



РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВНЕДРЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ВОСТОКЕ УКРАИНЫ

Рекомендации разработаны по проекту
«Низко-углеродные возможности для индустриальных
регионов Украины (LCOIR-UA)»,
который реализуется
Донецким национальным университетом
по грантовому контракту
№ DCI/ENV 2010/243-865 и
финансируется Европейским Союзом

В подготовке Рекомендаций принимали участие следующие
сотрудники Донецкого национального университета:

Беспалова С.В., Шестакин Н.С., Осетров В.В.,
Бескровная М.В., Сафонов А.И. и другие.



Донецк - 2012

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВНЕДРЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ВОСТОКЕ УКРАИНЫ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время уже происходят реальные изменения климата, главной причиной которых являются антропогенные выбросы парниковых газов и в наибольшей степени выбросы диоксида углерода (CO_2) 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 использование 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.

ТЕНДЕНЦИИ ЭМИССИИ CO₂.

В начале 90-х годов Украина занимала второе место в Европе по объемам выбросов CO₂, в 2009 – седьмое, а в 2011 году уже занимает шестую позицию (рис. 1) и имеет тенденцию постепенного увеличения этих объемов, в то время как большинство стран мира поставили перед собой цели по уменьшению выбросов CO₂ в ближайшее десятилетие [10].

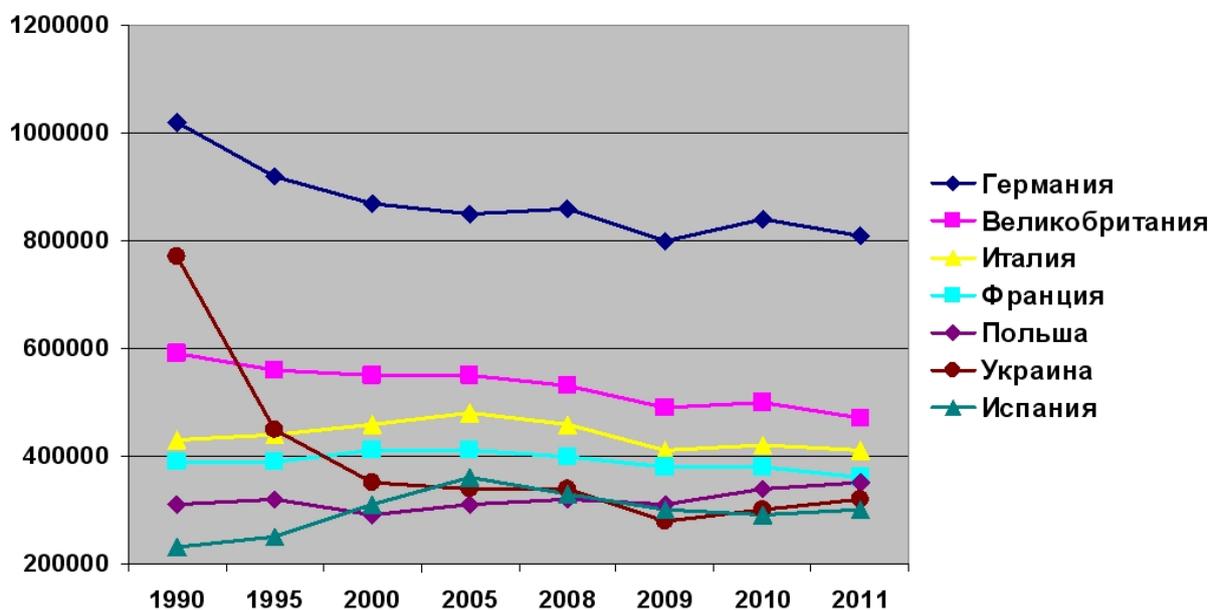


Рис. 1 Тренды объемов эмиссии CO₂ в странах Европы за 1990-2011 гг.

Основываясь на статистических данных Украины за 2010 год [11] можно отметить, что более 83% объемов эмиссии CO₂ происходит от стационарных источников загрязнения (рис.2), когда не принимаются во внимание выбросы CO₂ от частного жилого сектора, что отличается от статистических требований МГЭИК.

Такое различие в требованиях к статистическим данным относительно выбросов CO₂ из различных источников и различие в списках источников эмиссии CO₂ уже привели к лишению Украины статуса соответствия требованиям Киотского протокола. В 2012 году был подготовлен новый вариант Национального кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине за 1990-2010 гг. [8] с учетом требований МГЭИК и этот статус сейчас восстановлен.

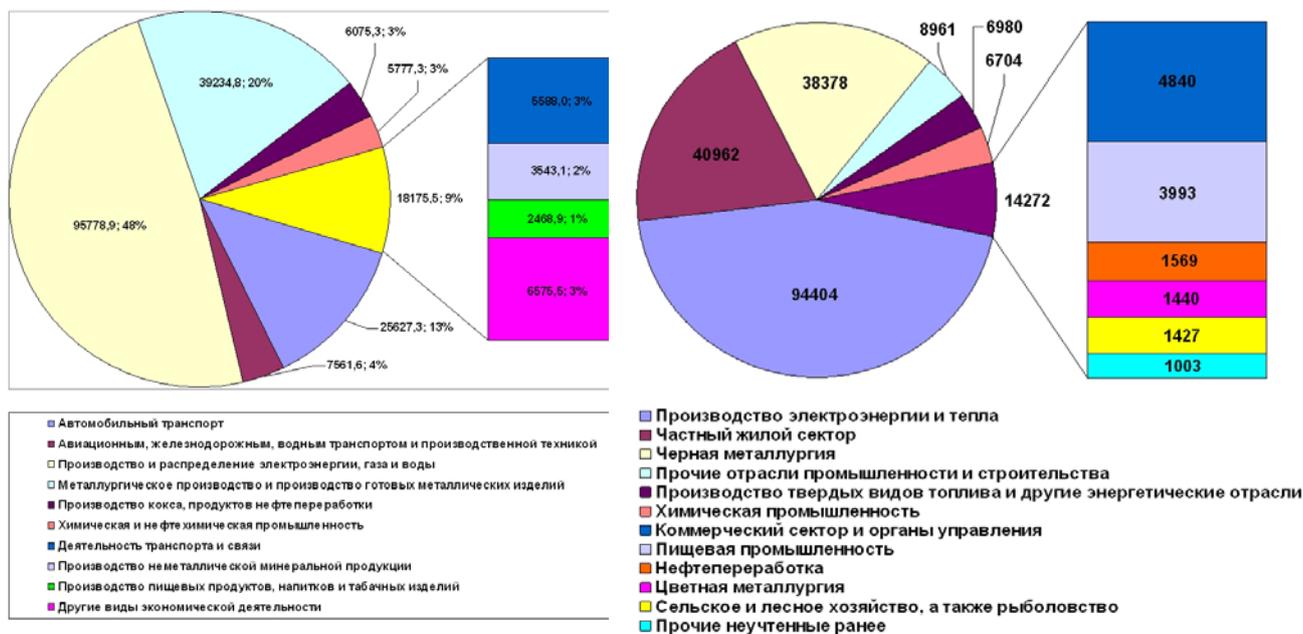


Рис. 2 Выбросы CO₂ в атмосферу стационарными и мобильными источниками загрязнения по видам экономической деятельности в 2010 году в тыс. т по официальным статистическим данным [11] и по данным Национального кадастра антропогенных выбросов [8]

При этом 74% выбросов CO₂ производят предприятия энергетического, металлургического и химического секторов экономики. В дальнейших исследованиях как раз и будут учитываться такие предприятия.

