

**КОРИСНІ КОПАЛИНИ ОСАДОВИХ БАСЕЙНІВ;
СУЧАСНІ МЕТОДИ ЛІТОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ /
ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ОСАДОЧНЫХ БАСЕЙНОВ;
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

УДК 550.832:553.94:552.5

Л.А.Иванов, А.А.Майборода, С.А.Шурховецкий

**СТРОЕНИЕ ГРАНУЛЯРНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НИЖНЕГО КАРБОНА ДОНБАССА ПО ДАННЫМ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ УГОЛЬНЫХ СКВАЖИН**

L.A. Ivanov, A.A. Maiboroda, S.A. Shurkhovetsky

**DONETS BASIN LOW CARBONIFEROUS GRANULAR RESRVOIR STRUCTURE ACCORDING TO
COAL-WELL GEOPHYSICS**

По геолого-геофізичній методиці вивчення літології вугільних родовищ виконана переінтерпретація даних геофізичних досліджень свердловин. Побудовані колонки та гранулометричні криві, на основі кореляції яких встановлені трьохчленна будова піщаного пласту та особливості зміни його колекторських властивостей.

Ключові слова: геофізичні методи, гранулометрична крива, будова пісковика.

По геолого-геофизической методике изучения литологии угольных месторождений выполнена переинтерпретация данных геофизических исследований скважин. Построены колонки и гранулометрические кривые, на основании корреляции которых установлены трехчленное строение песчаного пласта и особенности изменения его коллекторских свойств.

Ключевые слова: геофизические методы, гранулометрическая кривая, строение песчаника.

By geologic and geophysical procedure of studying coal field lithology the reinterpretation of geophysical well logging data was made. Lithologic logs and granulometric curves were plotted based on the correlation of which a tripartite structure of sand reservoir and variation features of its characteristics are determined.

Keywords: geophysical methods, granulometric curve, sandstone structure.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы объясняется важностью изучения скоплений метана угольных месторождений. Данные скопления являются альтернативным источником энергии и причиной внезапных выбросов газа на угольных шахтах [1, 2]. Использование геофизических методов исследования скважин (ГИС) позволяет на инструментальной основе выявить особенности строения гранулярных коллекторов, используя лишь фондовые материалы геологической разведки и не прибегая к дополнительным расходам на бурение новых скважин.

**РАЙОН РАБОТ, МЕТОДЫ И ОБЪЕКТ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследование проведено на 3-м блоке поля шахты «Западно-Донбасская», расположенной в 20 км на юго-восток от г. Павлоград Днепропетровской области. Поле шахты находится на северном-восточном склоне Украинского щита, простирается вдоль юго-западного борта Днепровско-Донецкой впадины и относится к центральной части Богдановской ступенчатой структуры Западного Донбасса.

Площадь блока составляет 19 км² (по простиранию пород — 6 км, по их падению — 3,17 км). Разведан он на глубину около 600 м. В геологическом строении блока принимают участие свиты C₁³, C₁⁴, C₂⁰ каменноугольной системы, которые повсеместно перекрываются мезозойскими и кайнозойскими образованиями. Угленосной является свита C₁³ (самарская). В стратиграфическом разрезе она выделяется между подошвами известняков C₁ и D₁ и согласно залегает на свите C₁² (межевской). Мощность свиты C₁³ в среднем равна 470 м. К ней приурочена промышленная угленосность блока, состоящая из восьми угольных пластов: C₁¹, C₅¹, C₇^H, C₈^H, C₈^B, C₉¹, C₁₀^B, C₁₁¹. Подготовительные и добычные работы проводятся на угольном пласте C₈^H. Мезозойские и кайнозойские отложения, представленные песчано-глинистыми образованиями мощностью около 160 м, с угловым и стратиграфическим несогласием перекрывают каменноугольную систему.

Водоносными являются все рассмотренные стратиграфические подразделения, газоносными — угли и вмещающие породы свиты C₁³. Газоносность угольных пластов с глубины 300–

СТРОЕНИЕ ГРАНУЛЯРНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НИЖНЕГО КАРБОНА ДОНБАССА ПО ДАННЫМ...

