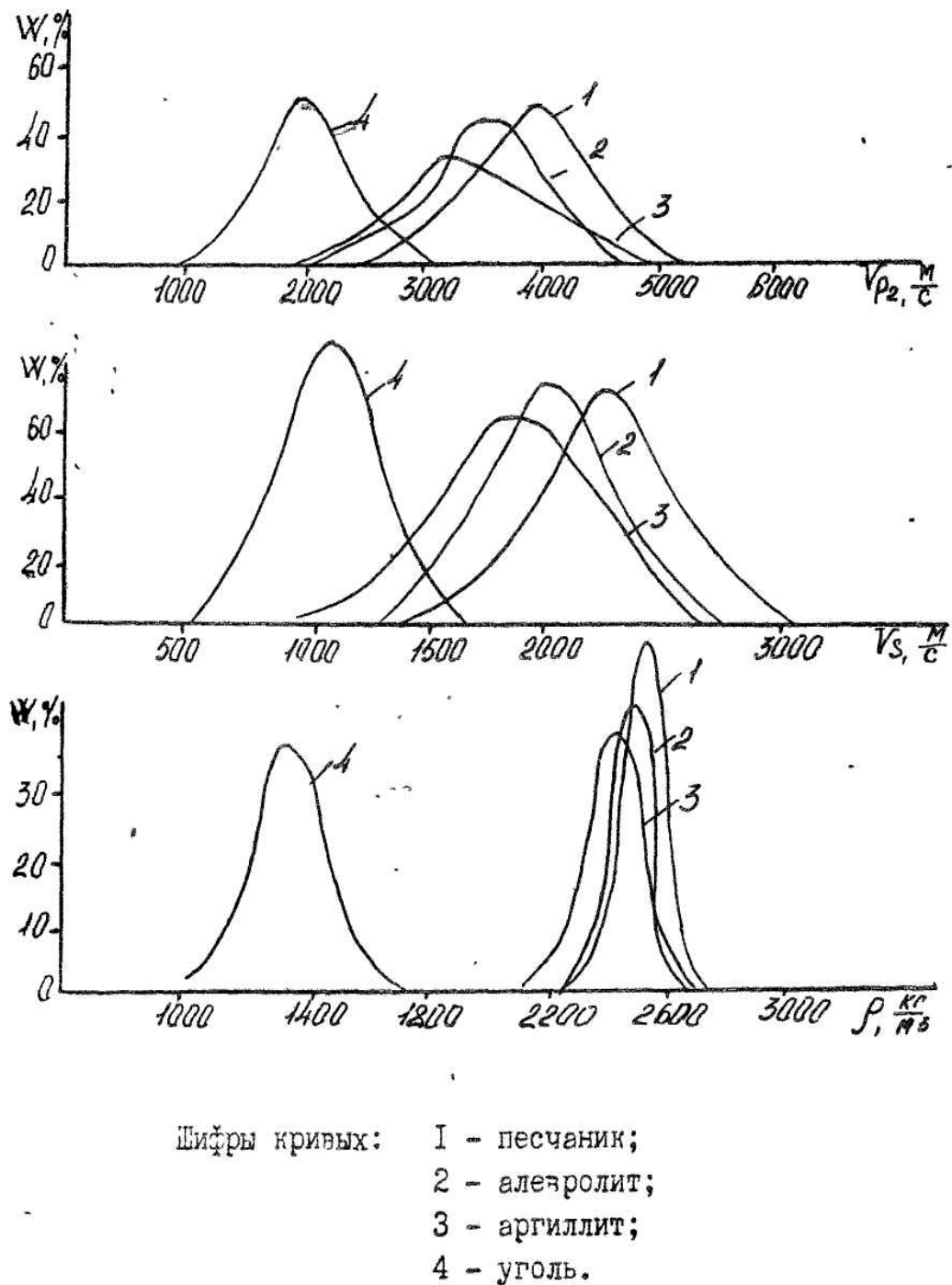


Рис. 3. Акустические и плотностные свойства углей и пород Карагандинского бассейна [3]



Таблица 3

Средние значения акустических и плотностных свойств углей и горных пород Карагандинского бассейна [3]

Характеристика группы	Количество образцов керна (шт.)	$V_p$ , м/с	$V_s$ , м/с	$\rho$ кг/м <sup>3</sup>
<b>ПЕСЧАНИК</b>				
Трещиноватые, выветрелые, алевроитистые, содержащие углистое или органическое вещество	709	3572	2066	2509
Не имеют изменений и включений («чистые»)	3911	3810	2239	2548
Сидеритизированные, карбонатизированные	2610	4245	2479	2573
<i>Среднее</i>	<i>7423</i>	<i>3962</i>	<i>2306</i>	<i>2553</i>
<b>АЛЕВРОЛИТ</b>				
Трещиноватые, выветрелые, аргилитистые, содержащие углистое или органическое вещество	573	3431	1946	2490
Не имеют изменений и включений («чистые»)	1788	3535	2016	2510
Сидеритизированные, карбонатизированные, песчанистые	750	3819	2154	2530
<i>Среднее</i>	<i>3111</i>	<i>3585</i>	<i>203</i>	<i>2510</i>
<b>АРГИЛЛИТ</b>				
Трещиноватые, выветрелые	-	-	-	-
Не имеют изменений и включений («чистые»)	29	2953	1682	2410
Сидеритизированные, карбонатизированные, алевроитистые	77	3583	1983	2484
<i>Среднее</i>	<i>106</i>	<i>3396</i>	<i>1898</i>	<i>2470</i>
<b>УГОЛЬ</b>				
Блестящий и полублестящий	52	1817	1012	1301
Матовый и полуматовый	25	2242	1262	1437
<i>Среднее</i>	<i>77</i>	<i>1956</i>	<i>1094</i>	<i>1350</i>

