

УДК 550.834: 622.12

## ПРОГНОЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА МЕТОДАМИ ШАХТНОЙ ПЛАСТОВОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Компанец А. И., Глухов А. А., Трофимов В. В.,  
Педченко М. А., Анциферов А. В.  
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*У статті розглянуто приклад використання методу сейсмічного просвічування для прогнозу зон підвищеної тріщинуватості, зміни літології порід покрівлі та інших геологічних неоднорідностей з метою підвищення безпеки ведення гірничих робіт.*

*The article presents the example of using the seismic-ray method to predict zones of fracturing, changes in lithology of the roof and other geological irregularities in order to improve mine safety.*

Повышение безопасности ведения горных работ, несмотря на все существующие достижения в области прогноза состояния горного массива, остается крайне важной задачей. Шахтная пластовая сейсморазведка является одним из наиболее эффективных методов выявления геологических нарушений с целью выбора оптимальных способов отработки угольных пластов.

Сейсмическое просвечивание (МСП) – один из методов сейсморазведки, позволяющий вместе с возможностью выявления и картирования геологических нарушений оценивать и их параметры в оконтуренном выработками отрабатываемом пространстве. Наиболее часто данный метод применяется для описания таких параметров тектонических нарушений как расположение, амплитуда, размеры и характеристики зон повышенной трещиноватости, выявления размывов угольных пластов и их кровли, классических инъекций, зон повышенной трещиноватости

пород, связанных с пликативными нарушениями, зон повышенной трещиноватости, которые непосредственно не связаны с геологическими нарушениями.

Различают два основных направления применения МСП. Это прослеживание и картирование нарушений, вскрытых горной выработкой, а также картирование, обнаружение, определение типа и основных характеристик нарушений, которые не выявлены горными работами.

Применимость МСП ограничена условием наличия пары горных выработок, расположенных таким образом, чтобы сейсмические колебания, возбужденные в одной из них, пройдя по зоне аномалии, в соответствии с законами геометрической сейсмики, достигли сейсмоприемников, установленных в другой. Такие пары могут составлять штрек и очистной забой, штрек и разрезная печь, вентиляционный и конвейерный штреки и т.д. При практическом применении МСП максимальное расстояние между пунктами возбуждения колебаний и сейсмоприемниками, при котором обеспечивается эффективный прогноз нарушений, составляет 800 м [1, 2]. При этом надежность метода в сложных горно-геологических условиях составляет 80 % [3].

В статье приведен пример использования метода сейсмического просвечивания для прогноза зон геологических неоднородностей на шахте «Довжанская-Капитальная», расположенной в Луганской области в Довжанско-Ровеньковском угленосном районе центральной части Донбасса. Полученные результаты подтверждают принципиальную возможность применения рассматриваемого подхода для оконтуривания аномалий с целью выбора оптимальных путей ведения горных работ.

Целью исследований был прогноз зон повышенной трещиноватости и изменения литологии пород кровли, а так же других геологических неоднородностей. Для выбора оптимальных путей проведения экспериментов большое внимание было уделено применению методов математического моделирования.

В качестве объекта исследований выбран угольный пласт  $l_6^{н-2}$ , расположенный на участке 120-ой лавы между 118-м и 120-м конвейерным штреком, где по результатам проходки подготовительных выработок были встречены внедрения песчаника

в угольный пласт, замещение угольного пласта песчаным сланцем, расщепление пласта, зоны повышенной трещиноватости и изменения литологии пород кровли. Целью геофизических работ был прогноз распространения этих геологических неоднородностей.

Массив горных пород исследуемого участка представлен осадочными породами кайнозойского и каменноугольного периодов центральной части Довжанской синклинали. Каменноугольная толща составлена породами нижней части Горловской свиты ( $C_2^7$ ) и алмазной свиты ( $C_2^6$ ). В литологическом отношении свита  $C_2^6$  состоит из мелкозернистых песчаников, которые имеют довольно широкое распространение, часто переходя в песчаные сланцы, и собственно песчаных сланцев, переходящих в глинистые сланцы. Характерная особенность свиты – фациальная нестойкость слагающих её пород. Залегание пород карбона пологое, в направлении, близком к широтному. Угольный пласт  $I_6^{H-2}$  на участке исследований представлен одной угольной пачкой мощностью от 1,05 до 1,35 м. Гипсометрия пласта волнистая, изменение угла падения от  $2^\circ$  до  $10^\circ$ .