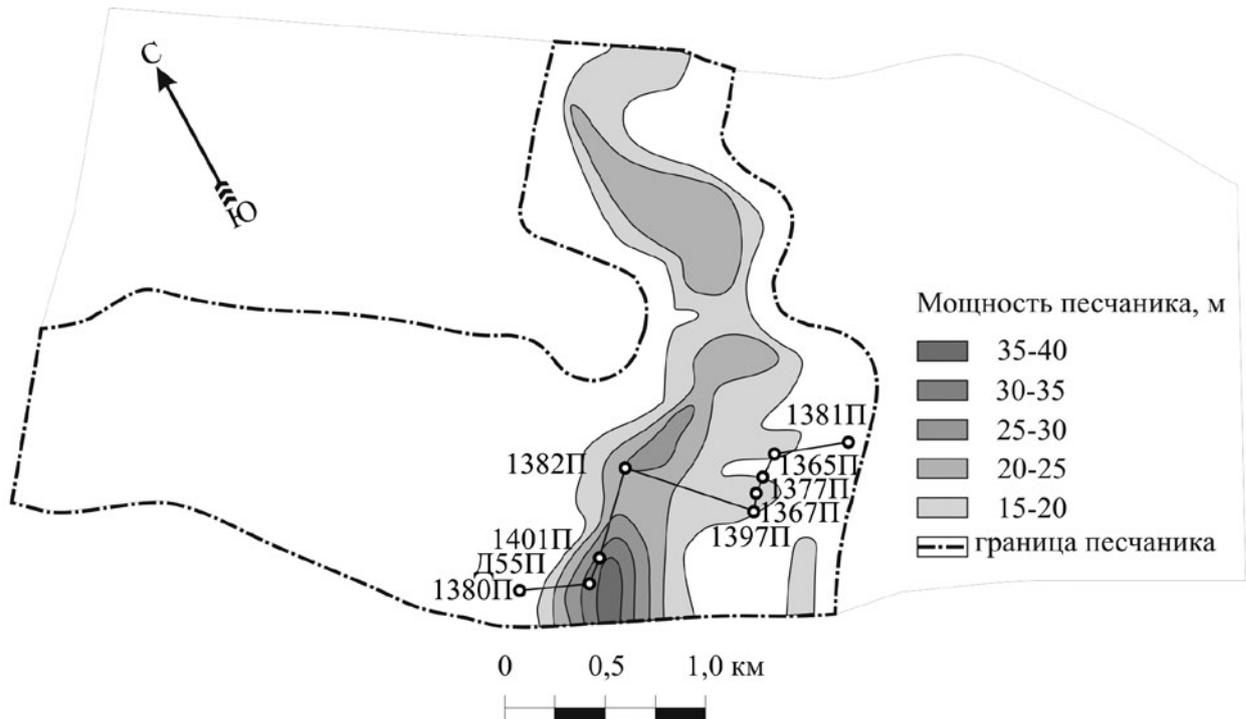


Рис 1. Расположение скважин на 3-м блоке поля шахты «Западно-Донбасская», по которым выполнено геолого-геофизическое изучение литологии песчаника $c_6^bSc_8^h$

700 м увеличивается от 7,5 до 12 м³/т с.б.м. Газоносность угле вмещающих пород связана с песчаниками c_5Sc_6 , $c_6Sc_7^h$ и $c_8^bSc_9$. На отдельных участках она составляет от 0,14 до 1,1 м³/т. Повышенной газоносностью характеризуется двухкупольная структура, примыкающая к сместителю Богдановского сброса и располагающаяся в его опущенном крыле. По этому сбросу проведена южная граница блока.