Категории источников эмиссии CO₂, которые приняты в статистической отчетности Украины, существенно отличаются от категорий МГЭИК. Поэтому в Национальном кадастре антропогенных выбросов [8] представлены несколько другие данные, в частности: по категории 1.А.1.а – Производство электроэнергии и тепла: выбросы CO₂ при сжигании всех видов топлива составляют 94404 тыс. т; а по категории 1.А.4.б – Частный жилой сектор: 40962 тыс. т; и по категории 1.А.2.а – Черная металлургия: 38378 тыс. т.; по остальным категориям – менее 10000 тыс. т. Чтобы в дальнейшем избежать этих разногласий в данных, необходимо ввести в статистические формы отчетности предприятий категории МГЭИК.

Если рассмотреть распределение объемов эмиссии CO₂ по регионам Украины [12] (рис. 3), то можно выделить пять областей Украины, в которых выбросы CO₂ превышают 10 млн. т в год (выделены пунктиром на рис. 3). В этих областях (Донецкой, Днепропетровской, Запорожской, Луганской и Харьковской) как раз и сосредоточены крупнейшие тепловые электростанции (ТЭС), которые учитываются в Национальном кадастре антропогенных выбросов [8]: Запорожская, Змеевская, Зуевская, Криворожская, Кураховская, Луганская, Приднепровская, Славянская, Старобешевская и Углегорская.

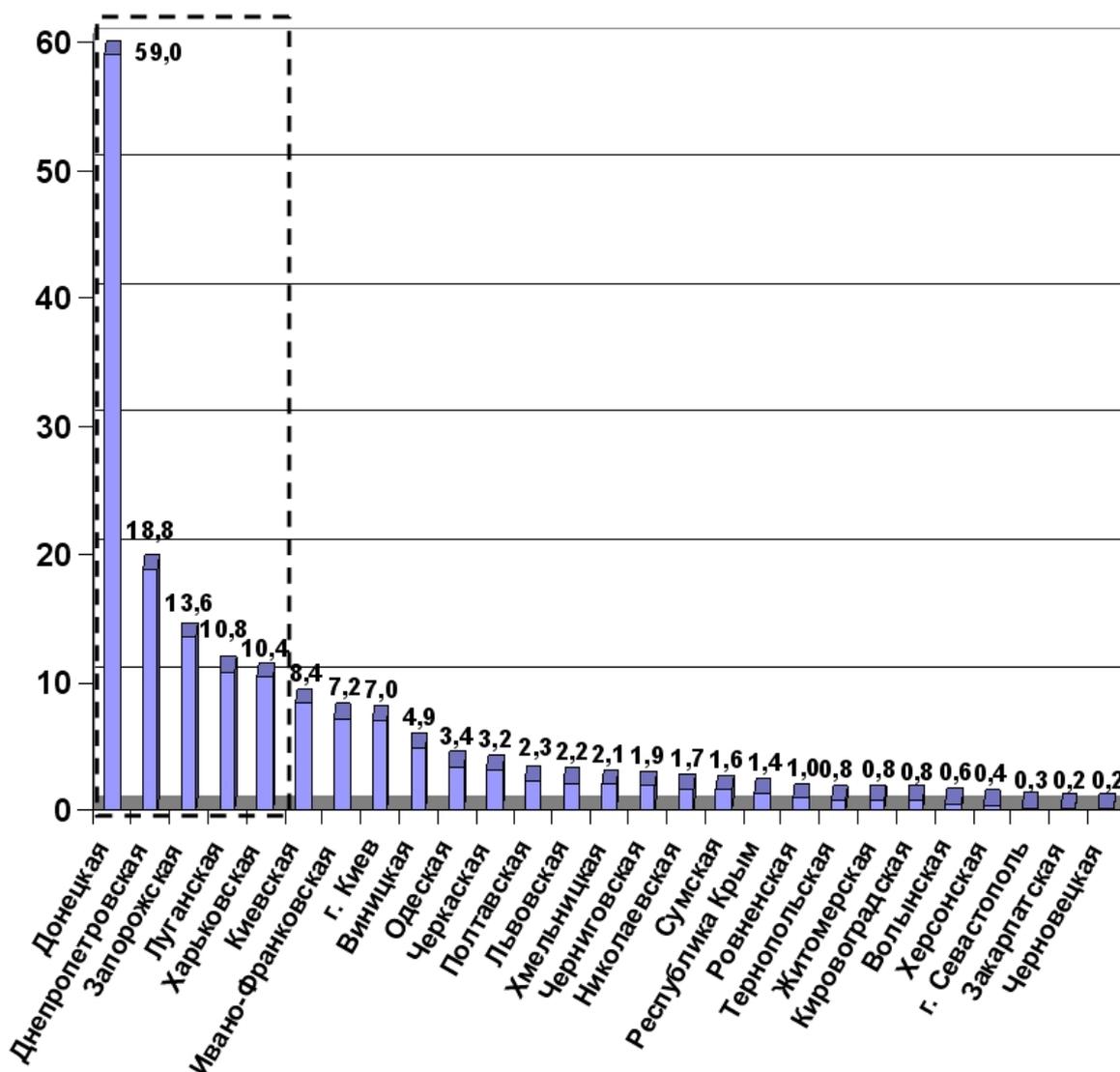


Рис. 3 Выбросы CO₂ от стационарных источников загрязнения в регионах Украины в 2010 году в млн. т

ПОТЕНЦИАЛ ИСТОЧНИКОВ ЭМИССИИ CO₂

Используя информацию из 4-х открытых баз данных: МЭА [13], BELLONA [14], CARMA [15] и ДТЭК [16], - а также новые дополнительные данные непосредственно от тепловых электростанций, металлургических, коксохимических, цементных, химических и нефтеперерабатывающих заводов создана географическая информационная система (ГИС) источников CO₂, которая охватывает пять восточных областей Украины (указанных ранее). Эта ГИС в тестовом режиме находится в свободном доступе на веб-сайте проекта LCOIR-UA [17] и предприятия могут ознакомиться с данными о своих выбросах CO₂, которые приводятся в сетевых источниках, и откорректировать эти данные в соответствии с реальными объемами выбросов своего предприятия.

