

УДК 550.834:622.12

## СЕЙСМОГЕОЛОГІЧНЕ І МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗМИВІВ АНТРАЦИТОВИХ ПЛАСТІВ

Майборода А. О., Глухов О. О., Туманов В. В., Компанець О. І.  
(УкрНДМІ НАНУ, м. Донецьк, Україна)

*Приведены результаты сейсмогеологического и математического моделирования, а также результаты натурных наблюдений, которые показывают, что размывы угольных пластов с углем марки «А» могут быть выявлены на основе применения сейсмоакустического метода путем анализа изменения амплитудной и частотной характеристик волнового поля. Рассмотрены зависимости этих характеристик от амплитуды размывов.*

*The results of geoseismic and mathematical modeling as well as the results of field studies are given which show that wash out of coal beds containing A-rank coals can be revealed based on the use of seismic technique by analyzing changes in amplitude and frequency responses of the wave field. Dependences of these responses on wash out amplitudes are considered.*

Багаторічна практика сейсмоакустичного прогнозу геологічних порушень вугільних пластів показує, що першим етапом досліджень повинне бути сейсмогеологічне й на його основі математичне моделювання таких аномалій, стосовно до конкретних гірничо-геологічних і сейсмогеологічних умов досліджуваних масивів гірських порід з певними фізичними показниками. Таке моделювання забезпечує необхідну теоретичну базу для вибору найбільш оптимального комплексу методів і методології сейсмічних експериментальних робіт, а також для ефективної інтерпре-

тації сейсмічних даних, що забезпечують високу надійність і вірогідність прогнозування [1, 2].

До теперішнього часу накопичено великий досвід сейсмозв'язування прогнозу диз'юнктивних порушень вугільних пластів, зон підвищеної тріщинуватості масиву гірських порід, як найпоширеніших й істотних ускладнень вуглевидобувних робіт [1, 3, 4]. Є певний досвід у дослідженнях мульд [1, 5], а також седиментаційних порушень (розмивів, стоншень) [1]. Що стосується розмивів антрацитових пластів, то дотепер це питання в достатній мірі не вивчалось. Теоретичному аналізу особливостей поширення сейсмоакустичних коливань через розмиви антрацитових вугільних пластів присвячена дана стаття.

При видобувних роботах на антрацитових пластах розмиви є серйозними геологічними ускладненнями, що не поступаються по значимості диз'юнктивам. Це пояснюється досить високими міцнісними властивостями порід-заповнювачів розмивів, що перебувають на антрацитовій стадії метагенезу, у порівнянні з такими ж, але що знаходяться на стадіях катагенезу, породами, що заповнюють розмиви кам'яновугільних пластів. Це наочно видно в порівняльній таблиці 1, складеній за даними роботи [6].

Оскільки відповідно до Інструкції [7] під час вивчення розмивів у гірничих виробках особлива увага приділяється невиявленим геологічною розвідкою сингенетичним локальним розмивам ярово-річкових типів (типи 1 й 2 за класифікацією [7]), у табл. 1 наведені найпоширеніші літолого-фаціальні типи порід-заповнювачів вказаних розмивів.

Сейсмогеологічне моделювання наведено на прикладі вугільного пласта  $l_6^{H-2}$  потужністю 1,0 м, вугілля марки А шахти «Довжанська–Капітальна», для якої розмиви цього пласта і, перш за все, заповнені пісковиком, є одним з найбільш істотних геологічних ускладнень при його відпрацьовуванні, що вимагає перенарізки лав і що знижує ефективність вугледобувних робіт.

При побудованні сейсмогеологічних моделей вугільного пласта  $l_6^{H-2}$  використані усереднені щільності  $\rho$  вугілля і вміщувальних порід (табл. 2), а також швидкості  $V_p$  та  $V_s$  поширення хвиль стиску та зсуву, відповідно.

Таблиця 1

Зіставлення середніх значень міцнісних властивостей порід-заповнювачів розмивів на різних стадіях епігенезу

Порода-заповнювач розмивів	$\sigma_{ст}$ , МПа		$\sigma_p$ , МПа	
	марка вугілля		марка вугілля	
	Г	A <sub>1</sub>	Г	A <sub>1</sub>
Пісковики фації русла (АР)	50,0	159,0	2,7	12,7
Піщано-алевритові відклади заплави (АП)	24,1	145,2	1,1	9,7
Глинисто-алевритові відклади заболочених прибережно-морських рівнин (БП)	27,5	68,6	2,0	5,1

