

УДК 550.83:553.9

Л.А. Иванов

РАСЧЛЕНЕНИЕ УГЛЕНОСНОГО КАРБОНА ДОНБАССА НА ПАЧКИ ПО ПРИНЦИПУ ОДНОЗНАЧНОСТИ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КОЛЛЕКТОРОВ МЕТАНА

Проблема неоднозначной зависимости геофизического параметра от содержания песчаных коллекторов решается путем выделения пачек, состав которых соответствует однонаправленному изменению геофизического параметра в его общей зависимости от состава.

Ключевые слова: угленосные отложения, пачки, петрофизика, геофизика

Введение. В общем виде показатели качества коллекторов (мощность, состав и свойства пород) между скважинами изменяются нелинейно и непредсказуемо. Следовательно, участки с лучшими коллекторами могут быть выявлены лишь на основе инструментального исследования межскважинного пространства [3, 6].

Данная задача может быть решена традиционным методом разведочного бурения. Однако его дороговизна является серьёзным препятствием, диктующим потребность в разработке новых нетрадиционных технологий. Наиболее прогрессивным является подход, заключающийся в выполнении полевых геофизических исследований и в извлечении максимума геолого-геофизической информации из уже пробуренных ранее скважин. Из полевых геофизических методов для решения рассматриваемой задачи наиболее эффективными являются методы сейсморазведки и электромагнитного зондирования [1, 5, 6].

Однако использование геофизических методов упирается в проблему неоднозначности интерпретации их показаний, поскольку физические свойства пород зависят от многих факторов.

В соответствии с общим правилом для решения задачи со многими неизвестными требуется, чтобы число независимых геофизических параметров было не меньшим количества геологических показателей, определяющих их изменение. Следуя этому правилу, выделяется два направления выполнения работ: первое – за счет увеличения количества геофизических параметров (и методов) и второе – путем уменьшения числа геологических факторов.

Первое направление является традиционным и базируются на разработке геофизической аппаратуры. Более привлекательным является второе направление, в котором задача решается не числом геофизических методов, а умением найти геологические условия, в которых влияние факторов на физические свойства пород становится пренебрежимо малым либо однозначно предсказуемым [7].

Поэтому, учитывая необходимость инструментального исследования коллекторов метана в межскважинном пространстве и эффективность использования для этого геофизических методов, вопрос учета влияния геологических факторов на геофизические параметры и определение условий однозначного оценивания качества коллекторов по геофизическим данным является актуальным.

Объект, цель и задачи исследований. Объектом исследования являются угленосные отложения карбона, качество гранулярных коллекторов которых, при прочих равных условиях, существенно зависит от их литологического состава. Учитывая разрешающую способность геофизических методов исследования скважин (ГИС) и разведочной геофизики, работы проводились по двум уровням организации вещества: породному и надпородному. Породный уровень представлен слоями аргиллитов, алевролитов, песчаников, гравелитов, углей и известняков. Надпородному уровню соответствуют пачки, состоящие из указанных типов пород. Мощность слоев составляет от первых дециметров до первых метров, мощность пачек – от первых десятков до первых сотен метров. В географическом

© Л.А. Иванов

отношении объект исследования располагается в западной и юго-западной части Донбасса, в частности, на полях шахт “Западно-Донбасская”, “Южно-Донбасская 3”, “Покровская”, на участке разведки “Свидовской”, в районе Очеретинской глубокой скважины К-900.

Цель исследования заключается в выделении в геологическом разрезе условий, обеспечивающих однозначное определение литологического состава пачек и, соответственно, качества коллекторов геофизическими методами. Поставленная цель предполагает решение двух взаимосвязанных задач: установление критерия, определяющего однозначность решения геологической задачи геофизическими методами и выделение в геологическом пространстве области, на которую распространяется данный критерий.

Материал и методы исследования. Используемые материалы представлены результатами ранее выполненных петрофизических исследований угленосных отложений, ГИС и электромагнитного зондирования методом становления тока в ближней зоне (ЗСБ).