Используя эту ГИС можно оценить количество выбросов CO₂ от конкретного предприятия, а также получить данные о его географическом положении и другую полезную информацию о нем (5 вариантов величины значка предприятия соответствуют следующей градации предприятий по объемам выбросов CO₂: 1 Мт/год и менее; 1-4 Мт/год; 4-7 Мт/год; 7-10 Мт/год; 10 Мт/год и более). ГИС дает возможность одновременно анализировать все предприятия указанных отраслей экономики Украины (рис. 4) или рассматривать только компании в избранной отрасли:

- угольных электростанций (по состоянию на 2011 год [18] доля угля в топливе ТЭС составляет более чем 97,5% против 52,3% как показано в [15]) в настоящий момент представлено в ГИС 12;

- газовых электростанций – 1;
- металлургических заводов – 13;
- коксохимических заводов – 14;
- цементных заводов – 8;
- различных химических заводов (в том числе нефтеперерабатывающих) – 3.

Планируется дополнить эту базу данных информацией о выбросах CO₂ от предприятий жилищно-коммунальных хозяйств городов, жилых домов частного сектора, а также от автомобильного транспорта.

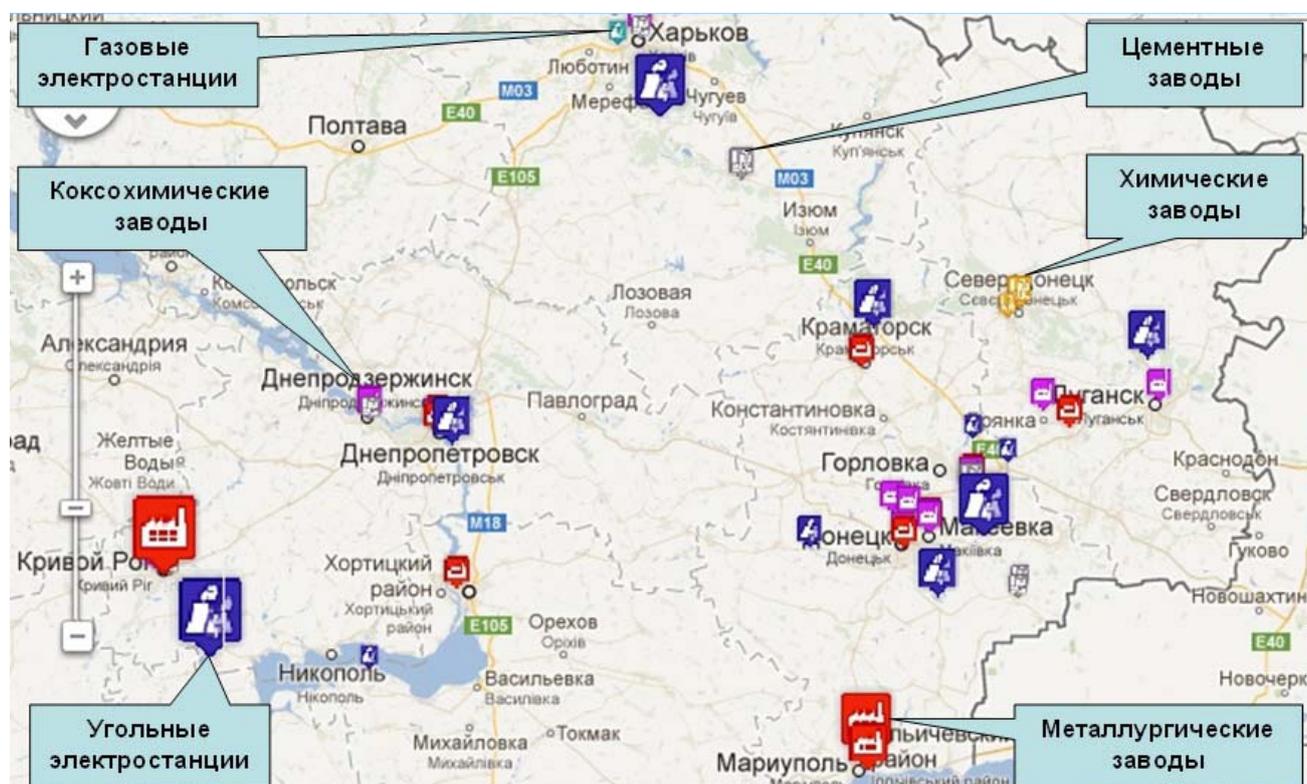


Рис. 4 ГИС стационарных источников эмиссии CO₂ в восточных областях Украины

Так как эта ГИС основана на неофициальных источниках информации, то реальные значения объемов эмиссии CO₂ конкретного предприятия могут существенно отличаться от значений представленных в ГИС. В таких случаях предприятие может обратиться к веб-сайту проекта LCOIR-UA [17] с предложением обновить информацию об объемах эмиссии CO₂, чтобы она находилась в соответствии с официальной статистической отчетностью предприятия. Такое регулярное обновление информации об объемах эмиссии CO₂ будет свидетельствовать о стремлении предприятия к ответственному отношению к проблемам глобального изменения климата и об осознании роли своего «углеродного следа» в возникновении этих проблем.

ПОТЕНЦИАЛ РЕЗЕРВУАРОВ ХРАНЕНИЯ CO₂

Закачивание CO₂ 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 CO₂. В качестве долгосрочных хранилищ CO₂ 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 CO₂: истощенные или находящиеся на стадии истощения нефтегазоносные бассейны, глубоко залегающие соленосные формации, и не имеющие промышленного значения угольные пласты. Среди других возможных вариантов геологических формаций также рассматриваются базальты и горючие сланцы, однако их потенциал еще пока недостаточно изучен.

Успешность геологического метода хранения CO₂ 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. [19-21].

Поиск и выбор геологических структур и горизонтов, способных служить долгосрочными хранилищами CO₂ в нефтегазоносных бассейнах основывается, как правило, на результатах предыдущих поисковых и геологоразведочных работ, а определение перспективных участков хранения CO₂ требует дополнительных исследований.

АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

На территории Украины расположены крупные нефтегазоносные провинции с большим объемом продуктивных горизонтов. Один из самых крупных нефтегазоносных районов – Днепровско-Донецкий бассейн расположен в границах двух больших структур – Днепровско-Донецкий впадины (ДДВ) и Донецкого каменноугольного бассейна (Донбасса). Газоносность Днепровско-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) [22].

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 развиты в его северо-западной части в границах Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловин (рис. 5).

В структурном строении Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловин принимают участие три этажа: палеозойский, мезозойский и кайнозойский. Мезозойский и кайнозойский структурные этажи являются неперспективными в отношении геологического хранения CO_2 .

Это обусловлено их небольшими мощностями (обычно не более 500 м) и залеганием в верхней части осадочного чехла без газонепроницаемой покрышки. Палеозойский структурный этаж, залегающий под покровом мезозойских и кайнозойских отложений, является перспективным в отношении изучения возможностей геологического хранения CO_2 .

