

**Findings.** We have determined that the volume of coal production of 115 million tons will be sufficient to meet the needs of enterprises. We have proved that the advancing growth of coal production towards other sources of energy in industrialized countries has a stable tendency and provides energy independence. Ukraine can also become energy self-sufficient state despite substantial deterioration of mines. Effective realization of these strategic initiatives requires private investment increase. For this purpose, the relevant laws and normative base for public private partnership have been accepted.

**Originality.** Conceptual approach to estimation of the Ukrainian coal industry development prospects.

**Practical value.** Self-sufficiency of the coal industry can be achieved in stages by 2030 as a result of implementation of the concept of public private partnership. The integrated exploitation of gas and coal deposits and decrease of the environmental impact is a necessary condition of the development of coal industry in Ukraine.

**Keywords:** *industrial reserves, coal industry, structure of coal industry, public private partnership, strategy and tactics of development*

*Рекомендовано до публікації докт. геол. наук В.Ф. Приходченком. Дата надходження рукопису 20.06.13.*

УДК 551.14:553.21

**В.А. Баранов, д-р геол. наук, ст. научн. сотр.**

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова  
НАН Украины, г.Днепропетровск, Украина,  
e-mail: baranov-va@rambler.ru

## СТАДИИ ЛИТОГЕНЕЗА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ УПЛОТНЕНИЯ ПОРОД

**V.A. Baranov, Dr. Sci. (Geol.), Senior Research Fellow**

N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of National  
Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine,  
e-mail: baranov-va@rambler.ru

## STAGES OF LITHOGENESIS AND ROCK COMPRESSION BEHAVIOR

**Цель.** Получить новые данные о закономерностях уплотнения пород на разных стадиях литогенеза.

**Методика.** Для достижения указанной цели были собраны первичные результаты изменения свойств и состояния горных пород в разных районах Донецкого бассейна, Днепровско-Донецкой впадины. Изучались физико-механические свойства осадочных пород на разных стадиях литогенеза в бассейнах Украины и России. Анализировались результаты исследования пористости, проницаемости, типов цемента – в разных условиях. Определения выполнялись стандартными методами на апробированных приборах. Кроме эмпирических данных использован значительный массив результатов исследований, опубликованных в открытой печати.

**Результаты.** Установлено, что в существующих справочниках и словарях некоторые литологические понятия, термины и стадии литогенеза не совпадают. Примерно в середине 20-го века произошло качественное разделение осадочных и метаморфических пород, но количественные критерии не разработаны или разработаны недостаточно. Глубина стадии диагенеза составляет десятки, сотни и тысячи метров. В отдельных районах рыхлые отложения сохраняются на глубине 2–3 км. Основные типы цемента терригенных пород представлены кварцем (кремнеземом), карбонатами, окислами железа. Для выделения структурных скачков перехода одних стадий литификации в другие необходимо опробовать как можно больший интервал пород. Разработана формула (на качественном уровне) определения стадий (подстадий) литогенеза, основанная на факте структурирования вещества в случае достижения энергетически критического предела. Показано, что нужно учитывать минералогический фактор – наличие карбонатов в цементе пород, проводить контроль опробования и первичного описания керна, что снизит ошибки первого рода.

**Научная новизна и практическая значимость.** Полученные результаты имеют как научное значение – определение закономерного изменения свойств и состояния вещества при достижении критических энергетических значений, так и прикладное – прогнозирование продуктивных на углеводороды интервалов в осадочных породах, находящихся на разных стадиях литогенеза. Важным прикладным фактором является наличие продуктивных интервалов на разных современных глубинах. То есть, не современная глубина отвечает за свойства и состояние пород, а палеоглубина и история формирования данного региона.

**Ключевые слова:** *осадочные породы, песчаники, катагенез, диагенез, уплотнение, стадия литогенеза*

**Введение.** На недостаток количественных критериев определения стадий катагенеза, границ ката-

генеза с диагенезом и метаморфизмом указывается в научной литературе [1–4 и др.]. Превалировавшие ранее методы фациального анализа, минер-

ралогических исследований, определения коллекторских свойств, в известной степени, исчерпали себя. В этой связи разработка новых методов, основанных на количественном учете структурных преобразований осадочных пород, а также комплексном учете структурных преобразований и физико-механических свойств пород, может дать дополнительный импульс в дальнейших исследованиях стадий литогенеза, более надежном и достоверном выделении их границ, установлении новых закономерностей и получении, в итоге, новых продуктивных знаний в данной области научных исследований.