Основным методом исследования является обобщение петрофизических данных и построение физико-геологических моделей разрезов угленосных отложений. На породном уровне использовались результаты комплексного определения преобладающего размера обломочных зерен (d_3), содержания кластического, глинистого, карбонатного и углестого вещества в шлифах, общей пористости (K_n) и плотности по керновым пробам, удельного электрического сопротивления (ρ_n) и скорости распространения продольных упругих волн (V_p) пород по данным ГИС.

Послойные данные использовались для физико-геологического моделирования литологического состава и физических свойств (ρ_n , V_p) пачек. Параметр ρ_n пачек также определялся методом становления тока в ближней зоне (ЗСБ).

Результаты исследований. Представления о связи физических свойств пачек с их составом следуют из петрофизических зависимостей слагающих их пород.

Породный уровень. Результаты исследования показывают, что на ранних стадиях катагенеза связь параметра V_p с показателем d_3 неоднозначная. В гранулометрическом ряде пород с увеличением показателя d_3 от аргиллита до гравелита, параметр V_p сначала увеличивается, а затем уменьшается, образуя максимум на границе алевролита и песчаника мелкозернистого (рис. 1). Относительно максимума выделяются две ветви графика. На этих ветвях могут быть указаны пары точек с одинаковым значением петрофизического параметра, но с совершенно различным составом. Так, на границе V-VI (D_1 - D_2) стадий катагенеза значением параметра V_p , равным 3100 м/с, одновременно характеризуется аргиллит и песчаник крупнозернистый.

Максимум параметра V_p , располагающийся в середине гранулометрического ряда пород, является причиной неоднозначного определения состава пород по данному параметру на стадиях катагенеза от IV(БД) до VII (Г). На указанных стадиях катагенеза при минерализации пластовых вод более 10 г/л подобной неоднозначностью характеризуется гранулометрический ряд пород по параметру [3].

С увеличением степени катагенеза рассматриваемый максимум постепенно смещается в сторону больших значений показателя d_3 и на стадиях катагенеза более VII (Г) данный максимум переходит к наиболее крупнозернистым разностям гранулометрического ряда пород. При этом с увеличением показателя d_3 изменение параметров V_p и ρ_n происходит лишь по одной нарастающей ветви. Такая перестройка графика приводит к исчезновению неоднозначности в зависимостях параметров V_p и ρ_n от показателя d_3 .

Таким образом, неоднозначность определения показателя d_3 по параметрам V_p или ρ_n определяется областью распространения угленосных отложений от IV(БД) до VII (Г) стадии катагенеза. Для параметра ρ_n дополнительным условием образования рассматриваемой неоднозначности является минерализация пластовых вод свыше 10 г/л.

Надпородный уровень. В результате исследования угленосных отложений установлены три особенности изменения литологического состава пачек.

Первая особенность. Угленосный разрез представлен большим набором основных типов пород (гравелитами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, известняками и углями). Однако лишь только три типа, к которым относятся песчаники, алевролиты и

аргиллиты, способны образовывать самостоятельные пачки мощностью более 10 м. В силу этой особенности основными показателями литологического состава пачек является содержание песчаников (C_n), алевролитов ($C_{ал}$) и аргиллитов ($C_{ар}$).

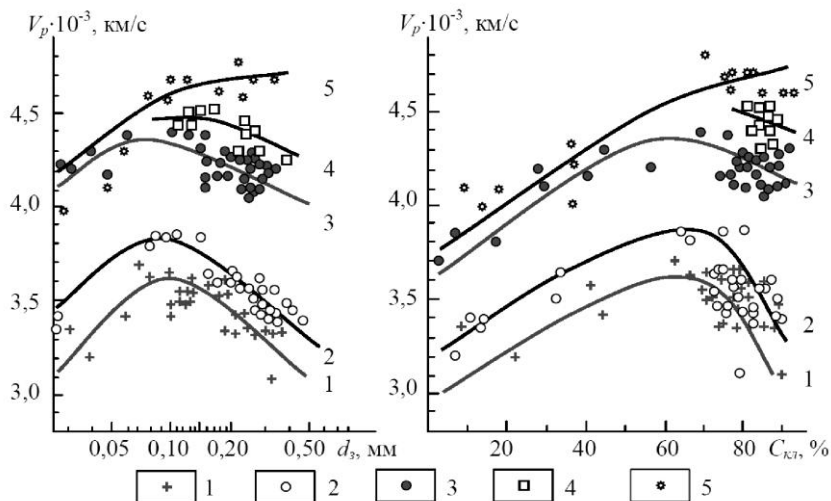


Рис. 1. Зависимость скорости распространения упругих продольных волн (V_p) от размера обломочных зерен (d_3) и содержания кластического материала ($C_{кл}$) на начальных стадиях катагенеза.

