

УДК 551.588.7

Н. В. Жикаляк¹, В. В. Осетров¹, Н. С. Шестакин²

ВОЗМОЖНОСТИ ХРАНЕНИЯ CO₂ В ПАЛЕОЗОЙСКИХ ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ДОНБАССА

N. V. Zhikalyak, V. V. Osetrov, N. S. Shestavin

OPPORTUNITIES OF CO₂ CAPTURE AND STORAGE IN THE PALEOZOIC SEDIMENTS OF DONBASS

Показано важливість технологій УЗВ в рішенні проблеми викидів діоксиду вуглецю в атмосферу. Проаналізовано результати закордонних робіт по геологічному зберіганню CO₂ в різних формаціях. Показано, що на території сходу України існують геологічні формації, придатні для довгострокового зберіганню CO₂. На прикладі Донецького басейну розглядається можливість геологічного зберіганню CO₂ в теригенних осадових породах карбону. В питанні вивчення геологічного зберіганню CO₂ в палеозойських осадових породах Донбасу зроблено загальні попередні висновки, визначено найважливіші проблеми, поставлено нові задачі.

Ключові слова: емісія CO₂, джерела CO₂, геологічне зберіганню CO₂, осадові породи, пісковик.

Показана важность технологий УХУ в решении проблемы снижения выбросов углекислого газа в атмосферу. Проанализированы результаты зарубежных работ по геологическому хранению CO₂ в различных формациях. Показано, что на территории востока Украины существуют геологические формации, пригодные для долгосрочного хранения CO₂. На примере Донецкого бассейна рассматривается возможность геологического хранения CO₂ в терригенных осадочных породах карбона. В вопросе изучения геологического хранения CO₂ в палеозойских осадочных отложениях Донбасса сделаны общие предварительные выводы, определены наиболее важные проблемы, поставлены новые задачи.

Ключевые слова: эмиссия CO₂, источники CO₂, геологическое хранение CO₂, осадочные породы, песчаник.

Importance of technologies of CCS in a problem of decrease emissions of carbon dioxide in atmosphere is shown. Results of foreign works on geological storage of CO₂ in various formations are analysed. It is shown that in terrain of the east of Ukraine there are geological formations, applicable for long-term storage of CO₂. On the example of Donetz basin the possibility of geological storage of CO₂ in terrigenous carboniferous sediments is considered. In a question of studying of geological storage of CO₂ in Paleozoic sediments of Donbass the general pre-award conclusions are drawn, the most important problems are defined, new problems are supplied.

Keywords: CO₂ emissions, CO₂ sources, CO₂ capture, geological storage of CO₂, sedimentary deposits, sandstone.

ВВЕДЕНИЕ

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) [8].

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 [11].

Технологии УХУ сейчас уже разрабатываются и внедряются в исследовательских, пи-

лотных и промышленных масштабах, а также определены перспективы их развития до 2050 года, когда использование технологий УХУ позволит вместо увеличения эмиссии CO₂ к 2050 году на 130% по сравнению с уровнем 2005 года достигнуть уменьшения эмиссии CO₂ до 50% [7, 8].

Однако в Украине не проводится «секвестрация CO₂, который выбрасывается в процессе сжигания углеродосодержащих видов топлива для целей долгосрочного хранения, например, в геологических формациях» [9, с. 90]. Принятая в 2006 году Энергетическая стратегия Украины до 2030 года [10] 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 энергетической сфере Украины и, прежде всего, на предприятиях восточных регионов, где сосредоточены основные энерге-

тические и промышленные мощности Украины, которые выбрасывают значительные объемы парниковых газов, а также имеются глубокие геологические формации, очевидно пригодные для целей долговременного хранения сверхкритического CO₂.

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, а в 2011 году уже занимает шестую позицию 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.

Если рассмотреть распределение объемов эмиссии CO₂ по регионам Украины, то можно выделить пять областей Украины, в которых выбросы CO₂ превышают 10 млн т в год [6]. В этих областях (Донецкой, Днепропетровской, Запорожской, Луганской и Харьковской) как раз и сосредоточены крупнейшие тепловые электростанции (ТЭС), которые учитываются в Национальном кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине: Запорожская, Змеевская, Зуевская, Криворожская, Кураховская, Луганская, Приднепровская, Славянская, Старобешевская и Углегорская [9].