В начале и середине XX века, когда шло становление литологии как отдельного геологического направления, было предложено несколько моделей уплотнения осадочных пород. В большинстве этих моделей определяющим фактором уплотнения являлось гравитационное давление. Различные исследователи выделяют разное количество стадий уплотнения. Однако единой закономерности уплотнения пород для всех формаций и разрезов пока не существует. Каждый регион, область, формация и разрез в соответствии с возрастом, скоростью осадконакопления, минералогическим составом осадочных отложений, геотермической обстановкой и историей геологического развития характеризуется своими условиями консолидации осадочных образований и кривыми их уплотнения. По сути, такая картина наблюдается для разных осадочных пород: песчаников, карбонатов, алевролитов и т.д. По этой причине, разработанные многими учеными количественные показатели степени диагенеза не несут обобщающего, универсального характера. Поскольку установление природной закономерностей в данном направлении имеет непреходящую актуальность и большое научное и прикладное значение, в данной статье будут рассмотрены нерешенные или спорные проблемы стадийного анализа и литификации (уплотнения) терригенных пород.

Значительное количество публикаций на данную тему не позволяет их рассмотреть и проанализировать в полном объеме, поэтому здесь использованы те материалы, которые прошли проверку временем, собраны в разных осадочных бассейнах и характеризуются высокой надежностью и достоверностью.

**Результаты и их анализ.** В предыдущей статье на данную тему [4], граница диагенеза и катагенеза была отнесена к зоне перехода бурых углей в длиннопламенные. О спорности данной границы говорят следующие факты. В Геологическом словаре сказано что, „уголь бурый плотный“ залегают в породах разной степени диагенеза, от чего зависит его цвет, цвет черты, блеск и другие свойства. Здесь речь идет об угле марки Б<sub>3</sub>, поскольку угли марок Б<sub>1</sub> и Б<sub>2</sub>, в данном словаре отнесены к углям бурым землистым, „по ряду внешних и микроструктурных признаков... чрезвычайно напоминающих древесные торфы сильной степени раз-

ложения“. О свойствах вмещающих пород в литературе мало данных, но даже эти сведения указывают на размещение бурых углей, особенно „бурых землястых“, в рыхлых отложениях, однозначно диагенетической стадии преобразования. Скудость материалов на данную тему объясняется, вероятно, недостаточным вниманием специалистов угольной отрасли к вмещающим породам, поскольку к полезным ископаемым они не относятся.

Специалисты-литологи, занимающиеся поиском нефти и газа, бурые угли всех марок отнесли к раннему катагенезу или протокатагенезу (Справочник по литологии). Поскольку рыхлые отложения существенно отличаются от литифицированных, понять такую трактовку сложно. Здесь не лишне напомнить, что наука зиждется на условных, договорных основах. Метр имеет существующую длину только по той причине, что так договорились ученые; пар считается газом, потому, что так условились и т.д. Периодически, с поступлением новых данных, ученые собираются на конференции и пересматривают существующие классификации, шкалы, границы и т.д. Напомню, что осадочные породы от метаморфических специалисты стали отделять, по историческим меркам, совсем недавно. Л.Б. Рухин в „Основах литологии“ описывает криворожскую субформацию джеспилитов, наряду с угленосными, марганцевыми и другими формациями и субформациями, не потому, что он не знал их различия, а потому, что еще не было четкого разделения этих пород на метаморфические и осадочные. Поэтому в 17-ой главе он пишет о том, что „Граптолитовые сланцы представляют собой микрослоистые, нередко кремнистые *аргиллиты* и характеризуются обычно тонкой слоистостью...“. Понятно, что „привычка – вторая натура“, но когда уже в настоящее время литологии пишут о „глинистых и песчаных сланцах“, „метаморфизме песчаников, алевролитов, углей“ и других осадочных пород, это вызывает естественную реакцию непонимания. Казалось бы, время „расчета коэффициента метаморфичности для определения стадий катагенеза“ ушло в небытие, но на поверку, не все так просто. По-человечески понятны сетования И.И. Амосова и др. в книге „Петрология органических веществ в геологии горючих ископаемых“, на неприятие литологами „метаморфизма“ осадочных пород, к которым и угли относятся, но без договоренности, обусловленной объективными причинами, невозможно дальнейшее развитие науки, о чем и пишут авторы [3].

