

УДК 550.834:622.12

*Посвящается памяти
Михаила Годелевича Туркеля*

**СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
НАРУШЕНИЙ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ
ВЕРХНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ БАССЕЙНОВ СТРАН СНГ**

Майборода А. А.

(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Проаналізовано гірничо-геологічні умови експлуатації найбільших верхньопалеозойських вугільних басейнів країн СНД (Донецького, Кузнецького, Печорського, Карагандинського, Підмосковного, Львівсько-Волинського) і розроблено сейсмогеологічні моделі основних типів геологічних порушень вугільних пластів у цих басейнах для теоретичного обґрунтування постановки шахтної сейсмозвідки з метою прогнозу цих ускладнень.

Mining and geological conditions for exploitation of the largest Upper Paleozoic coal basins (Donets, Kuznetsk, Pechora, Karaganda, Moscow, and Lviv-Volyn) are reviewed and seismic and geological models for basic coal seam faults in these basins are built with the aim of theoretical justifying seismic exploration in mines to predict faults.

Анализ горно-геологических условий эксплуатации крупнейших верхнепалеозойских угольных бассейнов стран СНГ, характеризующихся подавляющим преобладанием подземного (шахтного) способа разработки, показал, что, несмотря на многие общие характеристики, для каждого из них присущ индивидуальный комплекс геологических осложнений и степень их влияния на отработку запасов углей.

Разнообразие горно-геологических условий угольных бассейнов, главным показателем которых являются геологические нарушения угольных пластов, обусловлено особенностями генезиса и, соответственно, строения слагающих их угленосных формаций. В результате эти нарушения имеют различные масштабы распространения в угленосных толщах различных угольных бассейнов и степень влияния на эффективность и безопасность отработки угольных пластов. Относительная сравнительная их значимость в этом аспекте приведена в таблице 1 [1], позволяющей персонифицировать важнейшие направления и задачи прогноза геофизическими методами в конкретных угольных бассейнах.

Эффективность решения задач прогнозирования геологических нарушений угольных пластов методами шахтной сейсморазведки, надежность интерпретации данных сейсморазведки во многом зависят от достоверности обоснования моделей этих нарушений в определенных сейсмогеологических условиях [2-5]. Сейсмогеологическое моделирование и на его основе моделирование математическое всегда должно предшествовать проведению сейсморазведки. Причем, в каждом случае должны быть использованы предпосылки и закономерности, полученные по результатам сейсмогеологического анализа угленосных формаций тех или иных угольных бассейнов.

Под сейсмогеологическим моделированием подразумевается построение корректной физико-геологической модели исследуемой реальной структуры, максимально отвечающей совокупности фактических геологических и сейсмических характеристик изучаемой части угленосного массива. В основу моделирования должны быть заложены определенные упругие и петрофизические характеристики углей и вмещающих пород и их изменений в зонах геологических нарушений. Для реальной оценки аномалиеобразующих факторов с учетом геологических особенностей угленосных формаций рассматриваемых бассейнов, их физических характеристик и значимости геологических нарушений, сейсмогеологическое моделирование необходимо осуществлять для каждого из них отдельно.

Таблица 1
 Относительная значимость геологических нарушений и осложнений по их влиянию
 на отработку запасов углей (с учетом их распространения) [1]

	Геологические нарушения и осложнения														
	тектонические				седиментационные							гидрогеологические			
	дизъюнктивы		пликативы		неровности кровли, почвы	расщепления	выклинивания	раздувы, утонения	размывы	карсты	кластические инъекции	труднообрушаемая кровля	зоны повышенной трещиноватости	карсты	глиняные зоны в мерзлоте
	сорсы	надлиги	Волновые												
линейные			брахиформы	округлые											
Донецкий	++	+	++	+	+	-	+	++	+	-	+	++	+	-	-
Кузнецкий	++	+	++	-	-	-	+	++	+	-	+	++	+	-	-
Печорский	++	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	++	+	+
Карагандинский	++	-	-	+	+	-	+	+	++	+	-	-	+	-	-
Подмосковный	-	-	-	+	+	+	+	++	++	++	-	-	-	++	-
Львовско-Волынский	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-

Условные обозначения: «++» - существенная; «+» - подчиненная; «-» - незначительная или отсутствие.

Донецкий угольный бассейн

По генетической классификации угленосных формаций Донецкий бассейн относится к типу передовых (краевых) прогибов геосинклинальной группы орогенного этапа развития с преобладающими лагунно-морскими и лагунно-озерными фациальными обстановками осадконакопления и углеобразования [6]. В геоструктурном отношении он относится к Доно-Днепровскому прогибу протерозойского заложения, представляющего собой сложную гетерогенную структуру, наложенную на позднепротерозойский авлакоген, который, начиная с позднего визе, был вовлечен в геосинклинальное развитие южных окраин Восточно-Европейской платформы [7]. Начиная с конца раннего и до начала позднего карбона включительно происходило накопление мощной паралической угленосной субформации.

Геологическое строение угленосных формаций Донецкого бассейна свидетельствует о том, что слагающие их угленосные толщи или среда постановки сейсморазведочных исследований представляет собой типичную слоисто-однородную структуру, включающую ритмичное чередование гранулометрически различных по разрезам и сравнительно однородных по наслоению литологических разностей терригенных пород с включением угольных пластов и известняков. Суммарная мощность каменноугольных образований по бассейну колеблется в широких пределах, достигая в районе г. Шахты 18 км [8]. Отмечается закономерное увеличение мощностей всех свит карбона от периферии к центру (к осевой линии бассейна) и с запада на восток.

Примерное процентное соотношение литологических разностей пород в угленосной толще следующее [8]: песчаники – 25 – 30 %; аргиллиты и алевролиты (глинистые и песчаные сланцы) – 60 – 70 %; известняки – 1 %; угли – 1 %. Всего пластов и прослоек известняков до 250, углей – до 300.

Для Донецкого бассейна характерна следующая типизация шахтопластов (по усредненным данным Института горного дела им. А. А. Скочинского) [3]:

- угольные пласты бассейна, по мощности, относятся к группе тонких и весьма тонких (81 %), остальные (19 %) – средней мощности;

- 50 % разрабатываемых шахтопластов залегает полого. Однако диапазон углов наклона угольных пластов значительно расширен в сторону крутых падений;
- основная масса шахтопластов (95 %) разрабатывалась на глубинах от 300 до 1000 м. В настоящее время на крупнейших шахтах глубины разработки более 1000 м);
- угленосные формации бассейна включают пласты углей широкого диапазона метаморфических преобразований: от длиннопламенных до антрацитов включительно;
- распределение угледобычи по маркам углей в основном отвечает распределению последних по марочному составу;
- залегание угольных пластов в крупных структурах, как правило, осложняется разрывными нарушениями второго порядка: 45 % шахтопластов относится к простому типу I по дизъюнктивной нарушенности, 10 % – средней сложности (тип II), 15 % – к III типу (сложный), 30 % – к IV типу (весьма сложный);
- мелкоамплитудные разрывные нарушения подразделяются на переходимые и непереходимые. В этом плане шахтопласты характеризуются коэффициентом переходимости ($K_{пер.}$) и распределяются по $K_{пер.}$ в следующем порядке: 40 % нарушений – непереходимые, у остальных $K_{пер.}$ составляет от 10 до 100 %;
- строение и состояние углевмещающих пород, их состав, трещиноватость, наличие поверхностей ослабления на контактах слоев определяют поведение кровли угольных пластов при их отработке. В соответствии с типизацией кровель для Донбасса характерно преобладание пластов со среднеустойчивой и неустойчивой непосредственной кровлей, легкообрушаемой и среднеобрушаемой основной кровлей;
- серьезные осложнения при очистных работах вызывают нарушения морфологии угольных пластов, в частности, их размывы. Типизация шахтопластов по пораженности их размывами определяется отношением площади размывной части пласта к его общей площади;
- водообильность угленосных отложений и, соответственно, обводненность шахт относительно невелика. Однако по 12 % шахтопластов наблюдались внезапные прорывы вод с дебитом от 3 до 2300 м³/час;

- в бассейне преобладают сверхкатегорийные по газу и опасные по выбросам шахтопласты.

В целом, горно-геологические условия отработки угольных пластов Донецкого бассейна весьма разнообразны, как разнообразны и обусловленные ими различные осложнения (см. табл. 1). Последние зачастую взаимосвязаны, т.е., если говорить о задачах горно-геологического прогноза, например, в выемочном столбе, то в каждом из них, как правило, можно встретить не менее двух типов осложнений.

Наиболее распространенными и значимыми геологическими нарушениями и связанными с ними осложнениями в Донецком бассейне являются тектонические мелкоамплитудные дизъюнктивные нарушения, в меньшей степени – пликативные, значительные осложнения могут возникать при нарушении морфологии угольных пластов – их размывов. С зонами повышенной трещиноватости массивов горных пород связаны такие осложнения, как неустойчивость кровли угольных пластов и прорывы подземных вод в горные выработки. Эти факторы подлежат первоочередному сейсмогеологическому моделированию для исследования происходящих волновых процессов.

В основу каждой сейсмогеологической модели закладывается информация о положении моделируемого участка разреза угленосной толщи в петрофизическом разрезе бассейна и соответствующие упругие характеристики углей и углевмещающих пород, усредненные значения которых приведены в таблице 2.

Заслуживает внимания зона инверсии физических свойств пород и углей на границе раннего и среднего катагенеза (между бурыми и каменными углями), объясняемая крупнейшими, но не равнозначными для всех литотипов, их перестройками на этой границе [9]. Кроме того, наблюдается некоторая стабилизация значений упругих волн на границе позднего катагенеза - раннего метагенеза (угли марок ОС-Т) за счет дальнейшего преобразования пород с появлением плитчатости, сланцеватости, сопровождаемые увеличением их хрупкости и трещиноватости [10].

Таблиця 2

Усредненные значения упругих характеристик углевмещающих пород и углей Донбасса и их изменения в зависимости от стадий эпигенеза (по лабораторным испытаниям образцов и расчетным (V_s) данным) [3]

Стадия эпигенеза	Марка углей	$\rho, 10^{-3} \text{ кг/м}^3$				$V_p, \text{ км/с}$				$V_s, \text{ км/с}$				
		песчаник	алевролит	аргиллит	уголь	песчаник	алевролит	аргиллит	уголь	песчаник	алевролит	аргиллит	уголь	
катагенез	ранний	Б	2,38	2,37	2,36	1,85	2,0	2,2	2,4	1,5	1,2	1,2	1,2	0,8
	средний	Д	2,45	2,48	2,50	1,90	2,9	2,9	2,9	2,2	1,7	1,6	1,4	1,1
		Г	2,59	2,65	2,67	1,85	3,6	3,3	3,1	2,0	2,1	1,8	1,5	1,0
	поздний	Ж	2,62	2,67	2,69	1,80	3,9	3,5	3,2	1,9	2,2	1,9	1,6	0,9
		К	2,63	2,67	2,69	1,75	4,2	3,6	3,3	1,8	2,4	2,0	1,7	0,9
		О С	2,65	2,68	2,70	1,80	4,2	3,6	3,3	1,8	2,4	2,0	1,7	0,9
метагенез	ранний	Т	2,67	2,70	2,71	1,90	4,2	3,6	3,3	2,0	2,4	2,0	1,7	1,0
	А	2,70	2,72	2,74	2,20	5,2	3,9	3,6	2,6	3,0	2,1	1,8	1,3	

Примечания: 1. Приведенные значения усреднены для стадии в целом (относятся к её средней части).

2. У известняков упругие свойства не зависят от стадии эпигенеза. Их усредненные значения следующие: $\rho = 2,63 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; $V_p = 4,5 \text{ км/с}$; $V_s = 2,5 \text{ км/с}$.

3. Усредненные значения $\gamma(V_s/V_p)$: песчаники – 0,58; алевролиты – 0,55; аргиллиты – 0,50; угли – 0,51; известняки – 0,58.

Прежде чем перейти к моделированию геологических нарушений, очевидно, целесообразно представить сейсмогеологические модели разрезов ненарушенных угольных пластов исходя из наиболее часто встречаемых литологических разновидностей их кровли и почвы (рис. 1.)