Таблиця 2

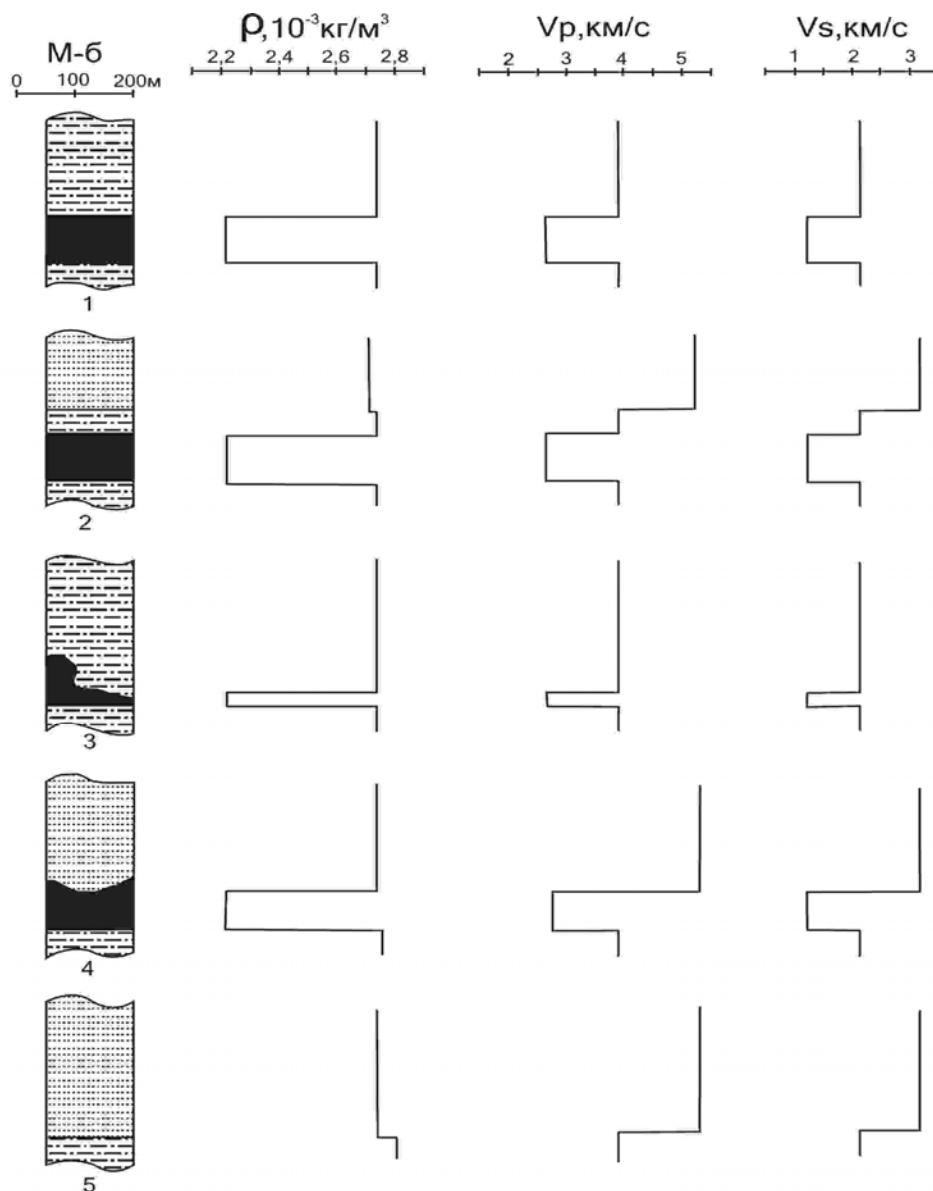
Усереднені значення  $\rho$ ,  $V_p$ ,  $V_s$  вугілля для пласта  $l_6^{H-2}$  і вміщувальних порід за даними [1]

Літологія	Усереднені значення характеристик		
	$\rho$ , $10^{-3}$ кг/м <sup>3</sup>	$V_p$ , км/с	$V_s$ , км/с
Пісковик	2,70	5,2	3,0
Піщаний сланець	2,72	3,9	2,1
Вугілля	2,20	2,6	1,3

Сейсмогеологічні моделі (рис. 1) включають найбільш характерні для шахти «Довжанська–Капітальна» варіанти розрізів вугільного пласта  $l_6^{H-2}$ : без геологічних порушень; з розмивом, що заповнений піщаним сланцем; а також з частковим і повним розмивами пласта, що заповнені пісковиком.

Ці моделі можуть служити основою для математичного моделювання і, відповідно, встановлення теоретичних закономірностей або особливостей поширення сейсмічних хвиль в розрізах, що вміщують антрацити, ускладнених седиментаційними геологічними порушеннями вугільних пластів типу розмивів.

При проведенні досліджень була використана модель, яка схематично показана на рис. 2. Моделюється ділянка вугільного пласта з вугіллям марки А потужністю 1 м між двома виробками, що розташовуються на відстані  $R=150-160$  м. Імітується удар тампером у стінку однієї з виробок.



- 1, 2 – розрізи по вугільному пласту без геологічних порушень;
- 3 – розмив вугільного пласта, заповнений піщаним сланцем;
- 4 – частковий розмив вугільного пласта, заповнений пісковиком;
- 5 – повний розмив вугільного пласта, заповнений пісковиком

Рис. 1. Сейсмогеологічні моделі вугільного пласта  $l_6^H$  шахти «Довжанська-Капітальна» (вугілля марки А)

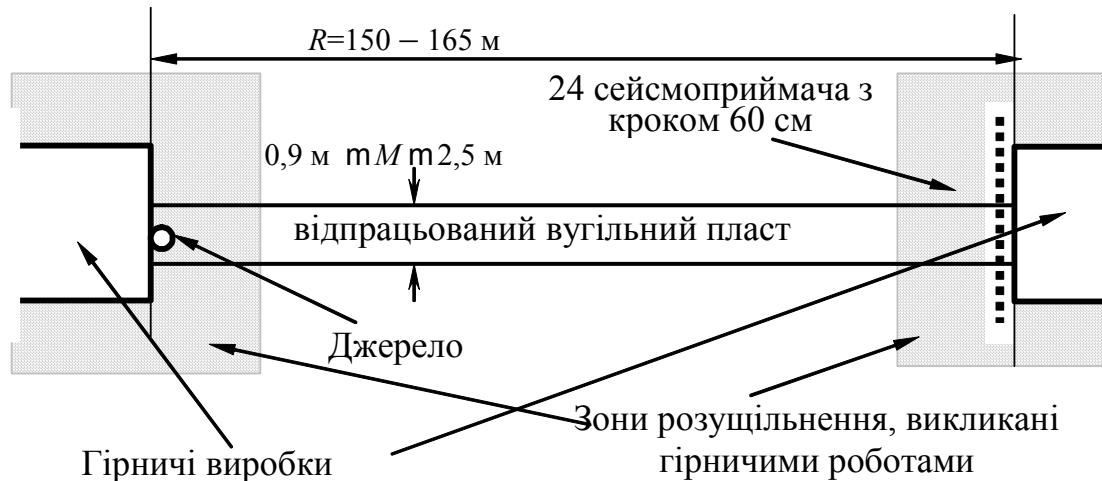


Рис. 2. Модель, що використовується для аналізу характерних сейсмічних полів на прикладі вугільного пласта  $l_6^{H-2}$  на ділянці шахти «Довжанська–Капітальна»

Для аналізу структури хвильового поля 24 сейсмоприймача розташовуються на межі з іншою виробкою у вертикальній площині із кроком 20 см так, що СП № 12 розміщується по центру пласта. У ряді випадків моделювалася зона розуцільнення навколо виробок, що викликана гірничими роботами.

