

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i4.06>

Review of Geological Storage Opportunities for Carbon Capture and Storage (CCS) in Kazakhstan

J. Ismailova, Kh. Fadi, A. Khakimzhan*

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: arnurhakimzhan@gmail.com

Abstract. At present, the problem of excessive CO₂ emissions in Kazakhstan is more acute than ever. Almost all major industrial cities, in one way or another, suffer from multiple excesses of harmful substances in the atmosphere. Under the Paris Agreement, Kazakhstan, along with other signatory countries, has pledged to reduce greenhouse gas emissions by 15% by 2030, compared to 1990 levels. However, to date, no positive trend has been observed. In this regard, the technology of carbon dioxide captures from industrial facilities and injecting it into depleted oil or gas fields could be a good innovation and set a good trend in reducing greenhouse gas emissions. In this paper we reviewed the studies that evaluated the geology of the known sedimentary basins in the country and compared the results to the existing criteria for assessing the CO₂ storage potential. The results of the studies were summarized and a technical review was presented, which suggests the suitability of Kazakhstan to implement CCS in the basins of the Caspian region, Ustyurt basin, Mangyshlak, Chu-Sarysu, South Turgai, Zaisan basin.

Keywords: carbon capture and storage, CCS, potential, greenhouse gases, emissions, well, pressure, temperature, injection, phase.

1. Введение

На сегодняшний день выброс парниковых газов в атмосфере является общемировой проблемой. Ученые всех стран ведут активную работу по разработке и оптимизации метода снижения этих выбросов. Принятое в 2014 году Парижское соглашение обязывает стран участниц снижению выбросов CO₂. Не стала исключением и Республика Казахстан. Как отмечают в своей статье Е. Абуов, Н. Сейсенбаев и W. Lee ежегодно, начиная с 2014 года, предел, установленный соглашением, превышает и ожидается, что это число будет расти, поскольку растущая экономика показывает, что в этой стране меры по снижению выбросов парниковых газов недостаточны [1].

Одним из новых методов по снижению CO₂ является метод CCS (Carbon Capture and Storage), предполагающий сбор высвобождающегося парникового газа и закачивание в подземные хранилища. Для решения проблемы моделирования хранения CO₂ в недрах многие исследователи предложили различные численные модели с различными реалистичными данными [4]. В мире существует множество примеров исследования таких механизмов, таких как пласт Йохансен, пласт Уцира, пилотный проект Крэнфилд, проект Фрио [2,6] и другие.

Крупномасштабное моделирование помогает оценить поведение закачиваемого CO₂ в различных сценариях, и модели были проверены с использованием дополнительных источников проекта на месторождении, включая измерения давления, сейсмические исследования и т.д.

Не менее важно понимание фазового поведения CO₂ и связанных с ним PVT эффектов на поверхностной системе и в стволе скважины. Как выяснилось, фазовый переход CO₂ из плотного состояния в газообразное приводит к понижению температуры, увеличению скорости потока и дросселированию давления, что может повлиять на целостность ствола скважины, контроль устья и приемистость породы-коллектора.

1.1. Источники выбросов

В 2016 году значительная часть (88%) производства энергии в Казахстане в основном приходилась на сжигание ископаемых видов топлива, включая уголь, газ и нефть, из которых на долю угля приходилось 65% чистого производства энергии в стране (сообщает Kazenergy, 2017). В том же году стационарные точки сжигания выделили 223 млн тонн CO₂ в экв., что составило 67% от общего объема выбросов парниковых газов, а 78% от общего объема выбросов парниковых газов соответствовали CO₂. Значения указывают на то, что выбросы CO₂ от стационарных пунктов сжигания являются сердцевинной проблемы парниковых газов в стране и что смягчение последствий выбросов CO₂ от стационарных пунктов сжигания привело бы к значительному сокращению выбросов парниковых газов в Казахстане [1].

В настоящее время в Казахстане эксплуатируется в общей сложности 225 стационарных пунктов сжигания, где каждый из их ежегодных выбросов парниковых газов составляет более 20 000 тонн экв. CO₂ в год. В плане распределения для Системы торговли выбросами (ETS) на 2018-2020 годы на электроэнергетические системы

приходится 56% всех выбросов парниковых газов от стационарных источников сжигания, за которыми следуют металлургическая промышленность (19%), нефтеперерабатывающие заводы (14%), горнодобывающая промышленность (6%), производство строительных материалов (4%) и химические заводы (1%) (Министерство юстиции Республики Казахстан, 2017). На рисунке 1 показаны географические местоположения 104 стационарных источников горения, каждый из которых выбрасывает более 100 000 тонн CO₂ в год, соответствующие 6 осадочным бассейнам этого исследования. К стационарным источникам горения относятся объекты энергетического сектора, нефтегазовой промышленности, горнодобывающей промышленности, металлургии, химической промышленности и производства строительных материалов (цемента, извести и гипса).