Анализируя данные об уплотнении пород, рассмотрим границу перехода рыхлых диагенетических отложений в плотные, сцементированные – катагенетические, применительно к угленосным отложениям, где этих данных больше. Глубина этой границы существенно изменяется. В работе [5] указывается, что в Ленском угольном бассейне с глубины, обычно, 1500 м начинается зона распространения углей, переходных от бурых к каменным, а в Вилуйской синеклизе этого же бассейна зона длиннопламенных углей (начало катагенеза) распространена глубже 2500 м. В Средне-

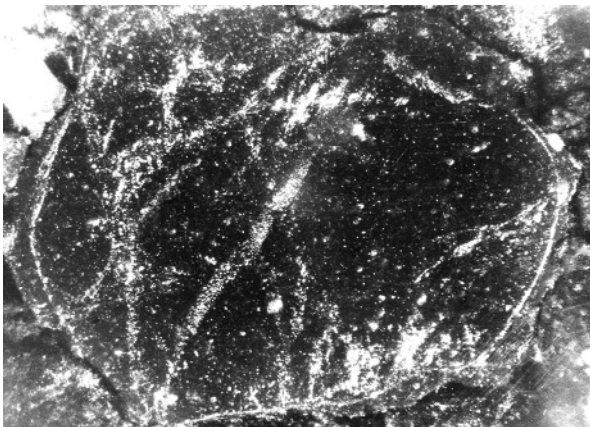
амурском (нижневизейском) угольном бассейне выполняющие впадину осадочные образования представлены толщей рыхлых пород до нижнего мела, на глубину до 1200 м. Стратиграфический разрез Днепровского буроугольного бассейна показывает наличие рыхлых отложений (включая отложения юры и мела) до кристаллического фундамента на глубину до 300 м. На Новомосковском угленосном участке Западного Донбасса рыхлые диагенетические отложения сменяются катагенетическими на глубине около 500 м. По данным Игнатченко Н.А. и др., бурые угли Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) были обнаружены на глубинах 2600–2900 м. Гуржий Д.В. и др., описывая Адамовскую, Глинско-Розышевскую и др. площади ДДВ, указывают, что там часто на глубинах порядка 3000 м можно встретить пластичные глины и пески. По данным Рухина Л.Б., бурые угли, залегающие среди пластичных глин, встречаются обычно до глубины 1000±2000 м.

К сожалению, данных о свойствах пород, вмещающих угли разных стадий преобразований, не много, но даже приведенных сведений достаточно, чтобы утверждать о распространенности стадии диагенеза на глубины 2–3 км. Это очень большие глубины, на которых литостатическое давление достигает 50–70 МПа. Наличие рыхлых отложений на таких глубинах прямо указывает на то, что одного давления недостаточно для литификации осадков. С другой стороны, в предыдущей статье, был описан диагенетический песчаник, сцементированный кварцевым цементом и залегающий фактически на поверхности [4]. При-

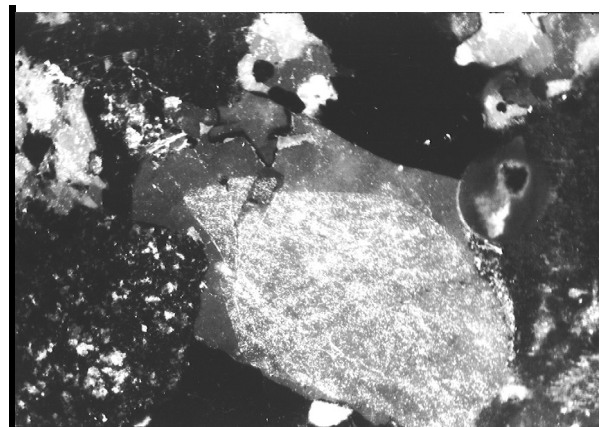
чем, цементирующий кварц раскристаллизован и имеет идентичный с обломочными кварцевыми зернами угол угасания. По этой причине такой кварц правильнее называть регенерационным, в отличие от вторичного, опаловидного и нераскристаллизованного, который тоже встречается в диагенетических песчаниках.

Ранее было описано, что свободный кремнезем образуется в результате растворения кремнистых минералов как в результате физико-химических преобразований (химическое выветривание, денудация, седиментогенез), так и в результате термодинамических воздействий (эффект Рикке, растворение под давлением на контакте зерен с последующим переотложением кремнезема в ином месте). Свободный кремнезем, согласно принципу бифуркации, либо трансформируется в опал, с последующим переходом в халцедон, кварцин, люссатин, лютцит и кварц, либо сразу переходит в кристаллическую разновидность, осаждающаяся на обломочных зернах кварца в виде регенерационных каемок. Последние реализуются как в виде наростов различной толщины по периметру зерен либо части периметра, так и в виде кварцевых микрощеток, оконтуривая пору или часть ее идиоморфными микрозернами кварца (рис. 1 а, б).

Регенерационные наросты или каемки – наиболее часто реализуемый процесс, повсеместно встречаемый в осадочных отложениях. По результатам исследований в отложениях Донбасса установлено до четырех каемок на одном зерне, но подобные случаи (нарастание 2-х и более каемок) встречаются редко. Установлены случаи несовпадения угла погасания каемки и обломочного зерна.



