

УДК 550.834:622

ПРОГНОЗ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗАЛЕГАНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ МЕТОДАМИ ШАХТНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Тиркель М. Г., Компанец А. И., Базеева Р. П.
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Представлено результати застосування шахтної сейсморозвідки для прогнозу геологічних неоднорідностей вугільних пластів з метою підвищення темпів вуглевидобутку та безпеки гірничих робіт.

The results of underground seismic application to predict geological heterogeneities in coal seams in order to increase the rates of coal production and to improve mine safety are presented.

Процесс добычи угля является одним из наиболее сложных по сравнению с разработкой других полезных ископаемых. Он связан с решением множества проблем, возникающих под влиянием самых разнообразных факторов, главным из которых являются горно-геологические условия, от которых зависят рентабельность производства, применяемые технологии, эффективность и безопасность труда. Непредвиденные встречи тектонических нарушений при отработке угольных пластов приводят не только к экономическим потерям, но и являются причиной аварийности и травматизма. Поэтому их опережающий и достоверный прогноз чрезвычайно актуален. Традиционные геологические методы прогноза не удовлетворяют требования угольной промышленности. Это объясняется недостаточной разрешающей способностью методов, когда при любой сети наблюдений последние носят точечный характер, не дают возможности выяв-

лять и прогнозировать осложняющие геологические факторы, особенно внутри массива горных пород.

Альтернативными и более перспективными являются геофизические методы, в частности, методы шахтной сейсморазведки [1, 2]. Преимущества прогноза горно-геологических условий методами шахтной сейсморазведки заключаются в получении возможности опережающего выявления геологических нарушений угольного пласта в массиве горных пород и, соответственно, возможности заранее планировать встречные технологические мероприятия.

Основное отличие шахтной геофизики - это исследование массива горных пород не вкрест простирания слагающих его слоев, а по их простиранию. Так, особенностью шахтной сейсморазведки является то, что сейсмические колебания приходят в точку наблюдения не из полупространства, как это происходит в наземной полевой сейсморазведке, а распространяются по угольному пласту, где наиболее информативными являются интерференционные пластовые волны.

УкрНИМИ НАНУ проводит шахтные сейсмические работы с 1973 г. Разработаны теоретические и физические основы горной подземной геофизики. Выполнен значительный объем теоретических и экспериментальных исследований, разработана методология шахтных геофизических работ и цифровой обработки получаемых данных. Важнейшим этапом в развитии горной подземной геофизики является создание и совершенствование на современной элементной базе шахтной геофизической аппаратуры в искро-, взрывобезопасном исполнении, а также оригинальных обрабатывающих комплексов. Разработки института внедрены на угледобывающих предприятиях Украины и СНГ. За период с 2008 по 2011 год специалистами УкрНИМИ сейсморазведочные исследования были выполнены на 20 участках 10 шахт Донбасса (табл. 1).

Камеральная обработка и интерпретация результатов сейсмических исследований базируется на теоретических разработках, основанных на моделировании процессов распространения упругих волн в среде, отвечающей особенностям строения угленосных формаций, физическим характеристикам слагающих их

Таблица 1
 Результаты внедрения шахтной сейсморазведки на угольных месторождениях Донбасса
 (период 2008-2011 гг.)

№ п/п	Шахта	Плас т	Задача, метод	Сходи ди-
1	2	3	4	5
1	ш. «Должанская-Капитальная» ГП «Свердловантрацит»	$I_6^{н-2}$	Прогноз замещения угольного пласта сланцем песчаным, расщеплений, утонений и раздувов угольного пласта, зон повышенной трещиноватости и смены литологии пород кровли на участке 117-й лавы. Метод сейсмического просвечивания (МСП).	85 %
2	ш. «Должанская-Капитальная» ГП «Свердловантрацит»	$I_6^{н-2}$	Прогноз внедрения песчаника в угольный пласт, замещения угольного пласта сланцем песчаным, расщепления пласта, зон повышенной трещиноватости и смены литологии пород кровли на участке 120-й лавы. МСП.	83 %
3	ш. «Должанская-Капитальная» ГП «Свердловантрацит»	$I_6^{н-2}$	Прогноз внедрения сланца песчаного в угольный пласт на участке 124-й лавы. МСП и метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки (МОГТ).	МСП – 80%, МОГТ 95%
4	ш. «Моспинская» ДТЭК	h_4	Прогноз малоамплитудной тектонической нарушенности из 19-го воздухоподающего хода. МОГТ.	85 %–
5	ш. «Днепровская» ОАО «Павлоград-голь»	c_{10}^B	Прогноз местоположения сброса №14, его апофиз и малоамплитудных тектонических нарушений из 1084-го сборного штрека. МОГТ.	90 %
6	ш. «Моспинская» ДТЭК	h_4	Прогноз малоамплитудной тектонической нарушенности из 19-го воздухоподающего хода. МОГТ.	70 %

