УДК 551.588.7

УЛАВЛИВАНИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ХРАНЕНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА КАК ПЕРСПЕКТИВА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ УКРАИНЫ

Беспалова С.В.[1], Жикаляк Н.В.[2], Осетров В.В.[2], Шеставин Н.С.[1]

[1]*Донецкий национальный университет, Донецк, Украина*
[2]*ГРГП «Донецкгеология», Артемовск, Украина*

Исследование выполнено в рамках гранта № DCI/ENV 2010/243-865,
выполняемого Донецким национальным университетом
при финансовой поддержке Европейского Союза.

АННОТАЦИЯ

В рамках Европейского проекта «Низкоуглеродные возможности для индустриальных регионов Украины (LCOIR-UA)» оценены потенциалы стационарных источников выбросов диоксида углерода (CO_2), которые расположены в восточных областях Украины, а также геологические формации, пригодные для долговременного хранения сверхкритического CO_2. Определены кластеры источников CO_2 на базе крупнейших тепловых электростанций. Выбраны геологические участки возможной закачки CO_2 и направления транспортировки CO_2 от кластеров источников к участкам хранения. Предложены варианты систем биомониторинга утечек CO_2 при этих процессах. Обоснованы риски всех процессов улавливания и хранения CO_2. Показана перспективность внедрения таких процессов в энергетику Украины как инструментов противодействия глобальному изменению климата.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время уже происходят реальные изменения климата, главной причиной которых являются антропогенные выбросы парниковых газов (CO_2) и в наибольшей степени выбросы диоксида углерода 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 изменение климата, были сделаны выводы о целесообразности интенсивного внедрения новых технологий улавливания и хранения диоксида углерода (УХУ) в энергетику всех стран мира как основного инструмента продиводействия уже происходящим процессам глобального измениея 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 планируется в ближайшее время исследовать, разрабатывать и внедрять технологии УХУ в энергетику Украины.

© Беспалова С.В., Жикаляк Н.В., Осетров В.В., Шеставин Н.С.

Поэтому сейчас необходимо выполнить оценки возможных сценариев внедрения технологий УХУ в энергетической сфере Украины и, прежде всего, на предприятиях восточных регионов, где сосредоточены основные энергетические и промышленные мощности Украины, которые выбрасываю 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 CO_2

В начале 90-х годов Украина занимала второе место в Европе по объемам выбросов CO_2, 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 CO_2 в ближайшее десятилетие [10].

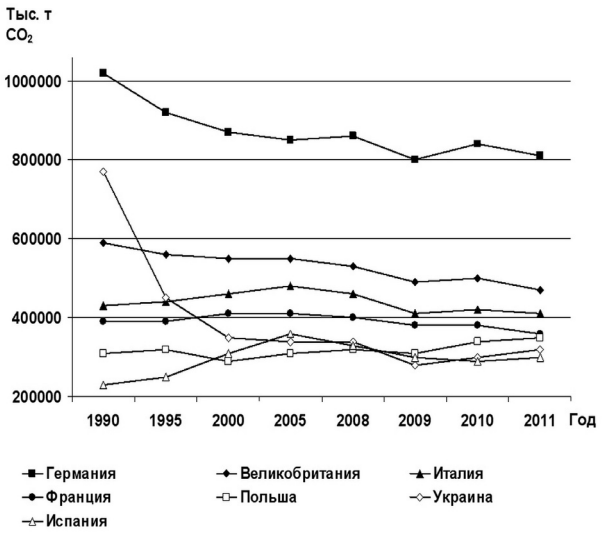

Рис.1 Тренды объемов эмиссии CO_2 в странах Европы за 1990-2011 гг.

Основываясь на статистических данных Украины за 2010 год [11] можно отметить, что более 83% объемов эмиссии CO_2 приходит от стационарных источников загрязнения (рис.2), когда не принимаются во внимание если выбросы CO_2 от частного жилого сектора, что отличается от статистических требований МГЭИК.

При этом 74% выбросов CO_2 производят предприятия энергетического, металлургического и химического секторов экономики. В дальнейших исследованиях как раз и будут учитываться такие предприятия. Категории источников эмиссии CO_2, которые приняты в статистической отчетности Украины, существенно отличаются от категорий МГЭИК.