Объектом исследования является наиболее мощный аллювиальный песчаник $c_6^bSc_8^h$. Форма песчаника в плане наиболее отчетливо прослеживается по изопаките 15 м (рис. 1). По простиранию этой изопакиты в южной части песчаник вытянут с юго-запада на северо-восток, в северной части — с юга на север. На западе, юго-западе и северо-востоке распространение песчаника ограничено границами шахтного поля. В остальных направлениях он замещается аргиллитом или алевролитом. Граница песчаника проходит согласно изопаките 15 м, кроме юго-западного участка, где она отклоняется далеко на северо-запад. Это отклонение свидетельствует о различной форме песчаника в зависимости от его мощности. На юго-западе песчаник принимает участие в строении двухкупольной структуры, примыкающей к сместителю Богдановского сброса и образующей структурно-тектоническую ловушку свободного метана. Мощность песчаника в среднем со-

ставляет 20–25 м. На юго-западе она достигает 38 м.

В соответствии с принципом физических основ угольной промышленной геофизики физические свойства пород зависят от двух групп факторов: первичных (генетических), связанных с вещественным составом пород и вторичных, обусловленных процессами преобразования пород (диагенезом, катагенезом, метагенезом). Поэтому связь физических свойств пород с геологическими факторами является неоднозначной, а решение многих геологических задач с помощью геофизических методов в общем виде не имеет физической основы. Сущность принципа состоит в том, что петрофизический разрез позволяет задачи, не имеющие общего решения, свести к частным случаям, в которых они однозначно решаются. Для реализации указанного принципа в петрофизическом разрезе выделяются литолого-геофизические ступени (ЛГС) — интервалы разреза, в которых изменение физических свойств однотипных пород не превышает погрешности их измерения геофизическими методами. Путем ограничения влияния вторичных факторов в пределах ЛГС устанавливается однозначная связь физических свойств пород с первичными факторами [3, 4].

В соответствии с рассмотренным принципом по разрезу шахтного поля прослежено закономерное изменение физических свойств

однотипных пород и отражательной способности витринита углей. На основе полученных закономерностей в разрезе выделена граница VI и VII стадий катагенеза пород и соответствующая ей граница Д и Г стадий метаморфизма углей. Данная граница прошла в 10 м выше угольного пласта c_6^B . Также установлено, что площадное изменение физических свойств однотипных пород в пределах шахтного блока является пренебрежимо малым, и поэтому выделение границ ЛГС в скважинах допускается относительно угольных пластов (см. таблицу).

По выделенной границе зон катагенеза были увязаны петрофизические разрезы шахтного поля и соседнего с ним участка Свидовской. На данном участке ранее бурились параметрические скважины и на их массовом материале устанавливались первичные и вторичные закономерности изменения физических свойств пород [5]. После увязки петрофизических разрезов зависимости физических свойств пород от их состава, установленные на участке Свидовской, использовались на исследуемом шахтном поле.

Исследованы разрезы скважин, в которых ГИС проведены методами КС, БК, ПС, ГК, ГГК-П, АК, ПМ в масштабе глубин 1:200. Интерпретация ГИС выполнена по геолого-геофизической методике изучения литологии угольных месторождений [3]. Количественный подход к интерпретации ГИС, присущий данной методике, имеет решающее значение в выявлении новых особенностей литологического строения разреза. Качественная интерпретация геофизических данных, используемая при разведке угольных месторождений, обычно уточняет положение слоев, показанных на геологическом разрезе и лишь иногда позволяет выделить слои пород, не установленные по геологическим данным. При этом в результате интерпретации ГИС привносятся два рода ошибок: отсутствие слоев пород, по которым не поднят керн, и субъективность макроскопического определения типов пород.

В геолого-геофизической методике типы пород устанавливаются по количественным

показателям состава, значения которых определяются по физическим свойствам пород, измеренным геофизическими методами. Одним из ведущих показателей является преобладающий размер обломочных зерен (d_3). По данному показателю подразделяется около 95 % разреза угленосных отложений. Изменение показателя по d_3 по разрезу скважины (гранулометрическая кривая) указывает не только на динамику, но и на обстановку осадконакопления [6, 7]. Поэтому переинтерпретация ГИС заключалась в построении, наряду с литологической колонкой, гранулометрической кривой. Через положительные аномалии гранулометрической кривой проводилась линия относительно крупнозернистых пород (ЛК), через отрицательные — линия мелкозернистых пород (ЛМ).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ.