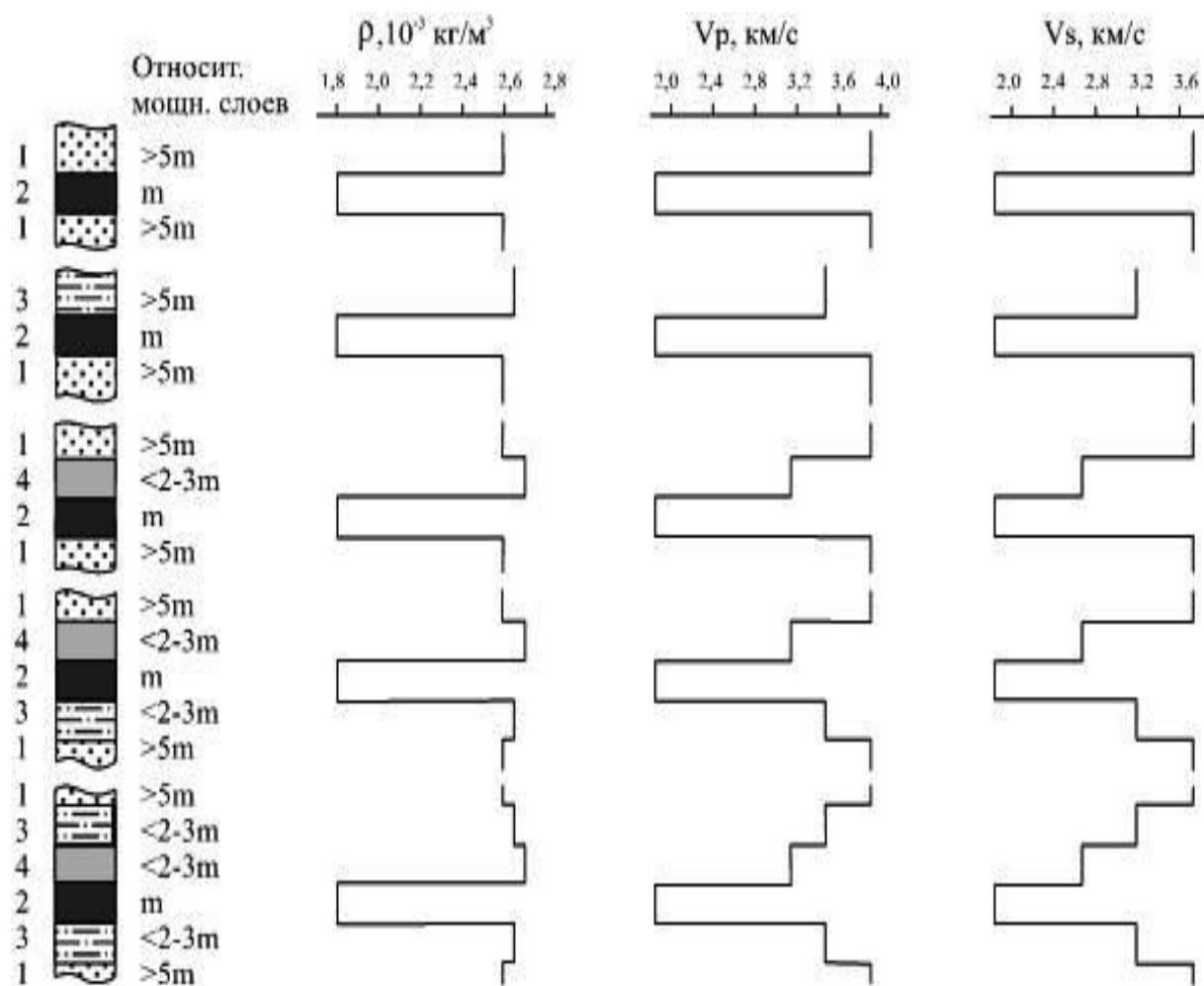


Рис. 1. Основные типы сейсмогеологических разрезов угольных пластов Донбасса (сопоставление значений упругих свойств на примере стадии эпигенеза с углями марки Ж) [3]

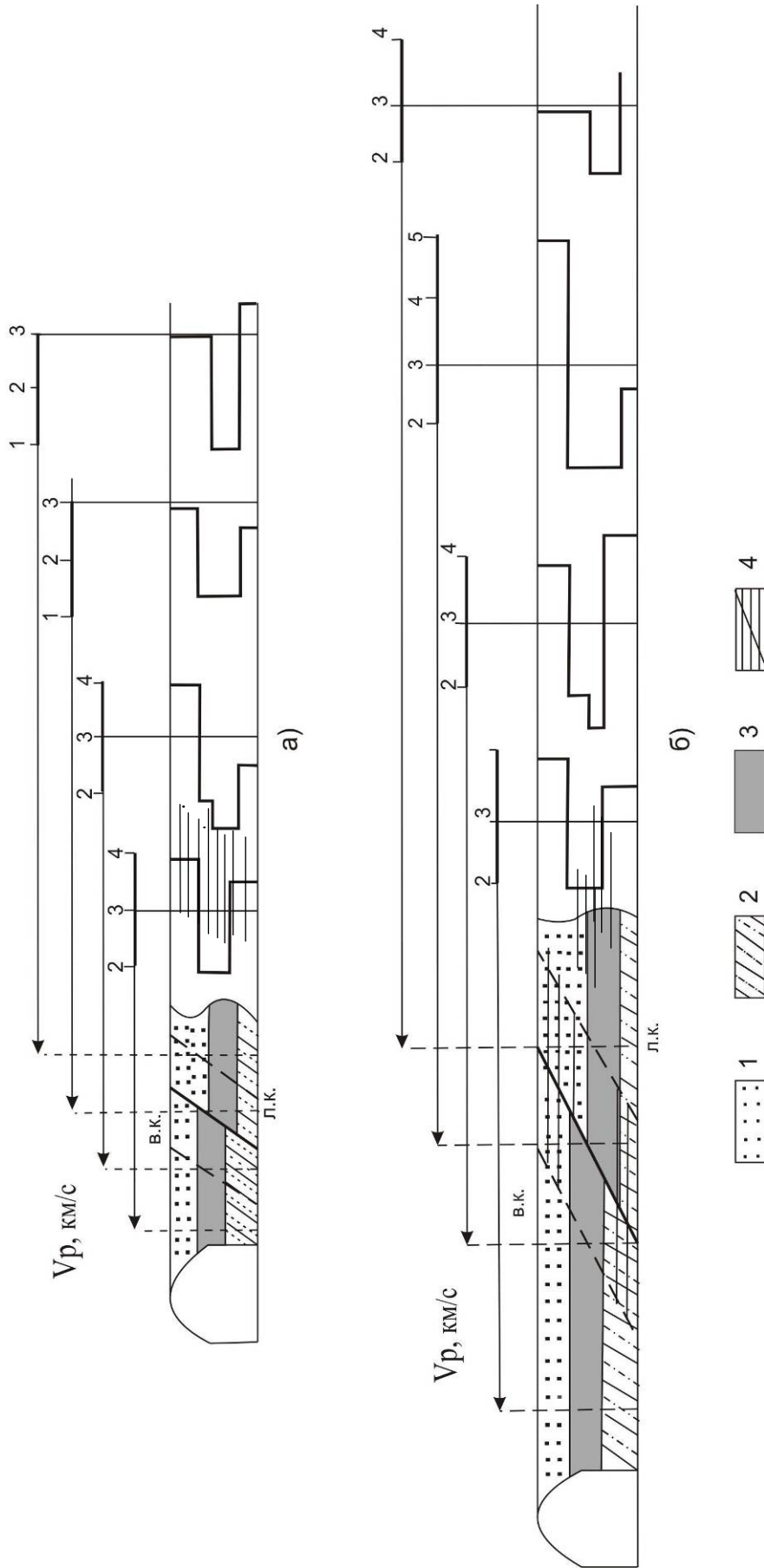
На рисунке 1 приведены основные (но далеко не все) типы сейсмогеологических разрезов угленосных толщ Донбасса, свидетельствующие о значительном разнообразии в литологическом составе кровли и почвы угольных пластов, в соотношениях и мощностях слоев пород и т.д.

Весьма разнообразны по параметрам, углам встречи с плоскостями угольных пластов и горными выработками генетически однотипные геологические нарушения угольных пластов. Многообразие вариантов геологических нарушений не позволяет надежно унифицировать их моделирование [11]. Для каждого конкретного случая необходимо построение модели, отвечающей по всем основным характеристикам моделируемому разрезу и геологическому нарушению (литологическим, эпигенетическим, упругим, типу нарушения и его параметрам и т.д.)

Ниже приведены, в качестве примеров, сейсмогеологические модели, разработанные для основных, характерных для Донбасса, типов геологических нарушений, демонстрирующие принципы построения таких моделей, сейсмические характеристики углей и вмещающих пород и их изменения в зонах нарушений и связанных с ними осложнений.

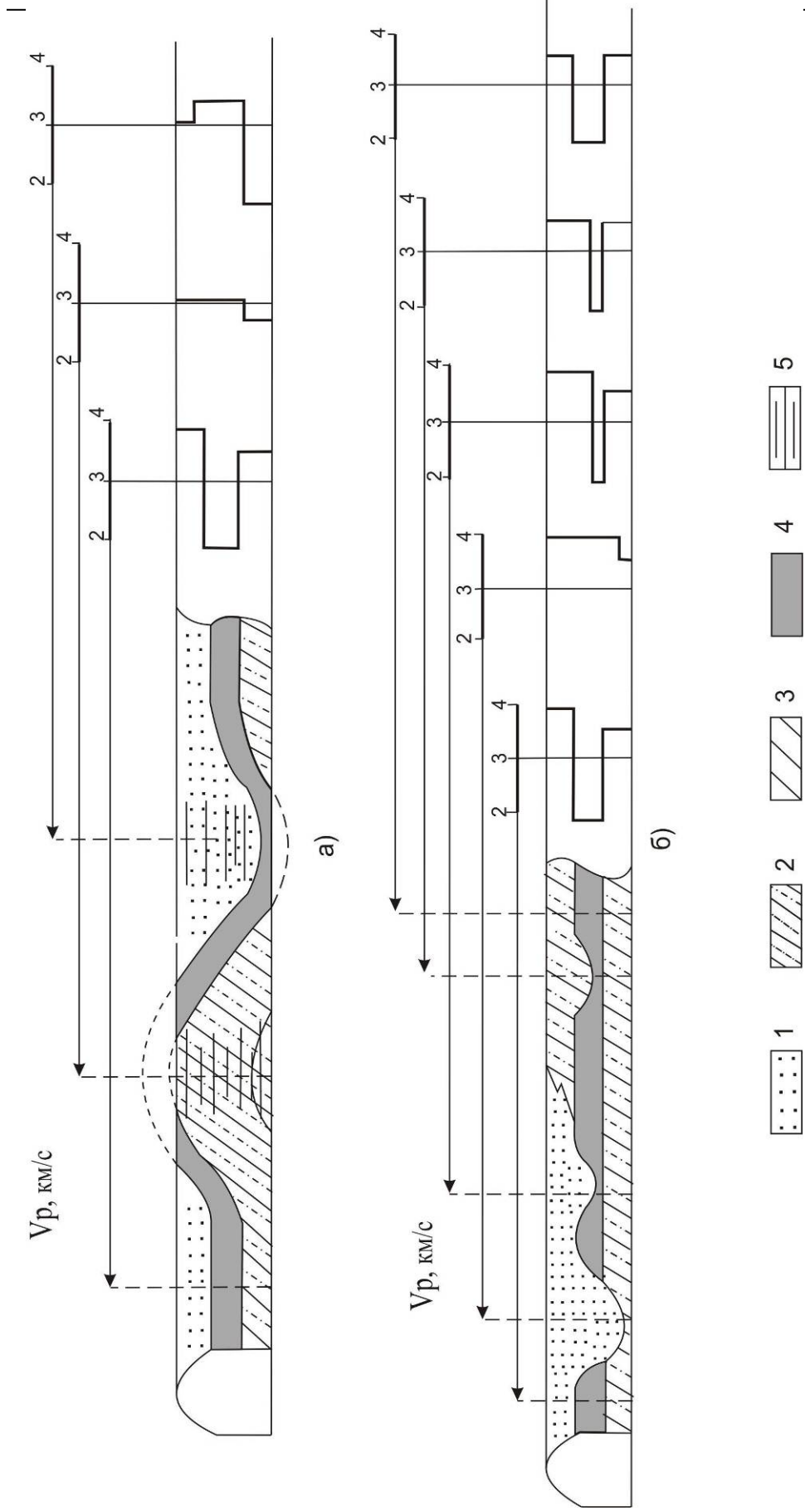
Модели разработаны для тектонических нарушений сбросового и надвигового типов (рис. 2), пликативных нарушений (рис. 3 а), размывов угольного пласта (рис. 3 б), а также для участков «ложной» и труднообрушаемой кровли (рис. 4 а, б) и возможных прорывов подземных вод в горные выработки (рис. 4 в). В моделях заложены определенные скоростные характеристики (V_p , км/с), для углей (мощность пласта 1,0 м) и вмещающих пород, находящихся в интервале петрофизического разреза, отвечающему началу позднего катагенеза (угли марки Ж) в Кальмиус-Торецкой котловине (табл. 3). Интервал петрофизического разреза выбран, как типичный для шахтных полей таких крупных шахт, как «Красноармейская-Западная № 1», «Краснолиманская», им. А. Ф. Засядько.

