

УДК 550.8.012:552.08

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

**Иванов Л. А., Майборода А. А.**  
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*Впервые сформульовано проблему вдосконалення петрофізичного розрізу. Показано головні шляхи її рішення: зміна статусу геологічних чинників з постійного на змінний; конкретизація однотипності породи до стандартних величин речовинного і гранулометричного складу.*

*For the first time a problem related to petrophysical section improvement is formulated. Main ways of its solving are shown: change of geologic factor status from permanent to variable; concrete definition of rock uniformity up to standard values of material and granulometric compositions.*

**Постановка проблемы.** Петрофизический разрез угленосных отложений является графическим отражением изменения физических свойств пород по геологическому разрезу в виде линий аппроксимации, построенных отдельно для каждого типа породы [1]. Встречается и другая трактовка петрофизического разреза, в соответствии с которой он рассматривается как одна ступенчатая диаграмма, построенная для последовательности слоев разных типов пород [2]. Однако подобные построения целесообразно рассматривать не как петрофизический разрез, а как физико-геологическую модель разреза.

К первым построениям петрофизического разреза относятся работы по Печорскому угольному бассейну. В результате их выполнения выявлено закономерное изменение физических свойств однотипных пород по петрофизическим разрезам скважин. Срав-

нивая эти разрезы, было установлено, что причиной данного изменения является катагенез (эпигенез), тогда как факторы современной глубины и геологического возраста являются кажущимися. Путем корреляции петрофизических разрезов скважин выполнено их вертикальное наращивание и построен сводный петрофизический разрез Печорского бассейна [1]. При проведении рассматриваемых работ был выработан определенный стандарт петрофизического разреза, который затем использовался в других угольных бассейнах, таких как Донецкий, Кузнецкий, Московский, Южно-Якутский [3-6].

Сущность петрофизического разреза сводится к отражению влияния литогенеза (диагенеза, катагенеза и метагенеза) на физические свойства однотипных пород. Поэтому петрофизический разрез также является петрофизической моделью литогенеза. Решающее значение при ее построении имеют два ключевых вопроса: определение однотипности пород и выбор факторов их преобразования. Традиционно эти вопросы решались путем визуального определения однотипности пород и использования температура и давления как факторов литогенеза. При этом температура и давление выражались через палеоглубину максимального доинверсионного погружения пород. Однако встречаются и другие нетрадиционные способы решения этих вопросов. В совокупности они указывают на новое понимание петрофизического разреза. Так, увеличение числа геологических факторов в петрофизическом разрезе превращают его из модели литогенеза в многофакторную модель истории геологического развития конкретного месторождения. В свою очередь, многофакторность открывает путь к построению петрофизического разреза для самых разнообразных осадочных отложений и использованию его в многочисленных отраслях геофизики.

Таким образом, на протяжении нескольких десятилетий петрофизический разрез угленосных отложений рассматривался лишь как стандартная петрофизическая модель литогенеза. Исследования, направленные на расширение его возможностей, целенаправленно не проводились. Скрытый потенциал петрофизического разреза являлся недоступным для многих отраслей геофизики. Поэтому возникла вполне определенная проблема, кото-

рую можно сформулировать как необходимость совершенствования петрофизического разреза угленосных отложений.

Следует отметить, что построение петрофизического разреза связано со многими научными задачами, имеющими актуальное значение. Главными из них являются разработка теории породообразования и физических основ решения геологических задач геофизическими методами. В теории породообразования данные петрофизики имеют большое значение и связано это с тем, что главной реакцией изменения пород в процессе литогенеза является их уплотнение и изменение физических свойств [7].

С петрофизическим разрезом связана разработка новых физических основ угольной промысловой геофизики. При этом в центре внимания находится порядок установления петрофизических зависимостей. В соответствии с традиционным подходом связь искомого признака породы с петрофизическим параметром определяется напрямую и без каких-либо ограничений. В новом подходе перед установлением петрофизических зависимостей изменение петрофизического параметра разделяется на две составляющие: первичную, связанную с составом и седиментогенезом, и вторичную, обусловленную литогенезом. Данное разделение имеет принципиальное значение, поскольку обеспечивает однозначность решения геологических задач геофизическими методами. Реализуется это разделение при помощи петрофизического разреза [1].