а



б

Рис. 1. Регенерация кварцевых обломков с полосками Бёма в карбоновых песчаниках Донбасса, боковое освещение: а – двойная каемка; б – одинарная широкая каемка

В обобщающей работе С.И. Малинина приводится результирующая таблица определения рН в глинистом веществе пород разных стадий углефикации в 18 районах. Почти во всех районах в породах разных степеней преобразования „устойчиво удерживается щелочной режим“ со значениями рН > 8. Поскольку растворимость кремнезема в щелочных условиях максимальна (А.П. Виноградов), это позволяет объяс-

нить наличие свободного кремнезема в аргиллитах Донбасса от 3 до 7% (по данным С.И. Малинина). Если данный фактор (щелочность среды) является основным для процесса растворения кварца, то отсутствие значительных объемов кремнезема в отложениях с кислой средой может объяснить наличие там рыхлых пород. Иными словами, в описанных не литифицированных породах не было условий для появления цементирующего вещества.

Для проверки данного положения нужно узнать концентрацию водородных ионов в отложениях, например Днепровского грабена, где рыхлые и слабосвязанные породы встречаются на глубинах более 2 км.

В поддержку своего положения о постоянстве щелочного режима, этот автор ссылается на факт формирования глинистых минералов не каолинитового, а гидрослюдистого ряда в отложениях Донбасса. Отсутствие массового накопления монтмориллонита он объясняет разрушением кислых, а не основных пород, что согласуется с результатами В.Ф. Шульги. В кислых породах, которые были источником образования Донбасского карбона, существует недостаток щелочноземельных элементов, необходимых для образования монтмориллонита.

Немаловажное значение для формирования цементирующего вещества осадков имеет слабое преобразование глинистых отложений, которые, по мнению М.А. Ратеева, „в процессе диагенеза почти не изменялись“. Об этом пишет и Н.М. Страхов: „В процессе диагенеза эти глинистые минералы не изменялись совсем или изменялись мало...“.

Таким образом, одно из главных цементирующих веществ – кремнезем, формируется в благоприятных, щелочных условиях, а отсутствие таких

условий может приводить к отсутствию цементации осадков даже на значительных глубинах.

Интересной представляется научная задача определения условий формирования регенерационного или вторичного – раскристаллизованного цемента, и опалового цемента в песчаниках, которые, по логике, должны отличаться.

Вторым цементирующим веществом является карбонат в разных структурных и минералогических модификациях, но об этом так много написано, что найти новый интересный материал достаточно сложно. С.И. Малинин пишет о том, что примесь карбонатов в глинистых породах, в количестве более 5%, увеличивает их крепость. К этому могу добавить следующее – данный факт относится не только к глинистым породам, но и к силицитам. Интересно, что существенное влияние карбонатов на пористость также начинается с 5%. Таким образом, объективно судить о пористости отложений по пробам, в цементах которых более 5% карбонатов, нельзя, поскольку в недалеко залегающем прослое, где карбонатов нет или не более 5%, пористость может отличаться на порядок. На рис. 2 приведен типичный график обратной зависимости пористости от карбонатности для условий одной из шахт Донбасса. Для условий Западно-го Донбасса подобная зависимость сохраняется.



Рис. 2. Обратная зависимость значений открытой пористости от содержания карбонатов в породе, типичная для условий Донбасса

Из вышеприведенного материала вытекает следующее: уплотнение осадочных пород является следствием не только давления, но и их состава, типа цемента, физико-химических условий среды, истории развития осадочного бассейна, состава пород, источников сноса. Более кратко и схематично это можно сформулировать следующим образом: состав и условия формируют свойства пород.

Теперь рассмотрим уплотнение пород, которое происходит определенными ступенями или скачками, более или менее выраженными в натуральных условиях.

Философы утверждают, что правильно сформулированный вопрос – это уже наполовину ответ. На подобные скачки или ступени изменения свойств пород автора натолкнули исследования выбросоопасности песчаников Донбасса. Они происходят только в песчаниках средней стадии катагенеза (ориентировочно, угли марок Г, Ж, К, ОС). Марочный состав углей не является маркирующим фактором стадий катагенеза, но примерно ограничивает некоторый палеостратиграфический интервал, который проще представить. Марки Г и ОС являются своеобразными граничными марками, в районе которых начинают

ся или заканчиваются какие-то процессы, вызванные возникновением новых свойств, характерных именно для указанного интервала.