Это подтверждается его высокой потенциальной газоносностью, установленной в результате многочисленных исследований и разнонаправленных геологоразведочных работ. Так, например, анализ геологического строения и газоносности северного борта Бахмутской котловины, выполненный в УкрНИИГаз, показал, что из трех структурных этажей (палеозойского, мезозойского и кайнозойского) потенциально газоносным является палеозойский [23].

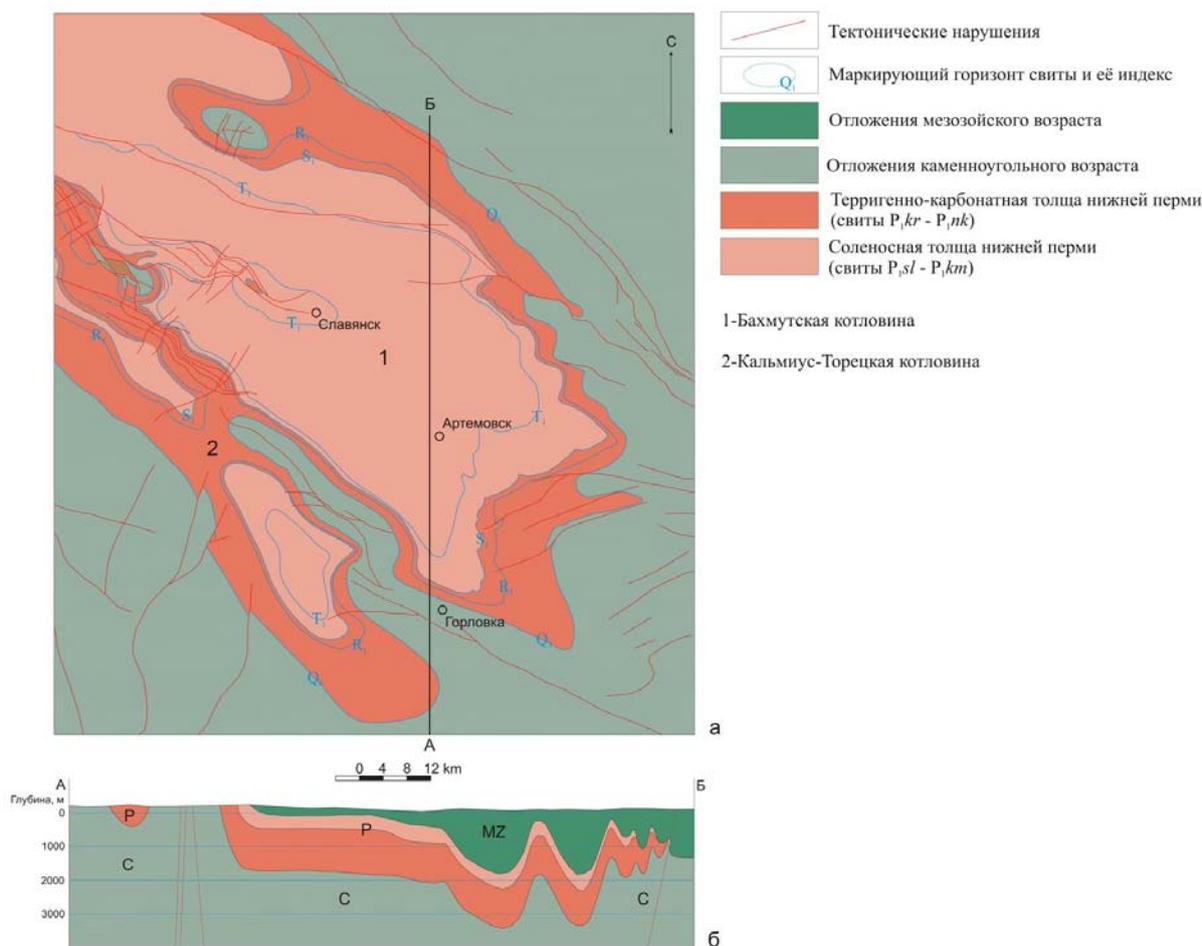


Рис. 5 Геологическая схема домезозойских отложений северо-западной части Донецкого бассейна (а) и геологический разрез к ней (б).

Палеозойский этаж Донбасса состоит из отложений пермской, каменноугольной и девонской систем. Пермская система представлена нижним отделом в составе ассельского и сакмарского ярусов. Каменноугольная система представлена в полном объеме и представляет собой непрерывный разрез в основном угленосной толщи. Отложения девонской системы залегают на больших глубинах (обычно более 5 км) и выходят на поверхность в виде узкой полосы на юго-западной окраине Донбасса.

По литолого-фациальным особенностям в Донбассе выделяются региональные стратиграфические подразделения – свиты. Отдельные свиты нижнепермского возраста состоят преимущественно из гидрохимических газонепроницаемых пород. Свиты верхнего и среднего карбона (пенсильваний) состоят главным образом из осадочных терригенных угленосных отложений (песчаников, алевролитов, аргиллитов) с подчиненными пластами известняков и каменных углей. Свиты нижней перми, пенсильвания с терригенным составом структурно залегают ниже гидрохимических отложений.

В общем разрезе нижнепермских отложений Донбасса выделяются следующие свиты: картамышская (P_{1kr}), никитовская (P_{1nk}), славянская (P_{1sl}) (ассельский ярус) и краматорская (P_{1km}) (сакмарский ярус). Из них соленосными являются свиты P_{1sl} и P_{1km} , которые состоят преимущественно из осадочных гидрохимических пород – гипсов, ангидритов, каменной соли. Подчиненное значение имеют глинистые и карбонатные породы.

В границах Бахмутской котловины соленосные отложения достигают максимальной мощности и отмечаются площадной выдержанностью практически на всей её территории за исключением поднятий, где соленосные отложения отсутствуют (рис. 5). В разрезах свиты P_{1sl} гипс, ангидрит и каменная соль образуют многочисленные пласты, которые часто чередуются между собой, иногда достигая мощности нескольких десятков метров. Наиболее мощные пласты каменной соли достигают мощности до 40-50 м. Общая мощность славянской свиты в Бахмутской котловине достигает до 500 м.

В отличие от Бахмутской, в Кальмиус-Торецкой котловине свита P_{1sl} представлена в основном песчано-глинистыми отложениями, что снижает ее газоизоляционные возможности.

Свита P_{1km} имеет ограниченное распространение в погруженных частях основных синклинальных структур северо-западной части Донбасса в пределах Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловин. В составе свиты P_{1km} доминируют гидрохимические осадки, которые составляют 92% ее разреза, из них каменная соль составляет 80-85%. Максимальная мощность свиты наблюдается в Бахмутской котловине и составляет до 400-530 м. Суммарная мощность гидрохимических отложений в Бахмутской котловине достигает до 1000 м.