Оказывая влияние на петрофизические основы геофизики, петрофизический разрез определяет успех решения многих геологоразведочных задач геофизическими методами. Однако не все изменения петрофизического разреза заведомо влекут к улучшению качества геофизических исследований. Допускаются и другие случаи, имеющие нейтральный и даже отрицательный результат. Поэтому успех решения проблемы во многом зависит от правильного выбора направлений совершенствования петрофизического разреза.

Целью исследования является обоснование направлений совершенствования петрофизического разреза, обеспечивающих повышение эффективности использования геофизических методов при решении геологических задач.

Актуальность темы исследования состоит в ее общей направленности на совершенствование физических основ геофизических методов, являющихся наиболее прогрессивными методами решения большого круга задач по поиску и разведке минеральных ресурсов страны.

В качестве основного метода исследования выбран анализ элементов и операций построения петрофизического разреза угольного бассейна, а также качественная оценка факторов, которые способны изменить петрофизический разрез в иных геологических условиях.

**Полученные результаты и их обоснование.** Наименьшей единицей петрофизического разреза является линия аппроксимации изменения петрофизического параметра ( $P_{лг}$ ) однотипной породы (индекс  $лг$ ) по глубине ( $H$ ) разреза одной скважины:

$$P_{лг} = f(H) \pm e_{лг}, \quad (1)$$

где  $e_{лг}$  – погрешность аппроксимации.

Тогда петрофизический разрез формально является семейством кривых аппроксимации, построенных по нескольким литотипам ( $лг$ ) для комплекса петрофизических параметров ( $P_{лг}$ ).

Данная формализация позволяет выделить ряд направлений совершенствования петрофизического разреза, соответствующих изменению элементов уравнения (1): количеству петрофизических параметров ( $P_{лг}$ ), числу литотипов ( $лг$ ), глубины ( $H$ ). К этим направлениям присоединяется еще одно, связанное с изменением строения разреза и учетом новых геологических факторов. Все рассматриваемые направления приведены в таблице 1.

*Первое* направление – это ввод новых признаков пород, которыми являются петрофизические параметры, а также количественные показатели состава и строения пород и углей. Стандартным для различных угольных бассейнов является следующий комплекс петрофизических параметров: общая пористость ( $K_{п}$ ), минералогическая плотность ( $\delta_{м}$ ), объемная плотность абсолютно сухих ( $\delta_{с}$ ) и насыщенных водой ( $\delta_{н}$ ) пород, удельное электрическое сопротивление ( $\rho_{п}$ ), скорость распространения продольных упругих волн ( $V_{р}$ ), интенсивность естественного гамма-излучения ( $I_{\gamma}$ ) [1].

К новым петрофизическим параметрам относится магнитная восприимчивость пород. Введение ее в петрофизический разрез позволило установить, что причина изменения магнитной восприимчивости однотипных пород состоит не в катагенезе, а в изменении состава осадочного материала, поступающего из питающей провинции [8].

Таблица 1  
Совершенствование петрофизического разреза

Направление	Ожидаемый результат
1. Ввод новых признаков пород	Выделение геологических факторов изменения новых петрофизических параметров
2. Ввод новых типов пород	Уточнение петрофизической модели литогенеза (диагенеза, катагенеза, метагенеза)
3. Уточнение однотипности породы	Ограничение влияние состава на петрофизические параметры однотипных пород
4. Использование парных зависимостей петрофизических параметров	Увеличение достоверности построения петрофизического разреза
5. Увеличение глубины разрезов скважин	Сокращение наращиваний разрезов и учет влияния термодинамических условий на петрофизические параметры
6. Переход на необычные для угленосных формаций разрезы	Развитие представлений о новых геологических факторах изменения физических свойств пород

Использование петрофизического разреза также позволило выявить влияние минерализации пластовых вод на удельное электрическое сопротивление и другие физические свойства пород [9]. Оценивая по параметрам петрофизического разреза репрезентативность выборки, определено изменение размера обло-

мочных зерен как результирующего процесса их растворения и нарастания под давлением [10]. Ввод показателей метаморфизма углей в петрофизический разрез, позволил опровергнуть гипотезу перманентного метаморфизма углей [11]. Отталкиваясь от фоновых значений петрофизического разреза, были выделены аномалии физических свойств пород вблизи дизъюнктивов [12].

Следовательно, ввод в петрофизический разрез новых признаков пород, в том числе и петрофизических, позволяет установить влияние на них как группы первичных и вторичных факторов, так и других геологических причин.