На извечный вопрос – почему это происходит, пришлось искать ответ автору, поскольку в научной литературе ответа не было, несмотря на то, что подобные ступени фиксировались ранее, например, О.А. Черниковым и др. На данное время есть два условных ответа, философский и физический. В соответствии с тремя основными законами диалектики – перехода количества в качество, отрицание отрицания и единства и борьбы противоположностей, порода, попадая в иные условия, в полном соответствии с указанными законами, трансформируется в том направлении, в каком ей позволят минералогический состав и условия среды. Интересно, что выбросы песчаника массово происходят в Донбассе. В других угольных бассейнах выбросов пород нет, хотя глубины работ там достигают 1000 м. Одна маленькая деталь – если бы в других бассейнах во вмещающих песчаниках содержание кварца обломочного было как в Донбассе (около 50–60%), то с глубин 700–800 м там, с большой вероятностью, тоже происходили бы выбросы. Поскольку в других бассейнах – другой минералогический состав пород, подобные явления там могут происходить на более значительных современных глубинах или не будут происходить вообще.

Физическое объяснение возникновения скачков свойств сводится к изменению энтропии как меры

упорядоченности структуры пород для конкретных условий. В настоящее время для указания данного процесса специалистами применяется термин „синергетика“ или самоорганизация. Поскольку, по моему убеждению, в природе само по себе ничего не происходит, то логично применять другой известный термин – „структурирование“, известный в литературе (Н.Ю. Климонтович). Принцип структурирования вещества в схематическом виде сводится к накоплению энергии данной породой и, при достижении критического значения, – сбросу энергии путем трансформации структуры вещества с последующим изменением его свойств. О возможности изменения энтропии в гипергенезе, техногенезе и на разных геологических этапах вообще писали А.Е. Ферсман, А.И. Перельман, Л.А. Буряковский, Я.А. Виньковецкий и другие исследователи.

Появление выбросоопасности на границе раннего и среднего катагенеза, а потом аннигиляция этого газодинамического явления на границе среднего и позднего катагенеза – яркое подтверждение структурирования пород, которое, в частности, происходит не только в литогенезе, но дальнейшее изложение теории структурирования вещества выходит за рамки статьи. На рис. 3 приведен график, подтверждающий сказанное. С определенной степенью достоверности можно предположить, что для исследованных пород, на глубине около 2 км, произошел структурный скачок, который „показал переход“ породы из зоны среднего катагенеза в зону позднего катагенеза.

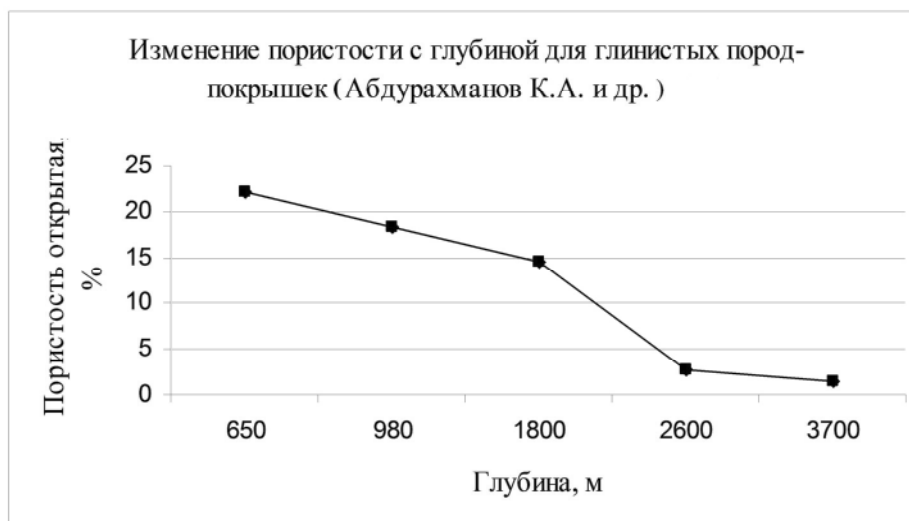


Рис. 3. Изменение пористости пород с глубиной со структурным скачком на глубине около 2 км

На рис. 4 подобный скачок, но в неявной форме, можно отметить на глубине около 3 км. Значения пористости 5–6% являются своеобразной границей, ниже которой выбросоопасность песчаников не наблюдается, а у специалистов мало шансов найти газовое месторождение, поскольку для газа нужен объем, а при такой пористости это возможно только в исключительном случае повышенной проницаемости в результате развитой трещиноватости и

значительных объемов коллекторских пород с однородными свойствами.

Для установления относительных значений пористости в области таких скачков или структурных ступеней были использованы как многочисленные авторские материалы по Донбассу, так и опубликованные данные М.Л. Озерской и Н.В. Подобы, Г.М. Авчяна, Ю.В. Мухина, С.И. Малинина и других исследователей.