Кроме того, в этих областях расположены основные мощности металлургических заводов (по объемам выбросов CO₂ эти предприятия занимают 2-е место после энергетики), а также коксохимических, цементных и химических заводов.

В этом исследовании не учитываются выбросы CO₂ из мобильных источников (автотранспорт, железнодорожный, водный и авиационный транспорт) и от жилищно-коммунального сектора (особенно, частный жилой сектор).

ПОТЕНЦИАЛ ИСТОЧНИКОВ ЭМИССИИ CO₂

Используя информацию из 3-х открытых баз данных: МЭА, BELLONA и CARMA, а также новые дополнительные данные непосредственно от тепловых электростанций, металлургичес-

ких, коксохимических, цементных, химических и нефтеперерабатывающих заводов, создана географическая информационная система (ГИС) источников CO₂, которая охватывает пять восточных областей Украины: Донецкую, Днепропетровскую, Харьковскую, Луганскую и Запорожскую. ГИС в тестовом режиме находится в свободном доступе на веб-сайте проекта LCOIR-UA: <http://www.lcoir-ua.eu/resour/resour5-0.html>.

Используя подобные ГИС, можно оценить количество выбросов CO₂ от конкретного предприятия, а также получать данные о его географическом положении и другую полезную информацию. ГИС дает возможность одновременно анализировать все предприятия указанных отраслей экономики Украины или рассматривать только компании в избранной отрасли:

- угольных электростанций (по состоянию на 2011 год доля угля в топливе ТЭС составляет более чем 97,5%);
- газовых электростанций;
- металлургических заводов;
- коксохимических заводов;
- цементных заводов;
- различных химических заводов (в том числе нефтеперерабатывающих).

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

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 с предложением обновить информацию об объемах эмиссии CO₂, чтобы она находилась в соответствии с официальной статистической отчетностью предприятия.

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 сре-

ды и земной поверхности слабопроницаемыми или практически непроницаемыми породами (флюидопорами или покрывками) [8]. 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.

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.

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 сохраненными гидрохимическими отложениями нижнепермского возраста [4].

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 развиты в его северо-западной части в границах Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловин (рис. 1).

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 CO₂.

Это обусловлено их небольшими мощностями (обычно не более 500 м) и залеганием в верхней части осадочного чехла без газонепроницаемой покрывки. Палеозойский структурный этаж, залегающий под покровом мезозойских и кайнозойских отложений, является перспективным в отношении изучения возможностей геологического хранения CO₂.

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 потенциально газоносным является палеозойский [2].

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 основной угленосной толще. Отложения девонской системы залегают на больших глубинах (обычно более 5 км) и выходят на поверхность в виде узкой полосы на юго-западной окраине Донбасса.