*Второе* направление отражает результат увеличения количества литотипов. Изначально петрофизический разрез состоял из четырех типов угленосных отложений: аргиллита, алевролита, песчаника мелкозернистого и угля. Увеличение количества литотипов, доведенное до всех основных и промежуточных разностей (28 типов пород и шесть типов углей), делает петрофизическую характеристику разреза более детальной. Такой разрез приобретает новое свойство, поскольку становится петрофизической основой для диагностики всех литотипов на различных стадиях литогенеза по их физическим свойствам [13].

При этом происходит трансформация петрофизического разреза в модель, отражающую связь физических параметров с составом различных литотипов. Состав пород в данном случае выражается дискретно как их среднее значение. Из-за этой дискретности петрофизический разрез сильно проигрывает более совершенным моделям, характеризующимся непрерывным изменением состава пород. К ним относятся треугольные диаграммы связей физических свойств пород с тремя компонентами состава, диаграммы парных связей петрофизических параметров с показателем размера зерен.

Увеличение количества литотипов в петрофизическом разрезе возможно за счет крупнозернистых (три типа) и карбонатных (25 типов) разностей пород. Крупнозернистые литотипы характеризуются максимальной чувствительностью к процессам катагенеза и метагенеза и поэтому обязательно должны находиться в петрофизическом разрезе. Их отсутствие объясняется лишь редкой встречаемостью. Поэтому по мере пополнения данных о

крупнозернистых разностях пород они должны вноситься в петрофизический разрез. Целесообразно количество типов пород довести до полного гранулометрического ряда, начиная с аргиллита и заканчивая конгломератом.

Дополнять петрофизический разрез карбонатными разностями нет необходимости. Они, как правило, характеризуются максимальным разбросом значений и ухудшают петрофизический разрез как модель литогенеза.

Следовательно, общее увеличение количества литотипов, доведенное до всех 28 типов, не сделает петрофизический разрез более совершенным построением. Исключение составляют лишь крупнозернистые обломочные разности (являющиеся наиболее чувствительными к постдиагенетическим преобразованиям пород), которые и следует дополнительно ввести в петрофизический разрез.

*Третье* направление связано с пониманием однотипности пород. На ранних этапах петрофизических исследований как одно целое рассматривались все отложения верхнего палеозоя Донбасса [14]. Затем использовалось деление углевмещающих пород на основные типы – аргиллиты, алевролиты и песчаники. Первые петрофизические разрезы строились для данных типов, за исключением песчаника, который уточнялся до мелкозернистой разности. К тому же указывалось, что породы не содержат карбонатные и органические примеси. При этом однотипной считалась порода определенная визуально, испытанная соляной кислотой (на наличие карбонатов) и выборочно (25 % образцов) исследована под микроскопом. Такой способ не гарантировал однотипности всех образцов пород. Кроме того, он не исключал попадание в выборку образцов пород с магнезиально-железистыми карбонатами. Керн этих пород имеет повышенную сохранность, а их присутствие в общей выборке существенно искажает статистические показатели петрофизических параметров.