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
7	ш/у. им. Фрунзе ГП «Ровенькиантрацит»	h ₈	Уточнение местоположения и трассирование сброса Юскинского Восточного П и его апофиз в поле лавы №48 пан. и лавы №49 пан. МОГТ.	50 %
8	ш. «Днепровская» ОАО «Павлоградуголь»	c ₁₀ ^B	Выявление и картирование малоамплитудных тектонических нарушений по пласту c ₁₀ ^B на участке 1049-й лавы. МСП.	50 %
9	ш. «Моспинская» ДТЭК	h ₄	Прогноз малоамплитудной тектонической нарушения из 19-го воздухоподающего хода. МОГТ.	50 %
10	ш. «Западно-Донбасская» ОАО «Павлоградуголь»	c ₁₀ ^B	Прогноз местоположения и картирование Петровского сброса из восточного дренажного штрека пл. c ₁₀ ^B . МОГТ.	80 %
11	ОПП «Шахта «Никанор-Новая» ГП «Луганскуголь»	k ₆ ^B	Прогноз распространения тектонической трещины и зон повышенной трещиноватости на участке 5-й западной лавы. МСП.	100 %
12	ОПП «Шахта «Никанор-Новая» ГП «Луганскуголь»	k ₆ ^B	Прогноз распространения тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости на участке 5-й западной лавы. МОГТ.	95 %
13	ш. «Днепровская» ОАО «Павлоградуголь»	c ₁₀ ^B	Прогноз малоамплитудной тектонической нарушения на участке 1049-й лавы. МСП.	95 %
14	ш. «Днепровская» ОАО «Павлоградуголь»	c ₁₀ ^B	Прогноз малоамплитудной тектонической нарушения на участке 1086-й лавы. МСП	Лавы не отработана

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
15	ЧПП «Горняк-95»	k ₅	Картирование местоположения плоскостей сместителя и апофиз итальянского надвига из забоя 7-го южного откаточного штрека. Метод сейсмической локации впереди забоя (МСЛ)	100 %
16	ш. «Красноармейская-Западная №1», ш/у «Покровское»	d ₄	Прогноз распространения и картирование малоамплитудных тектонических нарушений, участков внедрения песчаника в угольный пласт. МСП и МОГТ.	МСП – 95 %, МОВ – 90 %.
17	ЧПП «Горняк-95»	k ₅	Картирование местоположения плоскостей сместителя итальянского надвига из забоя 7-го южного откаточного штрека. МСЛ	85 %
18	ш. им. А.Ф.Засядько	m ₃	Прогноз зон тектонической нарушения и зон изменения физических свойств в углевмещающем массиве в 18-й западной лаве. МСП и МОГТ.	Лавы не отработана
19	ЧПП «Горняк-95»	k ₅	Картирование местоположения плоскостей сместителя Грузского надвига и его апофиз из 7-го северного откаточного штрека. МСЛ и МОГТ.	МОВ – 90%, МСЛ – 60 %.
20	ш. «Краснолиманская»	l ₃	Прогноз зон малоамплитудной тектонической нарушения на участке 2-й западной лавы. МСП.	Лавы отработана частично 85 %
Сходимость (подтверждаемость)		Метод сейсмического просвечивания – 75 %, Метод отраженных волн – 81 %, Метод сейсмической локации – 82 %		

углевмещающих пород, включая геологические неоднородности [3, 4].

Одним из основных методов исследования геологических неоднородностей угольных пластов является шахтная сейсморазведка из горных выработок.

Условия проведения шахтных исследований определяются сочетанием горнотехнических и горно-геологических особенностей изучаемого участка (наличием горных выработок, соотношением их расположения с геометрическими показателями исследуемых геологических факторов и т. п.). Эти особенности определяют выбор модификаций сейсморазведочных методов, наиболее оптимальных для постановки экспериментальных работ.

Предметом поиска в шахтной сейсморазведке являются разнообразные типы геологических нарушений угольных пластов, под которыми понимаются изменения их строения, мощности, залегания, влекущие за собой существенное повышение себестоимости ведения горных работ и снижение их безопасности.

Основой применения геофизических методов для прогноза геологических нарушений служит положение об изменении физических свойств в зонах нарушений. В целом аномальные изменения этих свойств могут быть вызваны двумя важнейшими факторами, характеризующими геологические нарушения:

- повышенная трещиноватость горных пород, т. е. изменение генетического фактора, обуславливающего физические свойства – структурно-текстурного;

- собственно смена литологического типа пород, вытекающая из самой сути тектонических (дизъюнктивных) и морфологических (размывы) нарушений угольного пласта.

В целом, у обоих факторов обязательна смена в ряду: уголь – порода. И чем контрастней эта смена, т. е. чем больше амплитуда смещения у дизъюнктива или чем больше глубина эрозионного вреза у размыва, тем значительней будет проявление изменений физических свойств.

Шахтные сейсморазведочные работы, направленные на прогноз и исследование геологических нарушений угольного пласта, выполняются с использованием трех основных методов: метода

сейсмического просвечивания (МСП), метода отраженных волн (МОВ) и метода сейсмической локации впереди забоя горной выработки (МСЛ).

Сущность методов сейсморазведки в целом заключается в возбуждении, при помощи ударов кувалды с последующим накоплением сигналов, и регистрации упругих колебаний в пределах угольного пласта, в выделении и анализе динамических и кинематических параметров волн различных типов. В формировании волнового поля огромную роль играют процессы взаимодействия волновых пакетов различной природы. Повсеместно для условий каменноугольных формаций Украины в сигнале доминируют боковые волны (обычно волны сдвига) и волны, вторичные от таковых, хотя резкость акустических границ пласта и его мощность таковы, что создаются предпосылки для формирования каналовой волны. Каналовая волна для подавляющего большинства угольных пластов практически не формируется.

