

АМТЗ положительные аномалии над нефтяными залежами в верхних горизонтах геологических разрезов, природа которых обусловлена флюидопотоками углеводородов по микротрещиноватым зонам и зонам разломов. Разрешающая способность метода МТЗ это исключает, так как надежные результаты изменения электросопротивлений пород этим методом можно зафиксировать, лишь начиная с глубины 1 км и ниже.

Библиографический список

1. Губыч И.Б., Швай Л.П., Дмынко О.С. и др. Оптимальный комплекс геологических исследований на нефть и газ в Северном борту ДДВ // Сб.: «Геолого-геофизические исследования нефтегазоносных недр Украины». — Львов: УкрДГРИ, 1997–1998гг. — Т.2.
2. Билык О.Д. Использование геохимических исследований для оценки нефтегазоносности локальных объектов // Сб.: «Геолого-геофизические исследования нефтегазоносных недр Украины». — Львов: УкрДГРИ, 1997–1998 гг. — Т.2.
3. Лукин А.Е. Факторы нефтегазоаккумуляции в авлакогенных бассейнах и критерии прогноза нефтегазоносности. — К.:Наукова думка.-1997.-220 с.
4. Белявский В.В., Николаев Ю.И., Сухой В.В. и др. Электрическая и геохимическая модели Мехедовско-Голотовщинского нефтегазоносного месторождения // Геофизический журнал, 2002. — № 2. — Т.24. — С. 92–103.

*© Шеремет Е.М., Белявский В.В., Николаев Ю.И.,
Яновский В.М., Николаев И.Ю., Сетая Л.Д.,
Азаркова Н.Г., Федотова Л.А., Панкин Ю.М., 2003*

УДК 552.2 (477.61/62)

Канд. горно-минерал. наук ИВАНОВ Л.А., докт. горно-минерал. наук ВОЕВОДА Б.И.
(ДонНТУ)

СОВРЕМЕННАЯ ГЛУБИНА КАК ФАКТОР ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГИХ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН V_p УГЛЕНОСНЫХ ПОРОД ДОНБАССА

Постановка задачи

Геофизические методы исследования скважин (ГИС) занимают достойное место среди средств геологической документации разрезов месторождений полезных ископаемых и решения практически любых геологических задач. Методы ГИС обеспечивают непрерывную информацию об изменениях различных физических параметров (электрических и электромагнитных, естественной и вызванной радиоактивности, плотности, акустических, магнитных, тепловых) горных пород по разрезам скважин. При этом обеспечивается любая заданная детальность получения упомянутой информации. Это исключает риск пропуска в разрезе скважины любого слабого слоя (прослоя) породы, отличающейся от соседних слоев хотя бы по одному физическому параметру.

Физические параметры горных пород обусловлены не только их вещественным (минеральным) и гранулометрическим составами, но также пористостью, трещиноватостью, вещественным и фазовым составами заполнителей пор и пустот, напряженным состоянием. На этом основании по данным методов ГИС можно не только обнаруживать слои различных пород в разрезах скважин, определять литоло-

гическую принадлежность пород каждого выделенного слоя, но также оценивать особенности каждого слоя, упомянутые выше.

Для решения названных геологических задач по данным ГИС, необходимо обеспечить измерения не кажущихся, а истинных значений физических параметров пород изучаемых слоев. В то же время, измерения любого физического параметра породы в скважинах геофизическим методом искажаются различными мешающими факторами. Например, на показания электрических методов искажающее влияние оказывают диаметр скважины, сопротивление буровой промывочной жидкости, наличие и характеристики зоны проникновения фильтрата буровой промывочной жидкости, глинистая корка, минерализация поровых вод, температура пород, размеры и конструкция скважинной измерительной установки, соотношение мощности и физической характеристики породы изучаемого слоя и соседних слоев. Большинство упомянутых показателей изменяются не только по разным скважинам разведочного участка, но и по разрезу конкретной скважины. В результате измеряется не истинное, а в какой-то мере искаженное (кажущееся) значение физического параметра породы изучаемого слоя. Понятно, что оперировать кажущимся значением физического параметра при решении «тонких» геологических задач недопустимо. Нужно использовать истинные значения физических параметров пород. Поэтому необходимо вносить соответствующие поправки в измерения методами ГИС для исключения влияния искажающих (мешающих) факторов и условий. В этом случае будет обеспечена обоснованность и максимальная достоверность любых геологических решений по данным геофизических измерений.