Рис. 4. Изменение пористости пород с глубиной со структурным скачком на глубине около 3 км

Анализ значительного количества эмпирических и литературных данных по разным площадям и участкам исследований позволяет проводить границу перехода рыхлых отложений в консолидированные по пористости на уровне 20–30%, тогда как в приповерхностной зоне (в начале диагенеза) пористость составляет, в среднем, 40–60%. Анализ значений пористости на разных стадиях диагенеза и катагенеза отложений Донбасса показал следующее.

На стадии диагенеза породы уплотняются в 1,5–2,0 раза; пористость уменьшается с 40–60 до 20–30% (консолидация пород).

На стадии раннего катагенеза порода уплотняется в 1,5–2,0 раза; пористость уменьшается с 20–30 до 10–15%.

На стадии среднего катагенеза порода уплотняется в 1,5–2,0 раза; пористость уменьшается с 10–15 до 5–7%.

На стадии позднего катагенеза порода уплотняется в 1,5–2,0 раза; пористость уменьшается с 5–7 до 2–3% соответственно.

Таким образом, стадии и подстадии уплотнения и преобразования осадочных пород трансформируются по следующему закону

$$K_{\text{упл.}i} \approx k_{n1} / k_{n2} \approx (1,5-2,0 \text{ раза}),$$

где  $K_{\text{упл.}i}$  – безразмерный коэффициент уплотнения;  $k_{ni} = k_{n1}; k_{n2}; k_{n3}; k_{n4}; k_{n5}$ ; – средние значения пористости пород на стадиях седиментогенеза ( $k_{n1}$ ), диагенеза ( $k_{n2}$ ), прото-, мезо- и апокатагенеза ( $k_{n3}, k_{n4}, k_{n5}$ ).

Разбежность в 1,5–2,0 раза получается вследствие существенной разности пористости пород различного вещественного состава. Полученные данные показаны в графическом виде на рис. 5.

На стадии позднего катагенеза антрациты переходят в графиты; песчаники и алевролиты – в кварциты; аргиллиты – в сланцы; известняки – в мрамор. Далее осадочные отложения переходят на стадию метаморфизма (метагенеза). После этого, структурные скачки будут происходить в метаморфических породах и т.д.

Кроме характерных ступеней в изменениях вариаций абсолютной и открытой пористости на стадиях литогенеза происходят изменения удельного и объемного веса пород, средних размеров обломочных зерен, которые также можно использовать для выделения границ указанных стадий и подстадий. Рассмотрим рис. 6 и 7, на которых приведены результаты изменения пористости и проницаемости пород с глубиной, с проявлением характерного скачка на глубине примерно 2300 м.

Интересно, что для проницаемости этот скачок более наглядно выражен, чем для пористости, график изменения которой характеризуется существенным уменьшением вариации. Иными словами, с определенной глубины изменение изучаемых показателей: коллекторских, физико-механических, структурных – происходит более плавно, выдержанно и спокойно. Смена характера значений на графике показывает увеличение упорядоченности с глубиной (уменьшение энтропии) для исследованного стратиграфического разреза, после чего следует относительно стабильный интервал, характеризующийся накоплением очередной порции энергии (температуры и давления), после порогового значения которой опять произойдет структурный скачок с изменением свойств и состояния породы.

Графики на рис. 4 и 8 построены по разному количеству определений, охватывают разные стратиграфические интервалы и показывают следующее.



Рис. 5. Структурные ступени пористости на разных стадиях литогенеза и переход к метаморфизму



Рис. 6. Изменение значений пористости пород с глубиной для карбоновых отложений ДДВ [6]

Структурный скачок на рис. 4 расположен на глубине около 3000 м, после чего значения пористости пород не выходят за рамки 5%. То есть на указанной глубине произошел переход пород на стадию позднего катагенеза, и дальнейшие изменения значения пористости характеризуются относительной плавностью и незначительной вариацией.

Кроме этого, на рис. 4 в интервале, примерно, с 300 до 500 м отмечена низкая пористость (около 4%), характерная для позднего катагенеза, что не укладывается в логическую последовательность регионального уплотнения пород. Объяснением такого отклонения может служить состав цементирующего вещества. С большой долей вероятности, можно говорить

о существенном содержании карбонатов в указанном интервале (более 5%).