Из геологических осложнений кроме тектонических нарушений важное влияние оказывают размывы угольного пласта и его частичное или полное замещения песчаником или песчаным сланцем. Прогноз распространения этих размывов является одной из важных задач геофизических исследований.

Породы основной кровли представлены песчаником, сменяющимся на отдельных участках песчаным сланцем. В непосредственной кровле пласта залегает песчаный сланец. В подошве пласта залегает сланец песчаный «кучерявчик», ниже сланец песчаный, который ниже постепенно переходит в сланец песчано-глинистый.

На основе априорной информации об угольном пласте на участке исследований, а также данных о подсеченных горными выработками нарушениях был проведен теоретический анализ процесса распространения сейсмоакустических колебаний с учетом соответствующих горно-геологических условий. На рисунке 1 представлены примеры характерных теоретических сейсмограмм, а на рисунке 2 – обобщенные амплитудно-скоростные спектры

основных волновых пакетов, полученных с использованием разработанных в УкрНИИМ методик и программных средств, подробно описанных в работах [4 – 6].

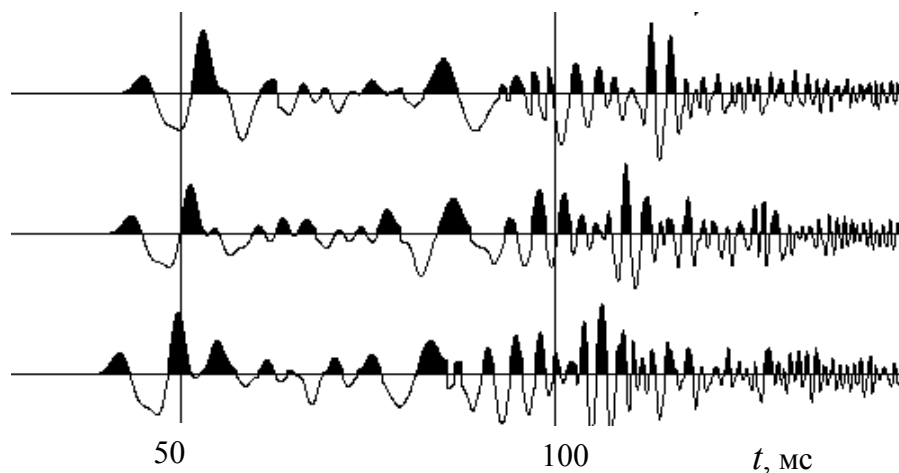


Рис. 1. Примеры теоретических сейсмограмм МСП, рассчитанных для модели горно-геологических условий залегания угольного пласта  $l_6^{H-2}$  в 120-ой лаве шахты «Довжанская-Капитальная»

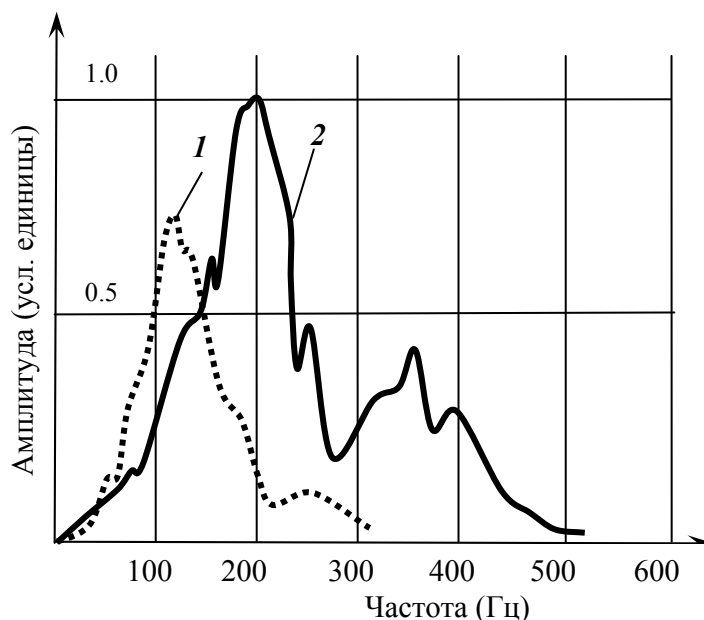


Рис. 2. Частотные спектры волновых пакетов для угольного пласта  $l_6^{H-2}$  в 120-ой лаве шахты «Довжанская-Капитальная» (представлены спектры боковой волны сжатия 1 и боковой волны сдвига 2)

В соответствии с результатами теоретического анализа, ударный источник будет формировать волновое поле, состоящее из волновых пакетов боковых волн сжатия, а также из доминирующего волнового пакета боковых волн сдвига (частотой от 60 до 250 Гц в области первого вступления и 300 – 450 Гц – в хвостовой части). Боковые волны сжатия распространяются со скоростью волн сжатия в песчанике (частотой от 55 до 210 Гц с максимумом приблизительно на частоте 120 Гц).