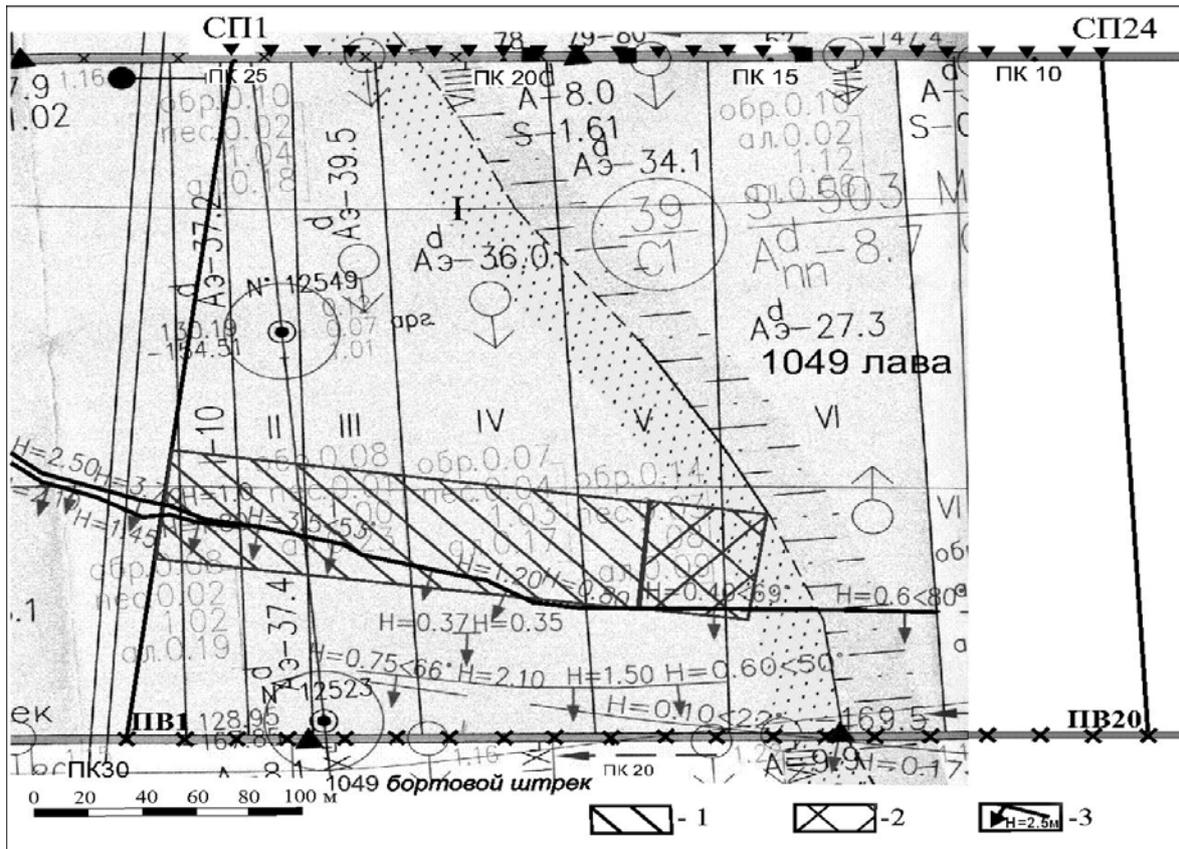
Выбор метода шахтных сейсморазведочных работ производится в каждом конкретном случае, исходя из поставленных задач, горнотехнических и горно-геологических условий.

Метод сейсмического просвечивания (МСП) заключается в возбуждении упругих колебаний, распространении их через массив горных пород, их регистрации в пределах исследуемого угольного пласта и анализе динамических и кинематических параметров волн различных типов.

Обязательным условием возможности применения МСП является наличие, по крайней мере, двух горных выработок по изучаемому угольному пласту (например, штрек и очистной забой; штрек и разрезная печь; вентиляционный и конвейерный штреки и т.п.). Одна горная выработка служит для размещения сейсмоприемников, другая - для возбуждения волн. Достигнутая дальность (глубинность) исследований МСП - 800 м

Рассмотрим конкретные примеры применения МСП для прогноза горно-геологических условий залегания и тектонической нарушенности угольных пластов (рис. 1 - 5).

На рис. 1 и таблице 1 показаны результаты сейсмических исследований МСП в лаве 1049 шахты «Днепровская» ОАО «Павлоградуголь».