По гранулометрической кривой в пласте выделяются три типа песчаных пачек, занимающие определенное место в пласте. Основанием для их выделения являются гранулометрические циклы, уверенно прослеживаемые по разрезам соседних скважин. Единство механизма осадконакопления вместе с пространственной целостностью данных образований позволяет рассматривать их как самостоятельные тела, на которые расчленяется исследуемый пласт (рис. 2).

Первый тип пачек отличается своим грубым составом. Его постоянным элементом является гравелит, приуроченный к основанию пласта. Гравелит сверху и снизу резко сменяется глинистыми породами. Особенно четко резкие контакты проявляются в скв. 1382-П и 1401-П. В скв. 1380-П верхний резкий контакт несколько нарушается, гранулометрическая кривая указывает на незначительное утонение обломочного материала вверх по разрезу. При этом часть гравелита сменяется песчаником крупнозернистым. Дополнительно выше крупнозернистого песчаника появляются маломощные слои мелкозернистого песчаника

Таблица. Положение ЛГС в стратиграфическом разрезе 3-го блока поля шахты «Западно-Донбасская»

Стадия		Номер ЛГС	Граница ЛГС		Размер ЛГС, м
катагенеза пород	метаморфизма углей		Верхняя	Нижняя	
VI	Д	1	Выше c_{11} на 60 м	c_9	100
		2	c_9	Выше c_6^B на 10 м	100
VII	Г	3	Выше c_6^B на 10 м	Выше c_1 на 20 м	150