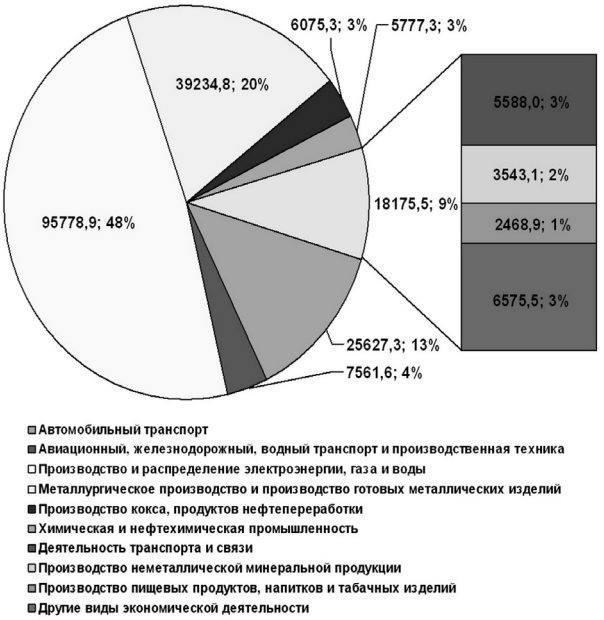

Рис.2 Выбросы CO_2 в атмосферный воздух стационарными и мобильными источниками загрязнения по видам экономической деятельности в 2010 году в тыс. т.

Поэтому в Национальном кадастре антропогенных выбросов [8] представлены несколько другие данные, в частности: по категории 1.A.1.a – Производство электроэнергии и тепла: выбросы CO2 при сжигании всех видов топлива составляют 94404 тыс. т; а по категории 1.A.4.b – Частный жилой сектор: 40962 тыс. т; и по категории 1.A.2.a – Чер-

ная металлургия: 38378 тыс. т.; по остальным категориям – менее 10000 тыс. т. Чтобы в дальнейшем избежать этиг разногласий в данных, необходимо ввести в статистические формы отчетности предприятий категории МГЭИК.

Если рассмотреть распределение объемов эмиссии CO_2 по регионам Украины [12] (рис.3), то можно выделить пять областей Украины, в которых выбросы CO_2 превышают 10 млн. т в год (выделены пунктиром на рис. 3). В этих областях (Донецкой, Днепропетровской, Запорожской, Луганской и Харьковской) как раз и сосредоточены крупнейние тепловые электростанции (ТЭС), которые учитываются в Национальном кадастре антропогенных выбросов [8]: Запорожская, Змеевская, Зуевская, Криворожская, Кураховская, Луганская, Приднепровская, Славянская, Старобешевская и Углегорская.

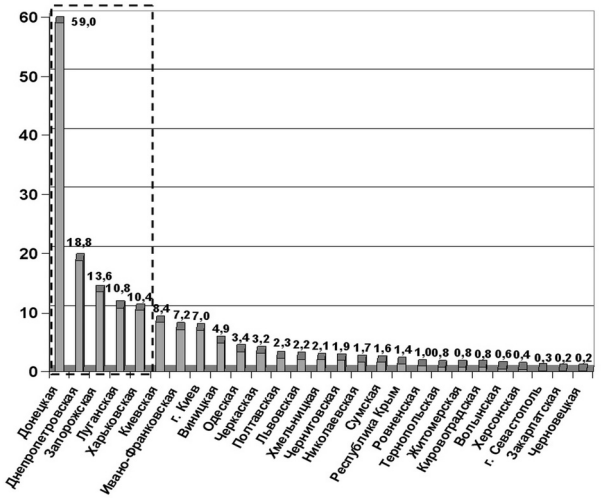

Рис.3 Выбросы CO_2 от стационарных источников загрязнения в регионах Украины в 2010 году в млн. т.

ПОТЕНЦИАЛ ИСТОЧНИКОВ ЭМИССИИ CO_2

Используя информацию из 3-х открытых баз данных: МЭА [13], BELLONA [14] и CARMA [15], - а также новые дополнительные данные непосредственно от тепловых электростанций, металлургических, коксохимических, цементных, химических и нефтеперерабатывающих заводов создана Географическая информационная система (ГИС) источников CO_2, которая охватывает пять восточных областях Украины (Донецкой, Днепропетровской, Харьковской, Луганской, и Запорожской). Эта ГИС в тестовом режиме находится в свободном доступе на веб-сайте проекта LCOIR-UA [16].

Используя эту ГИС можно оценить количество выбросов CO_2 от конкретного предприятия, а также получить данные о его географическом положении и другую полезную информацию о ней. 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 [17] 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 CO_2 от предприятий жилищно-коммунальных хозяйств городов, а также от автомобильного транспорта.