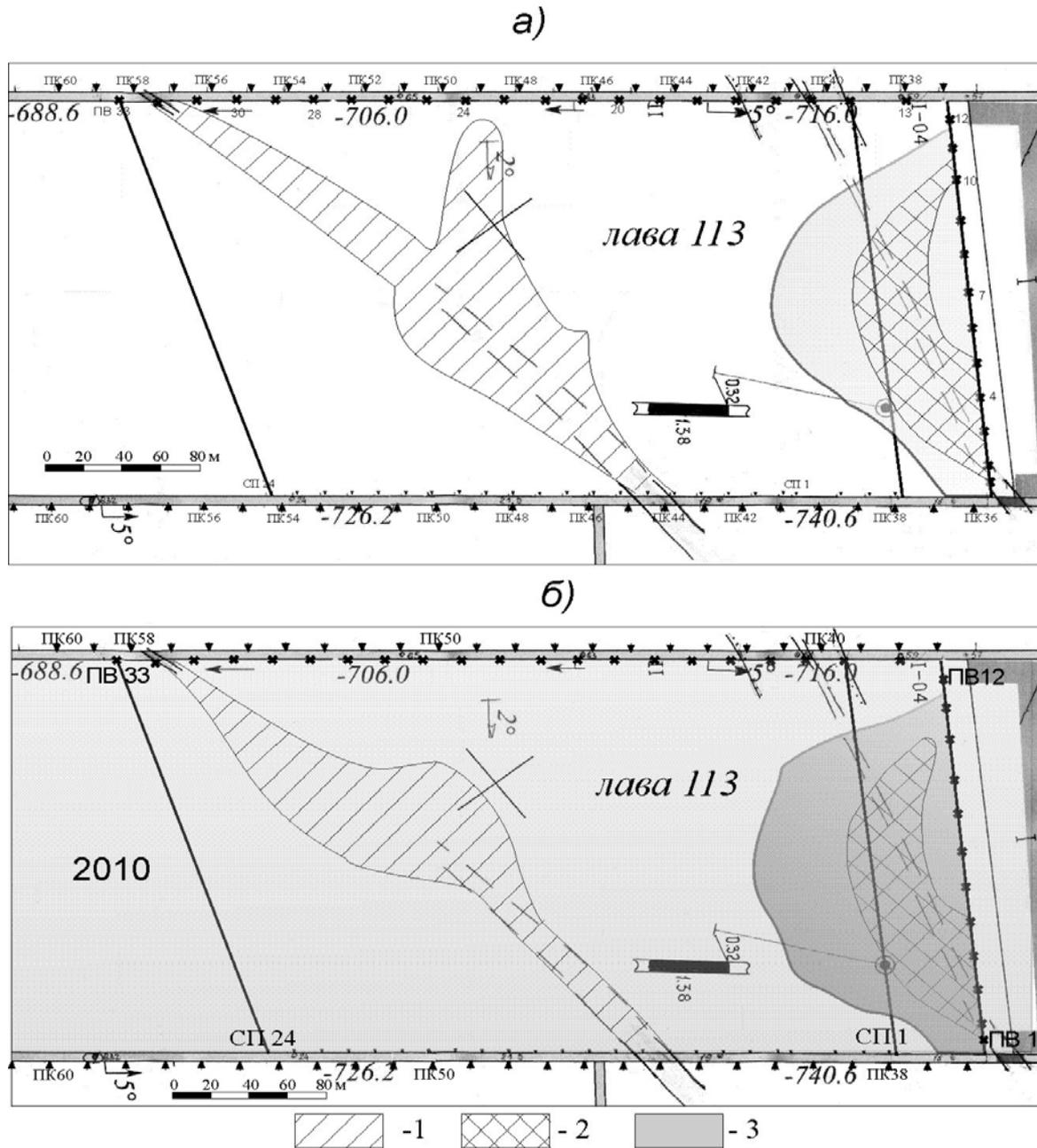


Зоны распространения тектонической нарушенности по данным сейсморазведки МСП: 1 – с амплитудой смещения выше мощности пласта; 2 – с амплитудой смещения ниже мощности пласта; 3 – тектонические нарушения встреченные при отработке лавы

Рис. 1. Результаты сейсмических исследований МСП в лаве 1049 шахты «Днепровская» ОАО «Павлоградуголь»

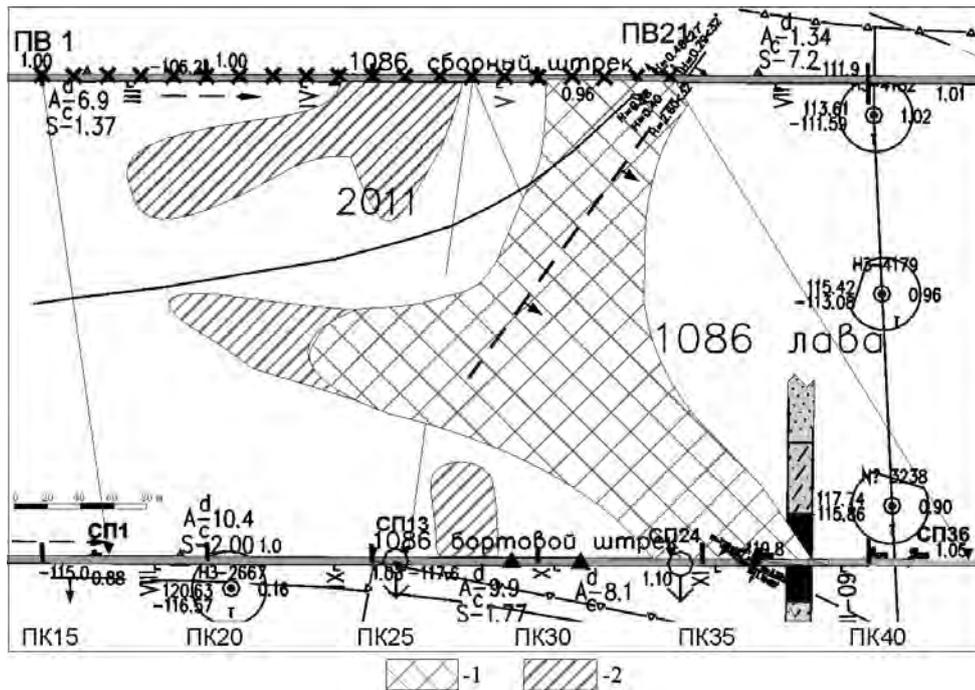
Результаты сейсмических исследований МСП в 113 лаве шахты «Должанская-Капитальная» показаны на рис. 2. Геологической задачей исследований был прогноз зон расщепления и размыва угольного пласта l_6^{H-2} в плане лавы и картирование зон ослабленных трещиноватых пород и угля верхней пачки при максимальном расщеплении пласта.

В таблице 1 представлены результаты сейсмических исследований МСП в лаве 1049 ш. «Днепровская» ОАО «Павлоградуголь» (рис. 3) и на участке 18 зап. лавы ш. им. А. Ф. Засядько (рис. 4).