Було проведено близько 25 розрахунків, в яких у діапазоні, характерному для вугілля марки «А», варіювалися характеристики вугілля, тип і характеристики вмщувальних порід, а також типи геологічних аномалій (зона стоншення, розмиву вугільного пласта на половину його потужності й на всю потужність, заповнені щільним піщаником. На рис. 3 представлені характерні теоретичні сейсмограми, отримані для наступних моделей:

– для симетричної відносно центра пласта моделі, де вмщувальні породи представлені піщаним сланцем з потужністю пласта 1 м (див. рис. 3а);

– для моделі пласта потужністю 1 м, у покрівлі якого залягає потужний пласт пісковіку (див. рис. 3б);

– для моделі з такими ж вмщувальними породами, із зоною стоншення з потужністю пласта 0,7 м (див. рис. 3в).

Відповідні спектральні характеристики представлені на рис. 4.

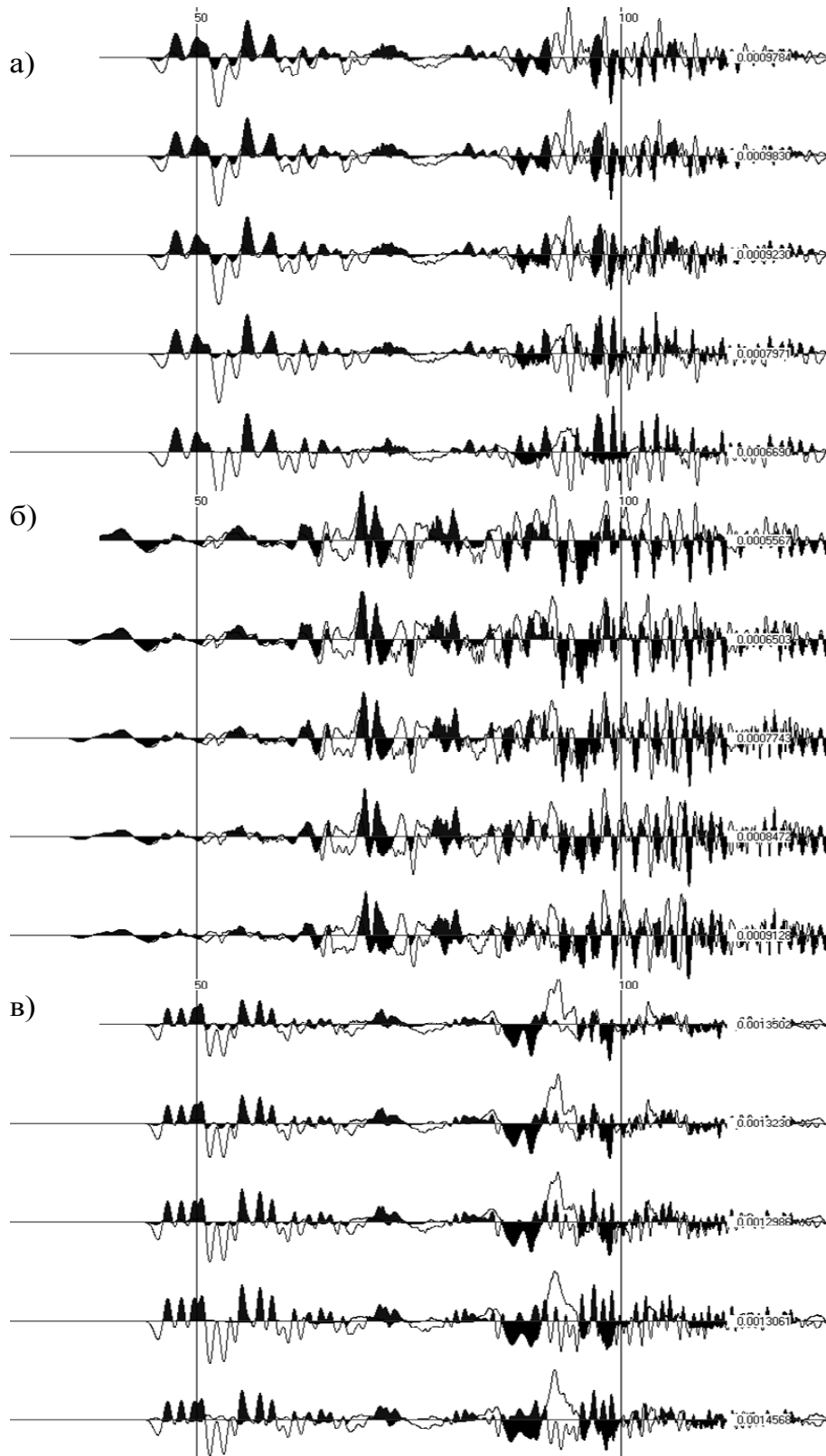


Рис. 3. Характерні теоретичні сейсмограми, отримані для таких моделей: а)  $H=1,0$  м; б)  $H=1,0$  м, пісковик у покрівлі; в) зона стоншення  $H=0,7$  м

