

К.А. Безручко, Л.И. Пимоненко

## РОЛЬ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ФАКТОРА В ФОРМИРОВАНИИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ДОНБАССА

Проведены исследования роли тектонического фактора в формировании физических свойств горных пород Донбасса. Рассмотрены условия и проведен сравнительный анализ образования и развития структур южного и северного бортов бассейна. Сделан вывод о том, что в формировании коллекторских и акустических свойств песчаников играют роль как постинверсионные тектонические движения, которые обусловили интенсивность дислоцированности районов, так и доинверсионные процессы, обусловившие особенности осадконакопления, динамику газоводных потоков, различия в минерально-структурных характеристиках, литолого-фациальных условиях отложений, составе газов. Показано, что на каждом из отдельных геологических объектов в зависимости от истории их развития преобладают различные факторы (или их сочетания), обусловившие определенные условия осадконакопления, тектонические и гидрогеологические процессы, которые сформировали физические свойства песчаников.

*Ключевые слова:* Донецкий бассейн, метан, песчаники, физические свойства, тектонический фактор.

**Введение.** Проблема метана угольных месторождений охватывает три важнейших аспекта, среди которых безопасность ведения горных работ при добыче угля, уменьшение негативного влияния на окружающую среду путем снижения вредных выбросов в атмосферу и использование метана в качестве ценного энергоносителя. В последнее время метан углегазовых месторождений рассматривается не как сопутствующее сырье, а как самостоятельное полезное ископаемое. Угленосная толща Донецкого бассейна содержит значительные ресурсы метана и, по оценкам различных исследователей, их объемы колеблются от 12 до 25 трлн м<sup>3</sup>. В этой связи актуальным является изучение условий формирования газовых скоплений и поиск перспективных участков на наличие залежей свободного метана с целью его дальнейшей добычи и промышленного использования.

**Объект, цель и задачи исследований.** В качестве объекта исследований рассматривается процесс формирования физических свойств газонасыщенного углепородного массива Донбасса под действием тектонического фактора. Целью работы является выяснение роли как постинверсионных тектонических движений, которые обусловили интенсивность дислоцированности различных районов, так и доинверсионные процессы, обусловившие особенности осадконакопления, динамику газоводных потоков, различия в минерально-структурных характеристиках, литолого-фациальных условиях отложений, составе газов. Были рассмотрены условия и проведен сравнительный анализ образования и развития структур южного и северного бортов бассейна, свойств горных пород, принимающих участие в их геологическом строении.

**Результаты исследований.** Местоположения скоплений метана в Донбассе обусловлены физическими свойствами углепородного массива. Физические свойства горных пород, в свою очередь, определяются геодинамическими и температурными условиями при осадконакоплении и последующем преобразовании отложений [4]. В работе [5] отмечена значительная роль тектонических процессов в формировании физических свойств горных пород юго-западной части Донбасса и установлено, что в районах, характеризующихся большим коэффициентом тектонической дислоцированности, у однотипных пород, вмещающих угли равной степени метаморфизма, скорость распространения продольных волн выше, а значения коэффициента открытой пористости меньше. Так, в среднем для Павлоградско-Петропавловского, Красноармейского, Донецко-Макеевского и Центрального районов с

---

© К.А. Безручко, Л.И. Пимоненко, 2014

увеличением коэффициента тектонической дислоцированности скорость распространения продольных волн закономерно увеличивается, а значения коэффициента открытой пористости уменьшаются. Дальнейшее детальное сравнение физических свойств песчаников, расположенных в различных районах Донбасса, показало, что влияние тектоники неоднозначно (табл. 1).

В северной части Донбасса при коэффициенте дислоцированности большем, чем в Центральном районе значения показателей пористости и скорости распространения продольных волн незначительно отличаются от аналогичных показателей, определенных в Красноармейском районе. Рассмотрим условия формирования отложений на южном и северном бортах Донбасса.