В таблице 3 и при построении моделей заложены изменения параметров скорости продольных волн пород в зависимости от типа разрывного нарушения. У надвигов в висячем крыле происходит уплотнение пород и увеличение значения упругих свойств, в лежащем крыле – разуплотнение и снижение этих значений.



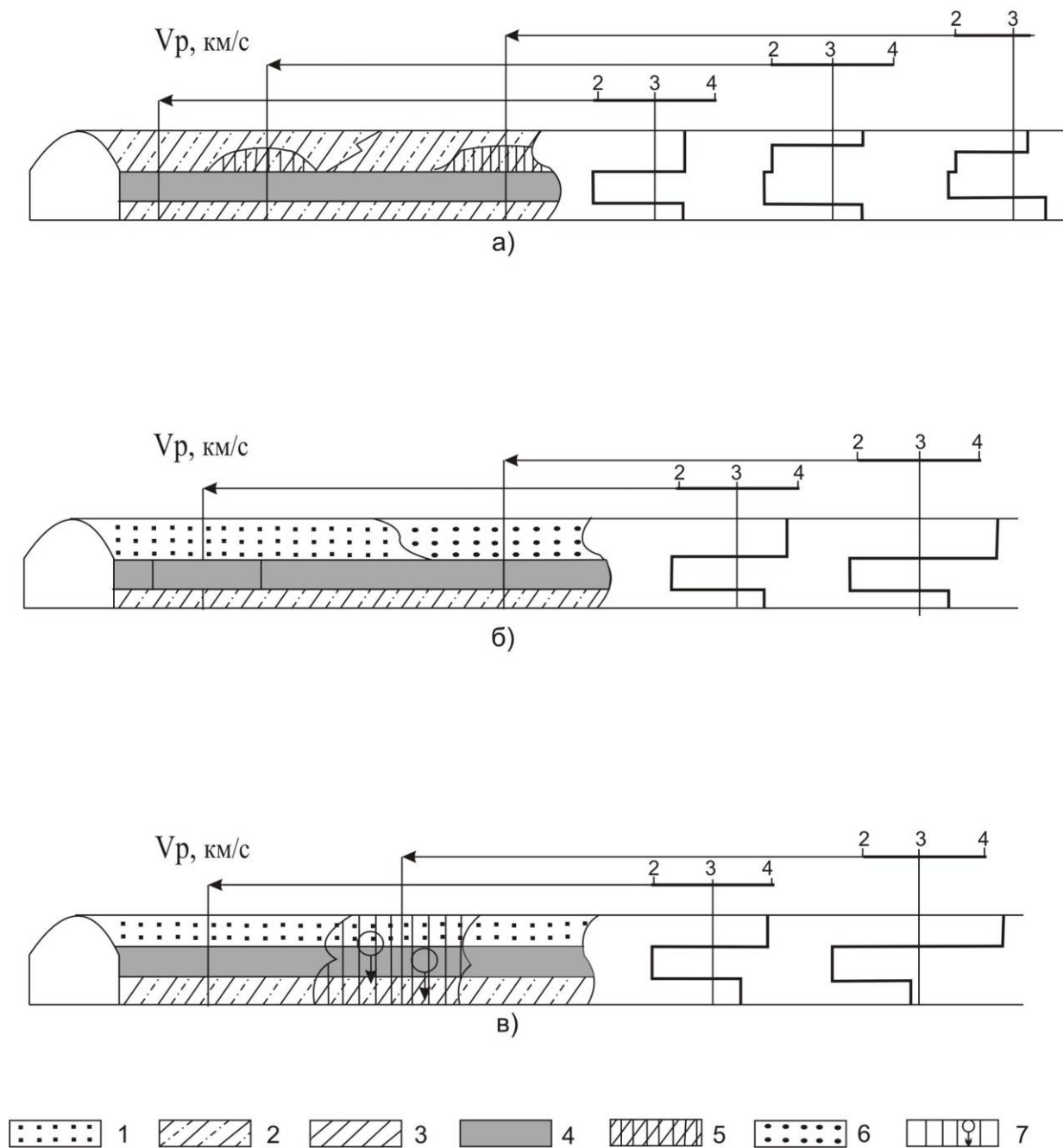
1 – песчаник; 2 – алевролит; 3 – уголь; 4 – сместитель и зона повышенной трещиноватости углей и пород

Рис. 2. Донбасс. Сейсмогеологические модели дизъюнктивов сбросового, взбросового (а) и надвигового (б) типов (стадия эпигенеза с углями марки Ж)



1 – песок; 2 – алевролит; 3 – аргиллит; 4 – уголь; 5 – зона трещиноватости пород

Рис. 3. Донбасс. Сейсмогеологические модели пликативов (а) и размывов угольного пласта (б) (стадия эпигенеза с углями марки Ж)



1 – песчаник; 2 – алевролит; 3 – аргиллит; 4 – уголь; 5 – «ложная» кровля;
 6 – труднообрушаемый песчаник; 7 – зона водонасыщенности пород и углей

Рис. 4. Донбасс. Сейсмогеологические модели участков с: а) «ложной» кровлей, б) труднообрушаемой кровлей, в) зоной водонасыщенности углей и вмещающих пород (стадия эпигенеза с углями марки Ж)

Таблица 3

Усредненные значения V_p , км/с для углей и вмещающих пород в зонах влияния тектонических нарушений, включающих угли марки Ж

Литология	Без нарушений	Дизъюнктивы				Пликативы
		сбросы		надвиги		
		вис. кр.	леж. кр.	вис. кр.	леж. кр.	
уголь	1,9	1,4	1,4	1,4	1,4	1,6
аргиллит	3,2	2,4	2,4	4,0	2,4	2,7
алевролит	3,5	2,6	2,6	4,4	2,6	3,0
песчаник	3,9	2,9	2,9	4,9	2,9	3,3

-25 % -25 % +25 % -25 % - 15 %

У сбросов в обоих крыльях происходит разуплотнение и соответственно снижение значений этих параметров (см. рис. 2). Величина аномальных изменений упругих характеристик (V_p , км/с) в зонах влияния дизъюнктивных нарушений принимается условно 25 % от фоновых. Однако следует учитывать, что в реальных условиях максимальные аномальные изменения этих свойств (20 % – 30 % от фоновых) отмечаются вблизи сместителя нарушений с плавным, постепенным выполаживанием по обе стороны от него до фоновых к перифериям зоны влияния. Серию сближенных мелкоамплитудных дизъюнктивов следует рассматривать, как образующих единую зону влияния (повышенной трещиноватости пород), с аномальными значениями упругих характеристик, шириной на порядок больше амплитуд крайних в этой серии нарушений.

У пликативных нарушений зоны их влияния связаны с повышенной трещиноватостью пород в замковых частях антиклинальных и синклинальных складок (в 3 – 10 раз выше, чем на крыльях). Ширина этих зон и интенсивность трещиноватости по-

род зависят от величин двугранных углов складок (шарниров), литологического состава углевмещающих пород и степени их эпигенеза. Величина аномальных изменений упругих параметров в зонах влияния пликативных нарушений условно принимается 15 % от фоновых (см. рис. 3 а).

Для седиментационных нарушений угольного пласта в виде их размывов аномалии физических полей связаны, прежде всего, со сменой литологического состава в разрезе, когда уголь замещается терригенными породами. Интенсивность и резкость проявления аномалий зависят от глубины эрозионного среза размыва и угла между плоскостью контакта уголь – порода и плоскостью угольного пласта (см. рис. 3 б).

На рисунке 4 а представлены сейсмогеологические модели «ложной» кровли, под которой понимаются неустойчивые слои пород незначительной (0,4 – 1,0 м) мощности, залегающие непосредственно над угольным пластом. В Донбассе «ложная» кровля представлена в основном (свыше 80 % случаев) аргиллитом повышенной трещиноватости, иногда перемятой текстуры, слабого сцепления и менее прочным, чем вмещающие породы. Распространяются «ложные» кровли в виде локальных зон, характеризующихся аномалиями физических полей, составляющими в среднем порядка 40 % значений скорости V_p от фоновых. В целом в зонах нахождения «ложной» кровли скорость продольных волн уменьшается в 1,5 – 2,0 раза [12] по сравнению с непосредственной кровлей однозначного литологического состава.

Для труднообрушаемых кровель (см. рис. 4 б) угольных пластов характерны в основном однородные, монолитные, весьма прочные ($\delta_{сж} = 50 – 150$ МПа), достаточно мощные и практически не трещиноватые (1 – 2 трещины на 1 м) песчаники (иногда известняки) [13]. Эти характеристики могут обуславливать аномальные изменения упругих параметров в виде повышения значений V_p ориентировочно порядка до 10 %.

Сейсмогеологическое моделирование водонасыщенных зон углепородного массива опирается на данные работы [14], в которой указано, что при насыщении аргиллитов и алевролитов пресноводными или минерализованными водами скорость продольных волн существенно снижается (в 1,2 раза и более, или в сред-

нем на 20 %). В песчаниках при насыщении их водой V_p возрастает, в среднем на 7,5 %. Эффект уменьшения скорости продольных волн в аргиллитах и алевролитах объясняется снижением вязкости глинистого вещества в этих пределах. Что касается углей, то увеличение их влажности, также приводит к уменьшению скорости упругих колебаний [15] в среднем на 20 % (см. рис. 4 в).

В разработанные модели могут быть заложены любые параметры геологических нарушений, определенные реальные литологические типы пород кровли и почвы угольных пластов и упругие параметры пород, находящихся на любых стадиях эпигенеза. Эти модели и приведенные в них показатели аномалий физических полей могут быть приняты за основу сейсмогеологического моделирования конкретных участков углепородных массивов Донбасса с осложняющими их горно-геологическими факторами.

Кузнецкий угольный бассейн.

Кузнецкий каменноугольный бассейн является важным структурным элементом в Алтае-Саянской складчатой области и представляет собой крупный синклинорий неправильной четырехугольной формы, длинная ось которого вытянута с юго - востока на северо - запад. Он заложился в среднем и развивался преимущественно в позднем палеозое. На первом этапе своего развития он представлял краевой прогиб, который в более позднее время превратился в межгорную впадину [16].

В соответствии с тектоническим районированием Кузбасса, в основу которого положены генетические факторы и морфологические особенности складчатости, в бассейне на площади развития палеозойских отложений выделяются следующие четыре геотектонические зоны [16]:

- 1) Присалаирская зона линейной складчатости и разрывов;
- 2) Приколывань - Томская зона линейной складчатости и разрывов;
- 3) Центральная зона пологих складок и куполовидных поднятий;
- 4) Приалатауская и Пригорношорская зоны моноклиналей.

В стратиграфическом отношении верхнепалеозойские угленосные формации бассейна представлены двумя крупными геолого-генетическими комплексами пород:

- лагунно-континентальными отложениями балахонской серии ($C_{2-3} - P_{1b1}$) залегающими на нижнекаменноугольных морских отложениях мозжунинской серии. Мощность балахонской серии свыше 1500 метров, включает она до 119 угольных пластов, из них - 60 рабочих;

- континентальным комплексом кольчугинской серии (P_2) мощностью до 3500 метров, включающей 221 угольный пласт, из них рабочих 70.

В литологическом отношении верхнепалеозойские угленосные формации представлены типичным комплексом чередующихся слоев терригенных пород (конгломератов, песчаников, алевролитов и аргиллитов), включающих угольные пласты. Характерно, что каждая из указанных серий начинается безугольными отложениями, сменяющимися вначале толщами с тонкими угольными пластами, а затем все с более мощными.