Донецкий бассейн, Красноармейский угленосный район, Очеретинская глубокая скважина К-900 [3].

Интервал глубин и стадии катагенеза пород (метаморфизма углей): 1 – от 210 до 320 м, граница V-VI (D_1 - D_2) стадий; 2 – от 435 до 545 м, конец VI (D_2) стадии; 3 – от 800 до 890 м, середина VII (Γ) стадии; 4 – от 1080 до 1125 м, вторая половина VII (Γ) стадии; 5 – от 1185 до 1295 м, конец VII (Γ) стадии. Содержание карбонатного материала $C_k \leq 5\%$ и органического вещества $C_{орг} \leq 5\%$

Вторая особенность. Расположение пачек на треугольной диаграмме состава (C_n , $C_{ал}$, $C_{ар}$) представлено сравнительно узкой полосой (рис. 2). Данная полоса вытянута в направлении увеличения показателя C_n от 0 до 100 % и уменьшения показателя $C_{ар}$ от 100 до 0 %. Ширина полосы отражает вариацию показателя $C_{ал}$, которая не превышает $\pm 10\%$. Незначительная величина позволяет пренебречь вариацией показателя $C_{ал}$ и состав пачки выразить лишь через один независимый показатель C_n . Другие показатели ($C_{ар}$ и $C_{ал}$) при этом определяются как функция показателя C_n .

Третья особенность. В угленосном разрезе выделяются пачки с взаимосвязанным изменением содержания мелкозернистых, среднезернистых и крупнозернистых разностей песчаников, а также гравелитов. Данные изменения свойственны пачкам, содержащим аллювиальные песчаники [4]. В этих пачках с увеличением показателя C_n закономерно увеличивается содержание крупнозернистых разностей пород (гравелитов, песчаников крупнозернистых) за счет уменьшения мелкозернистых образований (алевролитов и песчаников мелкозернистых). Эта особенность литологического состава увеличивает дифференциацию песчаных пачек по геофизическим параметрам.

Таким образом, рассматривая песчаники, алевролиты и аргиллиты в качестве основных компонентов состава пачек (первая особенность) и пренебрегая незначительной вариацией содержания алевролитов (вторая особенность), для описания литологического состава достаточно использовать один независимый показатель C_n . Достаточность описания состава пачки лишь по одному показателю делает возможным его определение минимум по одному, но связанному с ним геофизическому параметру.

Широкий диапазон изменения показателей C_n и узкий диапазон вариации показателя $C_{ал}$ (вторая особенность), а также взаимосвязанное изменение песчаников различной зернистости (третья особенность) предопределяют закономерное изменение физических свойств пачек (параметров V_p и ρ_n) в зависимости от показателя C_n . Данное изменение проявляется при учетном влиянии катагенеза на физические свойства пород и пачек. В

соответствии с физическими основами угольной геофизики однозначность связи физических свойств пород с их составом достигается при раздельном изучении разреза по литолого-геофизическим ступеням, мощность которых составляет от 100 до 250 м [2].