Анализ частотных характеристик дает основание полагать, что максимальные значения частот информативных волновых пакетов не превышают 450 – 500 Гц. При этом спектр боковой волны сжатия располагается в диапазоне от 30 до 150 Гц с максимумом на частоте 90 – 100 Гц. Боковая волна сдвига наиболее высокоамплитудной части имеет частоту 180 – 200 Гц.

Таким образом, предварительный анализ показывает, что в качестве информативных волновых пакетов наиболее предпочтительно использовать продольные и поперечные боковые волны. Был сделан вывод о том, что оптимальный для обработки частотный диапазон лежит в пределах от 50 до 250 Гц, а скоростной от 3700 до 5000 м/с, а также от 2200 до 2800 м/с.

Натурные исследования проводились методом сейсмического просвечивания с использованием 24-канальной суммирующей сейсмостанции. Система наблюдений МСП включала две 12-ти канальных расстановки сейсмоприёмников с шагом 14 – 15 м, которые были расположены в 120-м конвейерном штреке. Для приема колебаний в конвейерном штреке использовались электродинамические шпуровые сейсмоприёмники, устанавливаемые в шпуровую глубину 0,5 м. Профили возбуждения колебаний располагались в конвейерном штреке с шагом 10 – 20 м. Возбуждение колебаний проводилось ударным способом в шпурах глубиной 0,5 м с помощью ударов кувалды по металлической штанге, прижимаемой к обнаженной поверхности пласта (при его наличии) или к поверхности пород кровли/грунта пласта, с накоплением в каждом пункте до 50 ударов. Сигнал записывался на открытом канале без фильтрации, шаг дискретизации 0,5 мс, продолжительность записи 1024 отчета, уровень усиления устанавливался поканально, исходя из амплитуды сигнала. Выполнение

сейсморазведочных работ проведено соответственно технологии сейсмических наблюдений по методике МСП.

На первом этапе обработки данных был выполнен визуальный анализ волнового поля, характерные сейсмограммы которого представлены на рисунке 3.