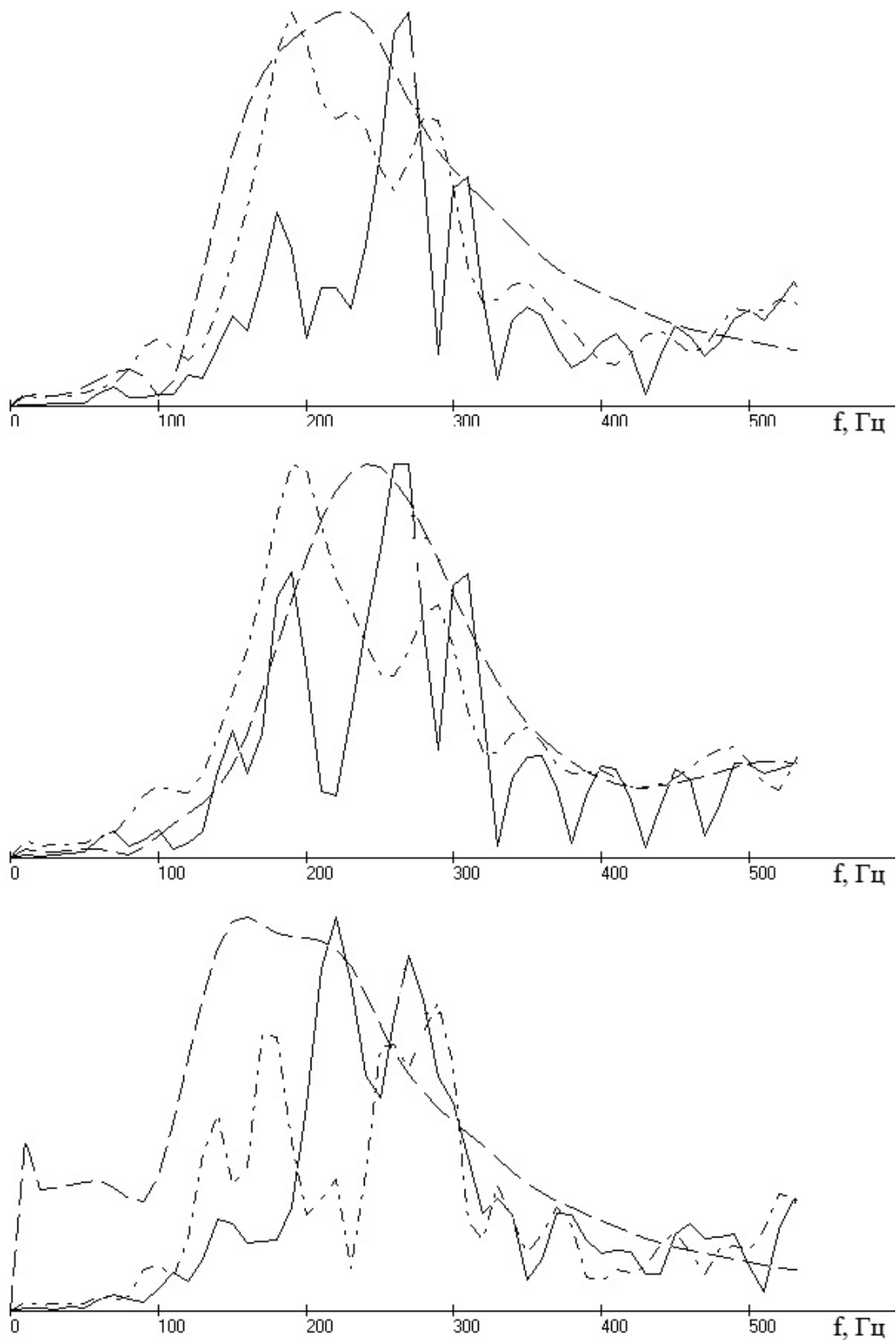


Рис. 4. Характерні спектри, отримані для таких моделей:  
а)  $H=1,0$  м; б)  $H=1,0$  м, пісковик у покрівлі; в) зона стоншення  $H=0,7$  м

На теоретичних сейсмограмах присутні три хвильових пакети. Перший – бічна хвиля стиснення з діапазоном частот від 60 до 200 Гц. Для моделей із симетричними за характеристиками вміщувальними породами, представленими піщаними сланцями, цей пакет є домінуючим.

Швидкість його приходу строго відповідає швидкості поширення поздовжніх хвиль у піщаному сланці (близько 4000 м/с). У випадку присутності в покрівлі пісковика, бічна хвиля, що поширюється по сланцю, практично не спостерігається. Є присутньою бічна хвиля, відповідна пісковіку (близько 5000 м/с). Вона має порівняно слабку амплітуду.

Другий хвильовий пакет на всіх моделях являє собою бічну хвилю зсуву з діапазоном частот від 80 до 250 Гц. Швидкість його поширення для моделей, де є присутнім пісковик, становить приблизно 3000 м/с. У випадку, якщо пісковіку немає, то швидкість становить близько 2000 м/с. Як можна легко переконатися, це швидкості поширення хвиль зсуву у відповідних породах.

Розроблена математична модель має високу ступень адекватності. Характерні реальні сейсмограми й осереднений швидкісний спектр, що отримані у лаві 120 шахти «Довжанська-Капітальна» (див. рис. 5) мають аналогічні теоретичним структури і характеристики.

Третій пакет на теоретичних сейсмограмах - хвиля із частотою від 150 до 350 Гц (і вище). Це каналова хвиля, що у реальних умовах спостерігається через сильне загасання тільки на окремих сейсмотрасах. Для випадку, коли в покрівлі існує пісковик, ця хвиля має складну будову. Її перший вступ формується хвилями зрушення, що поширюються по піщаному сланцю, а хвостова частина являє собою каналову хвилю з домінуючою амплітудою.

Представляє інтерес той факт, що наявність зони стоншення на третину потужності пласта практично не змінює структуру сигналу. Змінюється спектральна характеристика. Внесок низькочастотної складової сигналу знижується, тоді як внесок високочастотної - зростає. Для різних моделей кількісні співвідношення, що описують цю особливість, істотно розрізняються, але сама тенденція зберігається на всіх моделях без винятку.