Между свитой P_{1sl} , в которой преобладают соленосные отложения и свитой P_{1kr} , состоящей преимущественно из терригенных отложений, расположена толща со смешанным составом. Эта толща выделяется в отдельную свиту – P_{1nk} .

В составе свит верхнего и среднего карбона преобладают терригенные осадочные породы, большую долю которых составляют песчаники, алевролиты и аргиллиты. Эти породы характеризуются, как правило, хорошими коллекторскими свойствами, а некоторые горизонты обладают промышленной газоносностью.

Лучшими фильтрационно-емкостными параметрами среди палеозойских пород Донбасса обладают песчаники. Некоторые свиты верхнего и среднего карбона содержат в своем составе мощные горизонты песчаников, составляющие значительную часть их общего объема. Такими свитами являются: C_3^3 , C_3^2 , C_{2-3}^1 (гжельский и касимовский ярусы), C_2^7 , C_2^6 , C_2^5 (московский ярус), C_2^4 (башкирский ярус).

Наибольшей долей песчаников в общем составе обладают свиты C_2^4 , C_2^5 , C_2^6 и C_3^2 (30-47% разреза), в других свитах среднего и верхнего карбона доля песчаников составляет

20-30%. Для сравнения: в свитах C_2^1 и C_2^2 (башкирский ярус) песчаники составляют лишь 16-20%. Как правило, песчаники в разрезе представлены маломощными прослоями и пластами, мощность которых достигает до 35-60 м (редко – до 100 м). Практически на всей территории Донецкого бассейна повышенная газоносность отмечается в песчаниках нижней части свит C_3^1 и C_2^5 и верхней части свит C_2^7 и C_2^4 , иногда C_2^6 [24].

Полученные результаты анализа возможных участков геологического хранения CO_2 были объединены в одну ГИС хранилищ CO_2 (рис. 6), которая размещена на веб-сайте проекта и где показаны: Девонские соляные штоки; Пермские соленосные отложения; Каменноугольные угленосные отложения; Граница девонских соленых водоносных горизонтов; Южная граница распространения палеозойских осадочных отложений; Днепровско-Донецкий газо- и нефтеносный бассейн и Донецкий каменноугольный бассейн.

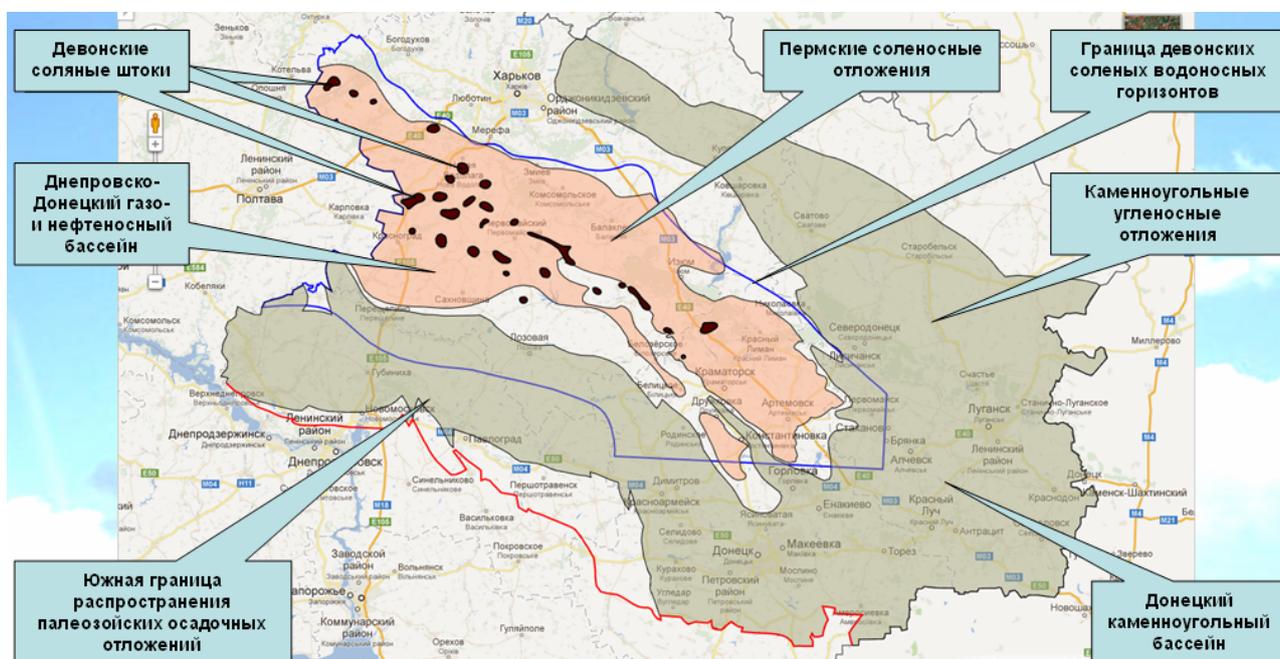


Рис. 6 ГИС возможных участков геологического хранения CO_2 на востоке Украины.

КРИТЕРИИ ПРОЦЕССА ХРАНЕНИЯ CO_2

Важным моментом в оценке возможностей геологического хранения CO_2 в любом бассейне является определение количественных значений критериев процесса хранения. Такими критериями являются:

- 1.1. Коллекторские и газоемкостные параметры пород;
- 1.2. Проницаемость газоизоляционной покрышки;
- 1.3. Максимальная и минимальная глубина хранения CO_2 .

Рассмотрим эти критерии более подробно.

1.1. Основными параметрами коллекторских и газоемкостных свойств песчаников являются: открытая пористость, степень заполнения пор газом, влажность, проницаемость. Открытая пористость характеризует емкость песчаника, доступную флюидам и не отражает характера флюида. Можно сказать, что открытую пористость в отдельности можно использовать лишь в теоретических идеальных случаях, когда поровое пространство породы не заполнено водой и газом. В реальности на коллекторские свойства песчаников влияют и другие многочисленные факторы. Так, например, метановая газоносность песчаников находится в сильной зависимости от их влажности (обводненности) [25]. Средние значения открытой пористости песчаников Донбасса в разных районах варьируются в пределах 2-10% и зависят от размеров породообразующих зерен, степени их окатаности, стадии катагенеза, степени уплотнения.

Результаты исследований по некоторым шахтам Донбасса показывают, что степенью заполнения пор газом выше 50% (промышленная метановая газоносность) обладают песчаники с влажностью менее 2% и открытой пористостью в пределах 7-11% [25]. Открытая пористость песчаников верхнего карбона в бортовых частях Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловин составляет от 10-13% до 20-22% [24].

Необходимо отметить, что коллекторские свойства песчаников и других терригенных пород Донбасса в отношении углекислого газа пока остаются неизученными. Неизвестно, как будут зависеть CO_2 -емкостные свойства песчаников от вышеперечисленных параметров. Для оценки CO_2 -емкостных потенциалов песчаников Донбасса необходимо провести комплекс экспериментальных исследований.