Таблица 1

Зависимость скорости распространения продольных волн и пористости от интенсивности тектонической дислоцированности

Геолого-промышленный район	Участок разведки (шахта)	Марка угля	Скорость продольных волн, м/с	Коэффициент суммарной тектонической дислоцированности, б/р	Коэффициент открытой пористости, %
Павлоградско-Петропавловский	Брагиновский	Г	3900	0,11	10,8
Красноармейский	шх. им. А.Г. Стаханова	Г	4250	0,27	9,8
Донецко-Макеевский	Октябрьский-Глубокий	Г	4978	0,36	5,9
Центральный	Румянцевский-Глубокий	Ж	5100	0,53	3,3
Краснодонский	Самсоновская-Западная	Г	4520	0,74	6,2
Луганский	Чапаевский	Ж	4300		8,9
	Менчикуровский	Г	4350	0,53	8,3
Алмазно-Марьевский	Светлановский	Г - Ж	4500	0,68	7,5

Различный литологический состав осадочных отложений предполагает отличия в физико-механических условиях деформирования массивов (при условии равенства деформирующих сил и их направлений): содержащий большее количество глинистых пород массив более пластичен, а содержащий большее количество песчаников и известняков – хрупок. Сведения о литологическом составе осадочных отложений различных геолого-промышленных районов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Литологический состав (%) осадочных отложений

Район	Песчаники	Алевролиты, аргиллиты	Известняки
Павлоградский	17 - 20	75-80	0,5 - 2,6
Красноармейский	16-26	80	1,8-3,6
Луганский	36	67 - 77	3,8 – 4,12
Краснодонский	30	50	5,6 - 10,3

Анализ параметров тектонических дислокаций показал, что на северном борту больше интенсивность складчатых дислокаций и генетически связанных с ними углов падения, на южном эти параметры существенно ниже; интенсивности разрывных нарушений – соизмеримы (табл. 3).

Отличаются количество тектонических фаз (табл. 4 ), интенсивность процессов и тип действующих сил [5]. На северном борту наиболее интенсивно проявились пфальцская и ларамийская фазы: первой вызвано появление интенсивной складчатости продольного типа и генетически связанных с нею пологих (углы падения сместителей 20-50°) надвигов, второй – увеличение параметров складок и нарушений (амплитуда ларамийских разрывов достигает 200 – 300м). Для северного борта характерно

преобладание правых сдвиговых усилий, направленных вдоль бассейна. Отмечен интересный факт [1]: складчатость как в пфальцскую, так и в ларамийскую фазы происходила на небольших глубинах (предположительно, до 700 м), что до настоящего времени не нашло объяснения.

Таблица 3

Параметры тектонической дислоцированности

Регионы	Показатели тектонической дислоцированности, б/р		
	Кр	Кс	Ку
Южный борт	0,33 – 0,59	0,024 – 0,11	0,03 – 0,08
Северный борт	0,57	0,38 – 0,42	0,42 – 0,37

Для южного борта характерно большее количество тектонических фаз, часто фиксируемых лишь на отдельных участках. Интенсивность их существенно меньше (в отличие от северного борта амплитуды ларамийских разрывов не превышали 50 м), в основном, они вызывали небольшие стратиграфические несогласия, смену фаций, перерывы в осадконакоплении. Как в процессе погружения отложений так и на последующих, постинверсионных, этапах формирования бассейна преобладали вертикальные движения со сдвиговой составляющей (часто направленной поперечно к простиранию бассейна), вызванные перемещениями субмеридиональных глубинных разломов в Средиземноморском поясе [6]. Они способствовали появлению разрывных нарушений (сбросы, взбросы с крутым падением сместителей) и их периодической активизации, увеличению интенсивности газоводных потоков и, как следствие, выносу образовавшихся в процессе диагенеза газов и растворов.