Уравнения парной связи между акустическими ( $V_p$  и  $V_s$  – м/с), плотностными ( $\rho$  – кг/м<sup>3</sup>) и глубиной залегания  $H$  (м) определены в [3] и приведены ниже:

Порода	Уравнения парной связи ( $R$ – коэффициент корреляции)
Песчаник	$V_p = \frac{100 \times \rho}{56,08 + 0,004 \times \rho}; R = 0,903$ $V_s = 78,69 + 0,849 \times \rho; R = 0,890$ $V_s = -10,31 + 0,612 \times V_p; R = 0,984$ $V_p = \frac{-7032 + 125,2 \times H}{-1,426 + 0,030 \times H}; R = 0,743$ $\rho = \frac{-4057 + 219 \times H}{-1,318 + 0,085 \times H}; R = 0,656$
Алевролит	$V_p = \frac{10^5}{74,24 - 0,018 \times \rho}; R = 0,974$ $V_s = \frac{10^5}{127 - 0,031 \times \rho}; R = 0,970$ $V_s = -85,82 + 0,559 \times V_p; R = 0,994$ $V_p = \frac{-4302 + 80,17 \times H}{-0,809 + 0,020 \times H}; R = 0,687$ $\rho = \frac{-2148 + 211,5 \times H}{-0,580 + 0,083 \times H}; R = 0,542$
Аргиллит	$V_p = 13958 - \frac{2,597 \times 10^7}{\rho}; R = 0,996$ $V_s = 7644 - \frac{1,416 \times 10^7}{\rho}; R = 0,998$ $V_s = -62,65 + 0,543 \times V_p; R = 0,997$
Уголь	$V_p = 4040 - \frac{2,793 \times 10^6}{\rho}; R = 0,854$ $V_s = 2257 - \frac{1,556 \times 10^6}{\rho}; R = 0,824$ $V_s = -24,22 + 0,549 \times V_p; R = 0,999$

Полученные результаты были использованы при проведении сейсмоакустического прогноза потенциально опасных зон нарушений угольных пластов, для построения сейсмогеологических моделей углепородного массива, расчета дисперсионных кривых фазовой и групповой скорости каналовых волн с использованием программ, разработанных УкрНИМИ.

Результаты сейсмоакустического прогноза нарушений углепородного массива Карагандинского бассейна

На (рис. 4) показаны результаты сейсмического прогноза нарушенности пласта К1 (шахта им. Горбачева) по данным МОВ ОГТ.

Обработка данных МОВ ОГТ проводилась по методике УкрНИМИ с использованием комплекса программ СЦС-3 [4, 5].

На основе разработанной сейсмогеологической модели пласта К1 путем математического моделирования получены дисперсионные кривые фазовой и групповой скорости каналовой волны для пласта К1. Параметры обработки программы СЦС-3 и интерпретации выбраны на основе полученных дисперсионных кривых групповой скорости.

Всего на временном разрезе ОГТ были выделены 8 отражающих площадок (рис. 4). Отражающие площадки, выделяемые уверенно на временном разрезе ОГТ, показаны сплошной линией, а неуверенно – штрихпунктирной.

Пройденные позже вентиляционные бремсберги 123 К1-В и 143 К1-В подсекли ряд нарушений. Как видно, отражающая площадка 5-5 совпадает с семиметровым нарушением, встреченным выработкой 123 К1-В. Отражающая площадка 8-8 скорее всего является продолжением десятиметрового нарушения (выработка 123 К1-В). Отражающая площадка I-I соответствует трехметровому нарушению, подсеченному выработкой 143 К1-В, а площадка 6-6 – другому трехметровому нарушению. Таким образом, сейсмический прогноз в целом подтвержден горными работами.

Приведенные исследования показали принципиальную возможность применения шахтной сейсморазведки на каналовых волнах для выявления тектонических нарушений угольных пластов Карагандинского бассейна. Результаты экспериментальных работ подтвердили высокую эффективность шахтной сейсмораз-

ведки для прогноза потенціально небезпечних зон вуглепородного масиву на шахтах Карагандинського вугільного басейну.