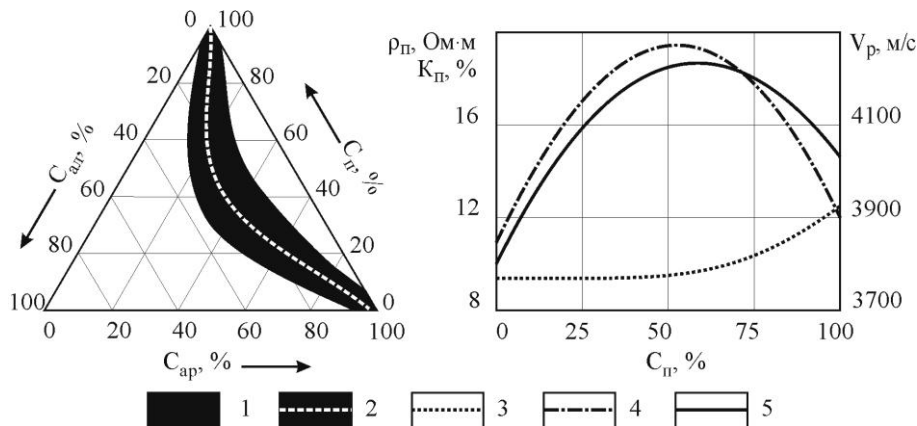


Рис. 2. Аппроксимация показателей литологического состава пачек и зависимость физических свойств пачек от содержания в них песчаных пород. Западный Донбасс, VII (Г) стадия катагенеза.

1 – поле вариации литологического состава пачек; 2 – линия аппроксимации показателей состава; 3 – усредненная общая пористость песчаных коллекторов (K_p); 4 – скорость распространения упругих продольных волн (V_p) пачки; 5 – удельное электрическое сопротивление (ρ_p) пачки; C_n – содержание песчаников; $C_{ал}$ – содержание алевролитов; $C_{ар}$ – содержание аргиллитов; минимальная мощность пачек 20 м

С увеличением показателя C_n от 0 до 50 % показатель $C_{ар}$ уменьшается, а показатель $C_{ал}$ увеличивается и достигает максимального значения. Алевролиты отличаются от песчаников и аргиллитов большими значениями параметров V_p и ρ_p . Поэтому увеличение показателя $C_{ал}$ приводит к увеличению параметров V_p и ρ_p пачек. При последующем увеличении показателя C_n от 50 до 100 % показатель $C_{ал}$ уменьшается и поэтому параметры V_p и ρ_p пачек уменьшаются. Однако более существенное уменьшение данных параметров происходит за счет увеличения в составе песчаников содержания крупнозернистых разностей. Так, на VII (Г) стадии катагенеза с увеличением показателя C_n от 0 до 50 % параметр V_p пачки увеличивается от 3800 до 4200 м/с. При последующем увеличении показателя C_n от 50 до 100 % данный параметр уменьшается от 4200 до 3900 м/с. Подобным образом изменяется и параметр ρ_p пачек (см. рис. 2)..

Таким образом, изменение параметров ρ_p и V_p пачек в зависимости от показателя C_n характеризуется образованием максимума физических параметров в диапазоне изменения показателя C_n от 40 до 60 %.

Данный максимум не позволяет непосредственно по физическому параметру пачки однозначно определить ее литологический состав. Поэтому данная геологическая задача в общем виде не имеет решения по геофизическим данным. Для выхода из этой ситуации решение задачи в общем виде сводится к частным случаям, при которых она приобретает однозначное решение. Установлено, что частными случаями являются литостратиграфические единицы, для выделения которых принят следующий критерий: вариации состава в данной единице должно соответствовать интервалу однонаправленного изменения геофизического параметра в его общей зависимости от состава пачки.

Однонаправленное изменение параметров V_p и ρ_p пачек происходит в двух интервалах изменения показателя C_n : от 0 до 50 % и от 50 до 100 %. Эти интервалы соответствуют пачкам глинистого и песчаного состава. Поэтому для реализации предлагаемого критерия угленосный разрез расчленяется на две группы пачек: песчаные ($C_n \geq 50\%$) и глинистые ($C_n < 50\%$). Дальнейшее определение литологического состава пачек и качества коллекторов выполняется раздельно по песчаным и глинистым пачкам.

Рассматриваемый максимум физических параметров (V_p и ρ_p), установленный для середины гранулометрического ряда пород, является причиной образования максимума этих

же параметров в середине диапазона изменения показателя C_p . Данный максимум как для пород, так и для пачек распространен на стадиях катагенеза от IV (БД) до VII (Г). Для параметра ρ_n дополнительным условием является минерализация пластовых вод свыше 10 г/л. Поэтому область распространения установленного критерия для параметра V_p ограничивается стадиями катагенеза от IV (БД) до VII (Г), для параметра ρ_n – теми же стадиями катагенеза и минерализацией пластовых вод более 10 г/л.