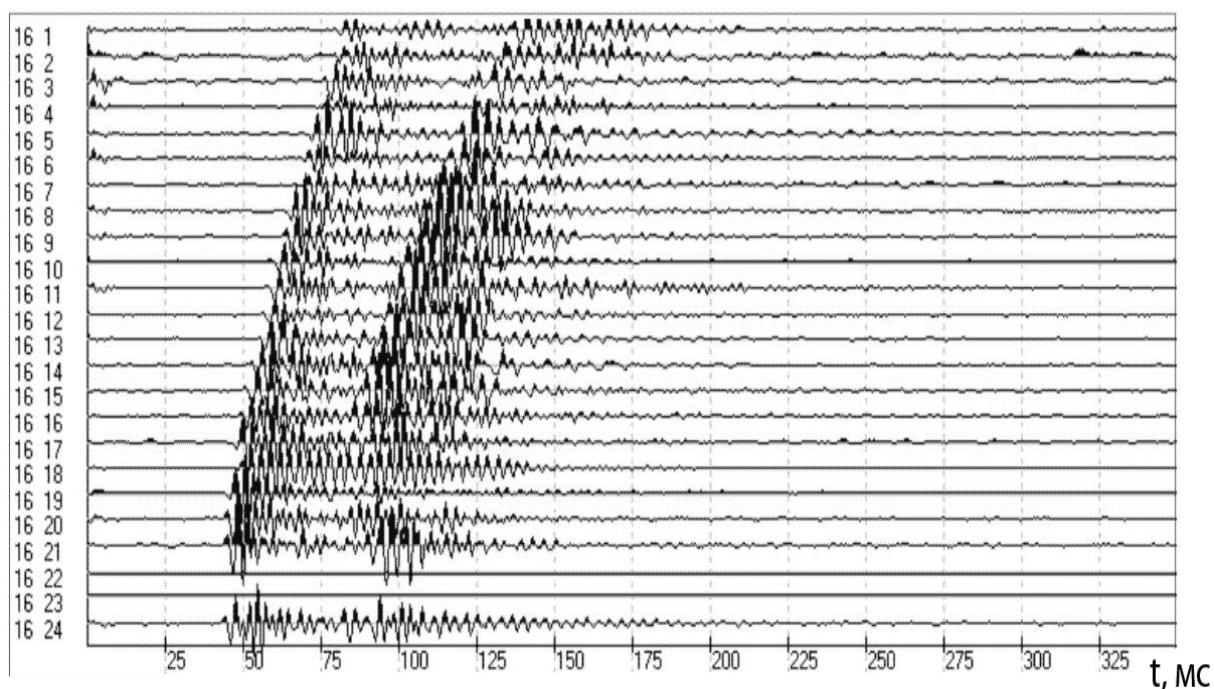


Рис. 3. Характерные сейсмограммы (лава 120 шахты «Довжанская-Капитальная»)

При обработке и интерпретации данных МСП кроме кинематических используются динамические и спектральные параметры волнового поля. Поэтому в процессе предварительной обработки осуществлялось нормирование сейсмических сигналов – приведение всех их к одному уровню с дальнейшим учетом коэффициентов приведения по каждой трассе, а также коэффициентов усиления по каждому каналу при регистрации сигналов. При этом выбор метода восстановления амплитуд осуществлялся в соответствии с установленными зависимостями амплитуды сигнала от расстояния [7]. Кроме того, учитывалась временная задержка и удалялись отбракованные трассы.

Исследование кинематических параметров волновых пакетов проводилось следующим образом. По начальным сейсмот-

рассам, зарегистрированным при проведении шахтных сейсмических работ, рассчитывался обобщенный спектр скоростей (рисунок 4). Далее для определения типа поляризации колебаний в скоростных окнах, границы которых были получены на основе визуального анализа графика обобщенного спектра скоростей, проводился поляризационный и спектрально-временной анализ, по результатам которого идентифицируются волновые пакеты, отвечающие волнам продольной и поперечной поляризации.

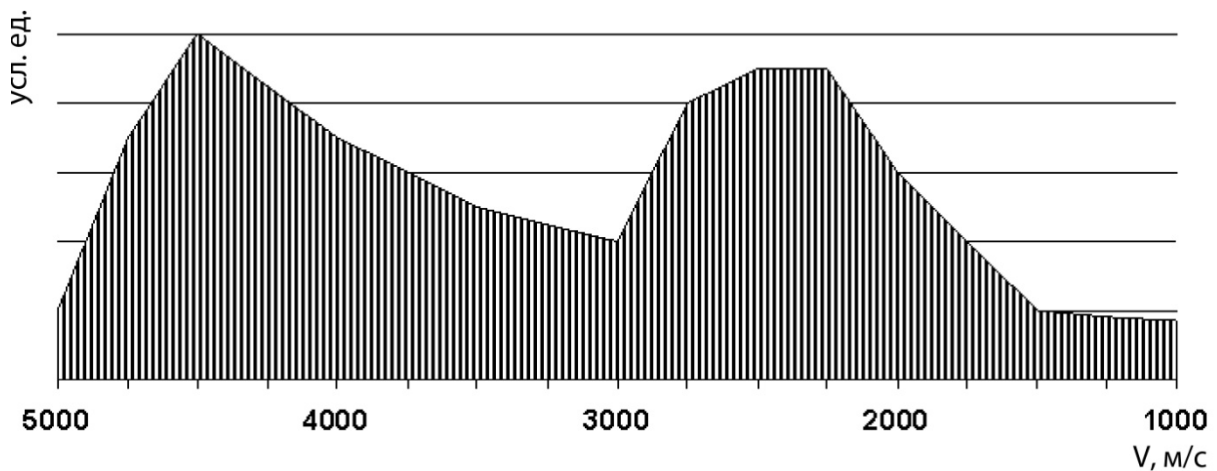


Рис. 4 Обобщенный скоростной спектр (лава 120 шахты «Довжанская-Капитальная»)

В скоростных окнах, которые отвечают волновым пакетам волн продольной и поперечной поляризации (от 3700 до 5000 м/с, а также от 2200 до 2800 м/с) выполнялся расчет следующих параметров:

- максимум модуля амплитуды (ММА);
- максимум энергетической характеристики;
- полная энергия в скоростном окне;
- средняя плотность энергии в скоростном окне;
- характерное время вступления сигнала;
- продолжительность сигнала;
- характерная скорость сигнала;
- характерная частота в спектре сигнала;
- ширина спектра сигнала;
- максимум спектральной характеристики.