1 - частичный размыв угольного пласта; 2 - зона ослабленных трещиноватых пород и угля; 3 - расщепление пласта

Рис. 2. Результаты сейсмических исследований МСП (а) и результаты отработки лавы (б) в 113-й лаве шахты “Должанская-Капитальная”



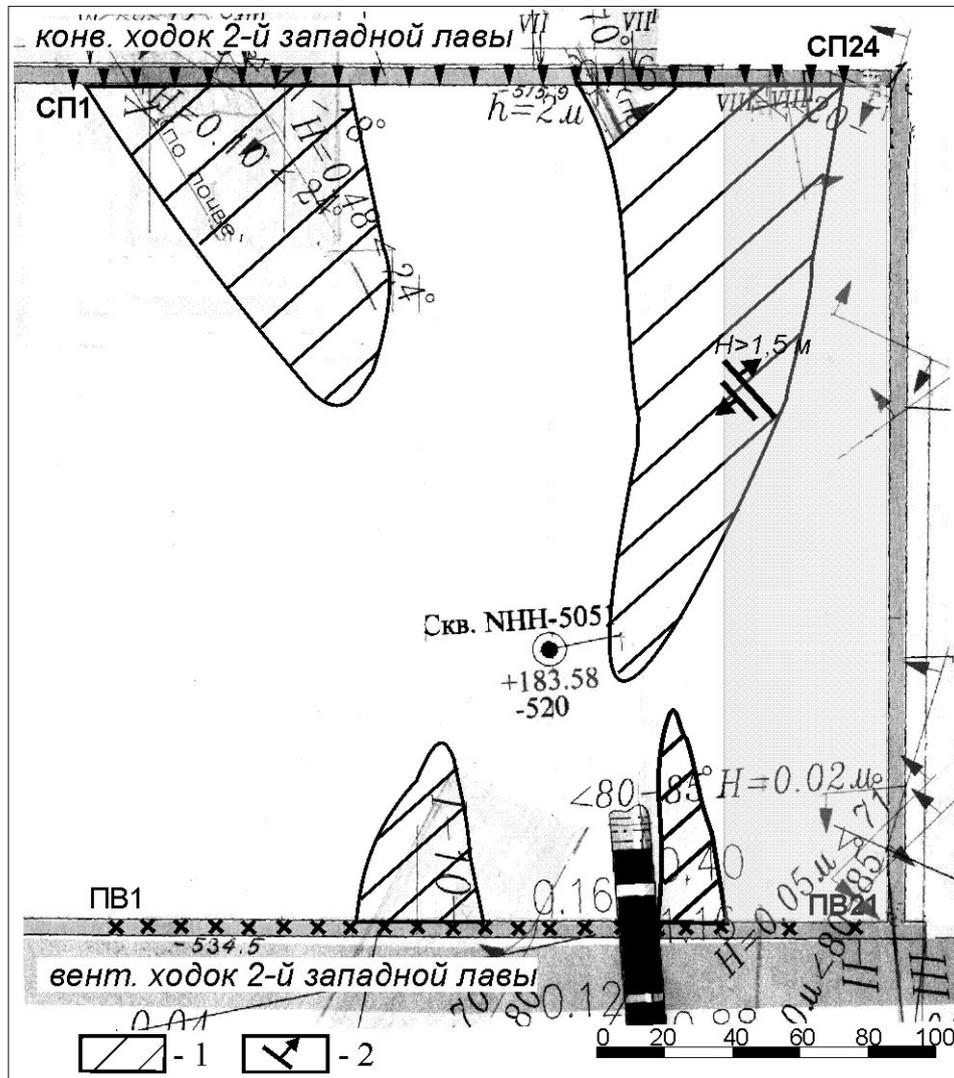
Зоны тектонической нарушенности с амплитудой смещения: 1 - выше мощности пласта; 2 - ниже мощности пласта

Рис. 3. Результаты сейморазведочных работ МСП в лаве 1086 шахты “Днепровская”



Рис. 4. Сейсмические исследования МСП на участке 18-й западной лавы шахты им. А. Ф. Засядько

Результаты сейсмических исследований МСП на участке 2 западной лавы шахты “Краснолиманская” представлены на рис. 5 и таблице 1.



1 – зоны тектонической нарушенности по данным сейсморазведки;
2 – тектоническое нарушение по данным отработки лавы

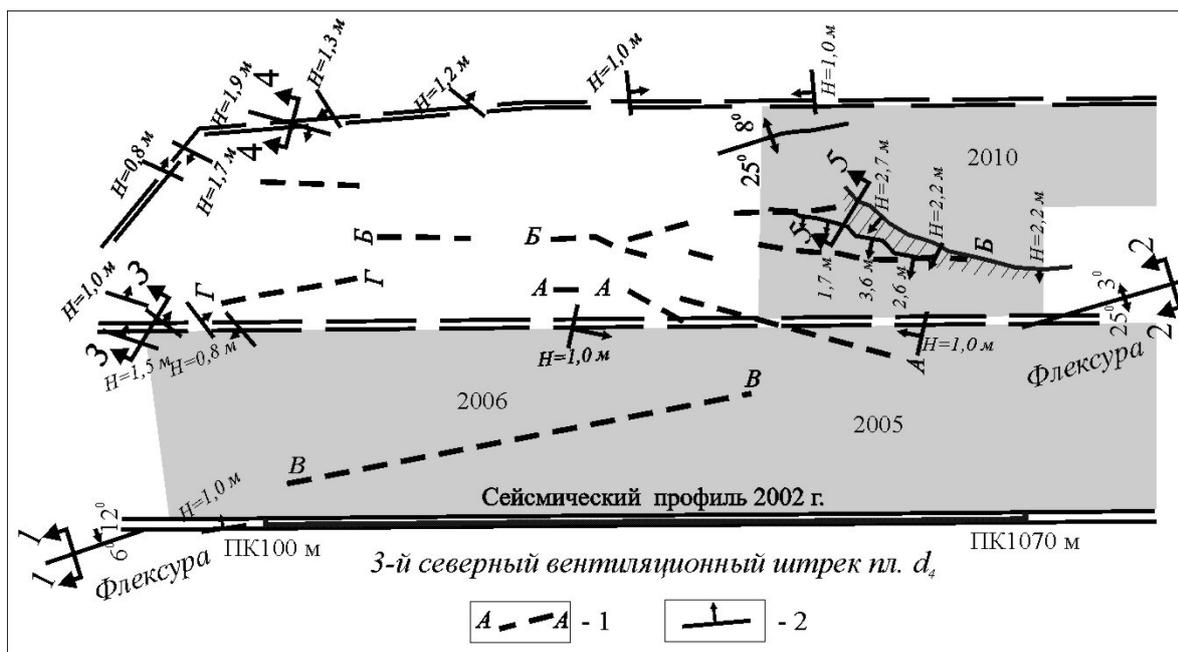
Рис. 5. Результаты сейсморазведочных работ МСП на участке 2-й западной лавы шахты “Краснолиманская”

Метод отраженных волн (МОВ) заключается в возбуждении сигналов и регистрации упругих колебаний в пределах исследуемого угольного пласта и выделении волн различных типов, отраженных от неоднородностей строения массива горных пород.