1.2. Проницаемость покрышки определяется не только физическими свойствами слагающих пород, но также и ее целостностью. В случае нарушения пластов геологическими разломами их газоизоляционные свойства значительно снижаются.

1.3. Минимальная глубина хранения CO_2 определяется давлением и температурой, при которых CO_2 переходит в жидкую фазу и составляет примерно 800 м. Плотность CO_2 при этих условиях будет находиться в пределах 50-80% от плотности воды, что сопоставимо с плотностью некоторых видов сырой нефти [5]. Это ограничение задает минимальную глубину залегания горизонтов коллекторов и совместно с другими критериями должно использоваться при определении перспективных участков для хранения CO_2 .

Однако следует учитывать, что это значение было получено в бассейнах с иными горно-геологическими условиями, и в Донецком бассейне глубина с сопоставимыми термобарическими параметрами может быть другая. Максимальная глубина залегания коллектора определяется экономической рентабельностью и технологическими возможностями.

ВАРИАНТЫ ПРОЦЕССОВ НАГНЕТАНИЯ И ХРАНЕНИЯ CO₂

Среди возможных вариантов реализации процесса нагнетания и последующего хранения CO₂ в Донбассе предлагаются:

2.1. Нагнетание CO₂ в негазоносные горизонты, обладающие свойствами коллекторов.

2.2. Нагнетание CO₂ в неразрабатываемые угольные пласты и вмещающие угленосные породы для повышенного извлечения угольного метана (ПИМ).

2.3. Нагнетание CO₂ в отработанные нефтегазоносные коллекторы.

Рассмотрим каждый из этих вариантов более подробно.

2.1. В осадочной толще верхнего палеозоя Донбасса известны горизонты, обладающие хорошими коллекторскими свойствами, но не обладающие газоносностью. Эти горизонты теоретически могут быть использованы в качестве коллекторов CO₂.

2.2. На данный момент принимается, что промышленной газоносностью обладают породы, со степенью заполнения пор газом более 50%. Добывать газ из коллекторов с более низкими показателями газоносности экономически не выгодно, однако эта оценка может измениться в будущем при появлении новых технологий.

Одной из таких технологий является повышение извлечения метана (ПИМ) путем его вытеснения из углей и вмещающих горных пород нагнетаемым через скважины сжатым CO₂ [5]. При этом решаются две важные задачи: повышение дебита природного газа-метана и утилизация CO₂. В случае экономической рентабельности процесса непромышленные газовые проявления (со степенью заполнения пор газом менее 50%) могут котироваться как месторождения. Нижний предел газоносности для таких месторождений будет определяться рентабельностью их разработки с применением ПИМ. В условиях Донбасса потенциальным регионом для изучения возможности ПИМ, являются Западный и Южный Донбасс, а также Красноармейский угленосный район в их границах, где отсутствуют горные выработки.

При разработке газовых месторождений угольных бассейнов со временем также неизбежно их истощение и прекращение добычи. При этом доля газа, оставшегося в коллекторе может быть достаточно велика. Повышение дебита метана истощенных горизонтов с применением ПИМ может продлить срок их эксплуатации и повысить извлечение газа.

2.3. Полностью отработанные горизонты часто используются в качестве временных хранилищ природного газа. Такие хранилища могут использоваться для долговременного хранения CO₂. Учитывая то, что разработка метана из угольных месторождений Донбасса находится на начальной стадии, реализация этого варианта возможна в будущем при высоком уровне развития метанодобывающей отрасли в регионе.

Варианты 2.1 и 2.2 являются актуальным на данный момент, особенно учитывая то, что в Донбассе известны горизонты песчаников со значительными запасами газа, не являющимися промышленными, а также песчаников и алевролитов, не обладающих высокой метановой газоносностью.

Согласно новейшим данным, общий газоносный потенциал только одной Бахмутской котловины может достигать до 200 млрд м³ природного газа [23], в связи с чем ПИМ является одним из самых перспективных направлений геологического хранения CO₂ в окраинных частях Донбасса.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫДЕЛЕНИЮ УЧАСТКОВ ХРАНЕНИЯ CO₂

Предлагается следующая последовательность действий при выделении перспективных участков размещения геологических участков долговременного хранения CO₂ на территории востока Украины:

3.1. Выделение площадей, в разрезе которых присутствуют породы – коллекторы (песчаники и алевролиты), залегающие на глубинах 800 м и более, перекрытые изолирующей толщей пород.

3.2. Построение литологических колонок с выделением перспективных горизонтов – коллекторов.

3.3. Построение карт поверхности выделенных горизонтов. Оконтуривание площадей горизонтов, залегающих ниже глубины 800 м.

3.4. Нанесение на карту контуров шахтных полей, площадей месторождений, подземных горных выработок, геологоразведочных и эксплуатационных скважин и всех имеющихся структурных элементов (тектонических нарушений, соляных штоков, интрузивных тел и др.).

3.5. Анализ полученных данных, оконтуривание перспективных участков.

Далее следует этап, включающий аналитические исследования коллекторских свойств каждого горизонта на разных глубинах, минералого-петрографические анализы пород, слагающих горизонт, изучение гидродинамических, гидрогеологических и структурно-тектонических особенностей всей толщи до глубины предполагаемого хранения. На основании этих данных можно проводить подсчет емкости коллекторов.

Только после того, как будет выполнен полный комплекс исследований, сделаны выводы о пригодности выделенных горизонтов для долговременного хранения CO₂, а главное – заключения экологических служб о безопасности процесса закачивания и хранения CO₂ для окружающей среды и людей, можно будет переходить к этапу подготовки экспериментальных исследований.

Исходя из результатов зарубежных работ по геологическому хранению CO₂ 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 CO₂ (рис. 7).