При обработке материалов применены разные типы полосовых фильтров, имеющих разную крутизну, ширину, плотность, что позволило выбрать оптимальную полосу фильтрации, с использованием которой проводилась дальнейшая обработка данных. Распределение некоторых из параметров в плоскости исследуемого участка показано на рисунке 5.

Аномальные зоны в методе сейсмического просвечивания выделялись с учетом комплекса параметров, рассчитанных при обработке и проанализированных на планах распределения параметров. Сам метод сейсмического просвечивания допускает регистрацию интегральных характеристик волнового поля, а при обработке рассчитываются статистически достоверные значения параметров в каждой ячейке на плоскости просвечивания. Одного параметра (например, скорость упругих волн) недостаточно для интерпретации, хотя он может дать грубую оценку состояния массива пород. В связи с высоким уровнем техногенных волн-помех, часть сейсмических записей была профильтрована, поэтому параметры, основанные на частотной характеристике сигнала, не использовались.

На основании геолого-геофизической интерпретации материалов исследований в пределах участка наблюдения были выделены пять аномальных зон, представленных на рисунке 6.

Аномальная зона 1 характеризуется наличием ослабленных трещиноватых пород. В этих зонах наблюдается уменьшение амплитуды боковых волн на величину больше 25 %, а также сдвиг максимумов частотного спектра боковых волн на величину 20-25 Гц в низкочастотную область. Эти параметры отвечают критериям, представленным в работе [7] в качестве информативных.