Возможности и основное назначение МОВ заключаются в выявлении из одиночной горной выработки и трассировании тектонических разрывных нарушений с амплитудой более 0,5 мощности пласта и размывов угольного пласта с глубиной эрозионного вреза более половины мощности пласта.

В настоящее время достигнута дальность прогноза нарушений угольного пласта МОВ до 250 м. Однако, лучшие результаты фиксируются на расстояниях до разведываемого нарушения в пределах 25-100 м. Надежность метода в сложных горно-геологических условиях составляет 80 %.

Рассмотрим конкретные примеры применения МОВ и результаты комплексирования методов МСП и МОВ для прогноза горно-геологических условий залегания и тектонической нарушенности угольных пластов (рис. 6 – 8).

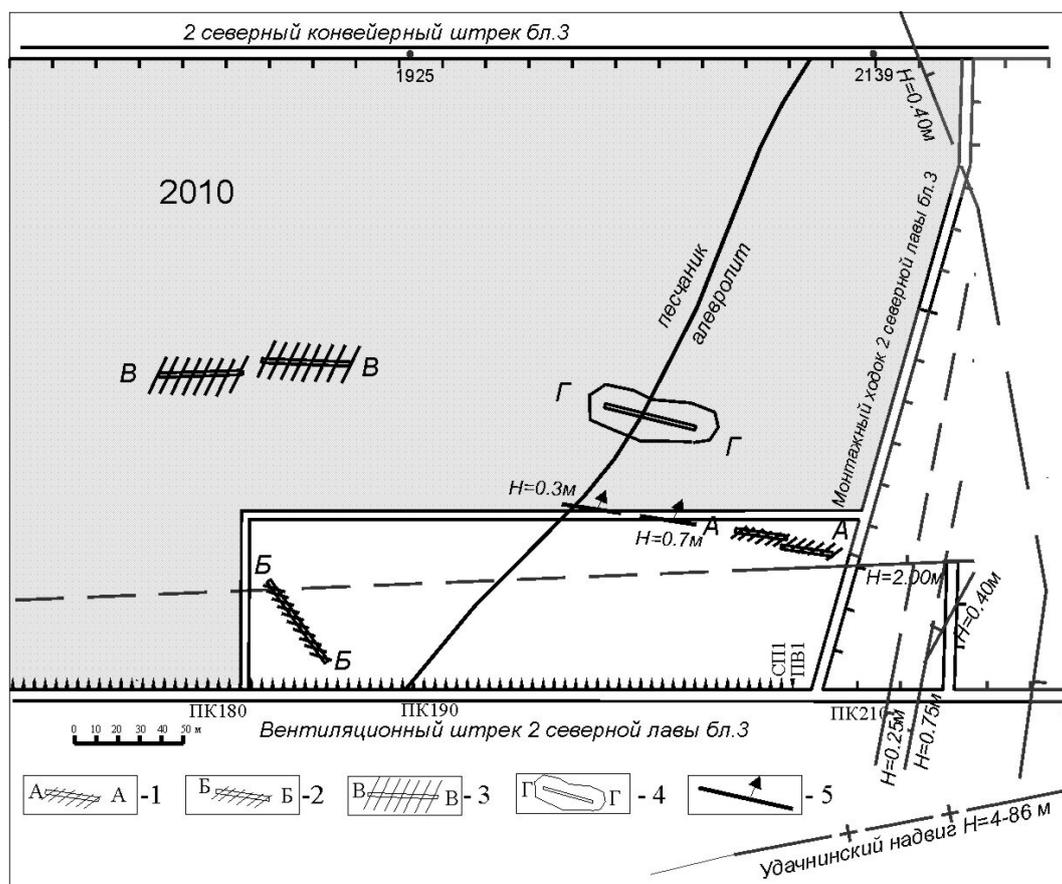


1 - тектоническое нарушение по сейсмическому прогнозу;
2 - тектонические нарушения, встреченные горными работами после сейсмической разведки

Рис. 6. Результаты сейсморазведочных работ МОВ на участке шахты “Красноармейская-Западная”

Результаты сейсмических исследований МОВ из 3 сев. вентиляционного штрека 3 сев. лавы пл. d_4 ш. “Красноармейская-