Акустический метод (АМ) ГИС широко используется при изучении разрезов углеразведочных скважин. Основным измеряемым параметром при этом является скорость распространения упругих продольных волн V_p . Значение V_p пород зависит не только от размера неупругой (остаточной) деформации породы, но и от размера упругой (обратимой) деформации, обусловленной давлением на глубине залегания породы в момент измерения V_p [1].

Неупругая (остаточная) деформация осадочной породы обусловлена степенью эпигенетических преобразований, которая, в свою очередь, наилучшим образом контролируется для однотипной породы размером общей пористости K_D [2].

Таким образом, значение V_p , измеренное акустическим методом на разных глубинах, будет отличаться в зависимости от барических условий измерений, т. е. в зависимости от глубины залегания H этой породы в скважине. Поэтому все значения, измеренные на различных глубинах V_p , должны приводиться к единым условиям измерения (например, к нулевой или какой-либо другой глубине залегания) путем введения поправки за глубину. Для этого необходимо иметь зависимость $V_p=f(H)$ установленную для конкретного объекта исследования (бассейна, района, месторождения).

Влияние глубины H на измеренное значение V_p обусловлено разностью внешнего (геостатического) и внутривпорового давления. Геостатическое давление определяется по массе вышележащих отложений, а внутривпоровое давление определить трудно, так как оно обусловлено многими индивидуальными особенностями геологических преобразований, каждую из которых выделить и оценить не всегда удастся. В связи с этим интерес может представлять экспериментально полученная зависимость $V_p=f(H)$ для конкретного бассейна. Нами изучено влияние глубины залегания пород H на размер скорости распространения в них упругих продольных волн V_p , измеренной в скважинах акустическим методом.

Объект и методика исследований

Объектом исследования явились следующие горные породы: аргиллиты (сланцы глинистые), алевролиты (сланцы алевролитисто-глинистые), песчаники мелкозернистые и среднезернистые. В сумме они составляют около 90% разреза карбона Донбасса. Их геологический возраст изменяется от С1 до С3, степень эпигенетических преобразований (по метаморфизму вмещающих углей) — от БД до А5, исследуемая глубина залегания — от 200 до 2500 м.

Породы изучались по разрезам 25 параметрических скважин. По ним выполнено 4187 м детальных геофизических исследований, включая акустический метод, и отобрано 2640 керновых пробы.

Общая методика исследований заключалась в комплексном геолого-геофизическом изучении разрезов скважин с целью обеспечения точной привязки керновых проб к диаграммам акустического метода. Для этого по каждой скважине в масштабе глубин 1:50 строилось два разреза: один по геологическим данным, другой — по данным геофизических исследований скважин. Указанные два разреза сопоставлялись и послойно увязывались между собой. После этого отбирались керновые пробы. За счет послойной увязки разрезов пробы получали жесткую привязку к диаграмме акустического метода. Каждая проба разделялась на две идентичные части. Одна часть шла на изготовление шлифа, другая — на определение общей пористости K_p .

В шлифах под поляризационным микроскопом определялись показатели вещественного состава пород — содержание кластического $C_{кл}$, глинистого $C_{гл}$, карбонатного C_k материалов и органического (углистого) вещества $C_{угл}$, а также показатель гранулометрического состава — средний размер кластических зерен d_s . Среднеквадратичная ошибка одного определения, рассчитанная по выборочным равноточным парным измерениям, составила: $d_s=0,02$ мм; $C_{кл}=2,6$; $C_{гл}=2,5$; $C_k=1,9$ и $C_{угл}=1,0$ (% абс.). По названным количественным показателям устанавливался тип породы.