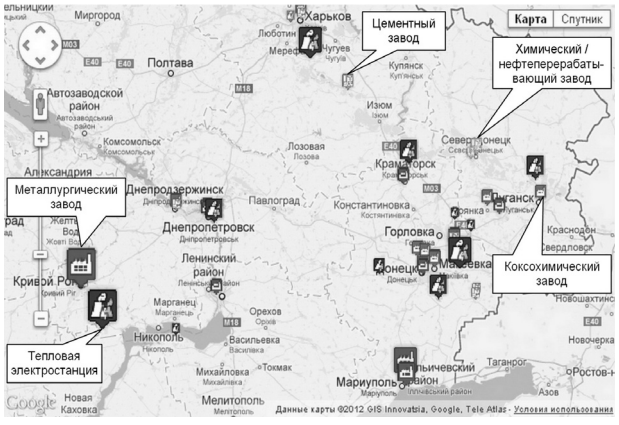

Рис.4 Тренды объемов эмиссии CO_2 в странах Европы за 1990-2011 гг.

Так как эта ГИС основана на неофициальных источниках информации, то реальные значения объемов эмиссии CO_2 конкретного предприятия могут существенно отличаться от значений представленных в

ГИС. В таких случаях предприятие может обратиться к веб-сайту проекта LCOIR-UA с предложением обновить информацию об объемах эмиссии CO_2, чтобы она находилась в соответствии с официальной статистической отчетностью предприятия.

ПОТЕНЦИАЛ РЕЗЕРВУАРОВ ХРАНЕНИЯ CO_2

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 обычно рассматривают поровые или трещиноватые осадочные породы (коллекторы), ограниченные от окружающей горной среды и земной поверхности слоями слабопроницаемых или практически непроницаемых пород (флюидоупорами или покрышками) [5]. Существующие 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.

Среди других возможных вариантов геологических формаций так же рассматриваются базальты и горючие сланцы, однако их потенциал еще пока недостаточно изучен.

Успешность геологического метода хранения CO_2 подтверждается результатами экспериментов, проводимых в разное время компаниями MRCSP, MGSC, SECARB, SWP, WESTCARB, Big Sky, PCOR, а так же в рамках проектов Weyburn, Fenn Big Valley (Канада), Sleipner (Норвегия), Yubari (Япония), Qinshui Basin (Китай) и др. [20-22].

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.

На территории Украины расположены крупные нефтегазоносные провинции с большим объемом продуктивных горизонтов. Один из самых крупных нефтегазоносных районов – Днепровско-Донецкий нефтеностый бассейн расположен в границах двух больших структур – Днепровско-Донецкий впадины (ДДВ) и Донецкого каменноугольного бассейна (рис.5). Газоносность Днепровско-Донецкого нефтеносного бассейна тесно связана с терригенными осадочными породами среднего-верхнего карбона и нижней перми. Метановая газоносность Донбасса так же связана с угленосной толщей карбона.

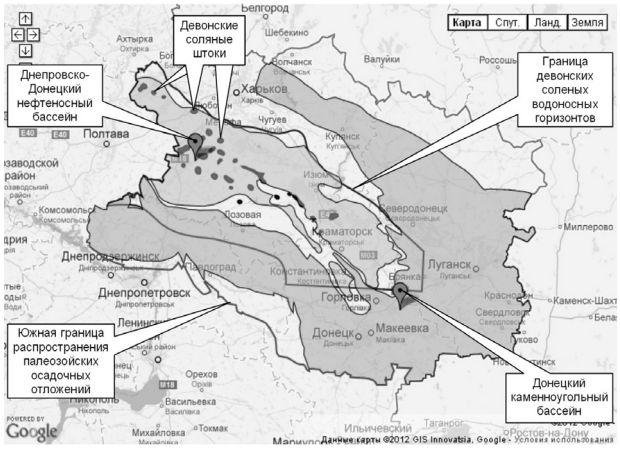

Рис.5 Геологическая схема палеозойских осадочных отложений Донбасса.

Результаты предыдущих геологоразведочных работ показали, что в геологических условиях ДДВ и Донбасса наиболее перспективными в отношении газоносности районами являются участки с сохраненными 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). Важно расположение гидрохимических отложений в верхней части крупного седиментационного цикла, в литолого-фациальном составе которого преобладают породы, обладающие 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 впадин [18].

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

1) коллекторские и газоемкостные параметры пород;

2) проницаемость газоизоляционной покрышки;

3) максимальная и минимальная глубина хранения CO_2.

Рассмотрим эти критерии более подробно.

1. Важнейшими 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.