График, изображенный на рис. 8, не демонстрирует какого-либо явного структурного скачка в силу того, что все точки опробования расположены в раннем и среднем структурных стратиграфических интервалах. Четкого различия между ними нет. Такой результат указывает на два основных накладывающихся фактора – наличие карбонатов в цементе, отнесение к песчаникам алевролитов или других низкопористых пород. Наличие карбонатов, с большой долей вероятности, характерно для интервала от 900 до 1400 м. Для пород, залегающих выше и ниже данного интервала и именуемых, в отдельных пробах, значения

менее 10%, с большой долей вероятности, характерна ошибка первого рода – отнесение алевролитов или других низкопористых пород к песчаникам. Таким образом, процесс регионального уплотнения коллекторов (в статье рассмотрен наиболее распространенный коллектор – песчаник) достаточно однозначно проявляется при переходе из одной стадии (подстадии) литификации в другую. Среди сложностей, воз-

никающих при интерпретации полученных данных, можно отметить минералогическую неоднородность цемента (наличие карбонатов) и ошибки первого рода, которые встречаются в процессе различных исследований. По этой причине, даже интервал в 1000 м не гарантирует, что мы сможем обнаружить четкий структурный переход, подобный изображенному на рис. 3 и 7.



Рис. 7. Изменение значений проницаемости (микродарси) пород с глубиной для карбоновых отложений ДДВ [6]



Рис. 8. Изменение усредненных значений пористости пород с глубиной для карбоновых отложений ДДВ [6]

**Выводы.** Для выделения структурного скачка или структурной ступени важно иметь в наличии не большое количество проб, а пробы в нужном количестве из разных интервалов опробования. Чем больше этот интервал, тем больше вероятность

установления или выделения указанного структурного скачка, который далее может использоваться как определенный репер свойств пород данного района исследований. Следует обязательно учитывать то положение, что каждый новый район будет характеризоваться свои-



ми отличительными свойствами и подстадиями катагенеза, а их границы могут существенно менять свою глубину. Опыт и многочисленные результаты исследований разных авторов показывают, что двух совершенно одинаковых районов быть не может, слишком уж многофакторным является процесс литогенеза.

Границу диагенеза и раннего катагенеза логично проводить по границе литификации пород. Понятно, что обязательно будет какая-то буферная или переходная зона, но она существует на любых границах разных фаз. Необходимо учитывать существенное влияние наложенных факторов, влияющих на коллекторские свойства пород, в первую очередь - наличие и количество карбонатов в цементе. Для исключения ошибок первого рода необходимо применять испытанный метод межлабораторного контроля, поскольку на ошибочных результатах первичного описания пород строить прогнозные разрезы или делать какие-либо заключения лишено смысла.

Отрицательное влияние оказывает разобщенность научных направлений вообще и в литологии - в частности. Важно выработать общие термины, определение границ разных фаз, единую шкалу литификации пород, что будет способствовать не только выработке общей стратегии добычи полезных ископаемых в осадочных породах, но и снижению затрат на их поиск и разработку.

#### Список литературы / References

- Шнюков Е.Ф. Развитие литологических исследований в Украине / Е.Ф. Шнюков, П.Ф. Гожик, А.Ю. Митропольский // 36. наук. праць ІГН НАН України. – 2010. – вип. 3. – С. 13–19.  
Shnyukov, Ye.F., Gozik, P.F., Mitropolskiy, A.Yu. (2010), "Development of litological research in Ukraine", *Collection of scientific papers of YGS NAS of Ukraine*, issue 3, pp. 13–19.
- Япаскурт О.В. Основы концепции развития литологических исследований на современном уровне / О.В. Япаскурт // 36. наук. праць ІГН НАН України. – 2010. – вип. 3. – С. 20–31.  
Yapaskyrt, O.V. (2010), "Bases of conception of development of up-to-date litological", *Collection of scientific papers of YGS NAS of Ukraine*, issue 3, pp. 20–31.
- Актуальні питання літологічних досліджень / М.С. Ковальчук, Г.С. Компанець, Ю.В. Крошко, А.О. Деркач // 36. наук. праць ІГН НАН України. – 2010. – вип. 3. – С. 20–31.  
Kovalchuk, M.S., Kompanets, G.C., Kroshko, Yu.V., Derkach A.O. (2010), "Actual questions of litological researches", *Collection of scientific papers of YGS NAS of Ukraine*, issue 3. –pp. 20–31.
- Баранов В.А. Определение стадий катагенеза и формирование песчаников в диагенезе на примере геологического памятника Каменная Могила / В.А. Баранов // 36. наук. праць ІГН НАН України. – 2010. – вип. 3. – С. 35–41.  
Baranov, V.A. (2010), "Determination of stages of katagenesis and forming of sandstones in diagenesis on the example of the geological monument Stone Grave", *Collection of scientific papers of YGS NAS of Ukraine*, issue 3., pp. 35–41.
- Геология угольных месторождений СССР / Под ред. А.К. Матвеева. – М.: МГУ, 1990. – 352 с.  
Matveyev, A.K. (1990), *Geologiya ugolnykh mestorozhdeniy SSSR* [Geology of Coal Deposits of USSR], MGU, Moscow, Russia.