Параметр K_p рассчитывался по данным лабораторного определения минералогической плотности и объемной плотности абсолютно сухих пород (ГОСТ 2160-82, ГОСТ 6427-75). Допустимое расхождение определений параметра K_p составляло 1,5% абс.

Параметр V_p измерялся зондом П0,67И10,25И2 (Парус-1) и И0,50П10,20П2 (Парус-4). Скорость перемещения скважинного прибора не превышала 350 м/ч, масштаб глубин составлял 1:50. Поправка за мощность слоя не вводилась, так как к рассмотрению принимались слои мощностью не менее 0,25 м. Погрешность измерения параметра V_p составляла не более 10%.

Полученные результаты

Фактор H был выделен путем учета других факторов, уменьшающих корреляцию между величинами V_p и H . Таковыми факторами явились условия залегания пород, степень эпигенетического преобразования, вещественный и гранулометрический состав исследуемых пород.

Исследовались только пологозалегающие (до 15°) слои пород, находящиеся вне зон влияния разрывных тектонических нарушений, не подвергнутые нарушенности и трещиноватости. Приповерхностная зона (область гипергенеза) исключалась из рассмотрения, так как исследовались отложения с глубины 200 м и более метров.

Учет влияния вещественного и гранулометрического составов пород достигнут путем ограничения диапазонов их изменения по каждой керновой пробе (табл. 1).

Табл. 1. Показатели вещественного и гранулометрического составов исследуемых типов пород

Тип породы	Размер кла- стики d_n , мм	Содержание материала, %			
		карбонатного C_k	углистого $C_{угл}$	кластического $C_{кл}$	глинистого $C_{гл}$
Песчаник сред- не-зернистый	0,25-0,50	0-5	0-5	75-92	3-25
Песчаник мел- ко-зернистый	0,10-0,25	0-5	0-5	58-88	7-42
Алевролит	0,03-0,10	0-5	0-5	50-79	15-50
Аргиллит	0,01-0,04	0-5	0-5	0-25	70-100

Учет влияния эпигенетических преобразований осуществлен по параметру K_n однотипных по составу пород. Выбор параметра K_n объясняется его чувствительностью к эпигенетическим преобразованиям однотипных пород и тем, что он, характеризуя поровое пространство пород, определяет изменение параметра V_p [2]. Однотипные породы, отобранные на разных глубинах H , считались одинаково преобразованными, при условии равенства их величины K_n .

Первоначально, чтобы получить значения параметра V_p при постоянной величине K_n , прослеживалась зависимость $V_p=f(K_n)$. Она определялась отдельно для интервалов глубин H : 200–300, 300–500, 500–1000, 1500–2000 и 2000–2500 м. Прием с использованием зависимости $V_p=f(K_n)$ позволил привлечь к обобщению большое количество исходных данных (от 70 до 150 измерений по каждой зависимости). В общей выборке оказались данные из различных районов бассейна. Основанием для их объединения послужило отсутствие систематического отклонения от общей зависимости $V_p=f(K_n)$ по тому или иному району (участку или скважине). В результате при среднеквадратичном отклонении единичных измерений параметра V_p от кривой аппроксимации, равном 150–325 м·с⁻¹, получена погрешность аппроксимации, составляющая всего лишь 40–60 м·с⁻¹ (с доверительной вероятностью $\alpha=0,95$). Затем по установленным зависимостям $V_p=f(K_n)$ с допустимой погрешностью 40–60 м·с⁻¹ рассчитывалась усредненная величина V_p для фиксированного значения параметра K_n однотипной породы с заданной величиной H .

Влияние фактора современной глубины H на параметр V_p при прочих равных условиях установлено для четырех типов пород, каждый из которых дополнительно разделен на шесть групп по признаку постоянства пористости K_n , равной 3, 5, 10, 15, 20 и 25% (рис. 1).

Точки на кривых являются усредненными значениями параметра V_p , полученными для пород с фиксированным значением величины K_n . Аппроксимация зависимостей $V_p=f(H)$ имеет удовлетворительный характер: почти все точки лежат на кривых или вблизи их. Величина отклонение точек от кривых составляет 0–40 м·с⁻¹ и не превышает погрешности их определения (см. рис. 1). Только в песчаниках с пористостью $K_n \leq 5\%$ рассматриваемое отклонения достигает величины 80 м·с⁻¹. Однако это не мешает проследить изучаемую закономерность, так как упомянутое отклонение в

5–6 раз меньше изменения параметра V_p , обусловленного глубиной H , по всему интервалу ее рассмотрения.