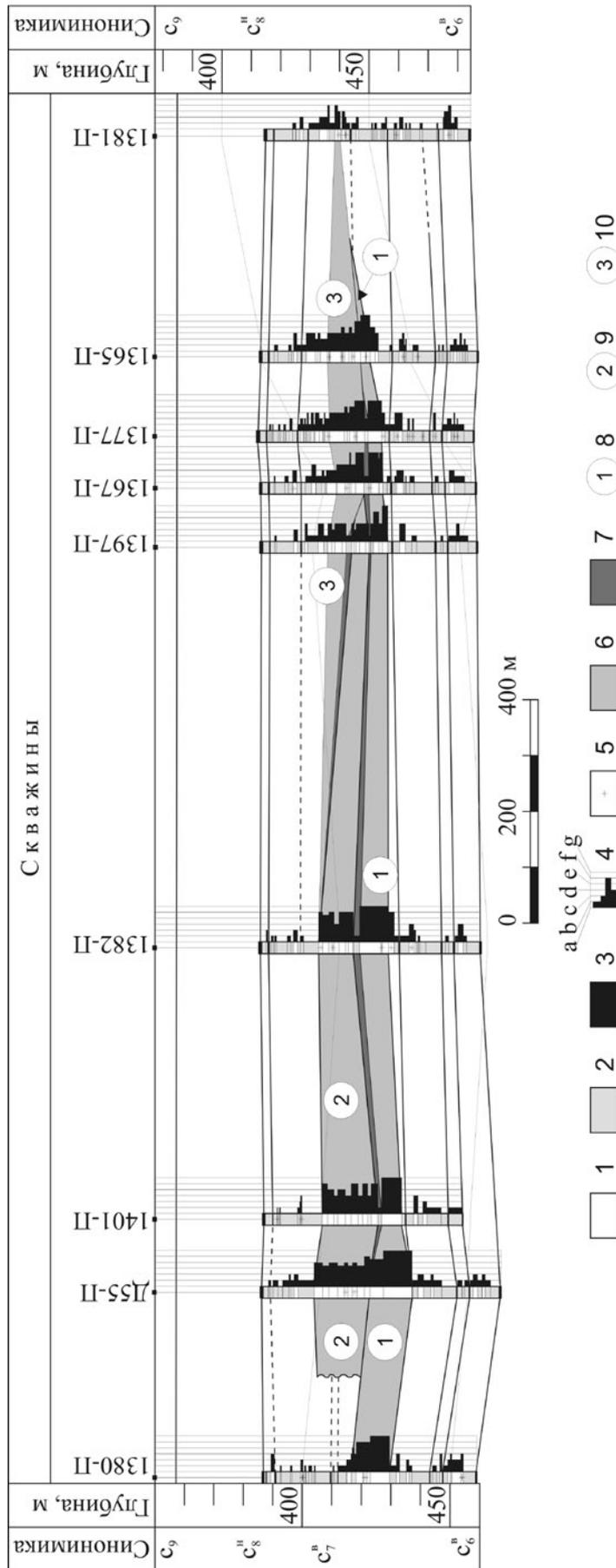


Рис. 2. Геологический разрез песчаника c_6^b по геолого-геофизической методике изучения литологии угольных месторождений на поле шахты «Западно-Донбасская»

1 — обломочные породы; 2 — глинистые породы; 3 — уголь; 4 — гранулометрический ряд пород; а — аргиллит, б — аргиллит алевролитовый, с — алевролит, d — песчаник мелкозернистый, e — песчаник среднезернистый, f — песчаник крупнозернистый, g — гравелит; 5 — содержание карбонатного материала от 10 до 50%; 6 — песчаные пачки; 7 — глинистые пачки; 8, 9, 10 — типы песчаных пачек: 8 — первый тип, 9 — второй тип, 10 — третий тип

и алевролита, после чего разрез перекрывается аргиллитом алевролитовым.

Первый тип наиболее широко распространен на юго-западе исследуемого пласта, где его мощность достигает 15 м. В восточном направлении мощность уменьшается сначала постепенно, затем резко и потом пачка вовсе исчезает. Резкое уменьшение мощности сопровождается некоторым нарушением общего строения разреза. В нем снизу вверх происходит уменьшение показателя d_3 до величины мелкозернистого песчаника. В скв. 1382-П, расположенной восточнее других, гравелит также подстилается крупнозернистым песчаником с карбонатным цементом. В большинстве изученных скважин образование первого типа пачки завершается перекрытием аргиллитом алевролитовым мощностью 1–2 м.

Второй тип пачек — это песчаник крупно- или среднезернистый с прослоями более мелкозернистого песчаника. Мощность слов крупнозернистых образований составляет 1–4 м, прослоев — 0,5–1,5 м. Особенности строения данного типа разреза отчетливо проявляются по поведению линий ЛМ и ЛК. Вверх по ЛК показатель d_3 практически не изменяется. Незначительные отклонения от этого положения ЛК сводятся к уменьшению показателя d_3 в средней или верхней части пачки. Вверх по ЛМ происходит незначительное увеличение либо уменьшение показателя d_3 . Мощность пачки достигает 18,5 м. Ее уменьшение сопровождается смещением ЛК, указывающим на уменьшение показателя d_3 в целом по пачке и вверх по ее разрезу. ЛМ также изменяет свое положение и становится субпараллельной ЛК. Дальнейшее уменьшение мощности менее 4 м приводит к потере песчаником свойственных ему признаков. Во всех случаях, кроме скв. Д55-П, положение пачки в разрезе песчаного пласта контролируется резким верхним и нижним контактами с глинистыми породами.

Наиболее полное строение и максимальную мощность пачка имеет в юго-западной части в скв. 1401-П и Д55-П. В скв. 1401-П пачка представлена чередованием слоев крупно- и мелкозернистого песчаников. В верхней половине разреза появляется два слоя среднезернистого песчаника. По чередованию слоев прослеживается определенный мотив изменения показателя d_3 . Вверх по ЛК до середины пачки показатель d_3 не изменяется и соответствует песчанику крупнозернистому, выше данный по-

казатель несколько уменьшается до значения песчаника среднезернистого. По ЛМ почти по всему разрезу пачки показатель d_3 не изменяется и соответствует песчанику мелкозернистому. Однако в прикровельном слое данный показатель увеличивается до песчаника крупнозернистого. Почти для всей мощности пачки свойственно субпараллельное положение ЛК и ЛМ, а также их схождение в верхней части. В средней части разреза залегает слой песчаника крупнозернистого с карбонатным цементом мощностью 1,8 м. Сверху и снизу песчаники образуют резкий контакт с глинистыми породами.