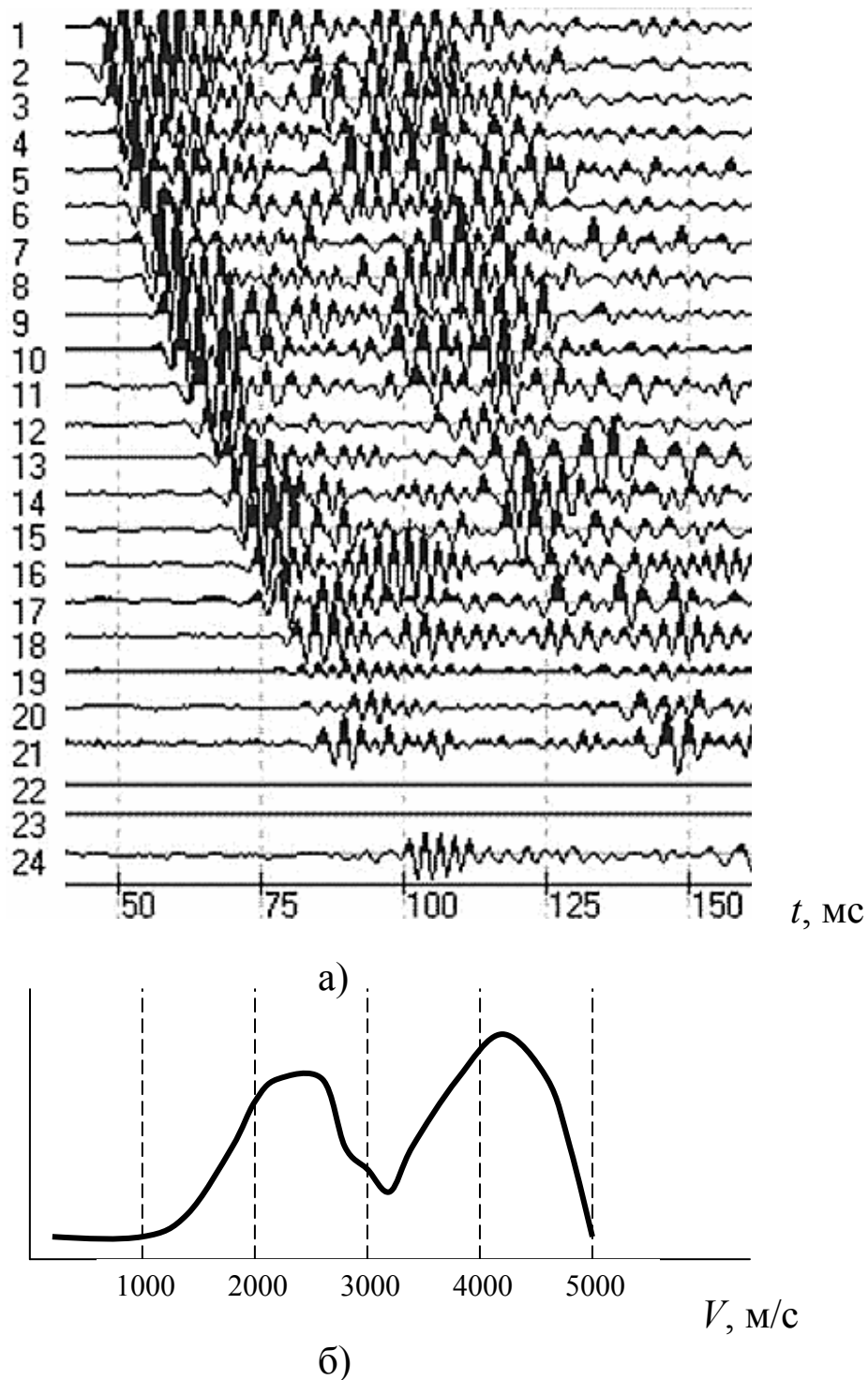


Рис. 5. Характерні реальні сейсмограми (а) і осереднений швидкісний спектр, що отримані у лаві 120 шахти «Довжанська-Капітальна»

Розглянемо моделі з ділянками розмивів. На рис. 6 представлені характерні теоретичні сейсмограми, отримані для моделей