Таблица 4

Тектонические фазы в структурах южного и северного бортов Донбасса

Северный борт (Старобельско-Миллеровская моноκлиналь)	Южный борт (Павлоградско-Петропавловская моноκлиналь)
-	Аттическая
Савская	Савская
Ларамийская	Ларамийская
Австрийская	Австрийская
-	Новокимерийская
-	Адыгейская
-	Донецкая
-	Древнекимерийская
Пфальцская	Пфальцская
Заальская	Заальская
Астурийская	-
Леонская	-
-	Рудногорская
-	Кушногорская
Судетская	Судетская
-	Бретонская
-	Тельбесская

О различии в образовании и развитии структур южного и северного бортов свидетельствуют также результаты исследования химического состава газов (табл. 5). Обращает внимание разница между содержанием тяжелых углеводородов (ТУ). Существуют различные гипотезы их происхождения. Для Донбасса наиболее обоснованным является предположение об образовании ТУ в процессе метаморфизма [3]. Максимальное их количество образуется на углях марок К. В процессе инверсии тектонического режима происходит их дегазация. Повышенное содержание ТУ вдоль северного борта, в отличие от южного, свидетельствует о различии постдиагенетических процессов в этих районах. Сохранению и консервации ТУ в

отложения карбона северного борта способствовали непроницаемые мезокайнозойские покровные отложения.

Таблица 5

Состав газов прибортовых зон Донбасса [1]

Район	Состав газов, %				
	CO <sub>2</sub>	TU	He	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
Павлоградский	0,21-3,0	0,09-1,1	0,140	12,8-70,5	26,5-86,5
Красноармейский	0,3-0,5	следы	0,27	5,8-29,3	70-93
Луганский	До 20	9,63-21,0	0,01-0,4	-	54-94
Краснодонский	-	3,9	До 0,25	-	54-94

Судя по гидрогеологическим данным, для северного борта характерны застойный режим и практически небольшая циркуляция подземных вод, небольшие дебиты водоносных горизонтов (20-50 м<sup>3</sup>/ час), высокая минерализация (до 25 г/л). Для южного – гидрогеологическая ситуация резко отличается: дебит водоносных горизонтов 200-500 м<sup>3</sup>/ч, иногда и выше [1], минерализация ниже 1,2-2,5 г/л. Гидрогеологические данные позволяют предположить, что интенсивные газоводные потоки на южном борту способствовали выносу TU, тогда как на северном происходила их консервация. Это предположение вполне согласуется с тектоническими условиями районов.

Для сравнения условий осадконакопления также особый интерес представляет петрографический состав углей, так как свойства микрокомпонентов при одинаковой степени преобразования существенно отличаются и зависят от исходного вещества. Поэтому об условиях первичного накопления осадков можно судить по содержанию микрокомпонентов в угольных пластах. Так, на северном и южном бортах Донбасса отмечены различия в содержании микрокомпонентов группы липтинита. Если содержание липтинита в отложениях северного борта весьма незначительно, то его содержание в угольных пластах на южном борту составляет до 10 %. Необходимо отметить, что отдельные микрокомпоненты группы липтинита неодинаково представлены в углях различного геологического возраста. Оболочки спор в наибольшем количестве встречаются в раннем карбоне; пропитанные споросполненным спорангии – в среднем и отчасти позднем карбоне; остатки суберинизированной коры – в поздней перми, мезозое и кайнозое; смоляные тела – в мезозое и кайнозое; скопления остатков кутикулы – зачастую в среднем девоне («барзасская рогожка»), раннем карбоне («бумажный уголь» Подмосковского бассейна), а также в поздней перми и мезозое, где они связаны с листопадной флорой. Липтиниты встречаются в отложениях многих фаций, однако в большем количестве присутствуют в углях фации проточных болот.

Липтиниты, образовавшиеся из наиболее устойчивых частей растений (восков, смол и т.п.), характеризуются большим выходом летучих, содержат углерода на 3-6% меньше, а водорода на 0,5-1,0% больше, в ряду углефикации они наиболее богаты алифатическими структурными элементами и имеют наиболее длинные алифатические цепи (что подтверждается их более низкими значениями концентрации парамагнитных центров). При прочих равных условиях в углях, содержащих большее количество липтинита, при метаморфизме образуется большее количество гуминовых кислот (которые увеличивают агрессивность газоводных потоков), меньшее – TU. Так как на поле шахты им. А.Г. Стаханова и участка Чапаевский угли одного геологического возраста – среднекарбонного, то можно предположить, что микрокомпоненты группы липтинита представлены в основном пропитанными споросполненным спорангиями; на участке Брагинский; – оболочками спор.