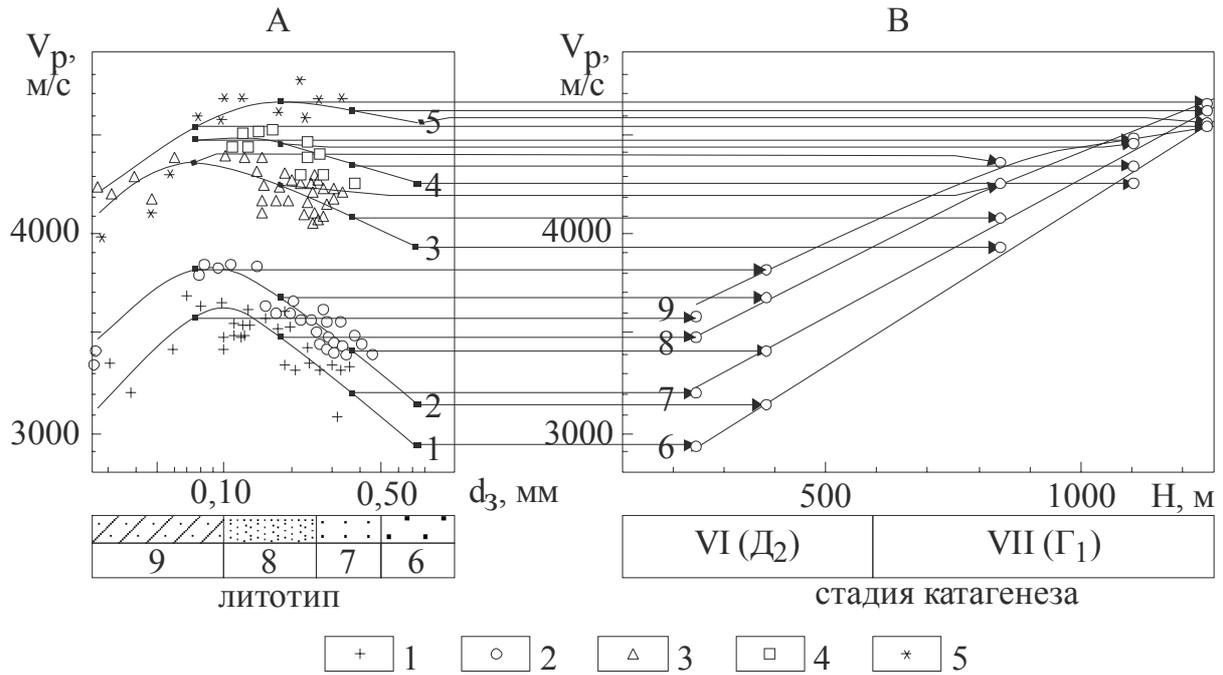
Поворотным моментом в определении однотипности пород является переход к их тотальной микроскопической идентификации. Применение поляризационного микроскопа позволило количественно определять показатели состава пород. Выделялись основные показатели, являющиеся одновременно породообра-

зующими и определяющими изменение петрофизических параметров: содержание кластического ( $C_{\text{КЛ}}$ ), глинистого ( $C_{\text{ГЛ}}$ ), карбонатного ( $C_{\text{К}}$ ) и органического ( $C_{\text{ОРГ}}$ ) или углистого материала, а также преобладающий размер обломочных зерен ( $d_3$ ). По диапазонам изменения этих показателей однотипные породы определялись строго и на инструментальной основе.

Строгое определение типов пород объясняется стремлением ограничить влияние вариаций состава на физические свойства пород. Следующим шагом в этом направлении является переход от диапазонов изменения состава пород к их стандартным значениям. В качестве стандарта выступает среднее значение, определяемое классификационными границами его изменения. Например, песчаник мелкозернистый, выделяемый по изменению показателя  $d_3$  от 0,1 до 0,25 мм, имеет стандартное значение  $d_3$ , равное 0,18 мм. Значения физических свойств пород стандартного состава, определяются по графикам зависимости петрофизического параметра от состава породы (рис. 1).

Такое понимание однотипности пород позволяет практически полностью учесть систематическое влияние состава пород на их физические свойства и тем самым свести к минимуму погрешность аппроксимации петрофизического разреза [15]. Последующим развитием данной тенденции является использование, наряду с оптической, электронной микроскопии пород, в частности для подразделения глинистых пород по дисперсности.

Следует отметить, что в некоторых работах однотипность породы определяется принадлежностью к литогенетическому или фациальному типу отложений [16]. Однако два обстоятельства – макроскопическая идентификация и соответствие нескольким литотипам, указывают на меньшую однородность литогенетического типа по сравнению с микроскопически установленным литологическим типом породы. К тому же субъективизм в определении литогенетических типов увеличивает неоднородность выделяемых породных образований и существенно проигрывает количественному методу выделения литотипов.



$V_p$  – скорость распространения продольных упругих волн;  $d_3$  – преобладающий размер зерен;  $H$  – глубина; 1 – интервал глубин от 210 до 320 м; 2 – интервал глубин от 435 до 545 м; 3 – интервал глубин от 800 до 890 м; 4 – интервал глубин от 1080 до 1125 м; 5 – интервал глубин от 1185 до 1295 м; 6 – песчаник крупнозернистый; 7 – песчаник среднезернистый; 8 – песчаник мелкозернистый; 9 – алевролит крупнозернистый; содержание карбонатного материала  $C_K \leq 5\%$  и органического вещества  $C_{ОРГ} \leq 5\%$

Рис. 1. Использование granulометрических закономерностей изменения петрофизических параметров (А) для построения петрофизического разреза (В). Донбасс. Фрагмент разреза скважины К-900

Четвертое направление связано с использованием парных зависимостей петрофизических параметров для контроля правильности построения линий аппроксимации на петрофизическом разрезе. Выделяются три группы этих зависимостей: функциональная, синтетическая и общепородная.