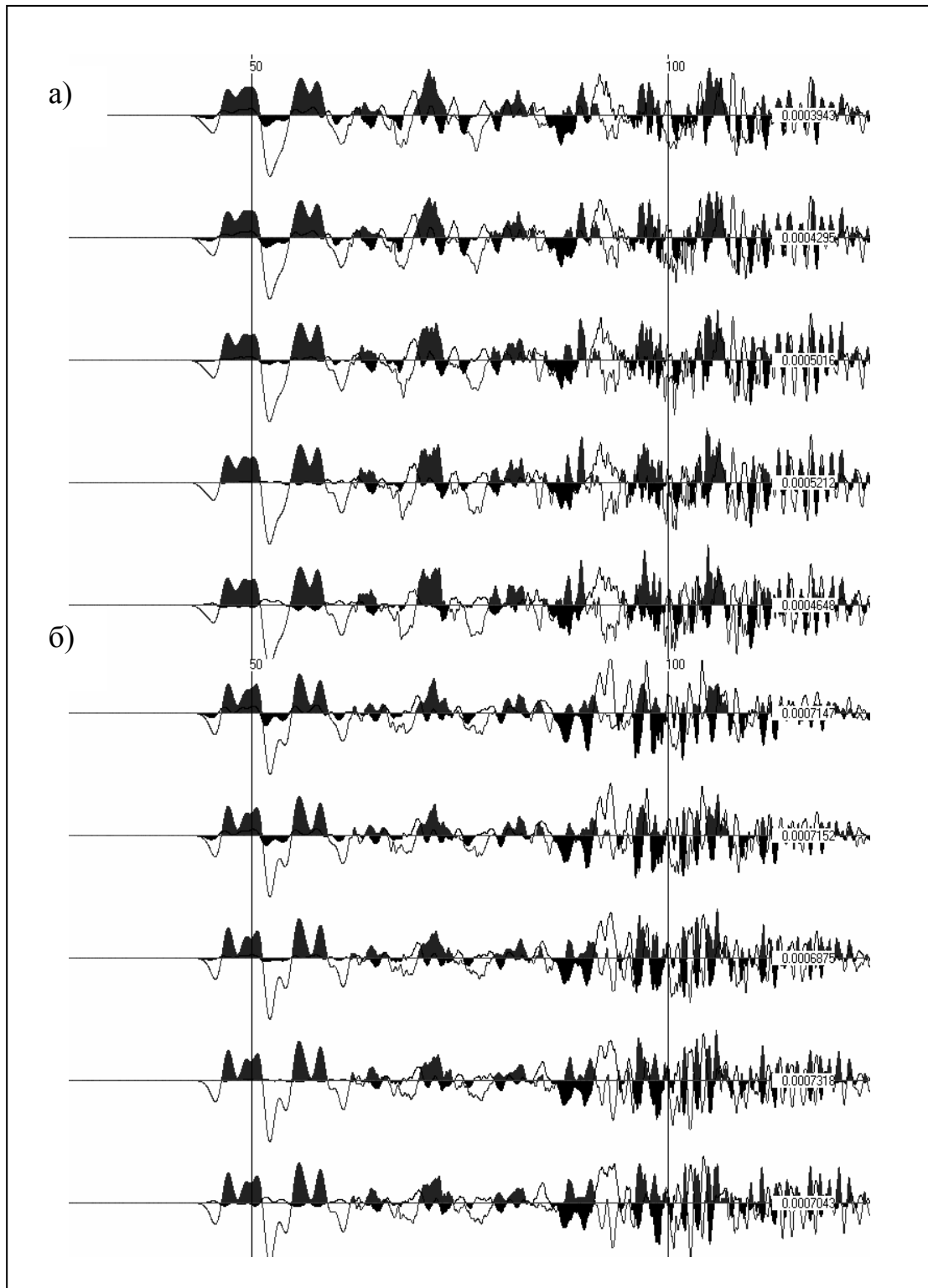


Рис. 6. Характерні теоретичні сейсмограми, отримані для моделей вугільного пласта в піщаному сланці з ділянкою розмиву довжиною 50-70 м на всю потужність (а) і на половину потужності пласта (б)

вугільного пласта в піщаному сланці з ділянкою розмиву довжиною 50-70 м на половину потужності пласта і на всю потужність. Відповідні спектральні характеристики представлені на рис. 7.

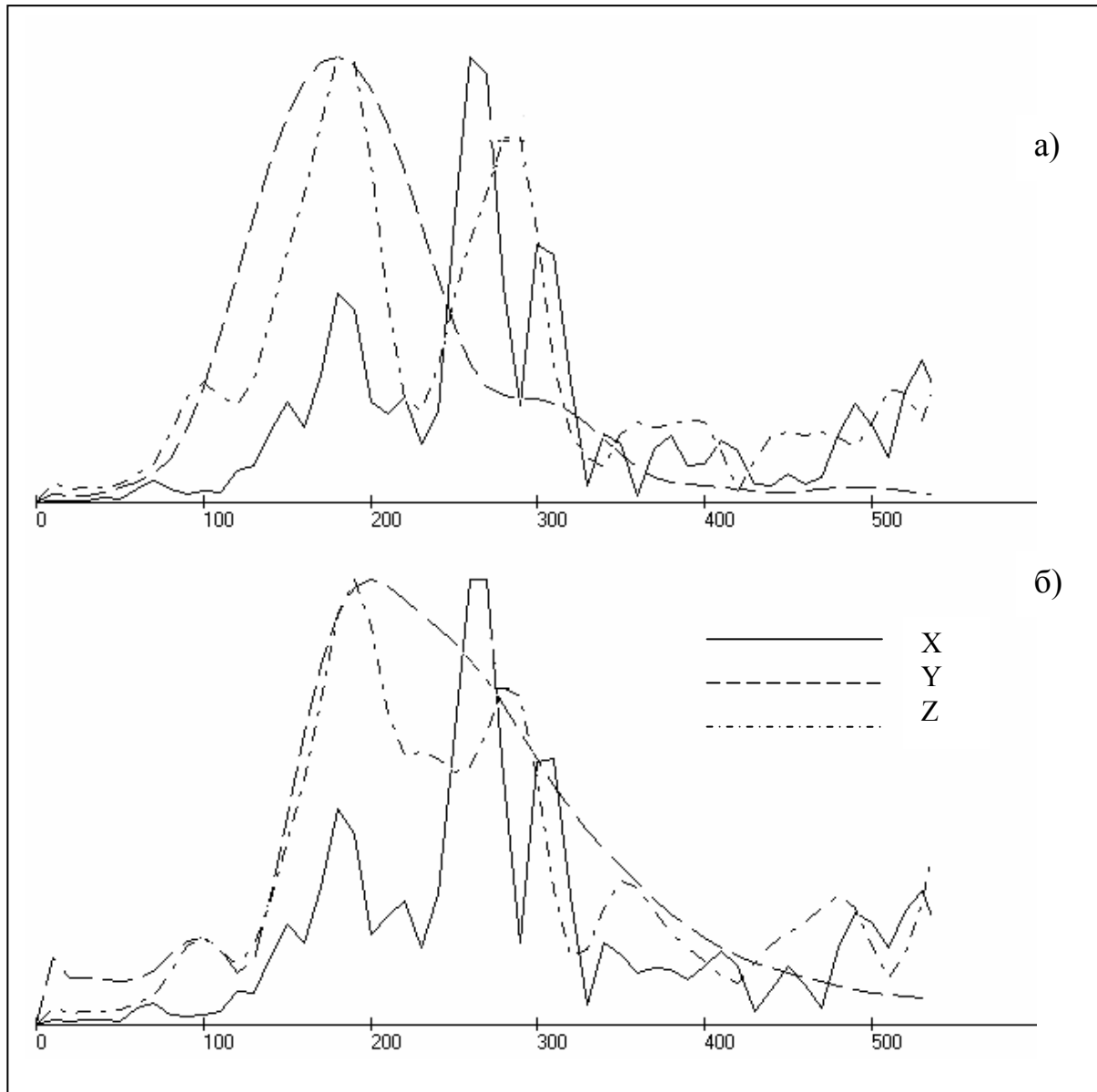


Рис. 7. Характерні спектри, отримані для моделей вугільного пласта в піщаному сланці з ділянкою розмиву довжиною 50-70 м на всю потужність (а) і на половину потужності пласта (б)

Ми можемо переконатися в тім, що наявність розмиву слабо змінює структуру сигналу. При розмиві вугільного пласта на половину його потужності спостерігається зниження амплітуди си-

гналу на 25-35 % і підвищення характерних частот хвильових пакетів на 5-25 Гц. При подальшому збільшенні потужності розмиву амплітуда продовжує знижуватися. При розмиві на всю потужність пласта вона може становити 15-30 % від значення на не порушеній ділянці.