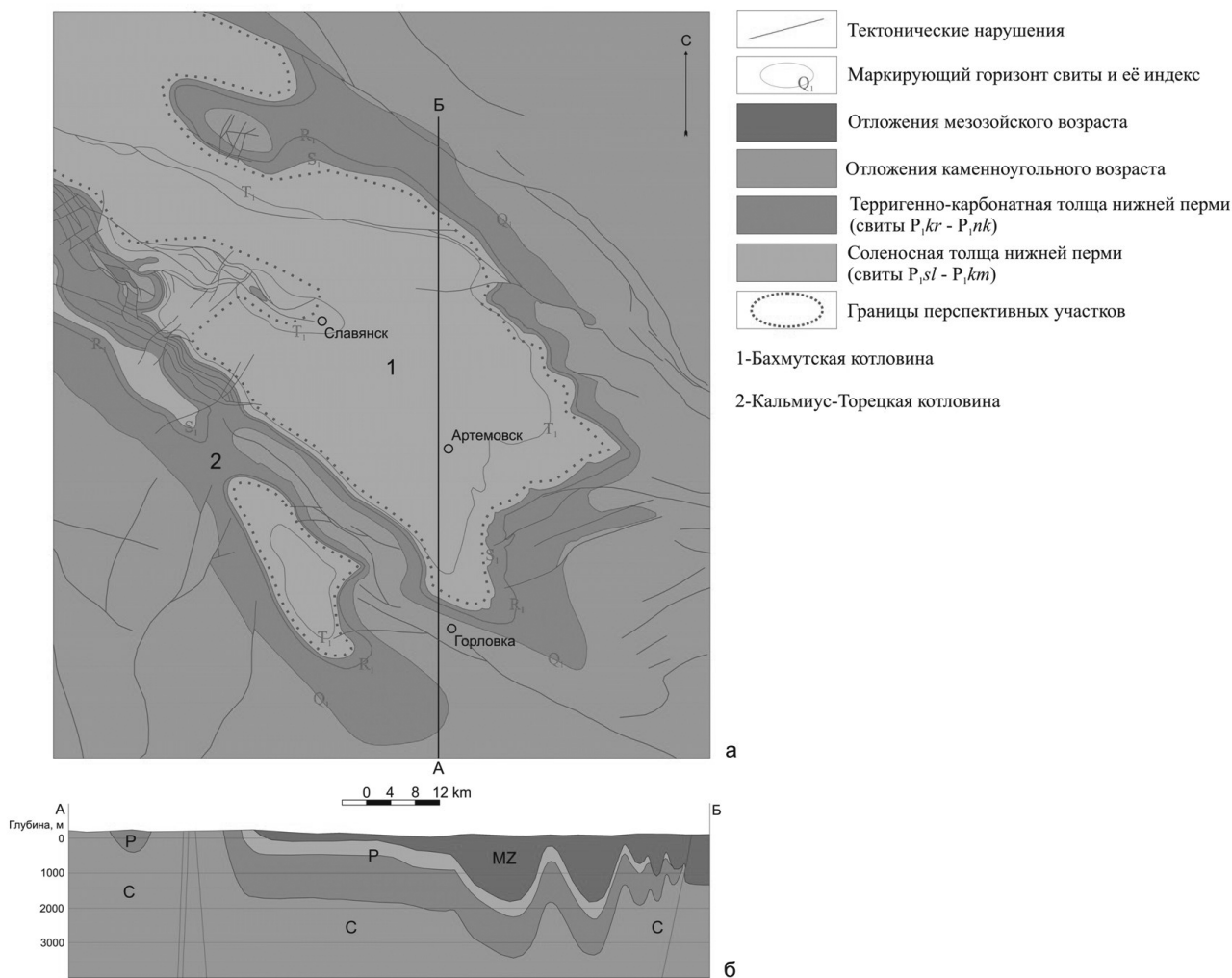


Рис. 1. Геологическая схема домезозойских отложений северо-западной части Донецкого бассейна (а) и геологический разрез к ней (б).

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. 1). 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 500 м.

В отличие от Бахмутской, в Кальмиус-Торецкой котловине свита P_1sl представлена в ос-

новном песчано-глинистыми отложениями, что снижает ее газоизоляционные возможности.

Свита P₁km имеет ограниченное распространение в погруженных частях основных синклинальных структур северо-западной части Донбасса в пределах Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловин. В составе свиты P₁km 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 1000 м.

Между свитой P₁sl, в которой преобладают соленосные отложения, и свитой P₁kr, состоящей преимущественно из терригенных отложений, расположена толща со смешанным составом. Эта толща выделяется в отдельную свиту — P₁nk.

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: C₃³, C₃², C₂₋₃¹ (гжельский и касимовский ярусы), C₂⁷, C₂⁶, C₂⁵ (московский ярус), C₂⁴ (башкирский ярус).