Для Кузнецкого бассейна характерны следующая типизация шахтопластов по усредненным данным [16] и горно-геологические условия эксплуатации угольных шахт:

- в бассейне преимущественно развиты пласты средней мощности – от 1,3 до 3,0 метров. Наряду с этим по отдельным районам верхнебалахонской свиты преобладают мощные и среднемошные, в кольчугинской серии - среднемошные и тонкие пласты. В целом по бассейну тонкие пласты в общих запасах углей составляют 21 %, средние – 46 % и мощные – 33 %;

- основные запасы углей сосредоточены в пологозалегающих угольных пластах – с углами падения до 30° . На долю этих приходится 72 % запасов угля, наклонных 12 % и крутопадающих 16 %. Такое соотношение сохраняется для запасов угля подсчитанных до глубины 1800 м от поверхности. На верхних горизонтах несколько возрастает удельный вес крутопадающих и наклонных пластов. По отдельным районам это соотношение меняется;

- по способу разработки угольных пластов порядка 70 % общей добычи углей приходится на шахтный, соответственно порядка 30 % на открытый способы;

- средние глубины шахтных разработок – до 500 м;

- угленосные формации бассейна включают пласты углей широкого диапазона метаморфических преобразований от бурых до антрацитов включительно. В отложениях балахонской серии степень метаморфизма углей изменяется от длиннопламенной до антрацитовой. Мало метаморфизованные угли сосредоточены в основном в Крапивинском, восточной части Кемеровского и юго-западной части Прокопьевско - Киселевского районах. Тощие угли и частично антрациты развиты в Бунгуро-Чумышском, Араличевском, Титовском районах. Угли кольчугинской серии имеют стадии метаморфизма от включающих угли марки Б₃ до марки К включительно. Длиннопламенными углями практически сложен весь разрез продуктивных отложений Салтымаковского района, угли марки Б₃ по единичным данным имеются в юго-восточной части этого района. Основная масса углей кольчугинской серии имеет газовую стадию метаморфизма;

- основная добыча угля (до 60 %) проводится в тектонически сложных условиях, прежде всего в Присалаирской и Приколывань-Томской геотектонических зонах. Наиболее благоприятные условия в этом отношении – в Приалатауской и Пригорношорской зонах. Характерна взаимосвязь мелкоамплитудных дизъюнктивов со складчатостью угольных отложений. В работе [17] показано, что изгибы угольного пласта в штреке радиусом до 100 м, как правило, сопровождаются мелкими разрывами. При изгибах радиусом от 100 до 200 м связь последних с разрывными нарушениями отмечалась в 67 % случаев, а для изгибов большего радиуса связи с дизъюнктивной нарушенностью не установлена;

- породы, вмещающие угольные пласты характеризуются значительной крепостью и в нормальных условиях хорошей устойчивостью в выработках. Тем не менее, поведение кровли и почвы пластов при добыче угля в лавах самое разнообразное. Степень устойчивости вмещающих пород в добычных забоях зависит не столько от состава, сколько от их состояния – нарушенности, трещиноватости и наличия поверхности ослабления на

контактах слоев. Обычно непосредственные почва и кровля пластов сложены в различной мере трещиноватыми слоями глинистых пород: алевролитами, аргиллитами и углистыми аргиллитами мощностью от 2 – 3 м до 5 – 6 м, выше и ниже которых следуют более мощные и менее трещиноватые слои песчаников и других пород. Нередко угольные пласты, особенно со стороны кровли, сопровождаются более мелким переслаиванием, создающим «ложную» кровлю. Реже кровля представлена однородными породами большей мощностью и характеризуется трудной обрушаемостью. Такая кровля представлена слоем большой мощности, обычно крепких и нетрещиноватых песчаников. Управление такой кровлей вызывает значительные осложнения. Длительное зависание кровли часто приводит к большим авариям в лавах [16];

- по гидрогеологическим особенностям в верхнепалеозойских отложениях выделяется два водоносных комплекса [18]: бадохонской серии, характеризующегося слабой водообильностью пород (дебиты скважин в среднем 0,2 – 0,4 л/с), и кольчугинской серии с более высокой обводненностью пород, но на глубинах свыше 150 м с удельными дебитами, не превышающими 0,1 л/с;

- в бассейне преобладают сверхкатегорийные шахты по газу (свыше 40 %) и с шахтопластами, опасными по выбросам;

- довольно распространенное явление в бассейне – самовозгорание угольных пластов в горных выработках на пластах большой мощности.

В целом, горно-геологические условия отработки угольных пластов Кузнецкого бассейна весьма разнообразны (см. табл. 1). Наиболее существенными с точки зрения вызывающих осложнения в проведении горных работ, являются такие геологические нарушения, как мелкоамплитудная дизъюнктивная тектоника, мелкая складчатость (в первую очередь с радиусом изгибов до 100 м), участки развития «ложной» и труднообрушаемой кровли, в определенной степени раздувы и утонения угольного пласта. Эти факторы явились первоочередными объектами сейсмогеологического моделирования, в основу которого приняты средние показатели скорости продольных волн (табл. 4) для углей и основных литотипов пород определенной стадии эпигенеза. Мощ-

ность моделируемых угольных пластов принята 2,0 м, как средняя для наиболее распространенных в Кузбассе среднемощных (1,3 – 3,0 м) угольных пластов.

Таблица 4

Статистически усредненные значения упругих характеристик углевмещающих пород [19] и клареновых углей [15] Кузбасса

Стадии эпигенеза		Марки углей	$\rho, 10^{-3} \text{ кг/м}^3$				$V_p, \text{ км/с}$			$V_s, \text{ км/с}$	$\lambda = \frac{V_p}{V_s}$	
			Песчаник	Алевролит	Аргиллит	Уголь	Песчаник	Алевролит	Аргиллит			Уголь
катагенез	ранний	Б ₃	2,10	2,25	2,30	1,27	2,0	2,4	2,7	н.д.	н.д.	н.д.
		Б-Д	2,25	2,33	2,37	1,31	2,5	2,8	2,9	н.д.	н.д.	н.д.
	средний	Д	2,35	2,45	2,42	1,36	2,9	3,2	3,1	3,5	1,9	1,09
		Г	2,50	2,51	2,47	1,39	3,4	3,5	3,3	3,1	1,7	1,23
		Ж	2,56	2,54	2,50	1,36	3,8	3,7	3,5	2,8	1,6	1,06
	поздний	К	2,60	2,57	2,51	1,40	3,9	3,8	3,6	2,3	1,5	1,04
		ОС	2,61	2,58	2,53	1,42	4,1	4,0	3,7	2,5	1,7	1,06
мета-генез	ран-ний	Т	2,62	2,60	2,55	1,46	4,3	4,1	3,8	2,8	1,8	1,1

Примечание: Следует обратить внимание на инверсию упругих характеристик алевролитов и аргиллитов на границе зон эпигенеза с углями марок Б-Д и Д, а также песчаников и алевролитов на границе таких зон с углями марок Г и Ж.

Величины аномальных изменений упругих характеристик ($V_p, \text{ км/с}$) в зонах геологических нарушений угольных пластов, соответственно принимаются аналогичными таковым в Донецком

бассейне и в среднем составляют: в зоне влияния дизъюнктивов – 25 %, пликативов – 15 %, развития «ложной» кровли – 40 %, труднообрушаемой кровли – 10 % от фоновых.

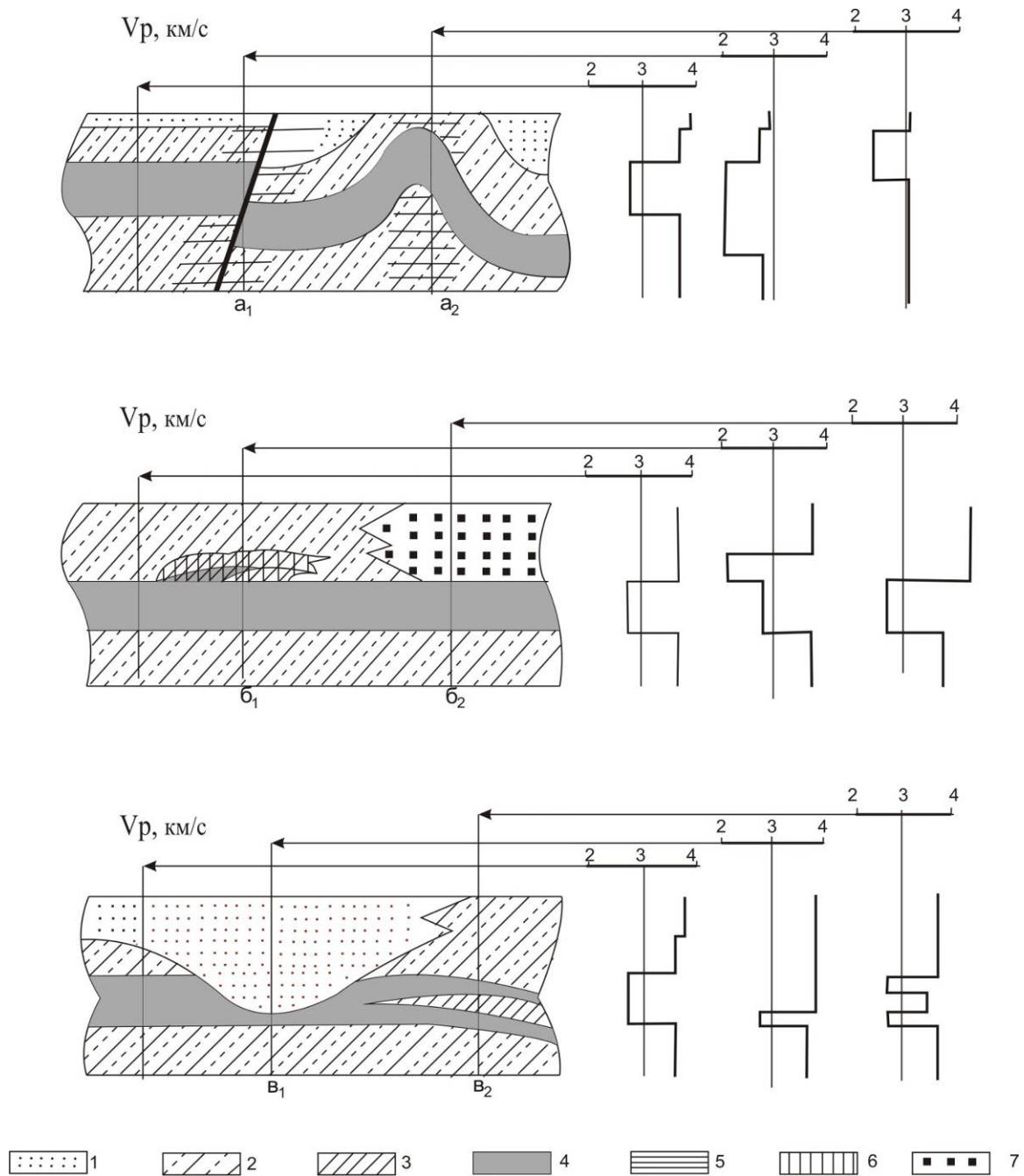
Поскольку Кузнецкий бассейн характеризуется чрезвычайным разнообразием горно-геологических условий и морфологических показателей угольных пластов, разработанные модели (рис. 5) естественно имеют обобщающий, схематический характер. Для конкретных условий следует по образцу и подобию этих моделей проводить сейсмологическое моделирование, отвечающее конкретному строению и составу геологических разрезов на местах и включающее определенные фактические значения физических показателей углей и вмещающих пород.

Печорский угольный бассейн

Печорский угольный бассейн по генетической классификации угленосных формаций относится к типу передовых (краевых) прогибов геосинклинальной группы орогенного этапа развития [6]. В геоструктурном плане бассейн расположен в северной части Предуральяского прогиба.

Угленосная толща Печорского бассейна представлена терригенными отложениями конца раннего– позднепермского возраста, накопившихся в прибрежной зоне обширного эпиконтинентального бассейна. В литологическом отношении толща характеризуется чередованием слоев различных обломочных пород, включающих угольные пласты, обусловленным преимущественно мелкими колебательными движениями на фоне длительного погружения бассейна седиментации и поднятия областей сноса. Такой геотектонический режим в сочетании с влажным климатом явился основным фактором мощного угленакопления [20].

Угленосная формация бассейна включает два крупных геолого-генетических комплекса пород, представленных воркутской серией кунгурского яруса и печорской серией казанского и татарского ярусов перми.



1 – песчаник; 2 – алевролит; 3 – аргиллит; 4 – уголь; 5 – зоны повышенной трещиноватости ; 6 – «ложная» кровля; 7 - труднообрушаемая кровля

Рис. 5. Кузбасс. Сейсмогеологические модели тектонических нарушений (a_1 – сбросы, взбросы, a_2 – пликативы); участков «ложной» (b_1) и труднообрушаемой (b_2) кровли; зон размывов (v_1) и расщеплений (v_2) угольного пласта (стадии эпигенеза с углями марки Ж)

Отложения воркутской серии мощностью от 400 (юго-запад бассейна) до 2400 м (северо-восточная часть бассейна) литологически представлена песчаниками, алевролитами, аргиллитами и углями с конкрециями и линзами конгломератов. Угольные пласты содержатся во всей серии, выраженной в основном опреснено-лагунными отложениями с подчиненными слоями дельтового и прибрежно-морского происхождения.

Печорская серия представляет верхнюю угленосную толщу Печорского бассейна. Литологически она представлена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, углями, конгломератами и конкрециями. Мощность серии изменяется от 900 (юго-западная часть бассейна) до 3400 м (северо-восточная часть бассейна).