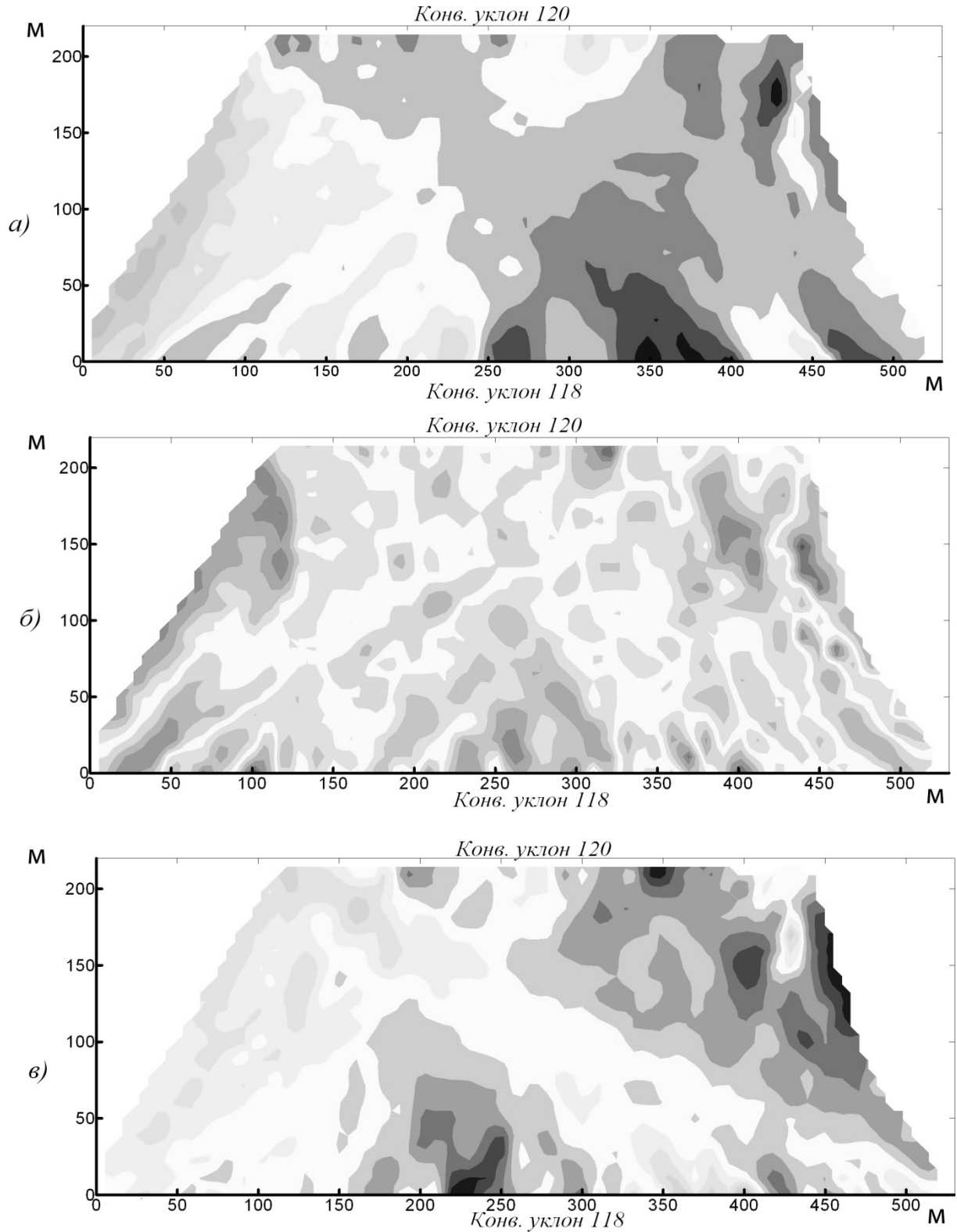


Рис. 5. Распределение параметров в плане 120-ой лавы шахты «Довжанская-Капитальная»: максимум модуля амплитуды (а); скорость максимума модуля амплитуды (б); частота сигнала (в)