Функциональная группа объединяет петрофизические параметры, значения которых связаны расчетными формулами. Для пористости и плотности такими формулами являются:

$$K_{\Pi} = \frac{\delta_M - \delta_C}{\delta_M} 100, \quad (2)$$

$$K_{\Pi} = \frac{\delta_M - \delta_H}{\delta_M - \delta_B} 100, \quad (3)$$

$$K_{\Pi} = \frac{\delta_H - \delta_C}{\delta_B} 100, \quad (4)$$

где  $\delta_B$  – плотность воды.

Общепородная группа корреляционных зависимостей выделяется на основании достаточности использования единой зависимости для различных литотипов. Не обязательность исходных данных о типе породы существенно упрощает их использование. К этой группе относятся зависимости различных видов плотности: абсолютно сухих и воздушно-сухих пород ( $\delta_{BC}$ ):

$$\delta_C = f(\delta_{BC}) \pm e, \quad (5)$$

где  $e$  – погрешность аппроксимации.

Синтетическая группа состоит из парных корреляционных зависимостей, аргументом которых является параметр  $K_{\Pi}$ . Параметр  $K_{\Pi}$  имеет статус синтетического, поскольку он определяет изменение многих других петрофизических параметров ( $\delta_C$ ,  $\delta_H$ ,  $\rho_{\Pi}$ ,  $V_P$ ) однотипных пород [1]. К данной группе относятся зависимости вида:

$$V_P = f(K_{\Pi}) \pm e, \quad (6)$$

$$\rho_{\Pi} = f(K_{\Pi}) \pm e, \quad (7)$$

где  $e$  – погрешность аппроксимации.

Рассмотренные парные зависимости используются в системе контроля линий аппроксимации петрофизического разреза. Эта система включает в себя следующую последовательность проверки петрофизических параметров:

- а) параметра  $\delta_C$  по параметру  $\delta_{BC}$ ;
- б) параметра  $K_{\Pi}$  по параметрам  $\delta_C$  и  $\delta_M$ ;
- в) параметров  $\rho_{\Pi}$ ,  $V_P$  по параметру  $K_{\Pi}$ .

Контроль параметра  $\delta_c$  по параметру  $\delta_{bc}$  имеет важную роль: он занимает первое место в общей схеме и тем самым определяет правильность выполнения всех последующих операций.

Следует отметить, что функциональная и синтетическая группа зависимостей используются с момента построения первых петрофизических разрезов. Группа общепородных зависимостей является новой и отражает общую тенденцию совершенствования приемов построения петрофизического разреза.

*Пятое* направление – это изменение глубины бурения скважины. Глубина влияет на достоверность построения сводного петрофизического разреза. Связано это с тем, что сводный разрез строится путем наращивания петрофизических разрезов отдельных скважин. Процедура наращивания вносит в сводный разрез дополнительную погрешность аппроксимации. Уменьшить ее возможно при помощи увеличения глубины бурения и сокращения количества скважин в сводном разрезе. Однако полное исключение рассматриваемой погрешности достигается отказом от наращивания и переходом к построению петрофизических разрезов по данным глубоких скважин.

Переход на большие глубины сопровождается увеличением температуры и давления. Данные факторы влияют на физические свойства пород. Поэтому с использованием глубоких скважин возникает вопрос учета влияния современных термодинамических условий на петрофизические параметры.

В Донбассе существует несколько глубоких угольных скважин, достигших глубины 2,5-3 тыс. м. Разрезы таких скважин обеспечивают построение наиболее точных петрофизических разрезов [17].

*Шестое* направление представляет собой выбор в качестве объектов исследования необычных для угленосных формаций разрезов.

Выше указывалось, что по единой методике были построены петрофизические разрезы крупнейших угольных бассейнов (Донецкого, Кузнецкого, Печорского). Результатом их обобщения явился типовой петрофизический разрез отложений угольных бассейнов геосинклинального типа [1]. Отметим, что в данный разрез вошли сходные признаки исходных разрезов, тогда как от-

личительные особенности угольных бассейнов, имеющие важное научное значение, остались практически не исследованными. Поэтому, развивая данное направление, в первую очередь необходимо установить отличие петрофизических разрезов различных угольных бассейнов и, прежде всего, геосинклинального, платформенного и переходного типов.