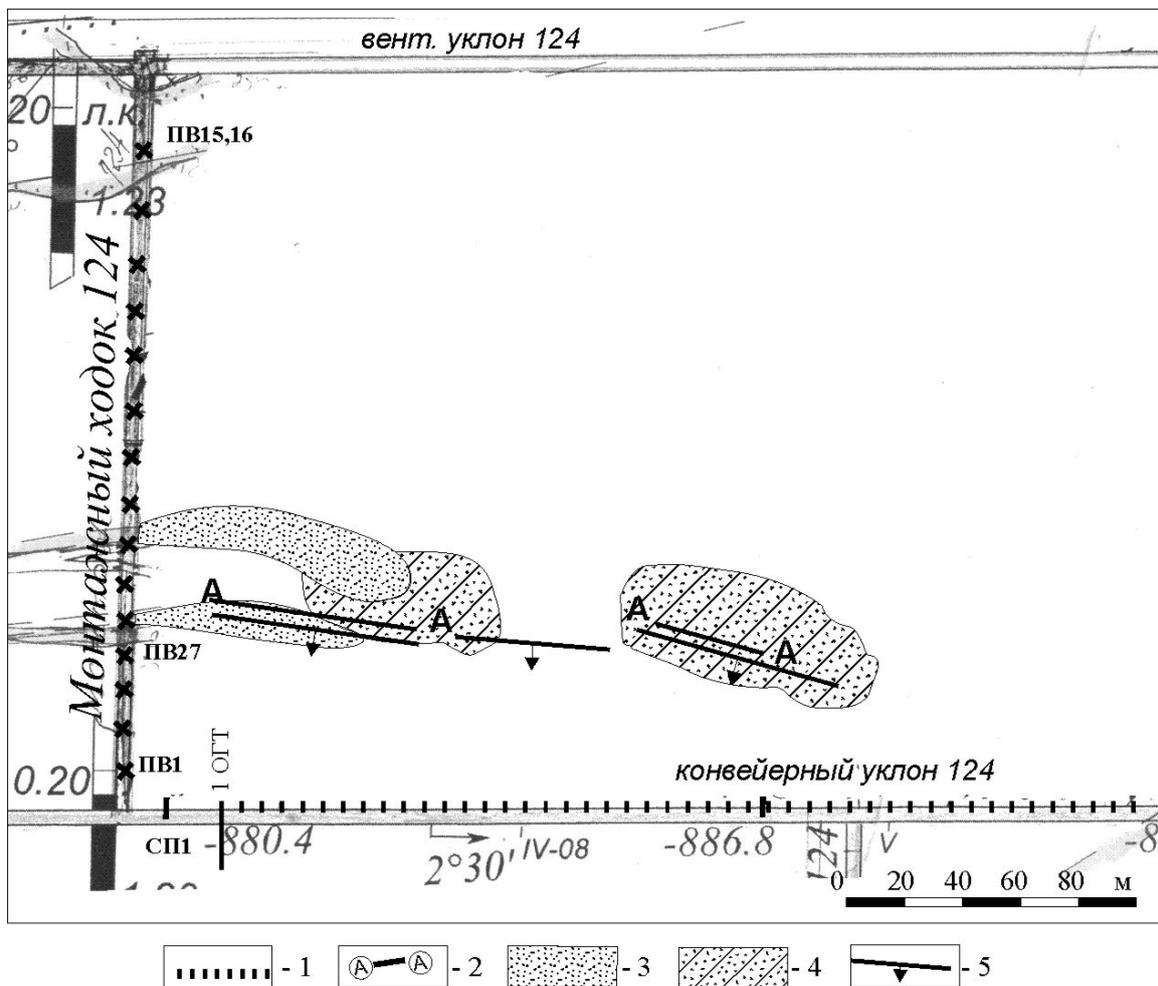
Западная № 1” представлены на рис. 6. Геологической задачей исследований был прогноз местоположения Удачинского надвига № 2 и его апофиз, а также прогноз малоамплитудной тектонической нарушенности на планируемом к отработке участке шахтного поля выше 3 сев. лавы. Максимальная дальность исследований МОВ ОГТ составила 350 метров. По результатам отработки 4 сев. лавы сходимость (подтверждение) результатов сейсмических работ составляет 80 %.



1 – тектоническое нарушение порядка и выше мощности пласта; 2 – тектоническое нарушение порядка и ниже мощности пласта; 3 – зона повышенной трещиноватости или тектоническое нарушение порядка и ниже мощности пласта; 4 – участок смены литологии вмещающих пород, или тектоническое нарушение порядка и ниже мощности пласта; 5 – тектоническое нарушение вскрытое горными работами после сейсморазведки

Рис. 7. Результаты сейсмических исследований МСП и МОВ на участке 2-й северной лавы пласта d_4 блока № 3 на шахте “Красноармейская-Западная № 1”

Метод сейсмической локации (МСЛ) впереди забоя выработки заключается в возбуждении и регистрации упругих колебаний непосредственно на груди забоя и выделении волн различных типов, отраженных от неоднородностей строения массива горных пород.