Для Печорского бассейна характерна следующая типизация шахтопластов по усредненным данным [17, 20]:

- главная угленосность связана с интинской свитой воркутской серии, в которой число рабочих пластов угля (мощностью более 0,6 м) равна 40, причем мощность отдельных пластов составляет 4,0 и даже 4,5 м;

- в отложениях печорской серии число рабочих угольных пластов не превышает 25, но зато некоторые из них достигают мощности до 7,5 м;

- по условиям залегания угольные пласты бассейна в процентном отношении подразделяются: 69 % – под углом менее 18°, 24 % – под углом 18° - 35° и всего лишь 5 % пластов залегает под углом более 35°;

- по степени метаморфизма угли бассейна включают диапазон марочного состава от марки Д до ОС включительно, причем, из общих запасов 2,1 миллиарда тонн половина (1,1 миллиарда тонн) приходится на ценные коксующиеся угли марок Ж-К-ОС;

- отработка угольных пластов производится исключительно шахтным способом в основном в интервалах глубин 100-500 м;

- все шахты опасны по газу, пыли и пылевзрываемости.

Основные горно-геологические осложнения при эксплуатации шахт связаны с мелкоамплитудной дизъюнктивной нарушенностью угольных пластов, повышенной трещиноватостью участков массива горных пород и возможными прорывами подзем-

ных вод и пльвунов в горные выработки. Последние обуславливаются тремя основными геологическими факторами:

- строением многолетней мерзлоты;
- распространением древних депрессий в кровле коренных пород;
- распространением зон повышенной трещиноватости в кровле угольного пласта.

Следует особо отметить, что в связи с малыми глубинами отработки угольных пластов гидрогеологическая обстановка на полях крупнейших шахт «Октябрьская» и «Воргашорская-1» такова, что основными осложняющими горные работы факторами являются прорывы или повышенные притоки подземных вод в горные выработки из водоносных горизонтов, связанных с под – над – межмерзлотными и сквозными таликами в многолетней мерзлоте покровных кайнозойских образований.

В связи с особенностями геологического строения и, соответственно, горно-геологических осложнений Печорского бассейна, сейсмогеологическое моделирование проведено в двух направлениях: непосредственно для угленосных толщ и для зон развития таликов многолетней мерзлоты в покровных отложениях. Упругие показатели пермских пород и углей приведены в таблице 5.

Таблица 5

Усредненные значения упругих характеристик углевмещающих пород и углей Печорского бассейна [19] по данным измерений на образцах

Стадия эпигенеза		Марка углей	$\rho, 10^{-3} \text{ кг/м}^3$				$V_p, \text{ км/с}$			
			песчаник	алевролит	аргиллит	уголь	песчаник	алевролит	аргиллит	уголь
ката-генез	ранний	Д	2,34	2,34	2,34	1,37	3,1	3,1	3,1	2,3
		Г	2,50	2,47	2,44	1,37	3,6	3,5	3,4	2,4
	средний	Ж	2,55	2,53	2,50	1,33	3,9	3,8	3,7	2,3

В результате исследований, проведенных Печорской геофизической партией ВНИИГИС и экспедицией «Печоругле-разведка» по данным акустического каротажа разработаны сейсмогеологические модели [21] для основных угольных пластов рудницкой подсветы воркутской серии крупнейших месторождений Воркутского, Воргашорского и Юньягинского. В этих моделях приведены плотностные и скоростные характеристики интервалов разрезов, включающие угольные пласты, их кровли и почвы. По стадии метаморфизма угли относятся к марке Ж.

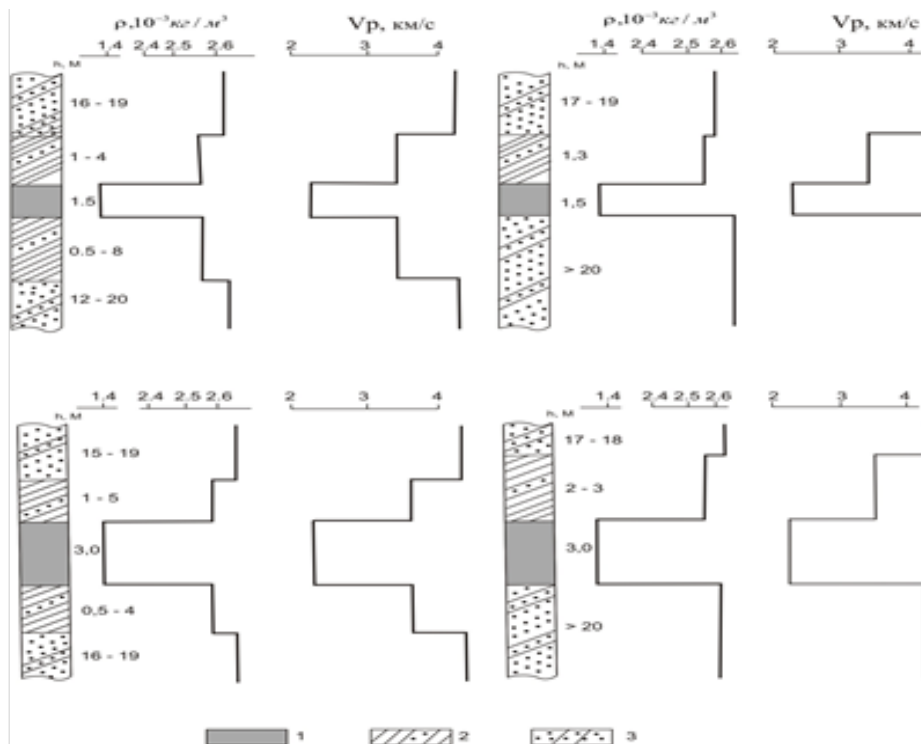
Анализ данных акустического каротажа и шахтных сейсмических исследований показал близость сейсмических условий на всех трех месторождениях, характерными особенностями которых являются: наличие волноводов с резкими границами; при переходе от угля к вмещающим породам происходит изменение скорости продольных волн в 1,5 – 2,0 раза с одновременным изменением в 1,5 – 2,0 раза и объемной плотности. Разработано [21] четыре типа сейсмогеологических моделей, характеризующих основные угольные пласты Печорского угольного бассейна (рис. 6). На этих моделях значения упругих характеристик пород и углей несколько выше, чем показанные в таблице 5.

Это объясняется тем, что эта таблица составлена по данным измерений плотностных и скоростных характеристик на образцах, а сейсмогеологическое моделирование разработано по данным акустического каротажа в массиве горных пород.

В зонах повышенной трещиноватости пород, в первую очередь, под влиянием дизъюнктивной нарушенности, скорость распространения упругих волн закономерно уменьшается порядка на 20 % от фоновой [22].

Механизм этого снижения аналогичен описанному выше (Донецкий бассейн) и является результатом уменьшения плотности и акустической жесткости пород. Сейсмогеологическая модель такой зоны приведена на рисунке 7.

Скорость распространения упругих колебаний в зонах развития одного из весомых осложнений в Печорском бассейне – таликов в многолетней мерзлоте в кайнозойских образованиях - изучено недостаточно. Впервые этим вопросом вплотную в конце 70-х годов прошлого столетия УкрНИИМИ НАНУ [22].



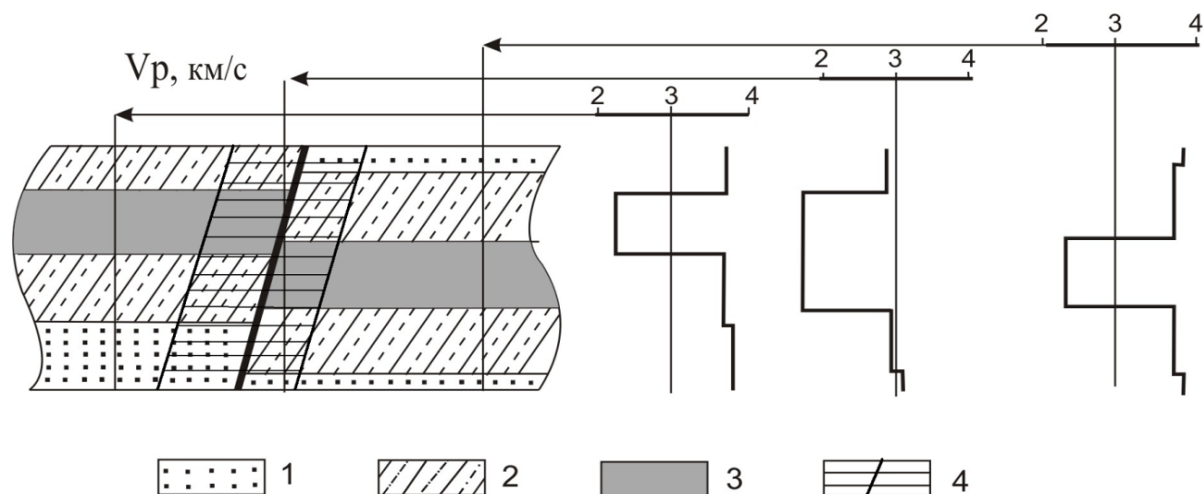
1 – уголь; 2 – относительно низкоскоростные породы (аргиллиты с прослоями алевролитов, конкреций); 3 – относительно высокоскоростные породы (песчаники с прослоями алевролитов, конкреций)

Рис. 6. Основные типы сейсмогеологических разрезов угольных пластов Печорского бассейна (по усредненным значениям упругих свойств по данным акустического каротажа; стадия эпигенеза с углями марки Ж) [21]

Обращает на себя внимание непосредственная зависимость скорости распространения сейсмических волн от состояния пород. Так, пески и суглинки в мерзлом состоянии характеризуются скоростями упругих колебаний, соответственно, 1,5 – 1,3 км/с, в талом – всего 0,35 – 0,30 км/с, т.е. ее значения весьма существенно снижаются (рис. 8).

Однако, несмотря на благоприятную аномалиеобразующую характеристику таликовых зон, что хорошо демонстрируется на сейсмогеологических моделях (рис. 8), учитывая сложный характер распределения температуры вблизи нулевого его значения в толще пород с прерывистым характером многолетней мерзлоты, скоростной разрез этой толщи также очень сложный – неравные,

невыдержанные поверхности раздела сред с разными значениями скорости, большое количество наклонных и вертикальных границ, сравнительно ограниченные размеры самих таликов.

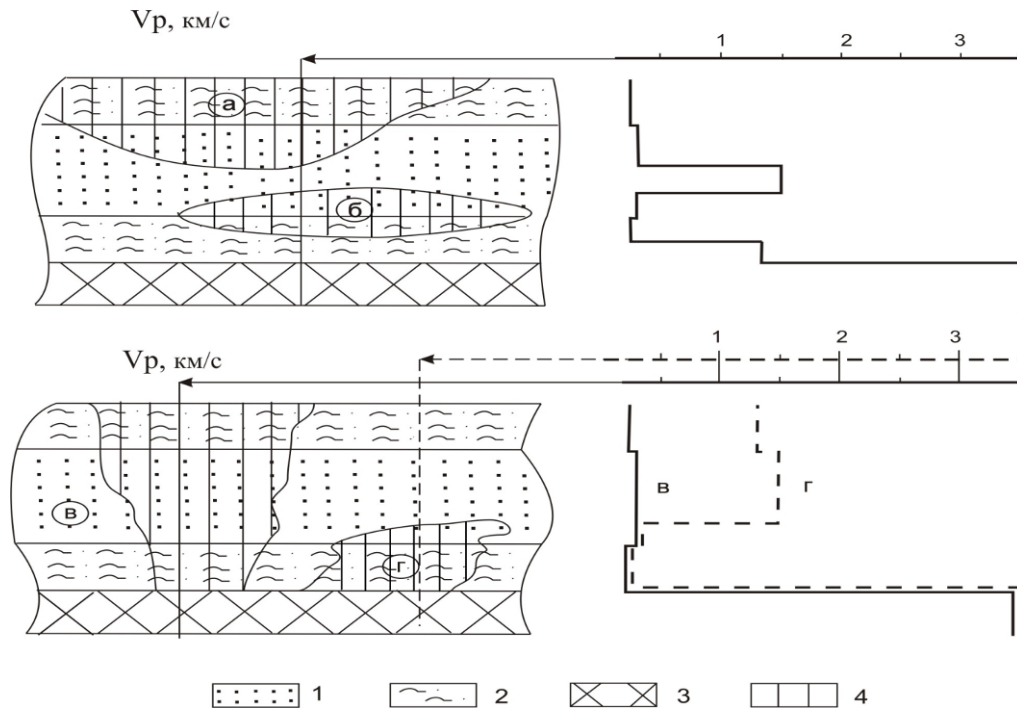


1 – песчаник; 2 – алевролит; 3 – уголь; 4 – сместитель и зона повышенной трещиноватости

Рис. 7. Печорский бассейн. Сейсмогеологическая модель дизъюнктивного нарушения сбросового типа (стадия эпигенеза с углями марки Ж)

Все это создает трудности для применения методов сейсморазведки с целью картирования толщи многолетнемерзлых пород, особенно ее нижних горизонтов. Это касается, прежде всего, методов отраженных и преломленных волн, как вероятнее всего не целесообразных для применения в таких условиях. Более перспективным представляется применение метода проходящих волн, однако, реализация его может быть осуществлена только при наличии надежной связи из горной выработки с дневной поверхностью через массив горных пород для передачи отметки момента возбуждения колебаний.

