

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ХРАНЕНИЯ CO₂ В ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ДОНБАССА¹

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 (CO₂) из стационарных источников.

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

ASSESSMENT OF THE POSSIBLE GEOLOGICAL STORAGE OF CO₂ 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 (CO₂) 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 (CO₂) 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-

¹ 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 CO_2 к 2050 году на 130% по сравнению с уровнем 2005 года достигнуть уменьшения эмиссии CO_2 до 50% [5-7].

Однако в Украине не проводится «секвестрация 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 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 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 CO_2 . В качестве долгосрочных хранилищ 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 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 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 CO_2 в нефтегазоносных бассейнах основывается, как правило, на результатах предыдущих поисковых и геологоразведочных работ, а определение перспективных участков хранения 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

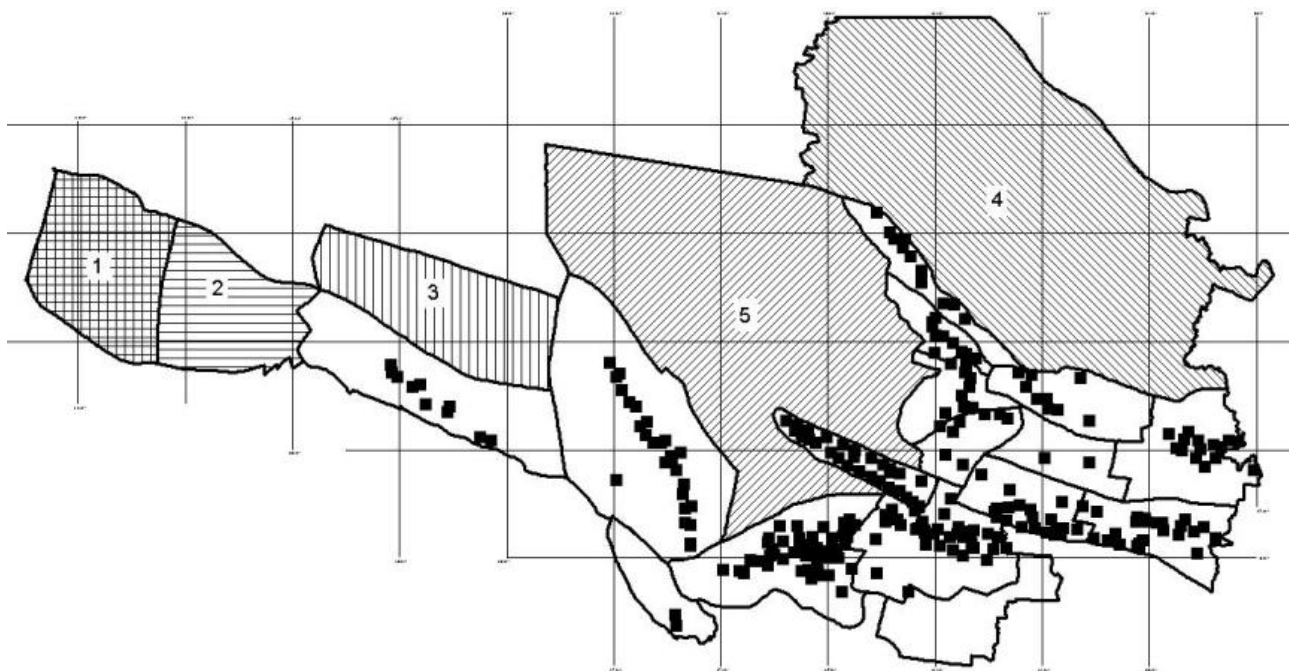


Рис. 1. Схема геолого-промышленного районирования Донецкого бассейна.

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 CO₂ в Донбассе следует проводить с учетом тщательного анализа их структурно-тектонического строения.

Основным параметром при оценке возможностей геологического хранения CO₂ 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 CO₂, были использованы образцы, которые ранее брались для других целей из осадочных отложений Донбасса, но имеющие близкое местонахождение к потенциальным участкам хранения CO₂ 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

ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), Grenoble, France

ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), Grenoble, France

ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), Grenoble, France

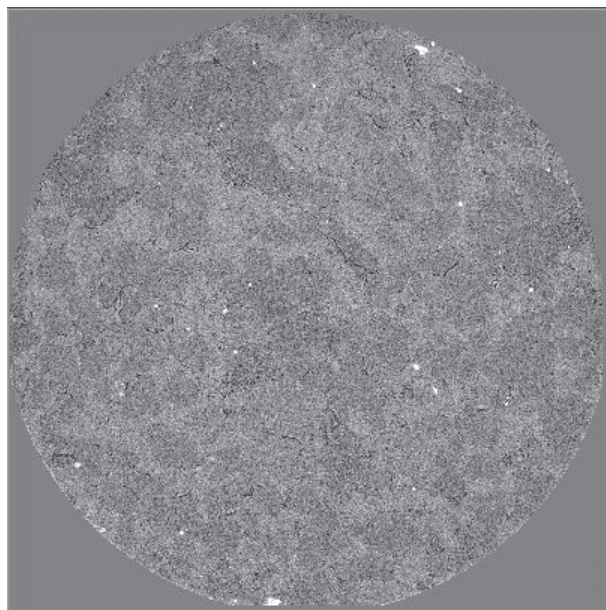
ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), Grenoble, France

ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), Grenoble, France

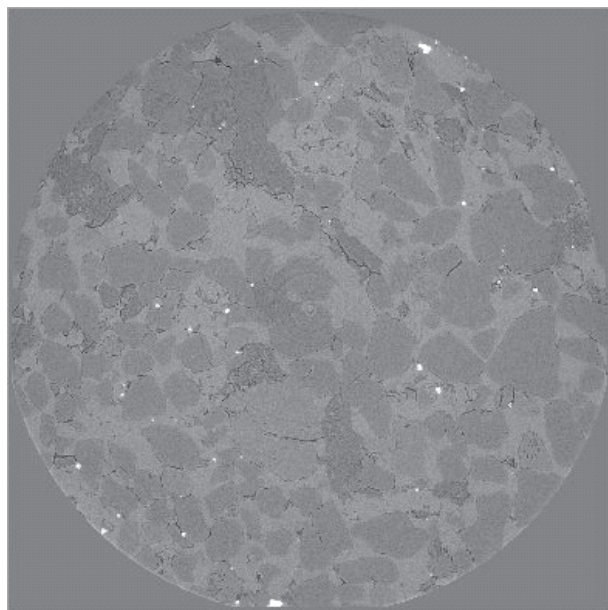
ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), Grenoble, France

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



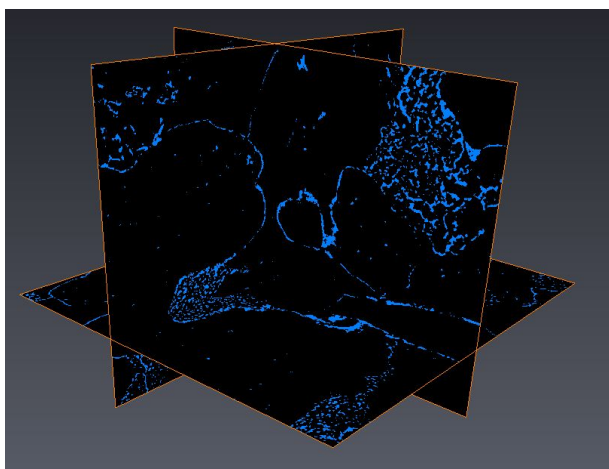
б) Данные, обработанные фильтром Median

Рис. 2. Пример фильтрации данных

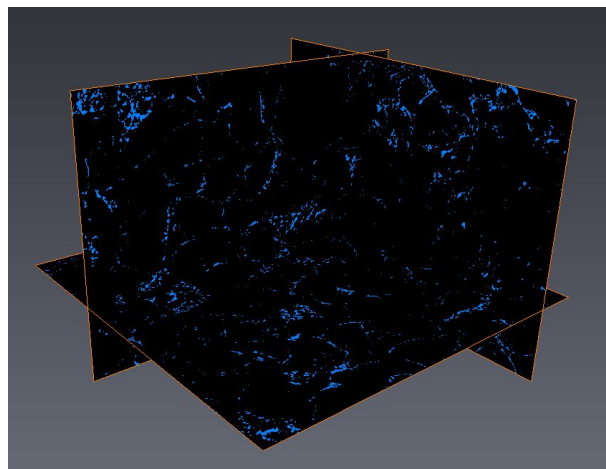
На первый взгляд, может показаться, что данные, обработанные фильтром Edge-preserving - более сглаженные, однако, при ближайшем рассмотрении, видно, что границы пор размыты (что приводит к потере некоторых данных), а также появляются дополнительные вкрапления. Поэтому далее применялся только фильтр Median.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

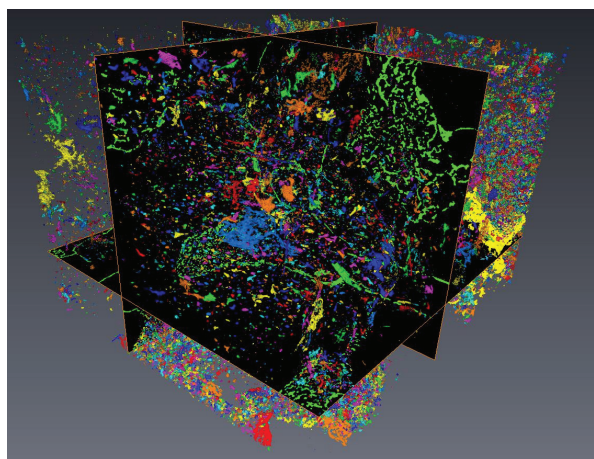


а) Образец 2

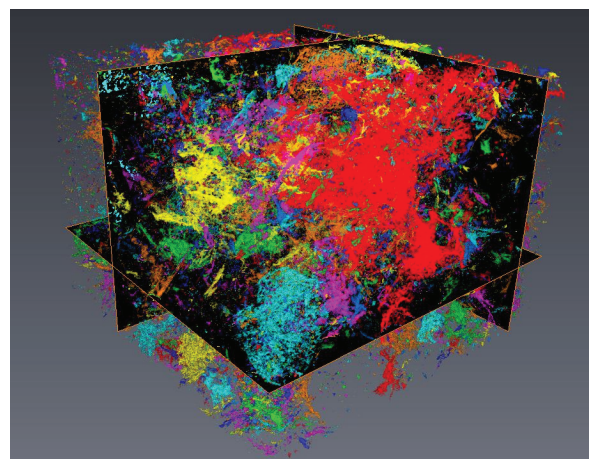


б) Образец 3

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 CO₂ 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 CO₂.

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.