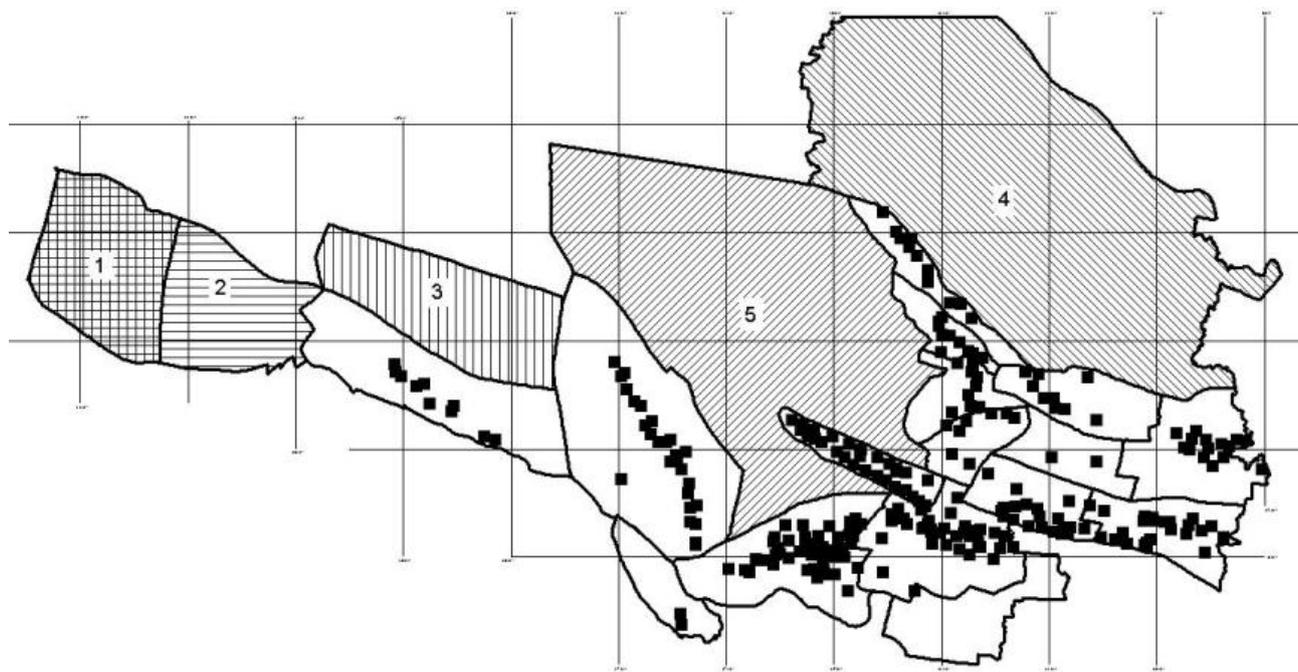


Рис. 7 Схема геолого-промышленного районирования Донецкого бассейна.

Квадратами показаны места расположения угольных шахт, цифрами отмечены перспективные районы:

- 1 – Новомосковский, 2 – Петриковский, 3 – Лозовской,
4 – Старобельский, 5 – Северо-западные окраины Донбасса.

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. 7).

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 Донбасском 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_2 в Донбассе следует проводить с учетом тщательного анализа их структурно-тектонического строения.

Суммируя результаты всех этих предварительных исследований [26-36], которые основаны на информации из открытых источников, была построена географическая схема расположения кластеров источников эмиссии CO_2 , участков возможного геологического хранения сверхкритического CO_2 и ориентировочные направления транспортировки CO_2 от источников эмиссии к резервуарам хранения (рис. 8), где желтыми штрихованными овалами отмечены условные кластеры источников CO_2 , от которых синими стрелками указаны ориентировочные направления транспортировки CO_2 к предполагаемым участкам хранения – коричневым штрихпунктирным овалам.

Также черными квадратами показаны места расположения действующих угольных шахт [16], вблизи которых принципиально нельзя размещать резервуары хранения CO_2 . В связи с этим необходимо также провести прогноз всех возможностей миграции CO_2 и предотвращения его проникания в горные выработки. Первичным методом мониторинга утечек CO_2 обычно выбирается реакция растений на повышение концентрации CO_2 в почве и приземном слое атмосфере [33]. Более конкретные границы участков хранения и пути транспортировки CO_2 определяются после тщательных геологических, экологических и социальных условий Донбасса.

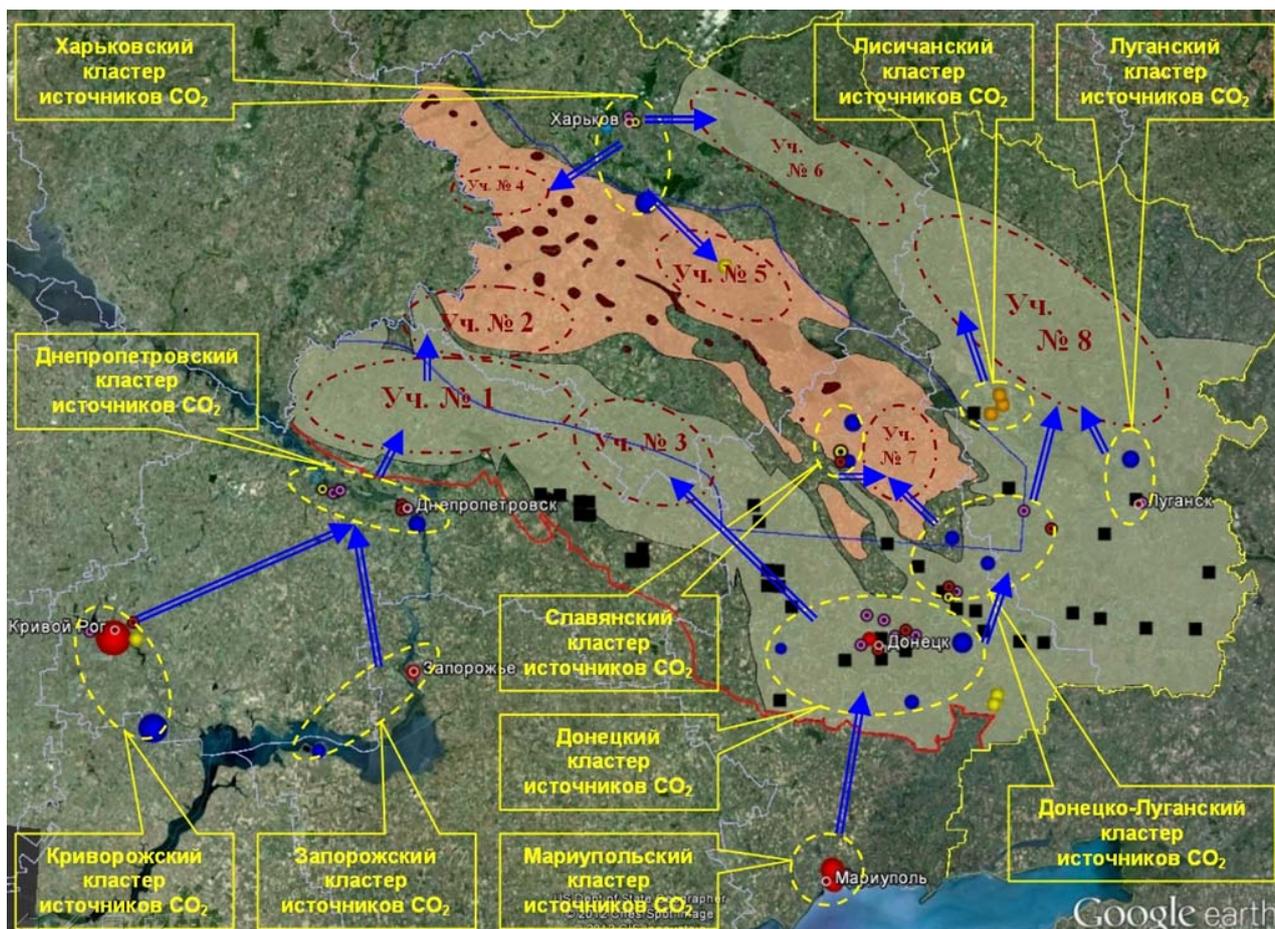


Рис. 8 Географическая схема расположения кластеров источников эмиссии CO_2 , участков возможного геологического хранения сверхкритического CO_2 и ориентировочные направления транспортировки CO_2 от источников эмиссии к резервуарам геологического хранения.