По литологическому составу угленосные отложения одновременно являются и терригенными отложениями, в которых встречаются месторождения нефти и газа. Поэтому вполне логичным является построение петрофизических разрезов для нефтегазоносных терригенных формаций.

При этом приходится учитывать более сложную картину изменения петрофизических параметров нефтегазоносных отложений. Считается, что их физические свойства зависят от следующих факторов: скорости осадконакопления; мощности осадочной толщи; относительного содержания глинистых толщ в осадочном разрезе; динамической нагрузки (многократного погружения); геологического возраста; палеотемпературы; статической нагрузки (эффективного давления); температуры; наличия глинистых минералов с кристаллической структурой; отсортированности и окатанности зерен песчаных пород; однородности и отсортированности глинистого осадка; состава, количества и типа цемента; концентрации, состава и свойств поровых вод; минералогического состава коллекторов, определяемого содержанием кварца в легкой фракции [18].

Кроме того, выделяются такие факторы, как аномальное (высокое и низкое) пластовое давление, консервация катагенетических изменений пород углеводородами, содержащимися в порах, гидрогеохимические и гидродинамические условия литогенеза [19, 20].

Перечень возможных факторов изменения физических свойств нефтегазоносных пород достаточно большой. При этом возникает вопрос, почему эти факторы не нашли места в угленосных разрезах. Поиски ответа предполагают построение и сравнение петрофизических разрезов нового образца, содержащих кроме палеоглубины и другие геологические факторы.

К необычным относятся петрофизические разрезы, содержащие вторичные и второстепенные факторы изменения однотипных пород (рис. 2). Вторичные факторы на них представлены параметрами катагенеза, второстепенные – гипергенезом, динамометаморфизмом, дислокациями и другими. Второстепенные факторы из-за локального проявления ранее исключались из петрофизических разрезов. Однако при исследовании разреза на всю глубину методами разведочной геофизики их учет становится обязательным. При этом физико-геологическая модель разреза составляется как петрофизическая характеристика обобщенных слоев по кривым петрофизического разреза [21].

