

# ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ХРАНЕНИЯ CO<sub>2</sub> В ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ДОНБАССА<sup>1</sup>

**Осетров Владислав Владимирович**

ГРГП «Донецкгеология», Артемовск, Украина, геолог

**Шеставин Николай Степанович**,

кандидат технических наук

Донецкий национальный университет, Донецк, Украина, в.н.с.

*m.shestavin@donnu.edu.ua*

**Юрченко Виктория Владимировна**,

Донецкий национальный университет, Донецк, Украина, аспирант

**Аннотация.** В настоящее время уже происходят реальные изменения климата, главной причиной которых являются антропогенные выбросы парниковых газов и в наибольшей степени выбросы диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) из стационарных источников.

**Ключевые слова:** диоксида углерода, климат, выбросы парниковых газов, МГЭИК

## ASSESSMENT OF THE POSSIBLE GEOLOGICAL STORAGE OF CO<sub>2</sub> IN THE SEDIMENTS OF DONBASS

**Osetrov Vladislav Vladimirovich**,

GRGP "Donetskgeologiya", Donetsk, Ukraine, geologist

**Shestavin Nikolai Stepanovich**

Ph.D., Leading Scientist

Donetsk National University, Donetsk, Ukraine

**Yurchenko Viktoriya Vladimirovna**

graduate student, Donetsk National University, Donetsk, Ukraine

**Abstract.** There is now a real place of climate change, caused mainly by anthropogenic emissions of greenhouse gases and the most carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from stationary sources.

**Keywords:** carbon dioxide, climate, greenhouse gas emissions, the IPCC

**В** настоящее время уже происходят реальные изменения климата, главной причиной которых являются антропогенные выбросы парниковых газов и в наибольшей степени выбросы диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) из стационарных источников. Это было обосновано и намечены пути решения возникающих проблем еще в первых докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [1]. Такие же тенденции и

перспективы глобального развития подтверждаются и в настоящее время в последних докладах МГЭИК и в докладах других компетентных международных организаций [2].

После проведения тщательных экономических исследований проблем, возникающих в связи с изменением климата, были сделаны выводы о целесообразности интенсивного внедрения новых технологий улавливания и хранения диоксида углерода (УХУ) в энергетику всех стран мира как основного инструмента противодействия уже происходящим процессам глобального изменения климата [3, 4].

Технологии УХУ сейчас уже разрабатываются и внедряются в исследовательских, пилотных и промышленных масштабах, а также определены перспективы их развития до 2050 года, когда ис-

<sup>1</sup> Исследование выполнено в рамках Грантового контракта №DCI/ENV 2010/243-865 "Low-Carbon Opportunities for Industrial Regions of Ukraine (LCOIR-UA)" между Донецким национальным университетом (Украина) и Европейской Комиссией по Тематической программе для окружающей среды и устойчивого управления природными ресурсами, включая энергию.

пользование технологий УХУ позволит вместо увеличения эмиссии  $\text{CO}_2$  к 2050 году на 130% по сравнению с уровнем 2005 года достигнуть уменьшения эмиссии  $\text{CO}_2$  до 50% [5-7].

Однако в Украине не проводится «секвестрация  $\text{CO}_2$ , который выбрасывается в процессе сжигания углеродосодержащих видов топлива для целей долгосрочного хранения, например, в геологических формациях» [8, с. 90]. Принятая в 2006 году Энергетическая стратегия Украины до 2030 года [9] не планирует в ближайшее время исследовать, разрабатывать и внедрять технологии УХУ в энергетику Украины.

Поэтому сейчас необходимо выполнить оценки возможных сценариев внедрения технологий УХУ в энергетическом секторе Украины и, прежде всего, на предприятиях восточных регионов, где сосредоточены основные энергетические и промышленные мощности Украины, которые выбрасывают значительные объемы парниковых газов, а также имеются глубокие геологические формации, очевидно пригодные для целей долговременного хранения сверхкритического  $\text{CO}_2$ .

Выполнение таких исследований, а также последующих технологических разработок с их внедрением на энергетических предприятиях, позволят Украине внести достойный вклад в решении проблем, вызванных глобальным изменением климата.