В скв. Д55-П пачка имеет такую же мощность, как в скв. 1401-П, однако ее состав менее изменчив и соответствует песчанику среднезернистому. При этом показатель d_3 незначительно увеличивается по ЛК и ЛМ, оставаясь на обеих линиях равным песчанику среднезернистому. В основании пачки появляется слой песчаника крупнозернистого, представляющего собой начало гранулометрического цикла данной пачки. На юго-запад от скв. Д55-П пачка резко прерывается и образует контакт бокового размыва с отложениями, вмещающими угольные пласты c_7^H и c_7^B , вскрытые скв. 1380-П. Глубина данного размыва составляет около 20 м.

В скв. 1382-П, расположенной в 500 м на северо-восток от скв. 1401-П, мощность пачки уменьшается почти в два раза (до 11 м). Однако ее состав, соответствующий песчанику крупнозернистому, и резкие контакты с вмещающими породами (аргиллитами) остаются прежними. В верхней части пачки залегают два прослоя песчаника крупнозернистого с карбонатным цементом мощностью 0,5–1 м. Юго-восточней, в скв. 1397-П мощность пачки уменьшается еще в два раза и становится равной 6 м. Также уменьшается размер зерен, и разрез пачки представляет собой чередование песчаников средне- и мелкозернистого, а также алевролита. Вверх по ЛК показатель d_3 уменьшается от среднезернистого до мелкозернистого песчаника. ЛМ становится субпараллельной ЛК. При дальнейшем продвижении на северо-восток по линии исследуемых скважин происходит полное выклинивание пачки.

Третий тип пачек отличается своим наиболее мелкозернистым составом. В пачке встречаются все разновидности обломочных пород, однако преобладающим является песчаник

мелкозернистый. Данный тип также отличается плавным верхним контактом, представленным переслаиванием смежных пород.

Вверх по ЛК показатель d_3 уменьшается от крупнозернистого до мелкозернистого песчаника (скв. 1397-П, 1367-П, 1377-П). В некоторых случаях это уменьшение происходит от песчаника среднезернистого до алевролита (скв. 1381-П). Более разнообразным является изменение показателя d_3 вверх по ЛМ. Оно происходит от среднезернистого до мелкозернистого песчаника (скв. 1377-П), в пределах одного мелкозернистого типа песчаника (скв. 1365-П, 1367-П) и от алевролита до аргиллита алевролитового (скв. 1397-П, 1381-П).

Пачка достигает максимальной мощности, равной 15 м, в скв. 1397-П и выклинивается в разных направлениях от данной скважины до скв. 1382-П и 1381-П.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ.

Использование геолого-геофизической методики изучения литологии угольных месторождений не является новым для Западного Донбасса. Проводимые ранее работы на участке Свидовской показали, что погрешность определения состава по этой методике соизмерима с погрешностью лабораторных методов (измерениями на поляризационном микроскопе), а количество выделяемых слоев и типов пород по сравнению с качественной интерпретацией ГИС больше примерно в пять раз [5]. Другим направлением работ является использование гранулометрической кривой для документации разрезов угленосных отложений. На основе этой кривой разработан фациально-геотектонический метод формационного анализа, позволяющий решать многие теоретические и практические вопросы угольной геологии [6–8]. Поэтому переход от геофизических диаграмм к гранулометрической кривой позволил бы выйти на решение многих вопросов угольной геологии по данным ГИС. Однако, несмотря на перспективность такого подхода, попытки объединить два указанных направления работ ранее не предпринимались. Не является исключением и нефтегазовая промысловая геофизика, в которой для решения подобных задач (определение фаций) широко используется морфологический анализ геофизических диаграмм [9, 10]. Поэтому полученные нами результаты в методическом аспекте имеют вполне определенную новизну, заключающуюся

в трансформации комплекса геофизических диаграмм в геологически понятную диаграмму — гранулометрическую кривую.