Что касается геологических и сейсмогеологических условий постановка шахтных сейсморазведочных работ для изучения горно-геологических условий непосредственно в угленосной толще бассейна, то они для этих целей весьма благоприятны.



1 – песок; 2 – суглинок; 3 – коренные породы перми; 4 – зоны распространения таликов

Рис. 8. Печорский бассейн. Сейсмогеологические модели таликов в многолетней мерзлоте: а – надмерзлотных; б – межмерзлотных; в – сквозных; г – подмерзлотных

Карагандинский угольный бассейн

Карагандинский бассейн входит в состав широтно ориентированного Карагандинского синклиория, расположенного между герцинскими сооружениями Джунгаро-Балхашской геосинклинали на юге и зоной каледонской стабилизации на севере.

Угленосные формации бассейна в тектоническом и палеогеографическом отношении формировались в два крупных этапа: раннекаменноугольный (начиная с визейского времени), характеризующийся накоплением отложений ашлярикской и низов карагандинской свит в условиях прибрежно-морского и лагунного режимов; среднекаменноугольный, характеризующийся накоплением средне- и верхнекарагандинской частей карагандинской, надкарагандинской, долинской и тентекской

свит в континентальних умовах. Середня потужність угленосних відкладень, складаючих перелічені свити, порядку 3000 м.

В літологічному відношенні угленосні формації басейна включають наступні різниці терригенних порід [23]: піщаники – 36 % , алевроліти – 30 % , аргіліти – 27 %. На частку інших порід (туфи, карбонатні породи, конгломерати, вугілля) приходить менше 10 %.

Для Карагандинського басейна характерні наступна типізація шахтопластів і горно-геологічні умови експлуатації вугільних шахт [17, 23, 24]:

- всього в угленосних формаціях басейна порядку 80 вугільних пластів, з них робочих – 60, включаючих по потужності: 40 – від 0,6 до 1,3 м; 15 – від 1,3 до 3,5 м, 5 – вище 3,5 м;

- по кутам падіння переважають пологіє і нахилні шахтопласти;

- вугілля басейна по ступені метаморфізму представлені широкою гаммою від газових до антрацитів. Найбільше розповсюджені вугілля марок Ж і К. Антрацити відомі лише на крайньому юзі Тентекського району;

- видобуток каменних вугілля здійснюється тільки шахтним способом;

- кровлі вугільних пластів по стійкості характеризуються: стійкі – 5 %, середньстійкі – 50 %, малостійкі – 25 %, нестійкі – 20 %;

- «ложная» кровля потужністю 0,2 – 0,6 м в 50 % випадків дуже нестійка;

- основними геологічними порушеннями вугільних пластів є мелкоамплітудні диз'юнктиви сбросового і взбросового типів з амплітудою до 3 м і кутами падіння площини смісителя 60° – 90° ;

- дуже розповсюджені розмиви вугільних пластів різного генезису – від абразійних сингенетических, регіонального розповсюдження, до представляючих інтерес з точки зору сейсморозвідного прогнозу овражно-речних епігенетических, локального розповсюдження;

- определенное значение имеют расщепления угольных пластов, особенно характерные для континентальной части разреза угленосной толщи;

- в значительно меньшей степени распространены (в основном в отложениях карагандинской свиты) кластические инъекции (дайки), представленные песчаниками;

- гидрогеологические условия разрабатываемых пластов в Карагандинском районе относительно благоприятны. Основное поступление воды в шахты происходит за счет обводненности мезозойских, а также кайнозойских отложений;

- Карагандинский бассейн является одним из наиболее газообильных. Подавляющее число шахт – сверхкатегорийные. Наибольшей газоносностью обладают пласты карагандинской и ашлярикской свит.

Анализ горно-геологических условий отработки угольных пластов Карагандинского бассейна в целом и приведенная выше информация позволяют считать наиболее значимым фактором, осложняющим добычные работы, – мелкоамплитудные разрывные нарушения сбросового и взбросового типов. Весьма существенны в этом отношении локальные размывы угольных пластов. Определенную роль играют нарушения морфологии угольных пластов, например их расщепления, наличие «ложной» кровли (см. табл. 1). Эти объекты должны, на наш взгляд, стать первоочередными для сейсмогеологического моделирования.

В основу физических показателей, закладываемых в разрабатываемые модели, приняты усредненные (табл. 6) значения плотности и акустических свойств углей и вмещающих пород, приведенные в работе [25], отвечающие, на наш взгляд, наиболее вероятно интервалу петрофизического разреза бассейна, включающему угли марок КЖ.

По приведенным в таблице 6 параметрам упругих свойств углей и вмещающих пород и табличным базовым данным в работе [25] построены сейсмогеологические модели основных типов разрезов угольных пластов средней мощности 3,0 м Карагандинского бассейна (рис. 9).

Таблица 6

Усредненные значения упругих характеристик углевмещающих пород и углей Карагандинского бассейна [25]

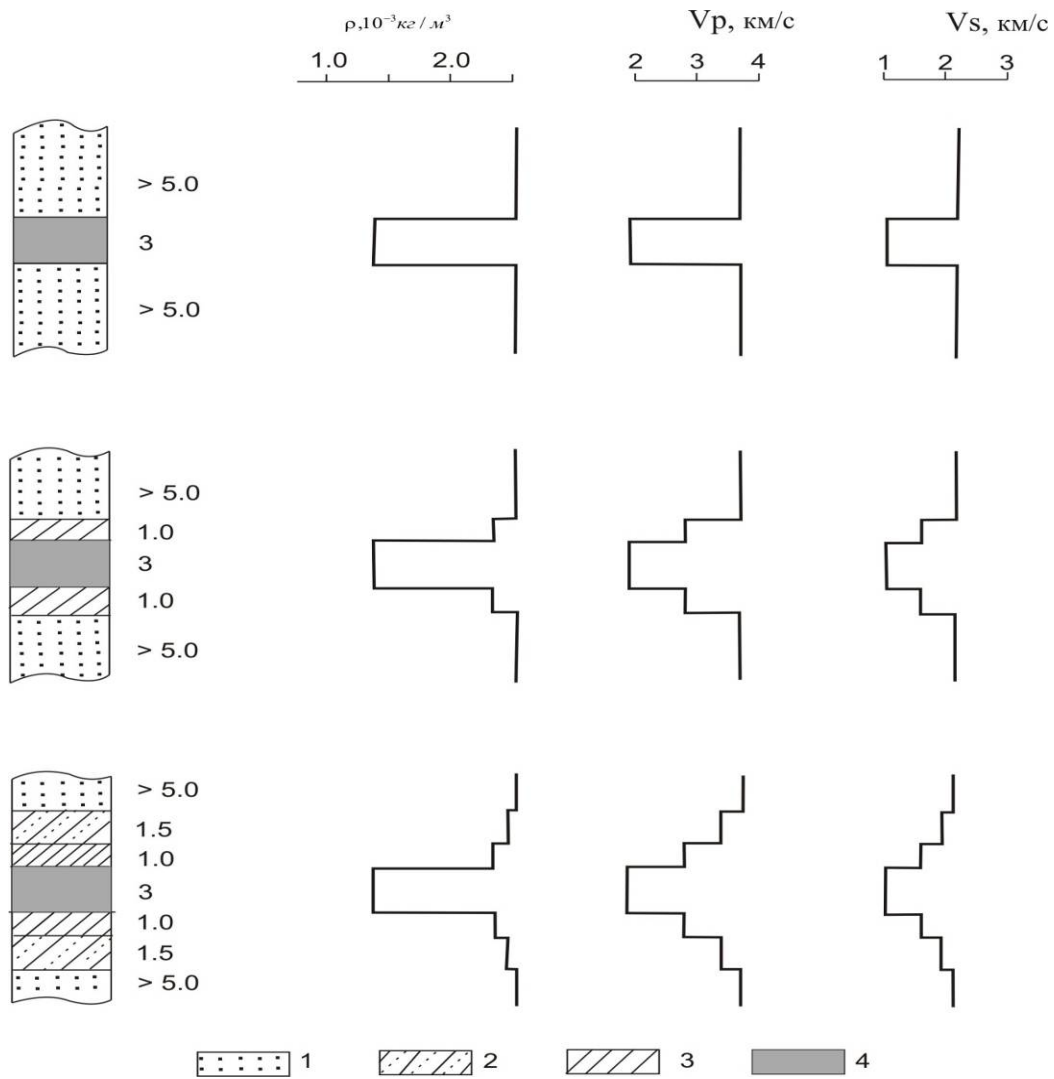
Марка углей	Литология	$\rho, 10^{-3} \text{ кг/м}^3$	$V_p, \text{ км/с}$	$V_s, \text{ км/с}$
КЖ	песчаник	2,55	3,8	2,2
	алевролит	2,51	3,5	2,0
	аргиллит	2,41	2,9	1,7
	уголь	1,37	2,0	1,1

Сейсмогеологическое моделирование геологических нарушений угольных пластов проведено в зависимости от их генезиса в двух направлениях:

- для тектонических, прежде всего, мелкоамплитудных разрывов;
- для конседиментационных размывов и расщеплений угольных пластов.

Мелкоамплитудные дизъюнктивы (с амплитудой до 3,0 м) моделировались для их сбросового и взбросового типов с углами наклона плоскости сместителя по отношению к угольному пласту – более 50° , ширина зоны экзогенной трещиноватости вблизи разрывов колеблется от 1,0 до 2,0 м при амплитуде 0,5 – 1,0 м.

Следует учитывать, что для бассейна характерно совместное нахождение различных типов нарушений. Так, например, часто вокруг разрывов наблюдается образование мелких складок и расслоение пород на тонкие плитки [26]. И наоборот, участки подверженные интенсивной складчатости, характеризуются наибольшей дизъюнктивной нарушенностью. Особенно сильно разбиты сложной системой разрывных нарушений замки складок. Мелкоамплитудная нарушенность угольных пластов имеет зональный характер и оконтуривает более крупные разрывы, обрамляя висячее и лежащее крылья последних.



1 – песчаник; 2 – алевролит; 3 – аргиллит; 4 – уголь

Рис. 9. Основные базовые типы сейсмогеологических разрезов угольных пластов Карагандинского бассейна (по усредненным значениям упругих свойств, стадия эпигенеза с углями марки КЖ) [25]

При этом они часто образуют целые группы, создавая мелкочешуйчатую структуру, характеризующуюся обширной зоной повышенной трещиноватости массива горных пород. При моделировании этого типа геологических нарушений величина аномальных изменений упругих характеристик (V_p , км/с) в зонах их влияния принимается аналогично типовой в Донецком бассейне т.е. снижается на 25 % от их фоновых значений (рис. 10 а₁). Соответственно, для пликативных нарушений это снижение прини-

мається 10 – 15 % , а для весьма сложных условий проявления одновременно тех и других (например, дизъюнктивы в замковых частях складок) – условно суммарно 35 % от фоновых (см. рис. 10 а₂).