Закачивание  $\text{CO}_2$  в геологические формации насчитывает более чем тридцатилетний опыт работ по повышению нефте- и газоотдачи пластов. Кроме этого, в последнее время в различных странах проводятся многочисленные исследования по геологическому хранению  $\text{CO}_2$ . В качестве долгосрочных хранилищ  $\text{CO}_2$  рассматривают главным образом поровые или трещиноватые осадочные породы (коллекторы), ограниченные от окружающей горной среды и земной поверхности слабопроницаемыми или практически непроницаемыми породами (флюидоупорами или покрышками) [5]. Следует отметить, что природные хранилища газов (в том числе и горючих) естественного генезиса являются надежными на протяжении сотен тысяч и миллионов лет, утечки газов из них пренебрежимо малы.

Выделяются три основных типа формаций, в которых возможно геологическое хранение  $\text{CO}_2$ : истощенные или находящиеся на стадии истощения нефтегазоносные бассейны, глубоко залегающие

соленосные формации, и не имеющие промышленного значения угольные пласты.

Успешность геологического метода хранения  $\text{CO}_2$  подтверждается результатами экспериментов, проводимых в разное время компаниями MRCSP, MGSC, SECARB, SWP, WESTCARB, Big Sky, PCOR (США), а также в рамках проектов Weyburn, Fenn Big Valley (Канада), Sleipner (Норвегия), Yubari (Япония), Qinshui Basin (Китай) и др.

Поиск и выбор геологических структур и горизонтов, способных служить долгосрочными хранилищами  $\text{CO}_2$  в нефтегазоносных бассейнах основывается, как правило, на результатах предыдущих поисковых и геологоразведочных работ, а определение перспективных участков хранения  $\text{CO}_2$  требует дополнительных исследований.

На территории Украины расположены крупные нефтегазоносные провинции с большим объемом продуктивных горизонтов. Один из самых крупных нефтегазоносных районов – Днепроовско-Донецкий бассейн расположен в границах двух больших структур – Днепроовско-Донецкий впадины (ДДВ) и Донецкого каменноугольного бассейна (Донбасса). Газоносность Днепроовско-Донецкого бассейна тесно связана с терригенными осадочными породами среднего-верхнего карбона и нижней перми. Метановая газоносность Донбасса также связана с угленосной толщей карбона.

Результаты предыдущих геологоразведочных работ показали, что в геологических условиях ДДВ и Донбасса одними из перспективных в отношении газоносности районами являются участки с сохранными гидрохимическими отложениями нижнепермского возраста. Важная роль гидрохимических отложений заключается в их хороших изоляционных свойствах (чередование непроницаемых для нефти и газа слоев каменной соли, плотных ангидритов и гипсов).

Также важно расположение гидрохимических отложений в верхней части крупного седиментационного цикла, в литолого-фациальном составе которого преобладают породы, обладающие хорошими коллекторскими свойствами.

Эти факторы в совокупности с большой мощностью газопроницаемых осадочных пород создали благоприятные условия для свободной миграции углеводородов и их концентрации под непроницаемым покровом гидрохимических отложений. В Донбассе нижнепермские гидрохимические образования