Для исследования минерально-структурных показателей выбраны песчаники, формировавшиеся в одинаковых литолого-фациальных условиях (подводных выносов рек): c<sub>10</sub>Sc<sub>11</sub> (участок Брагинский), k<sub>4</sub>Sk<sub>5</sub> (шахта им. А.Г. Стаханова), K<sub>1</sub>Sk<sub>3</sub> (участок Чапаевский), которые вмещают угли одной и той же марки Г, расположенные в различных тектонических условиях (табл. 1).

Из приведенных в табл. 1 результатов исследований следует, что с увеличением тектонической дислоцированности (от 0,11 до 0,27) на поле шахты им. А.Г. Стаханова закономерно уменьшается коэффициент открытой пористости (10,8-9,8 %) и увеличивается скорость распространения продольных волн (3900-4250 м/с) по сравнению с аналогичными показателями, которые определены на менее дислоцированном участке Брагиновский. Однако, на более дислоцированном участке Чапаевский (показатель дислоцированности – 0,530) значения показателей пористости и скорости распространения продольных волн незначительно отличаются от аналогичных показателей, определенных на поле шахты им. А.Г. Стаханова. Следовательно, несмотря на то, что участок Чапаевский более дислоцирован, чем поле шахты им. А.Г. Стаханова, тектонический фактор не оказал существенное влияние на акустические и коллекторские свойства песчаников.

Можно предположить, что основную роль здесь играют условия осадконакопления пород. Условия осадконакопления на северном и южном бортах отличаются. Изучение керна показало, что песчаники на участке Брагиновский и поле шахты им. А.Г. Стаханова (южный борт) в основном мелко- и среднезернистые, с горизонтальной, пологоволнистой и косой слоистостью; на участке Чапаевский (северный борт) песчаники преимущественно средне - и крупнозернистые, а также грубозернистые, с косой, прямолинейной слоистостью, что указывает на большую интенсивность потоков, участвующих в их формировании. Это подтверждается прежде всего увеличением средневзвешенного размера зерен кварца и уменьшением средних значений содержания глинисто-слюдистых минералов, полученных при петрографических исследованиях минерально-структурных показателей песчаников (табл. 6).

Таблица 6

Сравнительная характеристика минерально – структурных показателей песчаников

Минерально – структурные показатели	Участок Брагиновский (с <sub>10</sub> Sc <sub>11</sub> ) (южный борт)		поле шахты им. А.Г. Стаханова (к <sub>4</sub> Sk <sub>5</sub> ) (южный борт)		Участок Чапаевский (К <sub>1</sub> Sk <sub>3</sub> ) (северный борт)	
	минимум - максимум	среднее	минимум - максимум	среднее	минимум - максимум	среднее
Средневзвешенный размер зерен, мм	0,15 – 0,29	0,15	0,14 – 0,21	0,14	0,10 – 0,40	0,25
Протяженность контактов	0,11 – 0,25	0,14	0,10 – 0,15	0,11	0,11 – 0,42	0,17
Кварц обломочный, %	43 -65	50	46 - 63	52	33 - 67	54
Кварц регенерационный, %	0 - 4	0,5	0 - 8	3	0 - 11	5
Слюдисто – глинистые минералы, %	20 – 33	25	18 - 26	24	1 - 28	14
Количество определений	40		50		50	

Исходя из того, что обломочные зерна кварца в процессе переноса обкалываются, обкатываются, шлифуются, а при дальнейших катагенетических процессах происходит их растрескивание, растворение и переотложение, то характеристиками активности процессов катагенеза являются петрографические показатели содержания регенерационного кварца и протяженность контактов. Величины этих показателей существенно выше у песчаников на участке Чапаевский. Но эти предположения не согласуются с другими фактическими данными – относительно результатов измерения нарушенности зерен кварца (отношение количества нарушенных зерен к общему числу просмотренных в шлифе). По данным работы [7], значение коэффициента нарушенности зерен кварца на участке Чапаевский минимально (20,2% в зоне распространения углей марки Г), для песчаников шахты им. А.Г. Стаханова – почти вдвое выше (37,4%), в Центральном районе в 3 раза, а в Донецко-Макеевском в 4 раза больше, чем в Красноармейском.