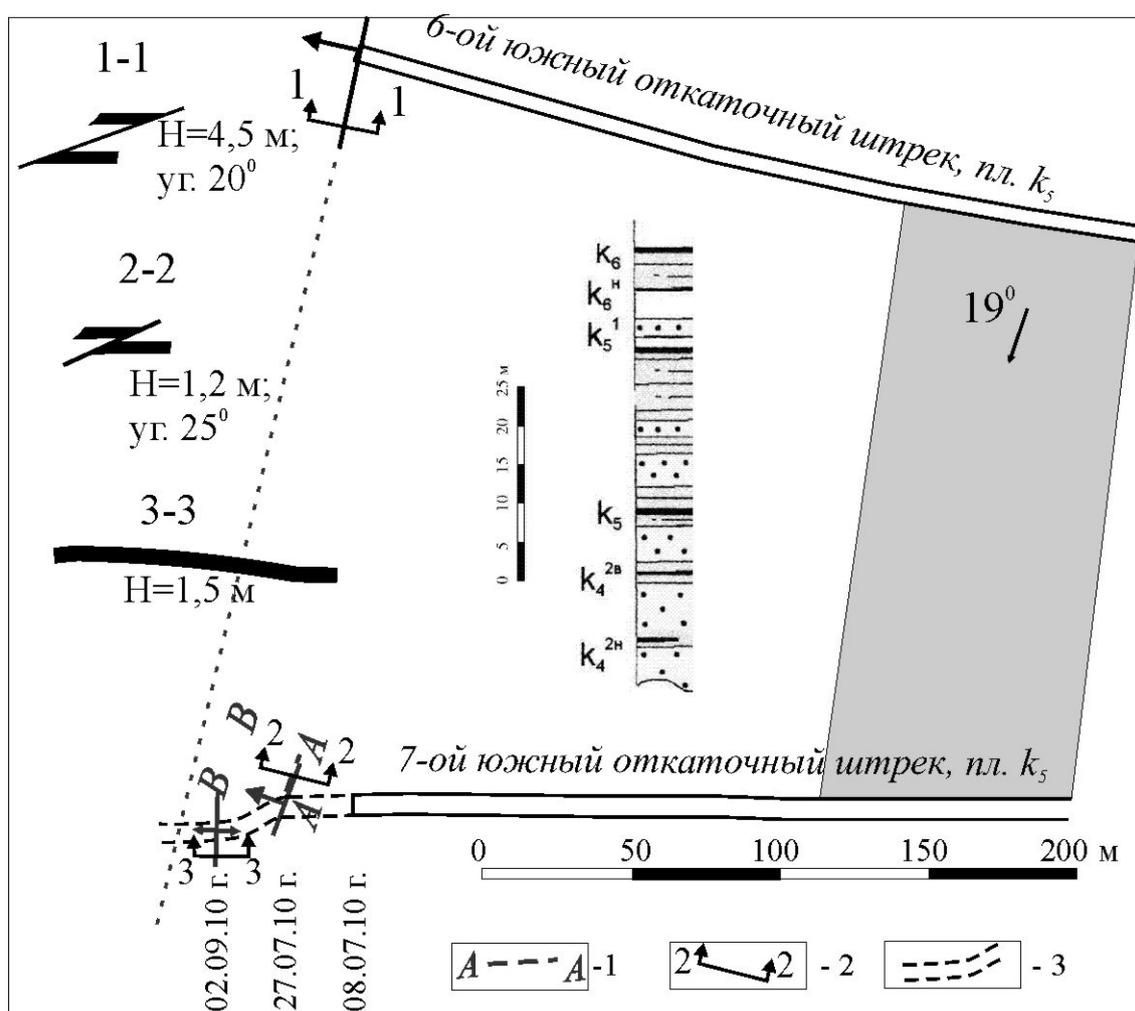
1 - сейсмический профиль; 2 - отражающие элементы; 3 - полное замещение угольного пласта песчаным сланцем; 4- частичное замещения угольного пласта песчаным сланцем; 5 - граница замещения угольного пласта или основной кровли песчаными породами по результатам отработки лавы

Рис. 8. Результаты сейсмических исследований МОГТ и МСП в 124 лаве шахты "Должанская-Капитальная"

Область применения МСЛ – определение местоположения разрывных нарушений угольного пласта, участков его размывов,

а также зон повышенной трещиноватости, в том числе для пластов потенциально опасных по внезапным выбросам.

Максимальная дальность исследований МСЛ составляет 60 - 80 метров. Надежность выявления тектонических разрывных нарушений и размывов угольных пластов, а также зон повышенной трещиноватости - составляет порядка 80 %. Погрешности определения пеленга на отражающий элемент до 10° , а расстояния до нарушения ± 5 м.



1 - тектоническое нарушение по данным сейсморазведки; 2 - тектоническое нарушение по данным последующих горных работ; 3 - горные выработки пройденные после проведения сейсморазведки

Рис. 9. Результаты сейсмических исследований МСЛ на шахте «Горняк-95»

Анализ результатов применения методов шахтной сейсморазведки для прогноза геологических неоднородностей углепородного массива и материалов подтверждения результатов горными работами показал, что наиболее востребованными являются методы картирования малоамплитудных тектонических нарушений из одиночных горных выработок – метод отраженных волн и метод сейсмической локации впереди забоя выработки. Эти методы наиболее достоверны и надежны как для решения технологических задач раскройки шахтного поля, так и для безопасной и эффективной работы в опасных по горно-геологическим осложнениям зонах.

Одним из важнейших путей совершенствования методов шахтной сейсморазведки является повышение преобладающей частоты в спектре источника упругих колебаний и, соответственно, разработка более высокочастотных сейсмоприемников. В настоящее время преобладающая частота регистрируемых полезных волн составляет 40–80 Гц, а ее повышение до 150-200 Гц позволит выделять тектонические нарушения с амплитудой смещения менее 0,5 мощности пласта и увеличить точность определения их местоположения.

Накопленный практический опыт внедрения геофизического прогноза на угледобывающих предприятиях Украины показал реальную возможность использования результатов шахтной сейсморазведки для обоснованного планирования основных технико-экономических показателей шахтных эксплуатационных работ, таких, как нагрузка на очистной забой, количество и размеры добычных участков, сроки ведения работ, технология и мероприятия по отработке зон геологических осложнений и т.п., что определяет производительность, себестоимость и безопасность угледобычи.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Азаров Н. Я., Яковлев Д. В. Сейсмоакустический метод прогноза горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений. – М.: Недра, 1988. – 199 с.

2. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. – Донецк: ООО “Алан”, 2003. – 312 с.
3. Глухов А. А., Анциферов А. В. Метод определения типа и параметров малоамплитудной тектонической нарушенности угольного пласта // Зб. наукових праць “Проблеми гірського тиску”. – Донецьк: ДонНТУ, 2001. – № 5. – С. 16 – 36.
4. Глухов А.А. О программном комплексе моделирования сейсмических колебаний в угленосной толще // Наукові праці Національного технічного університету. – Донецьк: ДонНТУ. – 2005. – 88. – С. 106 – 113.