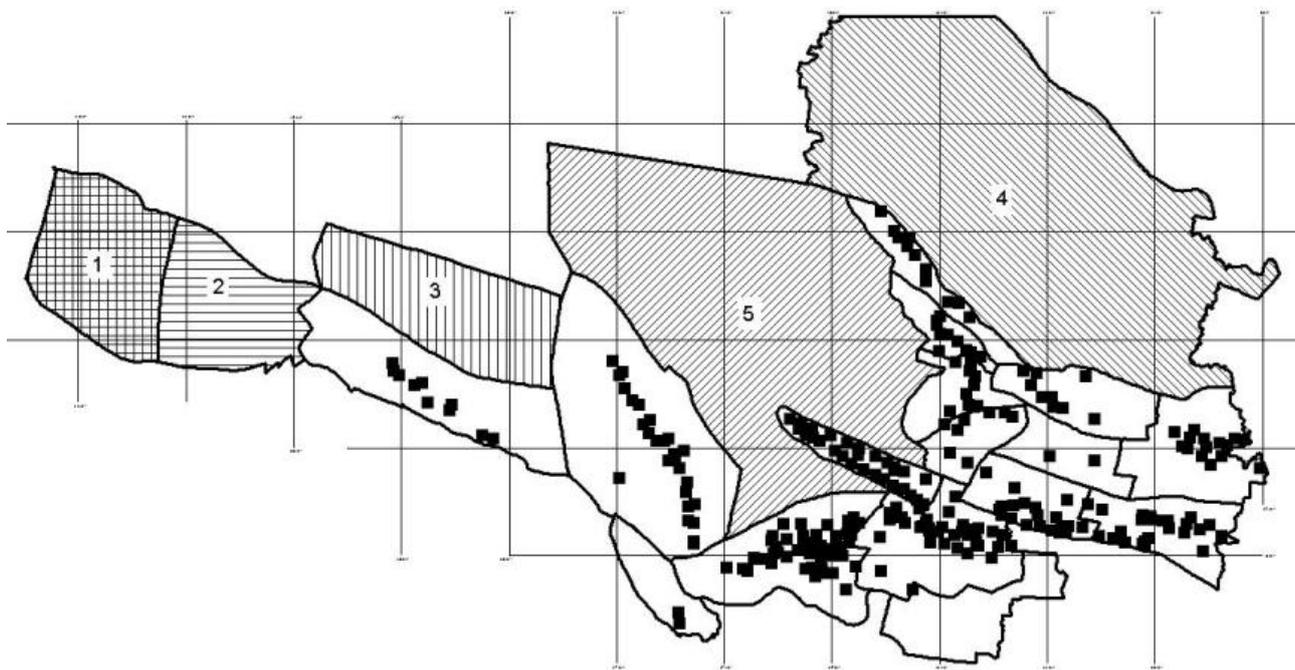


Рис. 1. Схема геолого-промышленного районирования Донецкого бассейна.

Квадратами показаны места расположения угольных шахт, цифрами отмечены перспективные районы: 1 – Новомосковский, 2 – Петриковский, 3 – Лозовской, 4 – Старобельский, 5 – Северо-западные окраины Донбасса.

развиты в его северо-западной части в границах Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловин.

Исходя из результатов зарубежных работ по геологическому хранению  $CO_2$  и особенностей геологического строения Донецкого бассейна, предлагаются районы (Новомосковский, Петриковский, Лозовской, Старобельский и Северо-западные окраины Донбасса) для дальнейшего изучения их потенциала в отношении геологического хранения  $CO_2$  (рис. 1).

С позиции геолого-промышленного районирования Донбасса их можно разбить на две большие группы:

1. Северо-западные окраины Донбасса (Бахмутская и Кальмиус-Торецкая котловины и прилегающие к ним участки).
2. Угленосные районы без промышленного освоения (Старобельский, Лозовской, Петриковский, Новомосковский).

На территориях этих районов развиты свиты среднего-верхнего карбона, содержащие в своем

составе мощные горизонты песчаников и алевролитов. В пределах Северо-западных окраин Донбасса в границах Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловин находится мощная изолирующая покрывка соленосных отложений нижней перми (рис. 1).

На территориях этих районов развиты свиты среднего-верхнего карбона, содержащие в своем составе мощные горизонты песчаников и алевролитов. В пределах Северо-западных окраин Донбасса в границах Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловин находится мощная изолирующая покрывка соленосных отложений нижней перми (рис. 1).

Согласно данным бурения и геофизических исследований, непосредственно под газонепроницаемыми породами залегает мощная терригенная угленосная толща верхнего - среднего карбона, которая содержит пласты пород, обладающих хорошими коллекторскими свойствами, в ряде случаев – метановой газоносностью, а также пласты каменного угля.

Важным моментом также является то, что из-за большой мощности покрывающих пермских и мезо-кайнозойских отложений на территориях Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловин, угольные пласты там не разрабатываются. В юго-восточной части Бахмутской котловины каменную соль славянской свиты разрабатывают подземным способом.