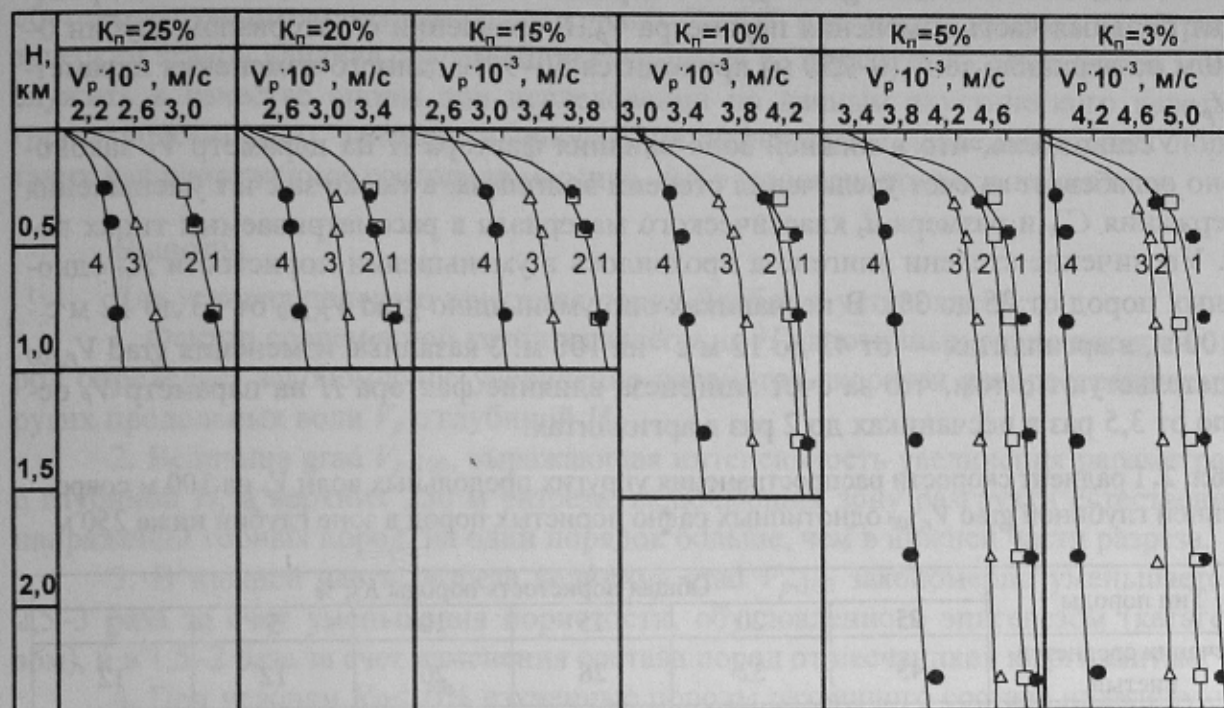


Рис. 1. Влияние современной глубины H на скорость распространения упругих продольных волн V_p пологозалегающих угленосных пород Донбасса одинаковых по составу и общей пористости K_n : 1,2,3 — обломочные породы с глинистым цементом: 1 — песчаник среднезернистый, 2 — песчаник мелкозернистый, 3 — алевролит, 4 — аргиллит; все породы содержат карбонатного материала $C_k \leq 5\%$ и углистого вещества $C_{y,v} \leq 5\%$

Отметим, что в интервале глубин $H=0-200$ м зависимость $V_p=f(H)$ является менее достоверной. Здесь она получена путем интерполяции авторских данных, установленных для $H=250$ м, и литературных, принятых для глубины $H=0$ м. Литературные данные представлены массовыми измерениями параметра V_p угленосных пород Донбасса, выполненными на керновых пробах в атмосферных условиях [3].