**Мета.** Одержати нові дані щодо закономірності ущільнення порід на різних стадіях літогенезу.

**Методика.** Для досягнення вказаної мети зібрані первинні результати зміни властивостей і стану гірських порід у різних районах Донецького басейну, Дніпровсько-Донецької западини. Вивчалися фізико-механічні властивості осадочних порід на різних стадіях літогенезу в басейнах України та Росії. Аналізувалися результати дослідження пористості, проникності, типів цементу – у різних умовах. Визначення виконувалися стандартними методами на апробованих приладах. Окрім емпіричних даних використаний значний масив результатів досліджень, опублікованих у відкритому друці.

**Результати.** Встановлено, що в існуючих довідниках і словниках деякі літологічні поняття, терміни й стадії літогенезу не збігаються. Приблизно в середині 20-го століття відбулося якісне розділення осадочних і метаморфічних порід, але кількісні критерії не розроблені або розроблені недостатньо. Глибина стадії діагенезу складає десятки, сотні й тисячі метрів. В окремих районах пухкі відклади зберігаються на глибині 2–3 км. Основні типи цементу терригенних порід представлені кварцом (кремнеземом), карбонатами, оксидами заліза. Для виділення структурних стрибків в переходу одних стадій літифікації в інші, необхідно опробувати якомога більший інтервал порід. Розроблена формула (на якісному рівні) визначення стадій (підстадій) літогенезу, заснована на факті структурування речовини в разі досягнення енергетично критичної межі. Потрібно враховувати мінералогічний чинник – наявність карбонатів у цементі порід, проводити контроль опробування й первинного опису керну, що зменшить помилки першого роду.

**Наукова новизна та практична значимість.** Одержані результати мають як наукове значення – визначення закономірної зміни властивостей і стану речовини, що досягла критичних енергетичних значень, так і прикладне – прогнозування продуктивних на вуглеводні інтервалів в осадочних породах, що знаходяться на різних стадіях літогенезу. Важливим прикладним чинником є наявність продуктивних інтервалів на різних сучасних глибинах. Тобто, не сучасна глибина відповідає за властивості та стан порід, а палеоглибина й історія формування даного регіону.

**Ключові слова:** осадочні породи, пісковики, катагенез, діагенез, ущільнення, стадія літогенезу

**Purpose.** To get new information about rock compression behavior at different stages of lithogenesis.

**Methodology.** For achievement of the indicated purpose we have collected the primary data about the change of properties and state of rocks in different districts of the Donetsk basin, Dnepr-Donetsk cavity. Physical and mechanical properties of sedimentary rocks on different stages of lithogenesis in the basins of Ukraine and Russia have been studied. We have analyzed the results of study of porosity, permeability, and types of cement in different conditions. The tests were executed by standard methods and approved devices. In addition to the empiric information we have studied the considerable volume of information about the results of previous researches published in media.

**Findings.** We have found out that in the existent reference books and dictionaries some lithological concepts, terms and stages of lithogenesis disagree. The qualitative distinction of sedimentary and metamorphic rocks was made in the middle of 20th century; but quantitative criteria of distinction still remain undeveloped. The depth of the diagenesis stage makes dozens, hundreds and thousands meters. In some districts the loose deposits appear at a depth of 2–3 km. The basic types of cement of terrigenous rocks are

represented by quartz (silica), carbonates, and oxides of iron. To determine the structural jumps of transition of one stage of lithification into another, it is necessary to test the as big interval of rocks as possible. We have suggested the formula (at qualitative level) of determination of stages (sub-stages) of lithogenesis based on the fact of structuring of matter in the case of achievement of critical power limit. It requires consideration of the mineralogical factor, the presence of carbonates in the cement of rocks, and control over description of drill sample, to reduce the errors of first kind.

**Originality and practical value.** The scientific value of the results consists in determination of laws of change in the properties and state of the matter reaching the critical power values. The applied meaning is prognostication of intervals productive on hydrocarbons in sedimentary rocks being at different stages of lithogenesis. The presence of productive intervals at different modern depths is the important applied factor. The properties and state of rocks depend not on its modern depth but on its paleodepth and the region formation history.

**Keywords:** *sedimentary rock, sandstones, katagenesis, diagenesis, compression, stage of lithogenesis*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук  
В.Ф. Приходченком. Дата надходження рукопису  
30.05.13.*