В Донецком бассейне, в том числе в Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловинах есть участки, осложненные многочисленными тектоническими нарушениями, которые нарушают целостность горного массива и газонепроницаемой покрышки, создают возможность миграции жидких и газообразных веществ к поверхности земли.

Кроме тектонических нарушений в северо-западной части Бахмутской котловины развиты соляно-купольные структуры девонского возраста, которые прорывают вышележащие отложения палеозоя и мезозоя и в комплексе с тектоническими нарушениями также служат зонами миграции жидких и газообразных веществ к поверхности земли.

В связи с этим дальнейшие количественные оценки возможностей геологического хранения CO<sub>2</sub> в Донбассе следует проводить с учетом тщательного анализа их структурно-тектонического строения.

Основным параметром при оценке возможностей геологического хранения CO<sub>2</sub> в осадочных отложениях является их пористость, которая определяется как отношения объема пор к всему объему породы. В связи с отсутствием возможности специального взятия образцов из потенциальных участков, пригодных для хранения CO<sub>2</sub>, были использованы образцы, которые ранее брались для других целей из осадочных отложений Донбасса, но имеющие близкое местонахождение к потенциальным участкам хранения CO<sub>2</sub> и относящиеся к соответствующим горизонтам. Поэтому для исследований пористости были использованы образцы песчаника (табл. 1), взятые из скважин, пробуренных в пределах Беляевского купола вблизи с. Беляевка, Первомайского района, Харьковской области.

Таблица 1

Параметры образцов песчаника для определения пористости

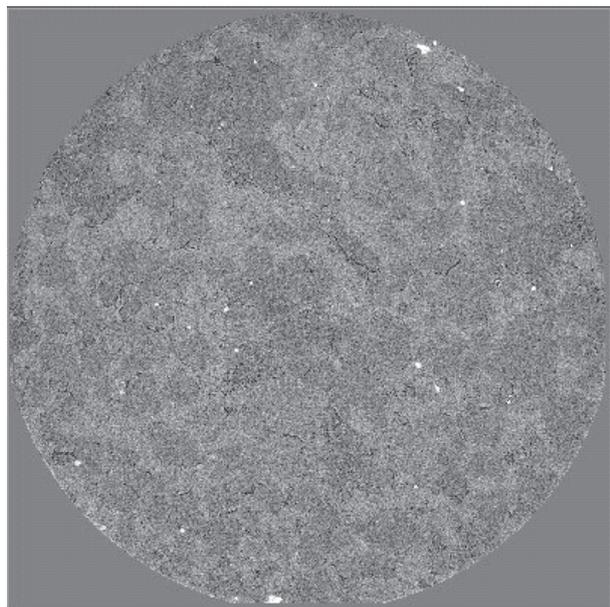
Номер образца	1	2	3	4	5
Номер скважины	43	8	5	31	10
Глубина скважины, м	257	210	323	349	343

Предварительная обработка образцов выполнялась в Университете г. Осло (Норвегия), а затем эти образцы сканировались по методике рентгеновской томографии на синхротроне в Гренобле (Франция).

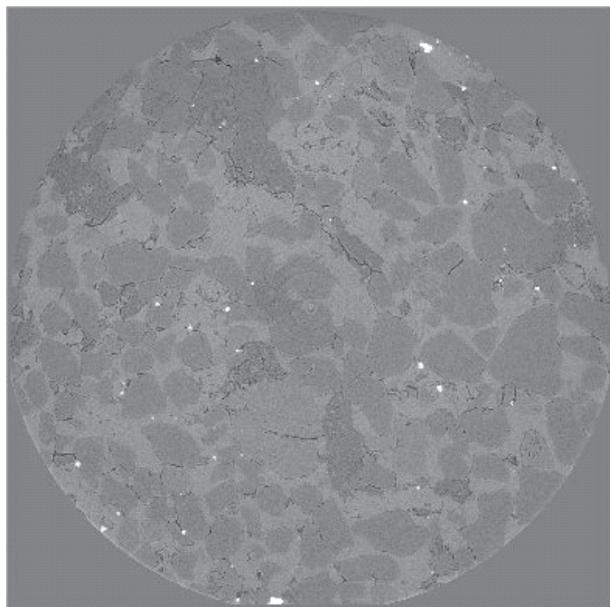
ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), Grenoble, France

Используя программное обеспечение Avizo Fire, было исследовано 5 образцов при двукратном и десятикратном увеличении. Для вычисления объема пористости необходимо выполнить следующие действия: убрать «шум»; удалить матричный материал (породу), оставляя только поры; выполнить трехмерное восстановление пор и подсчет объема пор.