Зміна частотної характеристики має більш складний характер. Якщо при розмивах до половини потужності пласта характерні частоти росли, то при подальшому збільшенні амплітуди розмиву спостерігається їхнє зменшення. При стоншенні каналу спостерігається відповідне зростання частот. Однак високі частоти мають високий коефіцієнт поглинання, і ми їх не спостерігаємо. Крім цього, розмив на повну потужність пласта являє собою бар'єр для будь-яких частот і, в першу чергу, для високих.

Порівняно висока інформативність амплітудних і частотних характеристик хвильових пакетів бічних хвиль прекрасно підтверджується на практиці. Це видно, якщо порівняти розподіл максимуму модуля амплітуди, швидкості максимуму модуля амплітуди та частоти сигналу параметрів у плані лави 120 шахти «Довжанська-Капітальна» (див. рис. 8), а також прогнозну карту гірничо-геологічних умов відпрацювання виїмкового стовпа (див. рис. 9).

Таким чином, сейсмогеологічне та математичне моделювання показує, що розмиви вугільних пластів із вугіллям марки «А» можуть бути виявлені на основі застосування сейсмоакустичного методу шляхом аналізу змінення амплітудної та частотної характеристик інформативних хвильових пакетів. Представлено залежності цих характеристик від амплітуди розмивів. Показано, що висновки теоретичних досліджень підтверджуються результатами реальних спостережень.

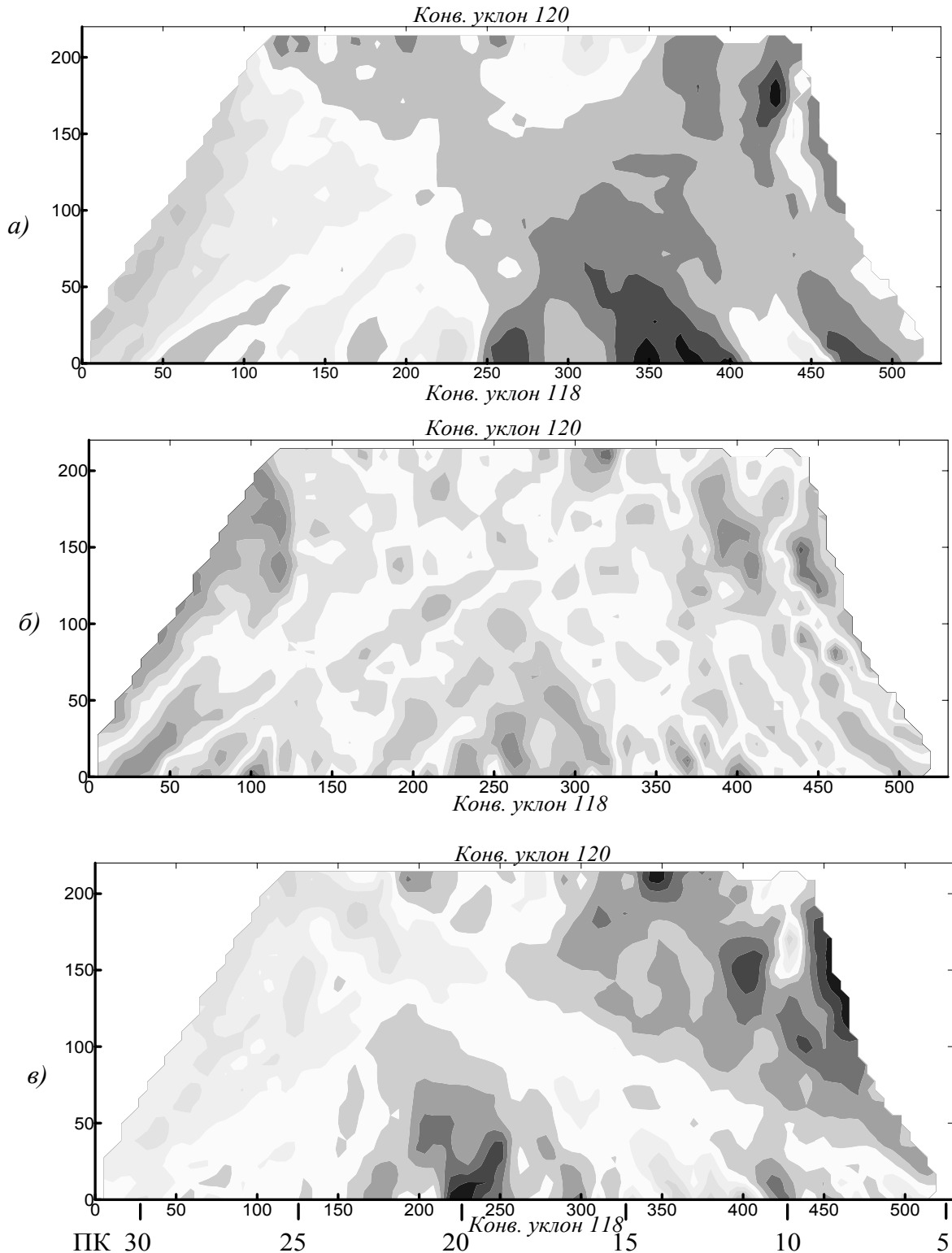


Рис. 8. Розподіл параметрів у плані лави 120 шахти «Довжанська-Капітальна»: а – максимум модуля амплітуди; б – швидкість максимуму модуля амплітуди; в – частота сигналу