ВЫВОДЫ

На основании вышеизложенного материала был составлен следующий перечень первостепенных задач, которые необходимо решить для количественной оценки возможностей геологического хранения CO_2 в Донбассе:

1. Определение количественных значений критериев процесса геологического хранения CO_2 с учетом горно-геологических и гидрогеологических условий геологических районов Донбасса и его окраин.
2. Выделение наиболее перспективных участков – потенциальных полигонов.
3. Выполнение геохимического, структурно-тектонического и гидрогеологического анализов перспективных участков с целью определения количественных величин фильтрационно-емкостных параметров осадочных пород и выделения газовых ловушек – потенциальных резервуаров CO_2 .

4. Анализ и обобщение полученных результатов, выделение эффективных горизонтов-коллекторов в границах перспективных участков и подсчет их емкостного CO₂ - потенциала.

Решение этих задач позволит оценить не только емкостной CO₂-потенциал Донецкого бассейна и его окраин, а и обосновать возможности повышения выхода метана в процессах начавшегося промышленного освоения газовых ресурсов Донбасса.

ЛИТЕРАТУРА

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. – Организация объединенных наций / Европейская экономическая комиссия / 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.
10. Trends in global CO₂ emission: 2012 Report. – Netherlands Environmental Assessment Agency, 2012. – 40 p.
11. Статистичний щорічник України за 2010 рік / За редакцією О.Г. Осауленка. – Київ: Державна служба статистики України, 2011. – 560 с.

12. Довкілля України: Статистичний збірник - 2010 / За редакцією Н.С. Власенко. – Київ: Державна служба статистики України, 2011. – 205 с.
13. IEA – International Energy Agency. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iea.org>.
14. BELLONA – The Bellona Foundation. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bellona.org>.
15. CARMA – Carbon Monitoring for Action. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://carma.org>.
16. DTEK Holdings B.V. (ООО «ДТЭК»). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dtek.com>.
17. Project “Low-Carbon Opportunities for Industrial Regions of Ukraine (LCOIR-UA)”. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lcoir-ua.eu>.
18. National Joint Stock Company “Energy Company of Ukraine” (НАК «Енергетична компанія України»). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://www.ecu.gov.ua>.
19. Gunter W.D., Mavor M.J., Robinson J.R. CO₂ Storage and enhanced methane production: field testing at Fenn-Big Valley, Alberta, Canada. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uregina.ca>.
20. The Sleipner Project and Monitoring Experiences. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ns.energyresearch.ca>.
21. EA Weyburn CO₂ Monitoring and Storage Project Weyburn, Saskatchewan, Canada. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.netl.doe.gov>.
22. Горяйов С., Лакоба М., Павлов С. Оценка перспектив газоносности новых литологических ловушек на северном борту Бахмутской котловины // Геолог Украины, 2011, №2 (34). - С. 99-102.
23. Жикаляк М. Неосвоенные газовые ресурсы песчаников Донбасса с низкой проницаемостью // Геолог Украины, 2011, №2 (34). - С. 103-107.
24. Шкуро Л.Л., Горбачева Г.Н. Оценка газоносности песчаников в горных выработках, с учетом показателей пористости и влажности // Геотехническая механика, 2010, № 88. - С. 118-123.
25. Баранов В.А. Влияние структуры на пористость песчаников Донбасса // Геотехническая механика, 2010, № 88. - С. 70-76.
26. Shestavin M.S., Leynet A.P. New Ukraine-French Project “Low-Carbon Opportunities for Industrial Regions of Ukraine” (LCOIR-UA) // The Proceedings of the International Conference on Carbon Reduction Technologies, Polish Jurassic Highland, Poland, September 19-22, 2011. – Gliwice, 2011. – P. 167-168.

27. Shestavin M. Capabilities Sequestration Anthropogenic Emissions from Low Fugitive Sources // International Scientific Analytical Project. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gisap.eu/node/13982/>

28. Беспалова С.В., Шеставин М.С. Проект „Низько-вуглецеві можливості для індустріальних регіонів України” // Центр „Харківські технології”. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.7fp.kt.kharkov.ua/download/Project_LCOIR.pdf

29. Беспалова С.В., Шеставин М.С. Низько-вуглецеві можливості для індустріальних регіонів України: адаптація європейського досвіду // Збірка статей учасників VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України», Запорізька державна інженерна академія, 15 грудня 2011 р. – Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2011. – С. 28-32.

30. Шеставин М. Україна та ЄС шукають можливості зменшення викидів парникових газів // ЄВРОБЮЛЕТЕНЬ, 2011, № 11. – С. 12-13.

31. Жикаляк Н.В., Осетров В.В. Геологические перспективы хранения CO₂ в палеозойских осадочных отложениях Донбасса // Збірка доповідей національного екологічного форуму „Екологія промислового регіону”, том 1. – Донецьк: Державне підприємство „Донецький екологічний інститут”, 2012. – С. 50 – 53.

32. Бескровная М.В., Осетров В.В., Шеставин Н.С. Перспективы улавливания и геологического хранения CO₂ в Донбассе // Там же, том 1. – С. 105 – 106.

33. Сафонов А.И. Использование растительных организмов для диагностики концентрации углекислого газа в природных средах // Там же, том 2. – С. 173 – 174.

34. Бескровная М.В., Осетров В.В., Шеставин Н.С. Применение геоинформационных систем для инвентаризации источников загрязнения и участков хранения диоксида углерода // Вісник Запорізького національного університету: Збірка наукових праць. Біологічні науки. – Запоріжжя: Видавництво ЗНУ, 2012, № 2. – С. 104-108.

35. Беспалова С.В., Жикаляк Н.В., Осетров В.В., Шеставин Н.С. Улавливание и геологическое хранение диоксида углерода как перспектива для энергетики Украины // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. Сборник научных статей. – Киев: «НПВК Триакон», 2012, Выпуск 3(11). – С. 107-113.

36. Беспалова С.В., Жикаляк Н.В., Осетров В.В., Шеставин Н.С. Оценка возможностей улавливания и хранения CO₂ в палеозойских осадочных отложениях Донбасса // Современные проблемы литологии осадочных бассейнов Украины и сопредельных территорий. Сборник материалов международной научной конференции. 8-13 октября 2012, Кие, Украина. – Киев: Институт геологических наук НАН Украины. – 2012. – С. 18.