Анализ закономерного изменения параметра V_p , обусловленного современной глубиной H (см. рис. 1), показывает, что фактор H всегда увеличивает параметр V_p однотипных равнопористых пород. Установлено, что данное увеличение зависит от ряда условий: абсолютной величины H , состава и степени эпигенеза пород. Влияние различных условий на увеличение V_p с глубиной H отражает величина его градиента $\text{grad } V_p, 100$. Она рассчитывалась как увеличение параметра V_p на 100 м интервала глубин H . На графиках большему $\text{grad } V_p, 100$ соответствует больший наклон кривой к вертикальной оси.

Влияние абсолютной величины фактора H на увеличение V_p однотипных равнопористых пород приводит к образованию двух глубинных зон. Их граница проходит по резкому перегибу кривых $V_p=f(H)$ на глубине $H=250$ м. Верхняя зона выделяется высокими значениями $\text{grad } V_p, 100$. В песчаниках они составляют 400–500 и в высокопористых аргиллитах — 200 м·с⁻¹ на 100 м. Однако уменьшение пористости K_n аргиллитов до 3% уменьшает $\text{grad } V_p, 100$ до 12 м·с⁻¹ на 100 м. Нижняя зона прослежена от 250 до 1000 м в высокопористых и до 2500 м в низкопористых породах. Отличительной чертой зоны являются ее низкие значения величины $\text{grad } V_p, 100$. Они

здесь колеблются от 12 до 43 м·с⁻¹ на 100 м, что на порядок меньше, чем в верхней зоне (табл. 2).

Следствием высоких $\text{grad } V_{p,100}$ в верхней зоне является то, что в ней происходит большая часть изменения параметра V_p . В сравнении с интервалом глубин 0–1000 м на верхнюю зону (0–250 м) приходится 50–90% данного изменения параметра V_p .

Установлено, что в нижней зоне влияния фактора H на параметр V_p закономерно ослабевает за счет увеличения степени эпигенеза, а также за счет уменьшения содержания $C_{кл}$ и размера d_3 классического материала в рассматриваемых типах пород. Увеличение степени эпигенеза проявилось в уменьшении пористости $K_{п}$ однотипных пород от 25 до 3%. В песчаниках оно уменьшило $\text{grad } V_{p,100}$ от 43 до 12 м·с⁻¹ на 100 м, в аргиллитах — от 43 до 12 м·с⁻¹ на 100 м. Указанные изменения $\text{grad } V_{p,100}$ свидетельствуют о том, что за счет эпигенеза влияние фактора H на параметр V_p ослабло от 3,5 раз в песчаниках до 2 раз в аргиллитах.

Табл. 2. Градиент скорости распространения упругих продольных волн V_p на 100 м современной глубиной $\text{grad } V_{p,100}$ однотипных равно пористых пород в зоне глубин ниже 250 м

Тип породы	Общая пористость породы $K_{п}$, %					
	25	20	15	10	5	3
Песчаник среднезернистый	43	32	28	20	12	12
Песчаник мелкозернистый	43	32	28	20	12	12
Алевролит	40	27	26	16	10	8
Аргиллит	20	27	19	18	14	12

Показатели состава $C_{кл}$ и d_3 исследуемых пород закономерно уменьшаются при переходе от песчаников к аргиллитам (см. табл. 1). Указанное изменение состава пород при их высокой пористости $K_{п}=25\%$ уменьшает величину $\text{grad } V_{p,100}$ от 43 до 20 м·с⁻¹ на 100 м. В случае не высокой пористости $K_{п}<10\%$ данные породы по величине $\text{grad } V_{p,100}$ нивелируются. Установленные изменения $\text{grad } V_{p,100}$ свидетельствуют, что за счет изменения состава пород при переходе от песчаников к аргиллитам влияние фактора H на параметр V_p ослабевает максимум в 2 раза, когда параметр $K_{п}=25\%$. С уменьшением пористости $K_{п}$ уменьшается и роль состава пород. При условии $K_{п}<10\%$ фактор H влияет на параметр V_p практически одинаково в песчаниках, алевролитах и аргиллитах.