Для устранения «шума» необходимо отфильтровать изображение (рис. 2). В данной программе существует различные варианты фильтров. В нашем случае, выбор осуществлялся между двумя фильтрами: Edge-preserving и Median.



а) Оригинальные данные



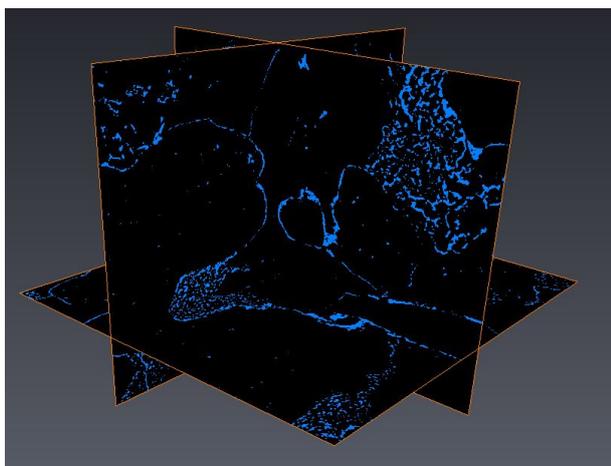
б) Данные, обработанные фильтром Median

Рис. 2. Пример фильтрации данных

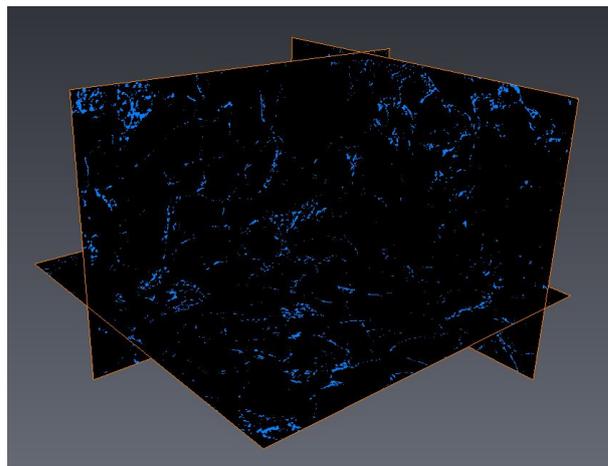
На первый взгляд, может показаться, что данные, обработанные фильтром Edge-preserving - более сглаженные, однако, при ближайшем рассмотрении, видно, что границы пор размыты (что приводит к потере некоторых данных), а также появляются дополнительные вкрапления. Поэтому далее применялся только фильтр Median. На рис. 2 представлены для сравнения оригинальные данные

(а) и данные, отфильтрованные с помощью фильтра Median (б).

Далее необходимо удалить матричный материал (породу), оставляя только поры. Для этого используется функция Thresholding (пороговая классификация). На рис. 3 показаны поры, выделенные из общего массива данных, для образцов 2 и 3 соответственно (при десятикратном увеличении).