Наибольшей долей песчаников в общем составе обладают свиты C₂⁴, C₂⁵, C₂⁶ и C₃² (30–47% разреза), в других свитах среднего и верхнего карбона доля песчаников составляет 20–30%. Для сравнения: в свитах C₂¹ и C₂² (башкирский ярус) песчаники составляют лишь 16–20%. Как правило, песчаники в разрезе представлены маломощными прослоями и пластами, мощность которых достигает 35–60 м (редко — до 100 м). Практически на всей территории Донецкого бассейна повышенная газоносность отмечается в песчаниках нижней части свит C₃¹ и C₂⁵ и верхней части свит C₂⁷ и C₂⁴, иногда C₂⁶ [3].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ
В результате анализа геологического строения Донецкого бассейна были определены формации, играющие наиболее важную роль в механизмах долгосрочного геологического хранения CO₂ на его территории:

- пермская галогенная формация;
- каменноугольная терригенная угленосная формация;
- девонская соленосная формация.

Контуры распространения этих формаций были отображены на электронной карте-схеме на картографической основе Google. Схема находится в свободном доступе на веб-сайте проекта: <http://www.lcoir-ua.eu/resour/resour634.html>.

Важным моментом в оценке возможностей геологического хранения CO₂ 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 CO₂.

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) [5]. Средние значения открытой пористости песчаников Донбасса в разных районах варьируются в пределах 2–10% и зависят от размеров породообразующих зерен, степени их окатанности, стадии катагенеза, степени уплотнения [1].

Результаты исследований по некоторым шахтам Донбасса показывают, что степень заполнения пор газом выше 50% (промышленная метановая газоносность) обладают песчаники

с влажностью менее 2% и открытой пористостью в пределах 7–11% [5]. Открытая пористость песчаников верхнего карбона в бортовых частях Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловин составляет от 10–13% до 20–22% [3].

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 [8]. 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 термо-барическими параметрами может быть другая. Максимальная глубина залегания коллектора определяется экономической рентабельностью и технологическими возможностями.

Среди возможных вариантов реализации процесса нагнетания и последующего хранения CO_2 в Донбассе предлагаются:

2.1. Нагнетание CO_2 в негазоносные горизонты, обладающие свойствами коллекторов.

2.2. Нагнетание CO_2 в неразрабатываемые угольные пласты и вмещающие угленосные породы для повышенного извлечения угольного метана (ПИМ).

2.3. Нагнетание CO_2 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 CO_2 .

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 CO_2 [8]. При этом решаются две важные задачи: повышение дебита природного газа-метана и утилизация CO_2 . В случае экономической рентабельности процесса непромышленные газовые проявления (со степенью заполнения пор газом менее 50%) могут котируются 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 CO_2 . 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 актуальными 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 200 млрд м³ природного газа [2], в связи с чем ПИМ является одним из самых перспективных направлений геологического хранения CO₂ в окраинных частях Донбасса.