На основании изучения геолого-тектонических условий нами предложена следующая модель формирования структуры северного борта Донбасса.

Катагенетические процессы ( $P_2 - T$ ) происходили в специфических условиях: в отложениях карбона, расположенных между кристаллическим фундаментом и практически непроницаемыми отложениями триаса и мела, которые являлись экранами, преграждающими миграцию воды, за счет литостатических и тектонических напряжений возникли высокие давления. При погружении отложений (именно за счет высоких давлений, а не вследствие транспортировки) в песчаниках на стыках зерен кварца происходила концентрация напряжений, которая способствовала вдавливанию одних зерен в другие (протяженность контактов на северном борте выше), образованию стилолитовых швов, растворению и миграции минеральных растворов.

Активное воздействие водных растворов на известняки и аргиллиты, количество которых в отложениях северного борта значительно выше, чем южного (табл. 2), привело к уменьшению вязкости и прочности этих пород и увеличению пластичности массива, что могло привести к формированию складок продольного типа на небольших глубинах [8]. Так, по данным работы [2], образование складок продольного типа в слоистых средах возможно при весьма незначительной их величине (около нескольких  $\text{кГ/см}^2$ ) и, как следствие, на небольших глубинах.

Отсутствие интенсивных вертикальных знакопеременных движений фундамента в постинверсионный период ( $P_2 -$  настоящее время) и преобладание сдвиговых усилий обусловили сохранение замкнутости системы в ларамийскую фазу тектогенеза и сохранение ТУ (табл. 5). Это логично объясняет образование структуры северного борта Донбасса и характеризующие ее высокие коэффициенты складчатости и углов падения отложений (табл. 3).

В отличие от северного борта, образование структуры южного борта Донбасса тесно связано с геодинамическими процессами, происходящими на южной окраине Восточноевропейской платформы. Перемещения субмеридиональных блоков активно влияли на строение южного борта Донбасса. Характер тектонических движений обусловил сравнительно частые вертикальные подвижки во время накопления отложений, которые привели к изменчивости распределения литологических типов отложений пород по падению и простиранию. При такой разнородной структуре массива под действием тектонических сил на границах пород с различными физико-механическими свойствами образовывались разуплотненные участки, нарушенные зоны или разрывные нарушения – сбросы, взбросы с крутым падением сместителей (сдвиговые дислокации менее распространены). Примеры образования таких нарушений в Западном Донбассе приведены в работе [7]. Периодическая активизация перемещений блоков после инверсии геотектонического режима обусловила увеличение интенсивности газоводных потоков и, как следствие, вынос образовавшихся в процессе диагенеза газов и растворов.

Различия литологического состава отложений Краснодонского и Красноармейского районов не противоречат этому предположению. Поэтому, несмотря на высокую тектоническую дислоцированность участка Чапаевский, определяющую роль в формировании физических свойств сыграли условия осадконакопления песчаников.

**Выводы.** Таким образом, в формировании коллекторских и акустических свойств песчаников большое значение имеют как постинверсионные тектонические движения, которые обусловили нарушенность отложений, характеризуемую коэффициентом суммарной тектонической дислоцированности, так и доинверсионные процессы, определившие особенности осадконакопления, динамику газоводных потоков, различия в минерально-структурных характеристиках, литолого-фациальных условиях отложений, составе газов. Очевидно, что на каждом из рассмотренных объектов в зависимости от геологической истории их развития преобладают различные факторы (или их сочетания), обусловившие определенные условия осадконакопления, тектонические и

гидрогеологические процессы, которые сформировали коллекторские свойства песчаников.

1. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / отв. ред. И.И. Аммосов. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – Т. 1: Угольные бассейны и месторождения юга Европейской части СССР. – 1963. – 1209 с.
2. Ержанов Ж.С. Математический анализ складкообразующих сил в верхних слоях земной коры / Ж.С. Ержанов, А.К. Егоров, В.П. Матвеева // Давления и механические напряжения в развитии состава, структуры и рельефа литосферы. – Л.: ВСЕГЕИ, 1969. – С. 63 - 65.
3. Забигаило В. Е. Проблемы геологии газов угольных месторождений / В. Е. Забигаило, А. З. Широков. – К. : Наук. думка, 1972. – 172 с.
4. Логвиненко Н.В. Образование и изменение осадочных пород на континенте и океане / Н.В. Логвиненко, Л.В. Орлова. – Л.: Недра, 1987. – 287 с.
5. Лукинов В.В. Тектоника метанугольных месторождений Донбасса / В. В. Лукинов, Л. И. Пимоненко. – К.: Наук. думка, 2008. – 352 с.
6. Ступка О.С. Геодинамическая эволюция и структура земной коры юга европейской части Советского Союза в докембрии / О.С. Ступка. – К.: Наук. думка, 1986. – 218 с.
7. Тектоника и горно-геологические условия разработки месторождений Донбасса / В.Е. Забигаило, В. В. Лукинов, Л. И. Пимоненко, Н. В. Сахневич. – К. : Наук. думка, 1994. – 152 с.
8. Ярошевский В. Тектоника разрывов и складок / В. Ярошевский. – М. : Недра, 1981. – 245 с.

**К.А. Безручко, Л.І. Пимоненко**

#### **РОЛЬ ТЕКТОНІЧНОГО ЧИННИКА У ФОРМУВАННІ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД ДОНБАСУ**

Проведені дослідження ролі тектонічного чинника у формуванні фізичних властивостей гірських порід Донбасу. Розглянуті умови і проведено порівняльний аналіз утворення та розвитку структур південного і північного бортів басейну. Зроблено висновок про те, що у формуванні колекторських і акустичних властивостей пісковиків відіграють роль як постінверсійні тектонічні рухи, які зумовили інтенсивність дислокованості районів, так і доінверсійні процеси, що зумовили особливості осадконакопичення, динаміку газоводних потоків, відмінності в мінерально-структурних характеристиках, літолого-фаціальних умовах відкладів, складі газів. Показано, що на кожному з окремих геологічних об'єктів залежно від історії їх розвитку переважають різні чинники (чи їх поєднання), що зумовили певні умови осадконакопичення, тектонічні та гідрогеологічні процеси, які сформували фізичні властивості пісковиків.

*Ключові слова:* Донецький басейн, метан, пісковики, фізичні властивості, тектонічний чинник.

**K. Bezruchko, L. Pymonenko**

#### **THE ROLE OF TECTONIC FACTOR IN PHYSICAL PROPERTIES FORMATION OF DONBAS ROCKS**

Investigations of the tectonic factor role in the physical properties formation of Donbas rocks were carried out. The conditions were considered, formation and development comparative analysis of the structures of the southern and northern sides of the basin was carried out. The conclusion was made that both postinversion tectonic movements that have caused the dislocation intensity of regions and proinversion processes stipulating sedimentation features, gas-water flows dynamics, differences in mineral and structural characteristics, lithofacies conditions of depositions, gas composition play a role in formation of reservoir and acoustic properties of sandstones. It is shown that various factors (or their combinations) prevail on each of the individual geological objects depending on their development history. They led to certain conditions of sedimentation, tectonic and hydrogeological processes that had formed the physical properties of sandstones.

*Keywords:* Donetsk basin, methane, sandstones, physical properties, tectonic factor.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпропетровськ  
Безручко Костянтин Андрійович,  
Пимоненко Людмила Іванівна  
e-mail: gvvvg@meta.ua

Стаття надійшла: 28.08.2014