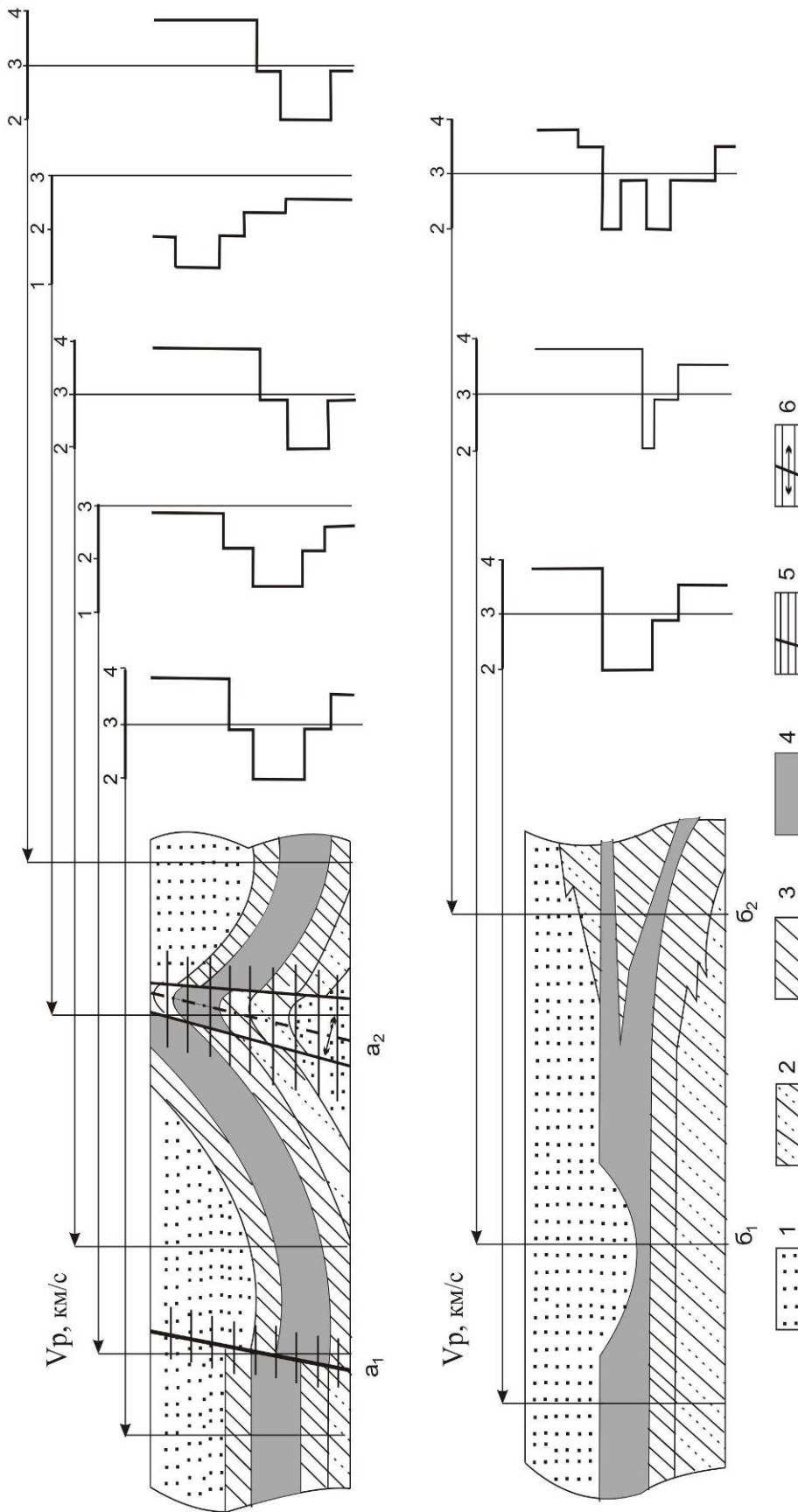
Из комплекса конседиментационных нарушений (сформированных одновременно с осадконакоплением) сейсмогеологические модели построены для размывов угольных пластов и их расщеплений, как наиболее распространенных в угленосных формациях Карагандинского бассейна.

Исходя из классификационных таксонов этих нарушений моделированию подлежали локальные размывы овражно-речного подтипа (рис. 10 б₁) и расщепления пластов второго типа, характеризующихся небольшими участками распространения размером 50 – 500 м, в пределах которых угольный пласт разделяется терригенными образованиями на два отдельных пласта (рис. 10 б₂). В целом зона геологической нарушенности угольных пластов Карагандинского бассейна имеет сложный характер, может включать одновременно различные типы нарушений, что обуславливает проявление более сложной волновой картины по сравнению с отдельными нарушениями.

Подмосковный бурогольный бассейн

Подмосковный бурогольный бассейн по генетической классификации угленосных формаций является типичным среди бассейнов приуроченных к внутренним прогибам древних платформ и характеризуется моноклиналим, почти горизонтальным залеганием палеозойских пород, их слабой волнистостью, отсутствием метаморфизма углей, вулканической деятельности и горообразовательных процессов. Падение слоев горных пород к центру прогиба составляет не более 1 – 3 м на километр и осложнено серией мелких складок второго и третьего порядка. Тектонические нарушения дизъюнктивного характера отсутствуют.

Угленосные формации сформировались в раннекаменноугольную эпоху с максимальным развитием угленосных отложений в визейское время. Угленосные толщи характеризуются сложными разрезами: в них чередуются разнообразные породы



1 – песчаник; 2 – алевролит; 3 – аргиллит; 4 – уголь; 5 – сместитель и зона повышенной трещиноватости пород; 6 – ось пликатива и зона повышенной трещиноватости пород

Рис. 10. Карагандинский бассейн. Сейсмогеологические модели тектонических нарушений (a_1 – сбросы, взбросы; a_2 – пликатив, осложненный дизъюнктивами) и седиментационных нарушений (b_1 – размывы, b_2 – расщепления угольного пласта)

прибрежно-морского и прибрежно-континентального происхождения, связанные постепенными переходами по вертикали и фациально замещающие друг друга.

Мощность угленосных отложений в пределах бассейна изменяется от 10 до 180 м, возрастая в депрессиях палеорельефа и уменьшаясь на возвышениях. Основной причиной изменений мощности угленосной толщи является выклинивание более древних слоев в сторону повышений фундамента. В начале визейского времени накопление осадков не было повсеместным и сосредотачивалось во впадинах; по мере развития трансгрессии площадь аккумуляции расширялась, охватывая все более высокие участки [27]. В юго-западных районах бассейна, где отметки палеорельефа самые низкие, представлены полно три основных глинисто-углистых комплекса, заключающих угольные пласты I, II и III. Здесь мощность угленосной толщи наибольшая и колеблется от 50 до 180 м.

Для Подмосковного бассейна характерны следующая типизация шахтопластов и горно-геологические условия их отработки [27]:

- из 20 – 25 угольных пластов, встречающихся в отложениях визейского яруса, рабочие мощности (1,10 м) достигают четыре пласта бобриковского горизонта – I, II, III и IV; на небольших площадях рабочую мощность имеют пласты – спутники I^B, II^H и IV^H, а также один-два угольных пласта тульского горизонта;

- максимальные мощности угольных пластов бобриковского горизонта достигают 12 м в западной части южного крыла бассейна (пласт IV), в тульском горизонте – 11 м;

- средние рабочие мощности угольных пластов колеблются в пределах 1,4 – 2,8 м;

- основные рабочие пласты бассейна характеризуются сложным строением, включая от 1 – 5, редко до 8 – 12 прослоев пород (глины, пески);

- распределение типов пород в кровле и почве основных угольных пластов бобриковского горизонта для месторождений центрального промышленного района приведено в таблице 7 [27];

- по морфологии основные угольные пласты образуют пластобразные залежи различной формы, зависящие от условий формирования торфяников и позднейших эрозионных процессов;
- контуры угольных залежей могут быть подразделены на два типа. К первому относятся сингенетические контуры, подразделяющиеся на два вида: выклинивающиеся к зонам развития русловых вод в торфянике или к береговой линии моря; выклинивающиеся к положительным формам рельефа, на которых торфонакопление происходит не могло. Ко второму типу относятся эпигенетические контуры, определяемые процессами эрозии или абразии захороненных торфяных или угольных залежей;
- по степени метаморфизма угли бассейна относятся к бурым марок Б₂-Б₃ [17];

Таблица 7

Литология пород кровли и почвы угольных залежей

Индекс рабочего пласта	Состав пород кровли, %		Состав пород почвы, %	
	песчаные	глинистые	песчаные	глинистые
I	20 - 40	60 - 80	10 - 20	80 - 90
II	40 - 80	Преобладает 50	10 - 30	70 - 90
IV	20 - 40	60 - 80	30 - 60	40 - 70

- отработка угольных залежей производится в основном шахтами на небольших глубинах (60-70 м);

- в независимости от генезиса контуров угольных залежей (в результате проявления сингенетических или эпигенетических процессов) для них характерны такие осложнения, как карстовые проявления, размывы, выклинивания, неровность кровли и почвы и т.п. Детальная генетическая классификация геологических нарушений бурогольных залежей бассейна приведена в работе [28] (табл. 8).

Подмосковный бурогольный бассейн занимает среди других бассейнов стран СНГ одно из первых мест по сложности горно-геологических условий эксплуатации. Наибольшие трудности при строительстве и эксплуатации шахт создаются значительной

обводненностью месторождений, высокими напорами подземных вод и наличием в кровле и почве разрабатываемых угольных пластов неустойчивых песчано-глинистых пород. Это касается, прежде всего, мелкозернистых песков тульского и бобриковского горизонтов, обладающих плавунными свойствами. Эти пески обводнены и при малой мощности глин в кровле или неудовлетворительном креплении выработок они прорываются в горные выработки, иногда полностью заполняя их сечение.

С прорывами борются, осушая кровлю, но даже осушенные надугольные пески иногда, при образовании воронки обрушения над выработанными участками, вновь обводняются водами вышележащих водоносных горизонтов и образуют новые прорывы.

Таблица 8

Генетическая классификация геологических нарушений
буроугольных залежей Подмосковского бассейна [28]

С поверхности угольной залежи	Внутрипластовые	Карстовые (совместные)
1. Генетические: - отложения на неровном ложе торфяников; - выклинивание. 2. Размывы: - сингенетические; - эпигенетические.	1. Фациальные	1. Без разрыва сплошности угольной залежи: - мульдообразные погружения залежи без изменения ее мощности; - мульдообразные погружения залежи с утонением на ее крыльях. 2. С разрывом сплошности угольной залежи - провальные разрывы залежи и сбросы; - провальные смещения по двум и более плоскостям сброса; - провальные смещения в мульдах; - сложные нарушения.

Главные осложнения связаны с нарушениями, обусловленными постугленосными карстовыми просадками. Масштабы и степень проявления их различны и выражаются в виде [27]:

- резкого локального перегиба пластов;

- перегибов пластов, переходящих в сбросы различной амплитуды от 0,5 – 1,0 м до нескольких десятков метров;

- значительных по площади зон резкого прогиба пластов, осложненных в периферийной части карстовыми нарушениями.

Карстовые нарушения сопровождаются обычно раздроблением пород и значительным изменением их мощности. В плане они обычно имеют округлую или овально-вытянутую форму. Таким образом, эти нарушения, являясь первоочередными объектами сейсморазведочного исследования и, соответственно, сейсмогеологического моделирования, различаются по форме проявления, породам заполнителям, размерам, степени обводненности и другим характеристикам. Это обусловило значительные колебания показателей упругих параметров угля и вмещающих пород, несмотря на однозначную стадию их постдиагенетических преобразований, включающую угли марки Б₂ - Б₃. Для сейсмогеологического моделирования условно принимаем их средние значения (табл. 9).

Таблица 9

Усредненные значения упругих характеристик угля и вмещающих пород Подмосковского бассейна [2]

Марка углей	Литология	Упругие показатели, <u>от - до</u> в среднем		
		$\rho, 10^{-3} \text{ кг/м}^3$	$V_p, \text{ км/с}$	$V_s, \text{ км/с}$
Б ₂ - Б ₃	известняк	<u>2,5-2,7</u>	<u>4,2-5,9</u>	<u>1,3-2,0</u>
		2,60	5,0	1,6
	песок	<u>1,9-2,0</u>	<u>1,3-1,5</u>	<u>0,6-0,9</u>
		1,95	1,4	0,7
глина	2,20	<u>1,8-2,2</u>	<u>0,7-1,0</u>	
		2,0	0,8	
уголь	<u>1,1-1,2</u>	<u>1,0-1,3</u>	<u>0,4-0,6</u>	
	1,15	1,1	0,5	

Разработанные сейсмогеологические модели различных типов геологических нарушений (рис. 11) имеют обобщающий характер.

При их построении использованы усредненные данные, приведенные в таблице 9. В реальных условиях эти показатели будут во многом зависеть от целого ряда конкретных факторов (степень обводненности угленосной толщи или закарстованных зон, литологического состава пород заполнителей карстов и т.д.).

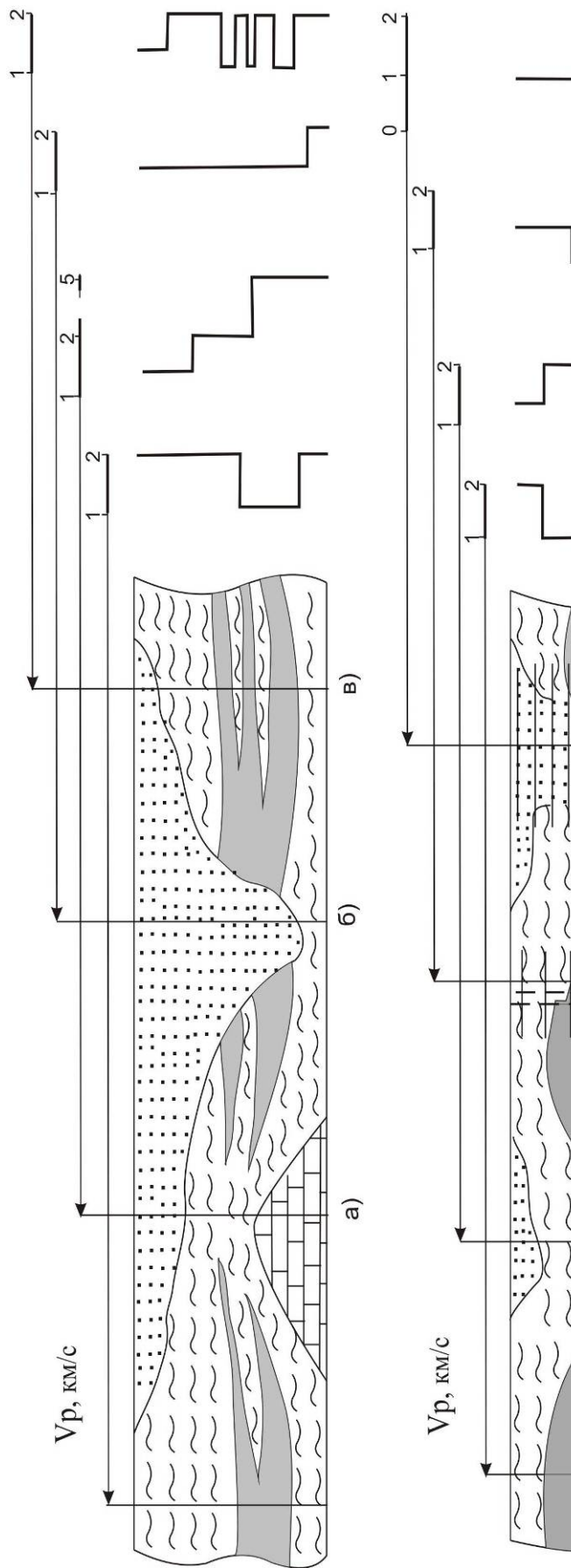
Однако, в любом случае, бурогольная залежь будет представлять собой низкоскоростной волновод со средней (но достаточно выраженной) резкостью акустической границы угольная залежь – вмещающая порода.