2. Проницаемость покрышки определяется не только физическими свойствами слагающих пород, но так же и ее целостностью. При нарушениях целостности пластов геологическими разломами их газоизоляционные свойства снижаются.

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.

Были рассмотрены несколько возможных вариантов реализации процесса нагнетания и последующего хранения CO_2 в Донбассе:

1) нагнетание CO_2 в негазоносные горизонты, обладающие свойствами коллекторов;

2) нагнетание CO_2 в угольные пласты и вмещающие угленосные породы для повышенного извлечения угольного метана (ПИУМ);

3) нагнетание CO_2 в отработанные коллекторы.

Исходя из результатов зарубежных работ по геологическому хранению CO_2 и обширной информации по геологическому строению Донецкого бассейна, можно наметить границы перспективных участков для дальнейшего изучения их потенциала в отношении геологического хранения CO_2. Участки расположены на территории Бахмутской и Кальмиус-Торецкой впадин в границах мощной изолирующей покрышки соленосных отложений нижней перми (рис.6).

Согласно данным бурения и геофизических исследований, которые были выполнены ранее, непосредственно под газонепроницаемыми породами залегает мощная терригенная угленосная толща верхнего - среднего карбона, которая содержит многочисленные мощные пласты пород, обладающих хорошими коллекторскими свойствами, в ряде случаев – повышенной метановой газоносностью, а так же пласты каменного угля.

Важным моментом так же является то, что из-за большой мощности покрывающих пермских и мезо-кайнозойских отложений на территориях Бахмутской и Кальмиус-Торецкой впадин, угольные пласты там не разрабатываются.

Границы перспективных участков являются намеченными и требуют уточнения. В границах Бахмутской и Кальмиус-Торецкой впадин есть участки, осложненные многочисленными тектоническими нарушениями, которые нарушают целостность газонепроницаемой покрышки и создают возможность миграции жидких и газообразных веществ к поверхности земли.

Кроме тектонических нарушений в северо-западной части Бахмутской впадины развиты соляно-купольные структуры девонского возраста (девонские соляные штоки), которые прорывают вышележащие отложения палеозоя и мезозоя и в комплексе с тектоническими нарушениями так же служат зонами миграции жидких и газообразных веществ к поверхности земли.

В связи с этим дальнейшие количественные оценки возможностей геологического хранения CO_2 в Бахмутской и Кальмиус-Торецкой впадинах следует проводить с учетом тщательного анализа их структурно-тектонического строения.

На рис.6 белыми штрихованными овалами отмечены условные кластеры источников CO_2, от которых стрелками указаны ориентировочные направления транспортировки CO_2