Полученные результаты также свидетельствуют, что количественная интерпретация ГИС позволяет построить достаточно детальные гранулометрические кривые, по ним выделить гранулометрические циклы и положить их в основу расчленения песчаного пласта на самостоятельные осадочные тела.

Из полученных данных о строении песчаного пласта $c_6^B Sc_8^H$ следует, что образованию слагающих его пачек предшествовал размыв подстилающих пород. Размыв происходил на глубину примерно до 20 м. В результате эрозии вышележащие пачки оказались вложенными в нижележащие образования. Поэтому общая мощность пласта составляет 10–30 м и не превышает суммы мощностей трех пачек, равной около 50 м.

В соответствии с изменением строения пласта и ходом гранулометрической кривой выявляется распределение пород-коллекторов различного качества. При этом гранулярными коллекторами с наиболее высокими фильтрационно-емкостными свойствами являются крупнозернистые разности обломочных пород. Из трех выделенных пачек лучшими коллекторскими свойствами обладает первый тип, содержащий гравелит, худшими — третий, представленный преимущественно песчаником мелкозернистым. Промежуточное значение имеет второй тип, сложенный средне- и крупнозернистыми песчаниками.

Таким образом, нами установлено следующее:

1. Аллювиальный песчаник $c_6^B Sc_8^H$, вскрытый скважинами на поле шахты «Западно-Донбасская», представлен тремя пачками, образованию которых предшествовал размыв подстилающих пород на глубину около 20 м и последующее перекрытие пачек глинистыми отложениями.

2. По данным гранулометрической кривой лучшим гранулярным коллектором пласта является нижняя пачка, содержащая гравелит, худшим — верхняя пачка, представленная на более мелкозернистыми песчаниками.

3. Основой расчленения песчаного пласта на пачки является выделение самостоятельных гранулометрических циклов и их корреляция по разведочным скважинам.

4. Трансформация нескольких геофизических

ких диаграмм в одну гранулометрическую кривую с достаточной детальностью достигается путем использования геолого-геофизической методики изучения литологии угольных месторождений.

1. Анциферов А.В., Тиркель М.Г., Хохлов М.Т. и др. Газоносность угольных месторождений Донбасса. — Киев: Наук. думка, 2004. — 232 с.
2. Булат А.Ф., Звягильский Е.Л., Лукинов В.В. и др. Угленосный массив Донбасса как гетерогенная среда. — Киев: Наук. думка, 2008. — 411 с.
3. Гречухин В.В. Изучение угленосных формаций геофизическими методами. — М.: Недра, 1980. — 360 с.
4. Гречухин В.В. Петрофизика угленосных формаций. — М.: Недра, 1990. — 472 с.
5. Гречухин В.В., Воевода Б.И., Дараган В.Н. и др. Литологические и петрофизические исследования угленосных отложений в Западном Донбассе // Сов. геология. — 1992. — № 4. — С. 65–71.
6. Иванов Г.А. Угленосные формации. — Л.: Наука, 1967. — 407 с.
7. Методы формационного анализа угленосных толщ / Под ред. Г.А. Иванова, Н.В. Иванова. — М.: Недра, 1975. — 199 с.
8. Майборода А.А., Анциферов В.А., Голубев А.А., Иванов Л.А. Коллекторы метана в угленосных формациях Донбасса: Зб. наук пр. УкрНДМІ НАН України. — Донецьк, 2009. — № 4. — С. 6–16.
9. Изотова Т.С., Денисов С.Б., Вендельштейн Ю.Б. Седиментологический анализ по данным геофизических исследований скважин. — М.: Недра, 1993. — 176 с.
10. Притулко Г.И., Шилова А.М. Предпосылки оценки фациальной принадлежности отложений по данным геофизических исследований скважин // Геофизическая диагностика нефтегазоносных и угленосных разрезов: Сб. науч. тр. ИГГГИ АН УССР. — Киев: Наук. думка, 1989. — С. 18–33.

УкрНИМИ НАН України, Донецьк

Рецензент — д-р геол.-минерал. наук В.Ф. Шульга