Зоны развития геологических нарушений, в независимости от генезиса последних, обуславливают аномальные эффекты в геофизических полях, интенсивность проявления которых зависит от размеров нарушений, их расположения, типа и других факторов. Так, например, в таких зонах скорость распространения упругих волн по данным работы [28] на 25 – 35 % (нами приняты условно 30 %) меньше скорости их распространения в ненарушенной среде. На рисунке 11 показаны сейсмогеологические модели отдельных, основных типов геологических нарушений бурогольных залежей. В природных условиях их вариантов намного больше, как и развиты сложные виды нарушений, включающие совместное развитие их различных типов.

Львовско-Волынский угольный бассейн

В структурно-геотектоническом отношении Львовско-Волынский бассейн приурочен к южной части Львовско-Брестского прогиба, формирование которого связано с герцинским орогенезом.

Угленосная формация бассейна складывается отложениями везейского и намюрского ярусов нижнего и вестфальского яруса среднего карбона. Промышленная угленосность приурочена, в основном, к намюрским образованиям мощностью 160 – 460 м с резким увеличением в южном и юго-западном направлениях. По литологическому и фациальному составу разрез намюрского яруса подразделяется на две части: нижнюю, меньшую, состоящую преимущественно из песчано-глинистых пород и характеризующуюся почти полным отсутствием углей, и верхнюю, большую, представленную более грубым кластическим материалом, содержащую большее количество угольных слоев, в том числе и основные промышленные пласты бассейна.



1 – песок; 2 – глина; 3 – известняк; 4 – уголь; 5 – повышенная трещиноватость пород; 6 – карст щелевого, сбросового типа; 7 – карст провального типа

Рис. 11. Подмосковский бассейн. Сейсмогеологические модели геологических нарушений бурогольных залежей: а) неровное ложе торфяника; б) размыв; в) расщепление; г) мульдообразные нарушения; д) карст щелевого, сбросового типа; е) карст провального типа

Угленосная толща бассейна характеризуется следующими основными горно-геологическими условиями эксплуатации [8]:

- угольные пласты относятся к тонким и неустойчивым, резко изменяющим свою мощность и структуру по площади;
- характеристика угленосности бассейна и мощности угольных пластов приведены в таблице 10;
- строение пластов, как правило, простое;
- залегание угольных пластов пологое, под углами $1^{\circ} - 5^{\circ}$ с падением на запад и юго-запад;
- по марочному составу угли располагаются в диапазоне от длиннопламенных до жирных с закономерным увеличением степени метаморфизма в юго-западном направлении;
- залегающие в кровле угольных пластов аргиллиты характеризуются крайней неустойчивостью;

Таблица 10

Характеристика угленосности бассейна [8]

Ярус	Общее количество угольных пластов	Количество рабочих пластов со средней мощностью		
		0,5 - 0,7 м	0,7 - 1,0 м	1,0 - 1,5 м
визе	24	2	-	-
намюр	19	4	3	3
вестфал	9	4	-	-

- существенные осложнения при ведении очистных работ создает тектоническая нарушенность угольных пластов. Средняя частота встречи дизъюнктивных нарушений составляет три нарушения на выемочный столб;

- характерными для бассейна являются получившие повсеместное распространение размывы угленосной толщи как морского генезиса так и за счет временных потоков. В результате угольные пласты местами оказались частично или полностью уничтоженными;

- газоносность бассейна нарастает с глубиной в западном и юго-западном направлениях. Шахты Волынского месторождения (на севере) являются не газовыми (находятся в зоне углекисло-

азотных газов). Остальные шахты, разрабатывающие угли на глубинах свыше 500 м, относятся к III категории по газовому режиму;

- Львовско-Волынский каменноугольный бассейн по условиям вскрытия относится к бассейнам закрытого типа с мощностью покровных отложений 300 – 450 м.

Основными задачами прогноза горно-геологических условий отработки угольных пластов являются выявление и картирование: тектонических разрывных нарушений и зон их влияния; генетических нарушений угольных пластов (их размывов); неустойчивых участков (зон повышенной трещиноватости) кровли угольных пластов (см. табл. 1).

В целом, генезис и геологическое строение угленосных толщ Львовско-Волынского бассейна, значения физических параметров слагающих их пород, а также закономерности их изменений в зонах геологических нарушений весьма близки к таковым у одновозрастных отложений угленосных формаций Донбасса однозначных стадий эпигенеза. Поэтому при сейсмогеологическом моделировании участков геологических нарушений для этого бассейна вполне допустимо использование сейсмогеологических моделей, разработанных для Донбасса (см. рис. 2 - 4) с внесением в них определенных значений упругих показателей пород при практических исследованиях на конкретных объектах.

Таким образом, сейсмогеологическое моделирование основных типов геологических нарушений (седиментационного и тектонического генезиса) наглядно демонстрирует многообразие и индивидуальность для каждой угленосной формации и соответствующего бассейна комплекса горно-геологических условий и соотношений их геологических и физических параметров.

В целом, сейсмогеологическое моделирование является первым этапом теоретического обоснования шахтной сейсморазведки. Представляет основу для математического моделирования с целью установления закономерностей и особенностей взаимодействия сейсмоакустических колебаний с геологическими нарушениями угольных пластов и анализа влияния комплекса факторов, обуславливающих формирование волновых полей в зонах нару-

шений с учетом специфики конкретных верхнепалеозойских угольных бассейнов стран СНГ.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Майборода А.А., Тиркель М.Г. Типизация геологических нарушений угольных пластов при их прогнозе методами шахтной геофизики // Сб. науч. трудов УкрНИМИ НАН Украины. Донецк, 2011. – № 9, ч. 1 – С. 394 – 404.
2. Азаров Н.Я., Яковлев Д.В.: Сейсмоакустический метод прогноза горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений. – М.: Недра, 1988.
3. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки – Донецк: изд. «Алан», 2003. – 312 с.
4. Комплексование геофизических методов / Анциферов А.В., Довбнич М.М., Калашник А.А., Майборода А.А., Мендрий Я.В., Солдатенко В.П., Тиркель М.Г., Тяпкин К.Ф. / Под ред. Тяпкина К.Ф. – Днепропетровск – Донецк: изд. «Вебер», 2008. – 336 с.
5. Анциферов А.В., Тиркель М.Г., Анциферов В.А. Сейсмическая разведка углепородных массивов, – Донецк: изд. «Алан», 2008 – 203 с.
6. Методы формационного анализа угленосных толщ / Под ред. Г.А. Иванова, Н.В. Иванова. – М.: Недра, 1975. – 199 с.
7. Нагорный Ю.Н., Нагорный В.Н. Природа Донецкого бассейна в свете новых данных // Материалы VIII Международного конгресса по стратиграфии и геологии карбона: в 6 т. – М.: Недра, 1980. – Т.6 – С. 243 – 247.
8. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР: в 12 т. : М. Госгеолтехиздат, 1963. – Т. 1: Угольные бассейны и месторождения юга европейской части СССР. – 1210 с.
9. Воевода Б.И., Бойко А.Г., Майборода А.А. Закономерности изменения пористости и плотности углевлещающих пород Донецкого бассейна / Сб. тр. ВНИМИ. – Л.: ВНИМИ, 1976. – № 102. – С. 11 – 18.

10. Майборода А.А., Клепач Г.Ф. О методике геологических исследований углевмещающих пород Донбасса при изучении их физических свойств // Сб. тр. ВНИМИ, Л.; 1981, – С. 35 – 38.
11. Тиркель М.Г., Майборода А.А. Основные результаты сейсмогеологического анализа угленосных формаций Донбасса // Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск, 2005. – № 23. – С. 128 – 136.
12. Разработать и опробовать геофизические методы и аппаратуру для прогноза и оценки устойчивости обнажений пород в окрестности горных выработок: Отчет о НИР (закл.) / Рук. Комаров А.И., Цвиркун А.В. – Инв. № 527; Донецк – УФ ВНИМИ, 1980. – 123 с.
13. Геологические работы на угледобывающих предприятиях Украины. Инструкция / РД 12.06.204 – 99: К., 2001. – 384 с.
14. Многоволновые сейсмические исследования угольных месторождений Донбасса / Хохлов М.Т., Харитонов О.М., Трифонов П.Г., Козельский И.Т., Байсарович М.Н. – К.: Наукова думка, 1990. – 132 с.
15. Физические и химические свойства ископаемых углей. – М. – Л.: изд. АН СССР, 1962: Вып. XVI. – 267 с.
16. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР: в 12 т. – М., Недра, 1969. – Т. 7: Кузнецкий, Горловский бассейны и другие месторождения Западной Сибири. – 912 с.
17. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР: в 12 т. – М., Недра, 1978. – Т. 12: Общие данные по угольным бассейнам и месторождениям СССР. – 260 с.
18. Ольховатенко В.Е. Инженерно – геологические условия строительства крупных карьеров в Кузнецком угольном бассейне. – Томск, изд. Томского ГУ, 1976. – 211 с.
19. Гречухин В.В. Изучение угленосных формаций геофизическими методами. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
20. Стратиграфия СССР: В 14 т.—М., Недра, 1966. – Пермская система. – 536 с.
21. Усовершенствование и внедрение геофизических методов для улучшения горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений основных бассейнов: отчет о НИР (за-

- кл.); Рук. Крупнин В.Е. – № ГР 01.85.0076633; ВНИИГИС, г. Октябрьский, 1985. – 245 с.
22. Разработать методику выявления мест возможных скоплений подземных вод в кровле угольных пластов в условиях Печорского бассейна: отчет о НИР (закл.), Рук. Чирка Д.В., Колчин Г.И., Майборода А.А.– № ГР 76040134; УФ ВНИМИ, Донецк, 1978. – 330 с.
23. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР: в 12 т. – М., Недра, 1973. – т. 5: Угольные бассейны и месторождения Казахстана, – Книга 1. – 720 с.
24. Геология Карагандинского угольного бассейна / Под ред. И.В. Орлова, Г.Л. Кушева, Л.Ф. Думлера, М.В. Голицына. – М., Недра, 1972. – 415 с.
25. Разработать и внедрить методику оценки основных качественных и количественных параметров мелкоамплитудных разрывов по данным пластовой сейсморазведки для условий Карагандинского бассейна (Разработать первую редакцию методики): отчет о НИР (закл.); Рук. Векслер Ю.А. – № ГР 0187. 0040168; КарПТИ, Караганда, 1988. – 120 с.
26. Разработать и внедрить методику оценки основных качественных и количественных параметров мелкоамплитудных разрывов по данным пластовой сейсморазведки для условий Карагандинского бассейна (Разработать обобщенную сейсмогеологическую и геометрическую модель угольных пластов): отчет о НИР (промеж.); Рук. Векслер Ю.А. – № ГР 0187. 0040168; КарПТИ, Караганда, 1987. – 121 с.
27. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР: в 12 т. – М., Госкомтехиздат, 1962. – Т. 2: Подмосковский бассейн и другие месторождения угля центральных и восточных областей европейской части РСФСР. – 570 с.
28. Создать эффективные средства и методы шахтной геофизики и изучить этими методами нарушенность угольных пластов и обводненность вмещающих пород в основных угольных бассейнах страны: отчет о НИР (промеж.); Рук. Мясников Ю.Г.; Подмосковский НИУИ, Новомосковск, Тульской обл., 1972. – 189 с.