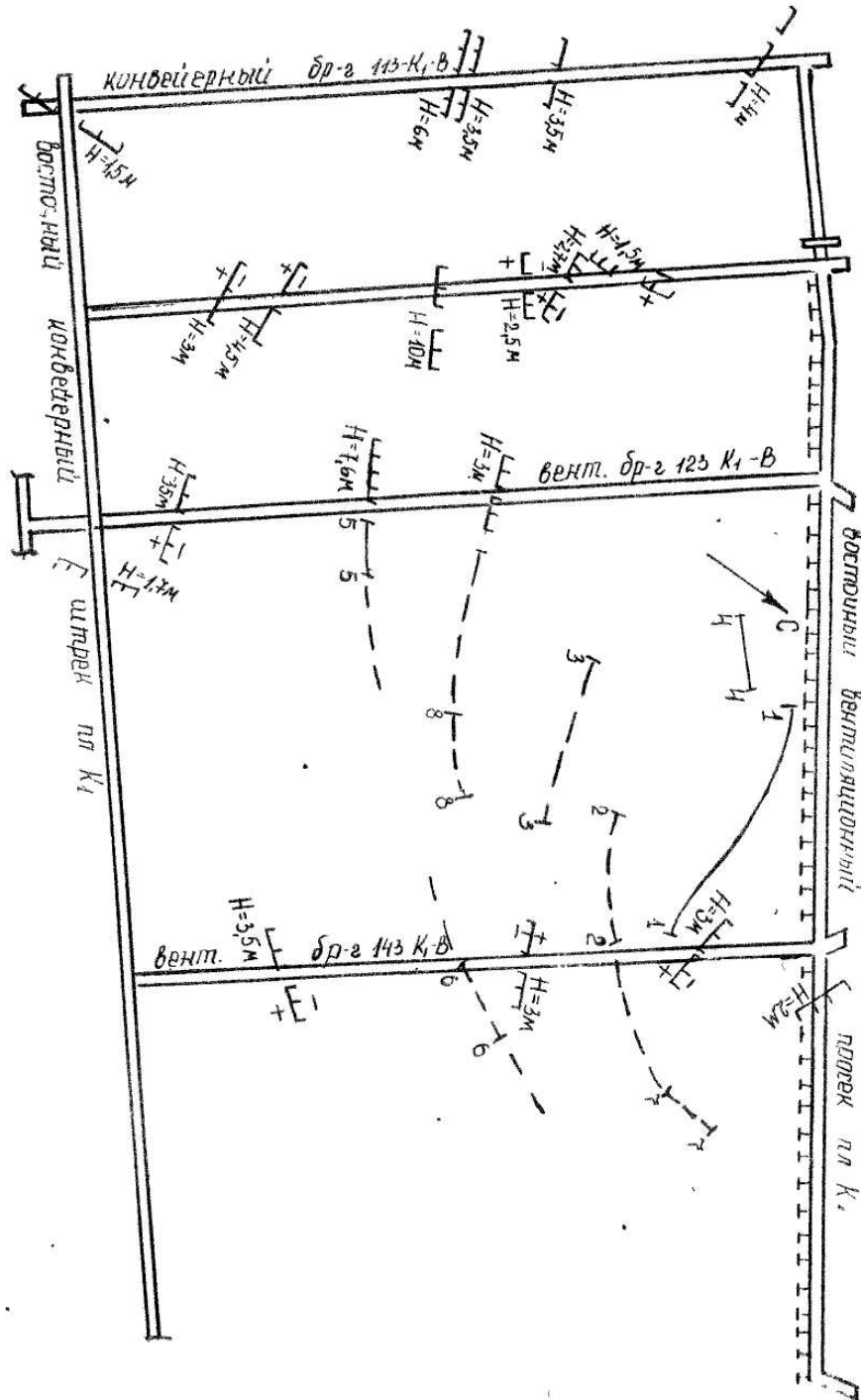


Рис. 4. Результати сейсмічного прогнозу (пласт  $k_1$ , шахта ім. Горбачева)

Для повышения достоверности и надежности прогноза необходимо комплексирование методов (МОВ и МСП), а также применение многоканальных цифровых сейсмостанций для регистрации упругих колебаний, управляемого источника возбуждения колебаний, усовершенствование алгоритмов и программ обработки и интерпретации сейсмических данных.

### **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Саттаров С.С., Кенжин Б.М., Саттарова Г.С. Применение системного подхода при моделировании НДС углепородного массива. // Труды Международной научной конференции 24-26 июня 2010 г., том 3, Караганда, КарГТУ, 2010 г., С. 302 – 304.
2. Азаров Н.Я., Анциферов А.В. УкрНИМИ НАН Украины и его вклад в развитие горной геофизики. Геофизический журнал, - Киев: Институт геофизики НАН Украины, том 26, № 4, 2004. С. 3 – 24.
3. 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.
4. Кенжин Б.М. Разработка сейсмического метода и критериев обнаружения дизъюнктивных нарушений мощных угольных пластов. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. Москва, ИГД им. Скочинского, 1991, 152 с.
5. Исаев Ю.С., Кенжин Б.М., Компанец А.И. Результаты применения цифровой измерительной системы МДГБ на шахте им. Костенко ПО "Карагандауголь". // III семинар по горной геофизике. (Тез. докл.) Батуми, ИГМ АН ГССР, 1985, С. 87–89.