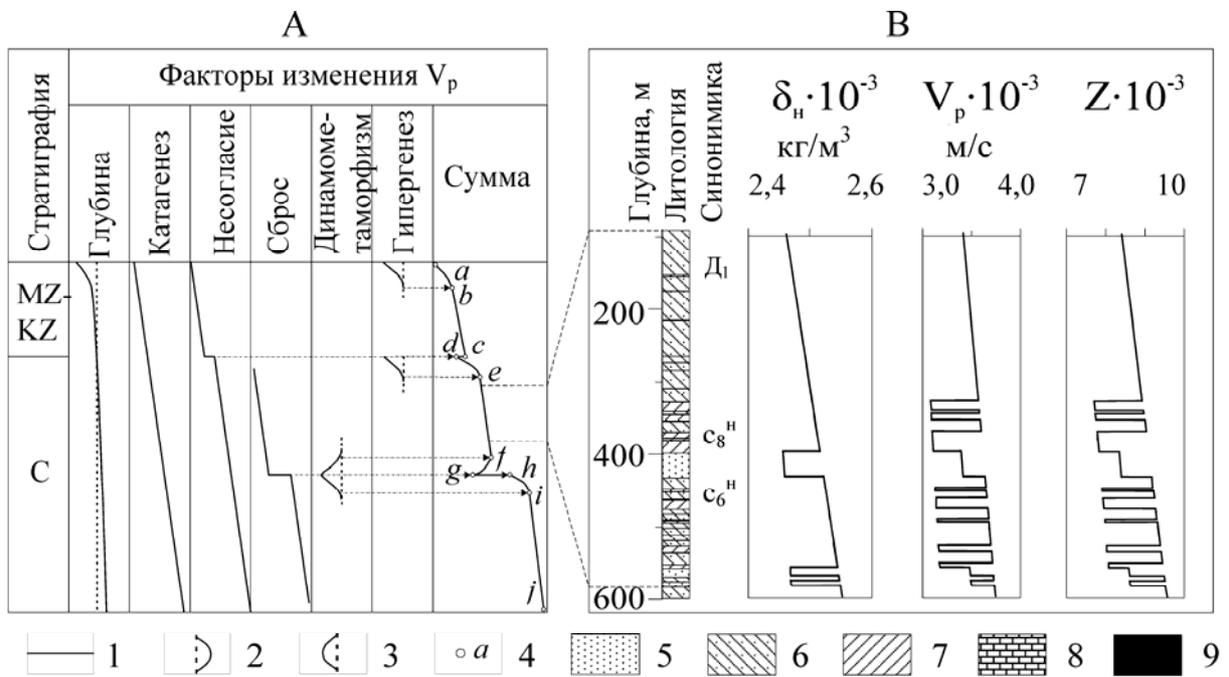


Рис. 2. Использование петроскоростного разреза (А) для построения литолого-акустической модели геологического разреза (В) поля шахты “Западно-Донбасская”

Следовательно, физические свойства однотипных пород в необычных разрезах изменяются под влиянием значительного числа геологических факторов. Число этих факторов является переменным и в общем случае определяется историей геологического развития исследуемого объекта. Поэтому насущной потребностью преобразования петрофизического разреза является изменение статуса факторов с постоянного на переменный список.

Рассмотренные направления совершенствования петрофизического разреза характеризуются различной глубиной научной проработки и, как показано выше, одни из них достигли уровня сформировавшихся процедур и готовы к практическому использованию, тогда как другие находятся на уровне идей. Однако вместе они образуют систему, в которой главные направления стимулируют развитие других направлений.

Главными являются два направления: использование переменного списка геологических факторов и стандартизация состава однотипных пород. Их главенствующая роль состоит в следующем.

Развитие направления по использованию переменного списка факторов позволяет существенно расширить сферу применения петрофизического разреза при изучении различных видов минерального сырья и в различных отраслях геофизики. При этом петрофизический разрез приобретает новое качество в виде универсального инструментария решения многих задач геологии методами геофизики. Это направление влечет за собой расширение списка петрофизических параметров, поскольку их число должно обеспечивать изучение возрастающего количества геологических факторов. С данным направлением связан и ввод новых типов пород, так как их состав – это также фактор изменения петрофизических параметров.

Стандартизация состава является весьма ответственной операцией в построении петрофизического разреза, поскольку она учитывает влияние мешающих факторов и обеспечивает репрезентативность петрофизических данных. Стремление к получению надежных петрофизических характеристик стимулирует развитие направлений по использованию парных петрофизических

зависимостей и увеличению глубины разреза, контролирующих значения петрофизических параметров и уменьшающих погрешность аппроксимации сводных разрезов.

**Выводы:**

1. Впервые сформулирована проблема совершенствования петрофизического разреза угленосных формаций.

2. Обосновано, что в решении данной проблемы главными являются следующие направления: придание списку геологических факторов переменного статуса, вытекающего из истории геологического развития исследуемого объекта; стандартизация состава однотипных пород, учитывающая влияние на петрофизические параметры мешающих факторов.

3. Показано, что главные направления совершенствования петрофизического разреза способствуют становлению и развитию других направлений, таких как ввод новых петрофизических параметров и типов пород, увеличение глубины разреза, использование парных петрофизических зависимостей.

### **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Гречухин, В. В. Петрофизика угленосных формаций [Текст] / В. В. Гречухин. - М.: Недра, 1990. - 472 с.
2. Дортман, Н. Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых [Текст] / Н. Б. Дортман. - М.: Недра, 1984. - 455 с.
3. Гречухин, В. В. Петрофизический разрез Донецкого бассейна [Текст] / В. В. Гречухин, Б. И. Воевода, А. Г. Бойко // Советская геология. – 1978. - № 3. – С. 123-129.
4. Гречухин, В. В. Петрофизические исследования угленосных отложений в стратиграфическом разрезе Кузнецкого бассейна [Текст] / В. В. Гречухин, Б. И. Вайткус, Б. Н. Нилов // Прикладная геофизика. – М.: Недра, 1977. Вып. 94. – С. 192-204.
5. Козельский, И. Т., Соотношение литологической характеристики осадочных пород угленосных отложений и их геофизических параметров [Текст] / И. Т. Козельский, А. К. Матвеев // Современные проблемы геологии и геохимии горючих ископаемых. – М.: Наука, 1973. – С. 184-191.