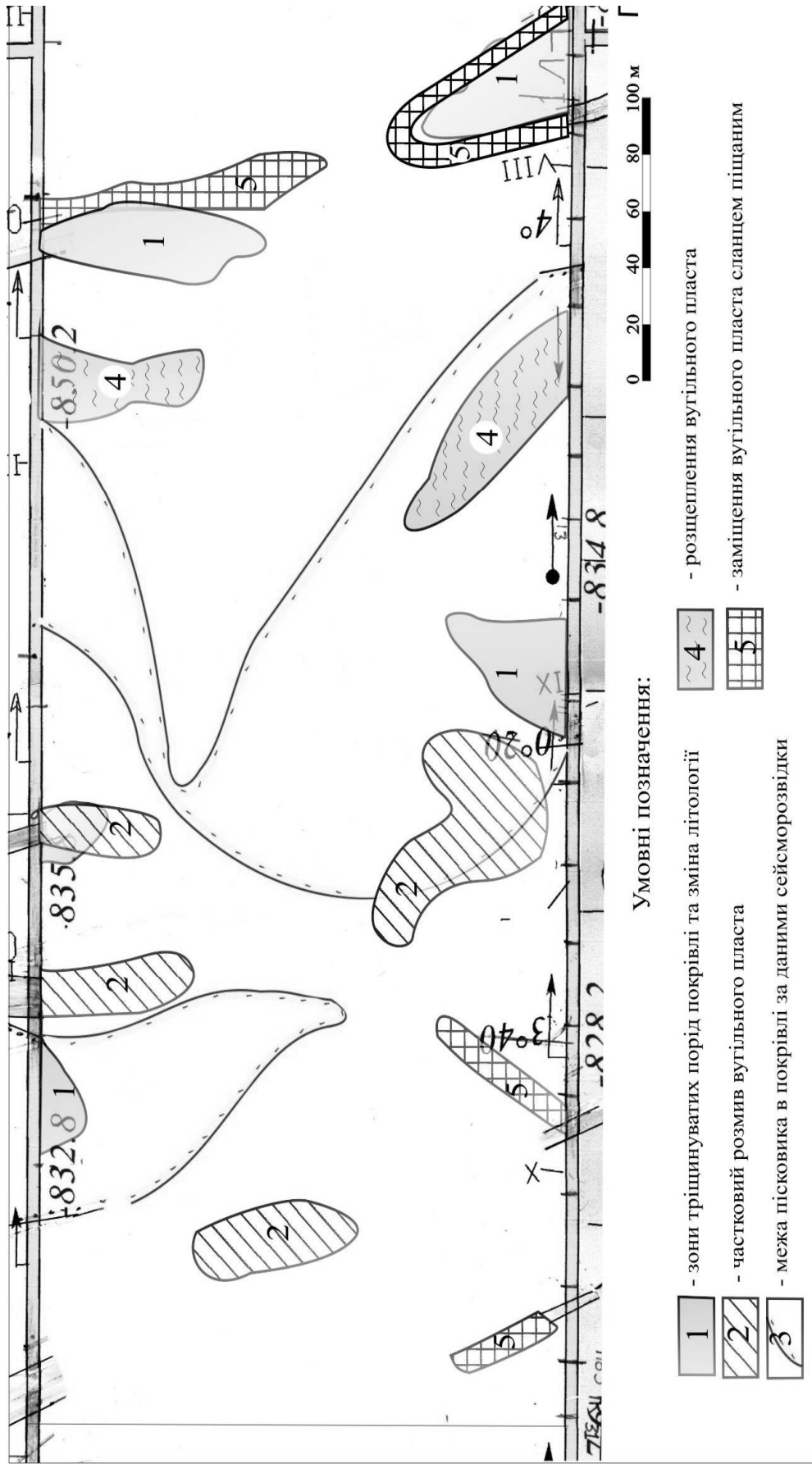


Рис. 6. Карта прогноза геотектонического состояния 120-ой лавы шахты «Довжанская-Капитальная» ГП «Свердловскантрацит»

В пределах аномальной зоны 2 отмечается частичный размыв угольного пласта и внедрение более плотных пород кровли. В пределах контуров аномальной зоны 3 показано распространения песчаника в кровле угольного пласта. Зоны изменения литотипа углепородного массива характеризуются резкими изменениями большинства параметров упругих волн относительно средних значений. При отсутствии угольного пласта и преобладании в разрезе песчаника, скорости упругих волн немного возрастают, частота сигнала резко увеличивается, возрастает амплитуда (энергия) акустических сигналов и уменьшается ширина спектра сигнала. При наличии угольного пласта и преобладании в разрезе песчано-глинистых пород, происходит уменьшение амплитуды сигналов, вплоть до полного исчезновения отдельных волновых пакетов и появления новых, уменьшение частоты, скорости и увеличение ширины спектра акустических сигналов.

Аномальная зона 4 характеризуется наличием расщепления угольного пласта и резким изменением мощности угольного пласта. В пределах аномальной зоны 5 отмечается замещение угольного пласта песчаным сланцем.

Погрешность определения контуров аномальных зон определяется половиной длины волны, которая составляет 10-15 м.

Таким образом, в данной работе выполнен прогноз зон геологических неоднородностей методом сейсмического просвещения и на конкретном примере показана эффективность применения математического моделирования на этапе теоретических исследований для выбора оптимальных амплитудно-частотных и скоростных параметров регистрируемых волновых пакетов.

## **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Анциферов А. В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. – Донецк: ООО «Алан», 2002. – 312 с.
2. Анциферов А. В. Основы шахтной сейсморазведки: Автореф. дис. докт. техн. наук: 30.11.2003 / Дон ФТИ. – Донецк, 2003. – 23 с.
3. Методические рекомендации по технологии шахтной сейсморазведки разрывных нарушений угольных пластов с исполь-

- зованием цифровых суммирующих сейсмостанций типа ШСС: РД: Утв. ВГО «Союзуглегеология» 20.04.91. – Донецк, 1991. – 150 с.
4. Глухов А. А. О программном комплексе моделирования сейсмических колебаний в угленосной толще / Наукові праці Національного технічного університету. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – Вип. 88. – С. 106-113.
  5. Глухов А. А. Автоматизация расчета поля сейсмических колебаний в угленосной толще при решении задач шахтной сейсморазведки / Наукові праці Національного технічного університету. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – Вип. 106. – С. 131-139.
  6. Глухов А. А. Математическое моделирование сейсмических полей в задачах шахтной сейсморазведки / Геотехническая механика, 2004. – № 49. – С. 87-92.
  7. Теоретичні і експериментальні дослідження процесів формування геодинамічних небезпечних зон в масиві гірських порід і розробка фундаментальних основ моніторингу гео- і газодинамічних явищ при гірничих роботах: звіт по НДР / УкрНДМІ; керівник А. В. Анциферов. – РФ 1/09; ДР 0108U003283. – Донецьк, 2009. – 131 с.