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,

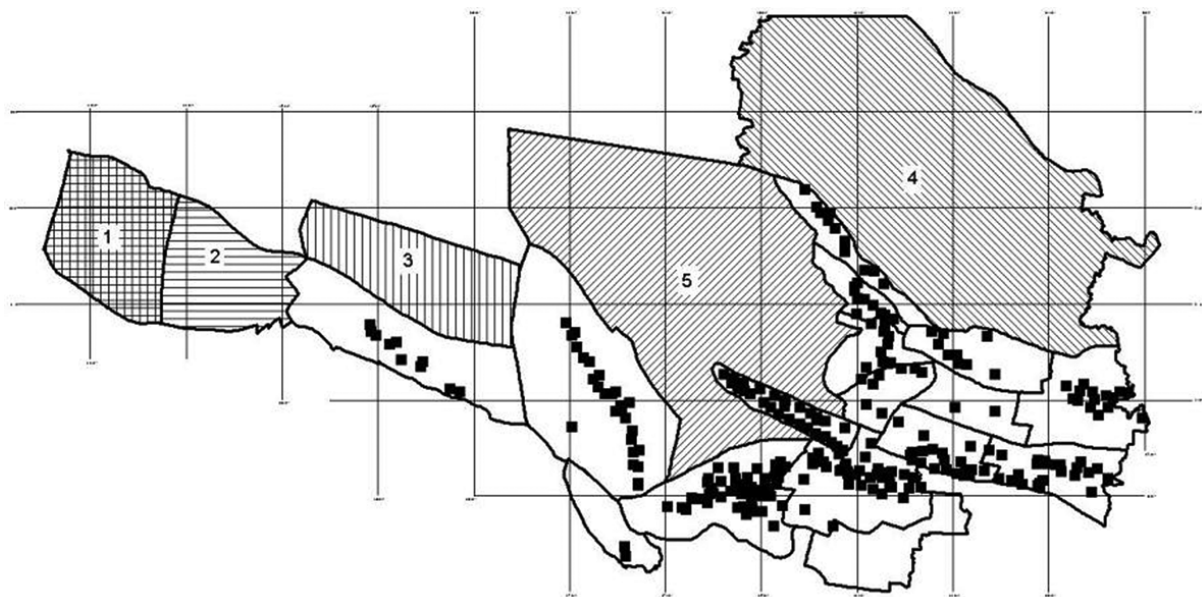


Рис. 2. Схема геолого-промышленного районирования Донецкого бассейна.

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

авторами предложены районы для дальнейшего изучения их потенциала в отношении геологического хранения CO_2 (рис. 2).

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 вышеперечисленных 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 связи с этим необходимо также провести прогноз всех возможностей миграции CO_2 и предотвращения его проникания в горные выработки.

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 покрывки, 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 слу-

жат 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.

ВЫВОДЫ

На основании изложенного материала 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 CO_2 -потенциала.

Решение этих задач позволит оценить не только емкостный CO_2 -потенциал Донецкого бассейна и его окраин, а и обосновать возможности повышения выхода метана в процессах начавшегося промышленного освоения газовых ресурсов Донбасса.

1. Баранов В.А. Влияние структуры на пористость песчаников Донбасса / В.А. Баранов // Геотехническая механика. — 2010. — №88. — С. 70–76.
2. Горяйов С. Оценка перспектив газоносности новых литологических ловушек на северном борту Бахмутской котловины / С. Горяйов, М. Лакоба, С. Павлов // Геолог Украины. — 2011. — №2. — С. 99–102.
3. Жикаляк Н.В. Неосвоенные газовые ресурсы песчаников Донбасса с низкой проницаемостью / Н.В. Жикаляк // Геолог Украины. — 2011. — №2. — С. 103–107.
4. Чирвинская М.В. О границах распространения, условиях залегания и газонефтеносности хемогенных образований нижней перми Днепровско-Донецкой впадины / М.В. Чирвинская // Материалы по геологии и газоносности нижнепермских отложений юга Русской платформы. — Харьков, 1961. — С. 51–57.

5. Шкуро Л.Л. Оценка газоносности песчаников в горных выработках, с учетом показателей пористости и влажности / Л.Л. Шкуро, Г.Н. Горбачева // Геотехническая механика. — 2010. — №88. — С. 118–123.
6. Довкілля України: Статистичний збірник / Державна служба статистики України; за редакцією Н.С. Влащенко. — Київ, 2011. — 205 с.
7. Обзор технологий улавливания и хранения углерода: возможности, препятствия, экономические аспекты и роль, рекомендуемая для ЕЭК ООН / ООН/ЕЭ/КУЭ (ECE/ENERGY/2006/5). — 2006. — 27 с.
8. 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.
9. 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.
10. Енергетична стратегія України на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. — №145-р. — 129 с.
11. Stern N. The Economics of Climate Change: The Stern Review / N. Stern. — Cambridge: Cambridge University Press, 2007. — 662 p.
12. Gunter W.D. CO₂ Storage and enhanced methane production: field testing at Fenn-Big Valley, Alberta, Canada [Электронный ресурс] / W.D. Gunter, M.J. Mavor, J.R. Robinson — Режим доступа: <http://uregina.ca>.

Исследование выполнено в рамках гранта № DCI/ENV 2010/243-865, реализуемого Донецким национальным университетом и финансируемого Европейским Союзом

¹ — ГРГП «Донецкгеология», Артемовск
E-mail: donpaleo@gmail.com

² — Донецкий национальный университет, Донецк
E-mail: m.shestavin@donnu.edu.ua