Выводы. Таким образом, задача определения литологического состава и качества коллекторов по геофизическим данным, не имеющая решения в общем виде, может быть сведена к частным случаям, в которых данная задача становится решаемой. Такими частными случаями являются литостратиграфические единицы, для выделения которых установлен следующий критерий: вариации состава литостратиграфических единиц должны быть ограничены пределами однонаправленного изменения геофизического параметра в его общей зависимости от литологического состава.

Для практической реализации данного критерия разрез расчленяется и отдельно изучается по глинистым и песчаным пачкам, в которых пределы изменения содержания песчаников соответственно составляют от 0 до 50 % и от 50 до 100 %.

Область распространения установленного критерия для параметра V_p ограничивается стадиями катагенеза от IV (БД) до VII (Г), для параметра ρ_n – теми же стадиями катагенеза и минерализацией пластовых вод более 10 г/л.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Авербух А.Г.* Изучение состава и свойств горных пород при сейсморазведке / А.Г. Авербух // М.: Недра, 1982. - 232 с.
2. *Гречухин В.В.* Петрофизика угленосных формаций / В.В. Гречухин // М.: Недра, 1990. - 472 с.
3. *Иванов Л.А.* Инверсия угленосных пород Донбасса в катагенезе по значению скорости распространения упругих продольных волн / Л. А. Иванов, Б. И. Воевода // Наукові праці ДонНТУ: серія гірничо-геологічна. Випуск 72.-Донецьк, ДонНТУ, 2004. – С. 169-175.
4. *Иванов Л.А.* Строение гранулярных коллекторов нижнего карбона Донбасса по данным геофизических исследований угольных скважин / Л.А. Иванов, А.А. Майборода, С.А. Шурховецкий // Збір. наук. праць ІГН НАН України. Вип. 3. - Київ, ІГН, 2010. - С. 222-228.
5. *Мушин И.А.* Структурно-формационная интерпретация сейсмических данных / И.А. Мушин, Л.Ю. Бродов, Е.А. Козлов, Ф.И. Хатянов // М.: Недра, 1990. - 299 с.
6. *Птецов С.Н.* Анализ волновых полей для прогнозирования геологического разреза / С.Н. Птецов // М.: Недра, 1989. - 135 с.
7. *Тиркель М.Г.* Предпосылки трехмерного геолого-геофизического изучения углепородного массива для извлечения метана / М.Г. Тиркель, Л.А. Иванов, А.И. Компанец, В.А. Анциферов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Випуск 1 / Під заг. ред. А.В. Анциферова. – Донецьк, УкрНДМІ, 2007. – С.39-54.

L. Ivanov

THE DIVISION OF THE DONBASS COAL-BEARING CARBONIFEROUS TO PACK ON THE PRINCIPLE OF THE UNIQUENESS OF PETROPHYSICAL RELATIONSHIPS TO ASSESS THE QUALITY OF GEOPHYSICAL RESERVOIRS OF METHANE

The problem is ambiguous, depending on the content of geophysical parameter sand reservoirs is solved by separating packs, the composition of which corresponds to the unidirectional change geophysical parameter in its general function of the composition.

Keywords: coal-bearing deposits, pack, petrophysics, geophysics

Л. А. Іванов

РОЗЧЛЕНУВАННЯ ВУГЛЕНОСНОГО КАРБОНУ ДОНБАСУ НА ПАЧКИ ЗА ПРИНЦИПОМ ОДНОЗНАЧНОСТІ ПЕТРОФІЗИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ДЛЯ ГЕОФІЗИЧНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ КОЛЕКТОРІВ МЕТАНУ

Проблема неоднозначної залежності геофізичного параметра від вмісту піщаних колекторів вирішується шляхом виділення пачок, склад яких відповідає односпрямованому змінюванню геофізичного параметра в його загальній залежності від складу.

Ключові слова: вугленосні відклади, пачки, петрофізика, геофізика

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. Н.П. Семененка НАН України
Іванов Леонід Анатолійович
e-mail: ivanov.donetsk@mail.ru