Обсуждение результатов исследования

Установленная зависимость $V_p=f(H)$ качественно подтверждает зависимость $V_p=f(P)$, полученную [1, 5] в результате физического моделирования влияния эффективного давления P на рассматриваемый параметр V_p на образцах пород различной глинистости и пористости. Данное сходство позволяет считать, что эффективное давление P является главной причиной исследуемой зависимости $V_p=f(H)$.

Зависимость $V_p=f(H)$ получена для условий *in situ* по данным акустического каротажа и имеет непосредственную привязку к глубинам залегания угленосных пород Донбасса. Поэтому она путем не сложных преобразований легко превращается в палетку (либо ее численное выражение) для приведения параметра V_p к единой глубине. Оптимальной глубиной приведения является 500 м, так как она одновременно минимальна по величинам H и $\text{grad } V_{p,100}$.

Зависимость $V_p=f(H)$ установлена по выборочным данным из различных районов бассейна. В ней исключены систематические отклонения по тому или иному участку или скважине и инструментально учтены состав и пористость пород. Данное обстоятельство позволяет семейство кривых $V_p=f(H)$ (см. рис. 1) принять за петрофизический эталон влияния современной глубины H на параметр V_p . Этот эталон может служить в качестве опоры при исследовании по данным акустического каротажа горно-геологических явлений, влияющих на эффективное давление горных пород, таких как напряженное состояние массива, выбросоопасность песчаников и др.

Выводы

Для условия пологого залегания пород Донбасса установлено:

1. Фактор современной глубины залегания H однотипных равно пористых пород определяет закономерное увеличение параметра скорости распространения упругих продольных волн V_p с глубиной H .

2. Величина $\text{grad } V_{p,100}$, выражающая интенсивность увеличения параметра V_p с глубиной H , в верхних 250 м разреза, включающих зону разгрузки естественных напряжений горных пород, на один порядок больше, чем в нижней части разреза.

3. В нижней части разреза величина $\text{grad } V_{p,100}$ закономерно уменьшается в 2,5–3 раза за счет уменьшения пористости, обусловленного эпигенезом (катагенезом), и в 1,5–2 раза за счет изменения состава пород от песчаников к аргиллитам;

4. При условии $K_{II} < 10\%$ изученные породы различного состава нивелируются по величине $\text{grad } V_{p,100}$.

5. Зависимость $V_p=f(H)$ может считаться эталонной и быть использованной для приведения данных акустического каротажа к единой глубине $H=500$ м, а также служить петрофизической основой изучения по данным акустического метода горно-геологических явлений, влияющих на эффективное давление горных пород, таких как напряженное состояние массива, выбросоопасность песчаников и др.

Библиографический список

1. Авчян Г.М., Матвеев А.А., Стефанкевич З.Б. Петрофизика осадочных пород в глубинных условиях. — М.: Недра, 1979. — 224 с.
2. Гречухин В.В. Петрофизика угленосных формаций. — М.: Недра, 1990. — 472 с.
3. Гречухин В.В., Воевода Б.И., Бойко А.Г. Петрофизический разрез Донецкого бассейна. — Советская геология, 1978. — № 3. — С. 123–130.
4. Ломтадзе В.В. Инженерная геология. Инженерная петрология. — Ленинград: Недра, 1984. — 511 с.
5. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / Под ред. Н.Б. Дортман. — М.: Недра, 1984. — 455 с.

© Иванов Л.А., Воевода Б.И., 2003

УДК 553.26

Докт. геол.-минерал. наук ПАНОВ Б.С., канд. геол.-минерал. наук АЛЕХИН В.И. (ДОННТУ), канд. геол.-минерал. наук ЮШИН А.А. (ИГМР НАН Украины)

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗОЛОТЕ В МЕДИСТЫХ ПЕСЧАНИКАХ ДОНБАССА

В связи с возросшим интересом к медистым песчаникам Бахмутской котловины Донбасса и оценкой промышленных перспектив уже известных проявлений меди здесь становится актуальным вопрос комплексного использования меднорудного