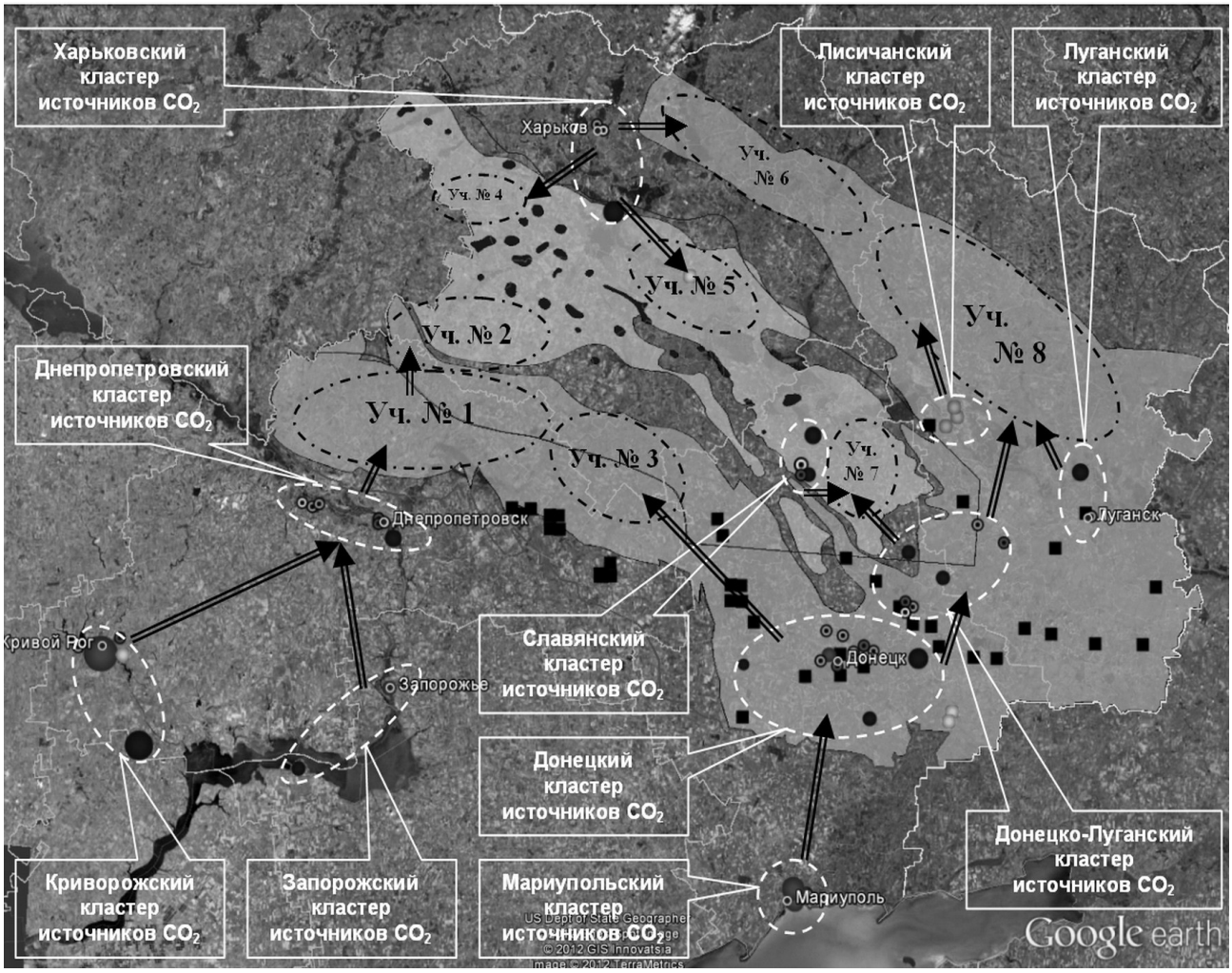

Рис.6 Географическая схема расположения кластеров источников эмиссии CO_2, участков возможного геологического хранения сверхкритического CO_2 и ориентировочные направления транспортировки CO_2 от источников эмиссии к резервуарам хранения.

к предполагаемым участках хранения – черным штрих-пунктирным овалам. Также черными квадратами показамы места расположения действующих угольных шахт [23], вблизи которых принципиально нельзя размещать резервуалы хранения CO_2.

В рамках проекта LCOIR-UA также рассмотрены вопросы выбора и разработки систем биомониторинга утечек CO_2 при процессах улавливания, хранспортировки и хранения CO_2 [23], а также обоснованы риски таких утечек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные оценки возможностей внедрения технологий УХУ в восточных областях Украины показывают перспективность и целесообразность проведения дальнейших физико-химических, геологических и биологических исследований и разработок в сфере улавливания, транспортировки и хранения CO_2 для смягчения последствий глобального изменения климата.

ЛІТЕРАТУРА

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 МГЭИК – Улавливание и хранение двуокиси углерода / Резюме для лиц, определяющих политику и Техническое резюме. – Межправительственная группа экспертов по изменению климата, 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 агенство 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 CO_2 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. Project "Low-Carbon Opportunities for Industrial Regions of Ukraine (LCOIR-UA)". – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.lcoir-ua.eu.
17. National Joint Stock Company "Energy Company of Ukraine" (НАК «Енергетична компанія України»). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – http://www.ecu.gov.ua.
18. Жикаляк Н.В., Осетров В.В. Геологические перпективы хранения CO_2 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.
19. Бескровная М.В., Осетров В.В., Шествин Н.С. Перспективы улавливания и геологического хранения CO_2 в Донбассе // Там же. – С. 105 – 106.
20. Gunter W.D., Mavor M.J., Robinson J.R. CO_2 Storage and enhanced methane production: field testing at Fenn-Big Valley, Alberta, Canada. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://uregina.ca.
21. The Sleipner Project and Monitoring Experiences. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ns.energyresearch.ca.
22. EA Weyburn CO_2 Monitoring and Storage Project Weyburn, Saskatchewan, Canada. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.netl.doe.gov.
23. DTEK Holdings B.V. (ООО «ДТЭК»). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.dtek.com.
24. Сафонов А.И. Использование растительных организмов для диагностики концентрации углекислого газа в природных средах // Збірка доповідей національного екологічного форуму „Екологія промислового регіону", том 2. – Донецьк: Державне підприємство „Донецький екологічний інститут", 2012. – С. 173 – 174.

© Беспалова С.В., Жикаляк Н.В., Осетров В.В., Шествин Н.С.