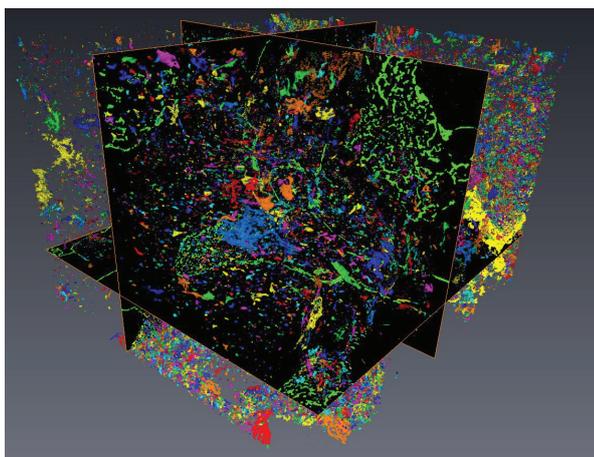


а) Образец 2

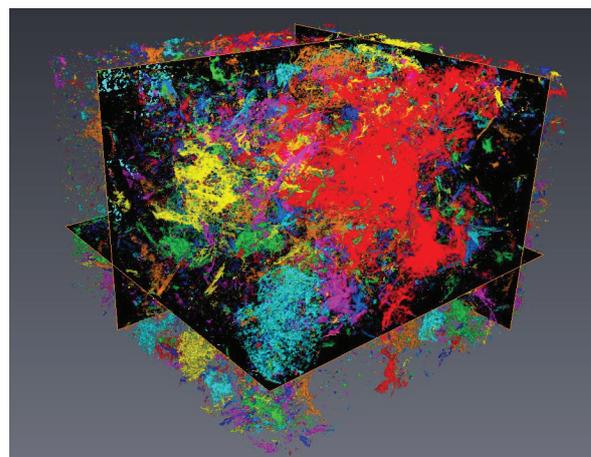


б) Образец 3

Рис. 3. Результат использования функции Thresholding



а) Образец 2



б) Образец 3

Рис. 4. Результаты объемного восстановления пор

С помощью функции I\_analyze производятся расчеты количества и объема пор. После чего в объемном изображении мы можем видеть прорисовку всех пор, где каждым отдельным цветом (оттенком серого) показаны цельные поры – кластеры взаимосвязанных пор, в которых может храниться CO<sub>2</sub> в сверхкритическом состоянии (рис. 4).

Суммируя объемы всех пор и учитывая значение объема образца можно определить относительный объем пор (табл. 2), то есть пористость. Полученные значения пористости – около 3%, позволяют сделать вывод о перспективности использования осадочных отложений Донбасс для долговременного хранения CO<sub>2</sub>.

Таблица 2

Статистика определения пористости

Номер образца	Минимальный объем пор	Максимальный объем пор	Среднее значение	Медианное значение	Среднеквадратичное отклонение	Относительный объем пор
2	1,75089E-19	7,13294E-12	1,06747E-16	2,10106E-18	2,32723E-14	0,03206
3	1,75089E-19	2,10844E-12	4,05574E-17	5,25266E-19	5,11583E-15	0,03134

### Благодарности

Профессору Даг Кристиан Дисте (Университет г. Осло, Норвегия) и его сотрудникам за помощь в подготовке наших образцов, и в получении результатов их исследования. Профессору Светлане Владимировне Беспаловой (Донецкий национальный университет, Украина) за административную поддержку этой работы.

---

**Список литературы**

1. Climate Change: The IPCC Response Strategies. – World Meteorological Organization / United Nations Environment Program: Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990. – 332 p.
2. Доклад о мировом развитии – 2010: Развитие и изменение климата. – Международный банк реконструкции и развития / Всемирный банк, 2010. – 40 с.
3. Stern N. The Economics of Climate Change: The Stern Review. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. – 662 p.
4. Impact of the financial crisis on carbon economics: Version 2.1 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve. – McKinsey & Company, 2010. – 14 p.
5. Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата – Улавливание и хранение двуокиси углерода / Резюме для лиц, определяющих политику и Техническое резюме. – МГЭИК, 2005. – 58 с.
6. Обзор технологий улавливания и хранения углерода: возможности, препятствия, экономические аспекты и роль, рекомендуемая для ЕЭК ООН. – ООН / ЕЭК / Комитет по устойчивой энергетике (ECE/ENERGY/2006/5), 2006. – 27 с.
7. Technology Roadmap – Carbon capture and storage. – International Energy Agency, 2010. – 52 p.
8. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине за 1990-2010 гг. – Киев: Государственное агентство экологических инвестиций Украины, 2012. – 729 с.
9. Енергетична стратегія України на період до 2030 року / Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. №145-р. – 129 с.