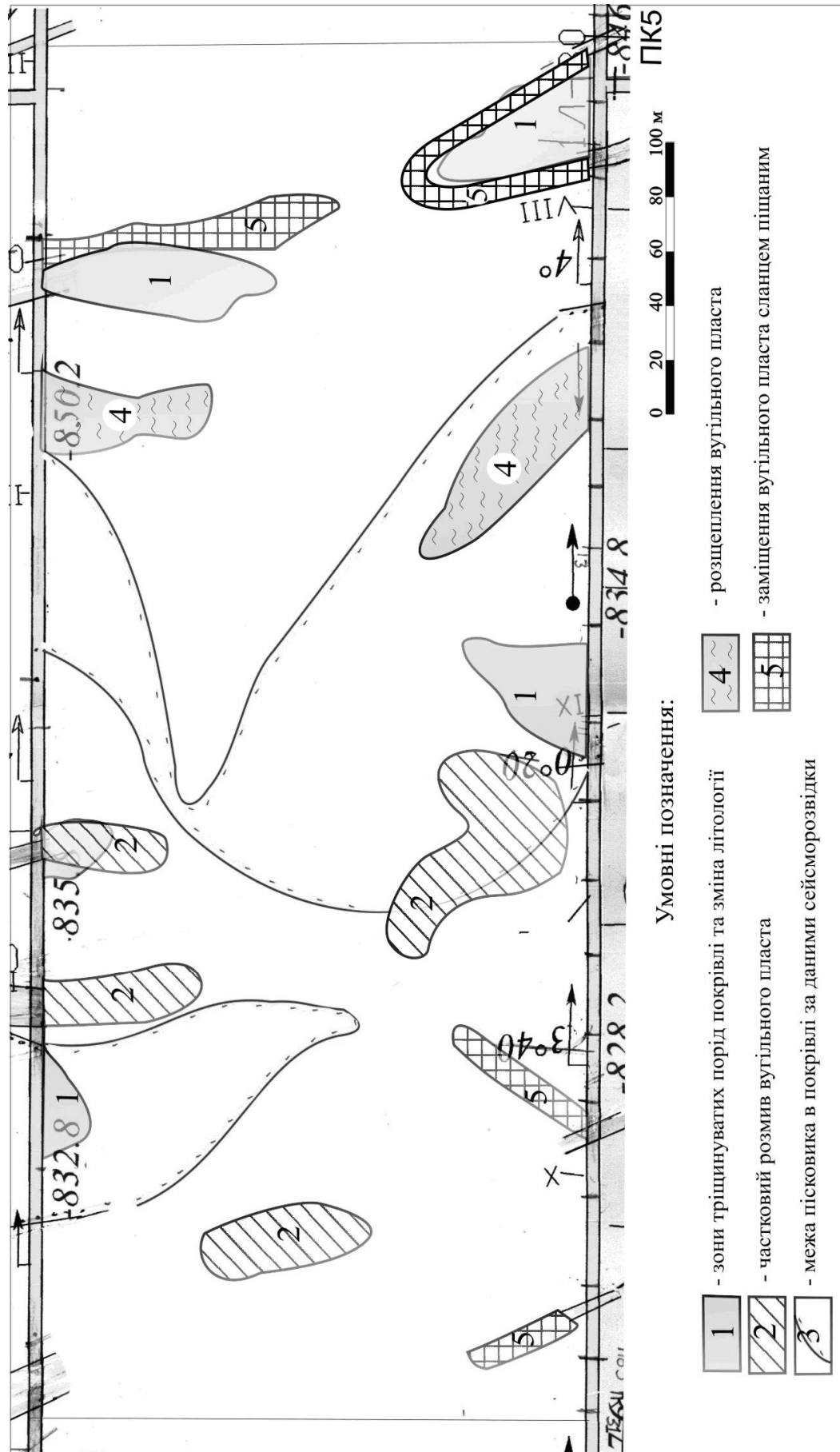


Рис. 9. Прогнозна карта гірничо-геологічних умов відпрацювання виймкового стовпа (лава 120 шахти «Довжанська-Капітальна» ДП «Свердловськкантрацит»)

## **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Анциферов А. В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. – Донецк, ООО «Алан», 2003. – 311 с.
2. Глухов А. А., Анциферов А. В. Современные методы математического моделирования при прогнозе геологических нарушений угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва: Изд.-во Московского государственного горного университета, 2005. - № 8. – С. 119-131.
3. Глухов А. А., Анциферов А. В. Метод определения типа и параметров малоамплитудной тектонической нарушенности угольного пласта // Проблеми гірського тиску. - Донецьк: ДонДТУ, 2001. - № 5. - С.16-36.
4. Анциферов А. В. Математическое моделирование процесса прохождения сейсмических сигналов через тектонические нарушения угольного пласта // Геотехническая механика. - Днепропетровск: ИГТМ. - Вып. 29. - 2001. - С. 90-97.
5. Анциферов А. В. Анализ особенностей распространения сейсмоакустических сигналов через мульды в задачах шахтной сейсморазведки // Физико-технические проблемы горного производства. - Донецк: ИФГП. - 2002. - Вып. 5. - С. 28-34.
6. Руководство по экспресс-определению прочностных свойств углевмещающих пород Донбасса по их геологическим характеристикам и акустическим измерениям кернов геологоразведочных скважин / А. А. Майборода, Р. Х. Миняфаев, О. С. Алферов, А. А. Яланский; Под ред. Н. Я. Азарова: РД; Утв. ВГО «Союзуглегеология» 28.12.84г., срок действия установлен с 01.01.85 г., - Днепропетровск, изд. «Заря», 1988г., - ч. 1 – 48 с., ч. 2 – 84 с.
7. КД 12.06.204-99 Геологічні роботи на вуглевидобувних підприємствах України. Інструкція: Затв. Мінпаливенерго України 12.12.2000. – К., 2001. – 384 с.