6. Шумилова, О. Л. Основные геологические факторы, влияющие на формирование показателей качества углей (на примере Нерюнгринского угольного месторождения) [Текст] / О. Л. Шумилова // Изв. Томского политех. ун-та. - 2006. - Т. 309. - № 4. С.47-51.
7. Страхов, Н.В. Основы теории литогенеза [Текст] / Т. 1 / Н. В. Страхов. – М.: изд-во АН СССР, 1960. – 212 с.
8. Костенко, Д. Т. Эпигенез и магнитная восприимчивость угленосных отложений Донбасса [Текст] / Д. Т. Костенко, Б. И. Воевода Л. А. Иванов // Наукові праці ДонНТУ: серія гірничо-геологічна. Випуск 96.-Донецьк, ДонНТУ, 2005. – С. 113-119.
9. Лишин, В.П. Изучение влияния минерализации пластовых вод на физические свойства пород с целью повышения эффективности геофизических методов исследования угольных скважин (на примере Павлоградско-Петропавловского района Донбасса) [Текст] : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук: 04.00.12 / В. П. Лишин ; [ВНИИГеофизика мин-ва геол. СССР] - М., 1985. - 21 с.
10. Гранулометрические и петрофизические закономерности угленосных пород Донецкого бассейна [Текст] / В. В. Гречухин, Л. А. Иванов, Б. И. Воевода, В. Н. Дараган, А. В. Савченко // Советская геология. – 1990. – № 1. – С. 67-76.
11. Гречухин, В. В. Существует ли постинверсионный метаморфизм углей? [Текст] / В. В. Гречухин // Изв. АН СССР. Сер. Геол. – 1971. - № 4. – С. 123-129.
12. Фоменко, Н. Е. Петрофизические особенности пород угольных месторождений в зонах разрывных нарушений (На примере Донецкого бассейна) [Текст] : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук : 04.00.16; [Мос. гос. ун-т]. - М., 1976. – 22 с.
13. Воевода, Б. И. Петрофизические и литологические закономерности преобразования угленосных отложений Донецкого бассейна [Текст] : автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук : 04.00.12 / Б. И. Воевода ; [Мос. геол.-развед. ин-т мин-ва высш. и сред. спец. обр. РСФСР]. - М., 1990. - 43 с.

14. Донабедов, А. Т. Физические свойства горных пород угленосных месторождений, как индикаторы степени метаморфизма углей [Текст] / А. Т. Донабедов // Изд-во АН СССР, сер. геол. – 1943. – № 4-5. – С. 98-114.
15. Иванов, Л. А. Инверсия угленосных пород Донбасса в катагенезе по значению скорости распространения упругих продольных волн [Текст] / Л. А. Иванов, Б. И. Воевода // Наукові праці ДонНТУ: серія гірничо-геологічна. Випуск 72.-Донецьк, ДонНТУ, 2004. – С. 169-175.
16. Алферов, О. С. Значение литогенетических типов осадочных пород для прогноза их физико-механических свойств [Текст] / О. С. Алферов, Е. Н. Зубенко // Литология и полезные ископаемые. - 1971. - № 4. - С. 23-28.
17. Результаты петрофизических исследований глубоких скважин Донецкого бассейна [Текст] / Б. И. Воевода, В. Н. Дараган, Л. А. Иванов, А. В. Савченко В. В. Гречухин // Тез. докл. VIII Всесоюзного угольного совещания. Ч.1. - Ростов-на-Дону, 1986. - С. 88.
18. Буряковский, Л. А. Прогнозирование физических свойств коллекторов и покрышек нефти и газа [Текст] / Л. А. Буряковский, И. С. Джафаров, Р. Д. Джеваншир. – М.: Недра, 1982. – 200 с.
19. Прошляков, Б. К., Коллекторские свойства осадочных пород на больших глубинах [Текст] / Б. К. Прошляков, Т. И. Гальянова, Ю. Г. Пименов. – М.: Недра, 1987. – 200 с.
20. Александров, Б. Л. Аномально-высокие пластовые давления в нефтегазоносных бассейнах [Текст] / Б. Л. Александров. – М.: Недра, 1987. – 216 с.
21. Анциферов, А. В. Петрофизический подход к построению литолого-акустических моделей разрезов скважин на угольных месторождениях [Текст] / А. В. Анциферов, Л. А. Иванов, А. И. Компанец // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Випуск 2 / Під заг. ред. А.В. Анциферова. – Донецьк, УкрНДМІ, 2008. – С. 69-82.