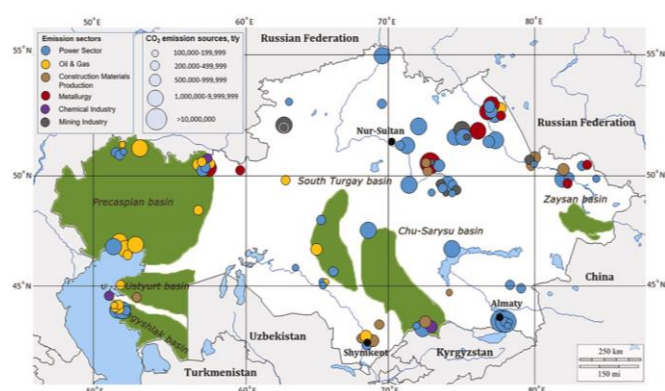


Рисунок 1. Основные источники загрязнений в Казахстане [1]

1.2. Международный опыт

Недавнее исследование, проведенное группой ученых из Саудовской Аравии в рамках изучения закачки диоксида углерода в недра истощенного резервуара сухого газа. В качестве испытуемого пласта использовалось месторождение на территории Северного моря, расположенное примерно в 140 км от берега со следующими параметрами:

- начальное давление = 4200 psi (290 бар);
- глубина = 9000 ft (2744 м);
- температура = 182°F (84°C);
- хранилище газа заброшено на давлении = 200 psi (14 бар), что соответствует коэффициенту извлечения 90% от OGIP (original gas in place);
- порода-коллектор - чистый песчаник с почти однородной пористостью и проницаемостью;
- механизм восстановления - расширение метанового газа;
- вклад восстановления от поддержки водоносного горизонта и водопривода - менее 2%.

Исследователи планировали перекачку CO₂ с береговой электростанции по подводному трубопроводу к месту захоронения в жидкой его фазе. Возникшие технические проблемы можно отнести к типичным, таким как: осложнения при бурении в истощенных зонах, транспортировка газа, а также его улавливание, обезвоживание и сжатие.

Эксперимент был разбит на следующие этапы.

2. Методы и материалы

Этап 1. CO₂ улавливается, обезвоживается и сжимается на береговой электростанции. Необходимое давление нагнетания в компрессоре зависит от желаемой скорости закачки на устье скважины, диаметра труб трубопровода и соответствующего перепада давления между местом сжатия и подземным резервуаром. Ожидается, что перепад давления будет меняться в процессе заполнения пласта, о чем будет сказано ниже. Для поддержания эффективности трубопроводного транспорта CO₂ должен транспортироваться и закачиваться в плотном состоянии. Транспортировка CO₂ в газообразном состоянии неэффективна.

Этап 2. Этот этап соответствует условиям поступления CO₂ на устье скважины. Давление перепад в 140-километровом трубопроводе (AB) составляет около 550 psia, и ожидается, что температура CO₂ будет соответствовать температуре морской воды. Температура морской воды колеблется между 40°F зимой и 60°F летом. В этом диапазоне температур CO₂ находится в жидком состоянии (рисунок 2).

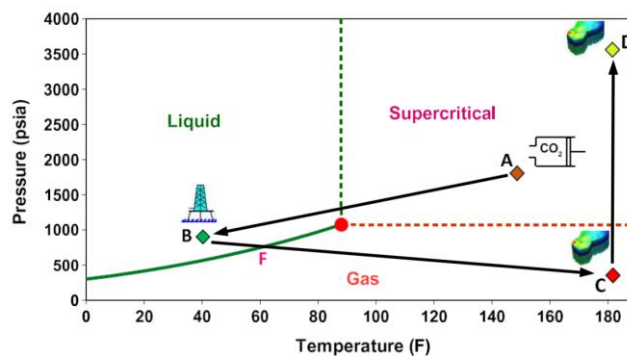


Рисунок 2. Фазовая оболочка давления-температуры (PT), показывающая газовое, жидкое и сверхкритическое состояния CO₂ как функцию давления и температуры. Точки A, B, C и D представляют условия давления (P) и температуры (T) CO₂ на различных этапах закачки. A - ожидаемые P и T после сжатия на месте улавливания, B - ожидаемые P и T на устье скважины, C - условия (P, T) в пласте в начале закачки CO₂, а D - конечные условия (P, T) после заполнения пласта CO₂. S-L представляет собой точку перехода CO₂ из сверхкритического состояния в жидкое, а L-G - точку перехода из жидкого состояния в газообразное [7]

Стадия 2 на рисунке 2 соответствует сценарию, в котором давление и температура CO₂ на устье скважины составляют B = (1000 psia, 40°F)

Этап 3. Эта стадия соответствует условиям пластового давления и температуры до начала закачки CO₂. Поэтому стадия C на рисунке 2 соответствует текущим условиям пласта C = (200 psia, 182°F). Отмечается фазовый переход от жидкости к газу (L-G), который происходит в результате изменения давления и температуры от поверхности к пласту. Точка L-G обозначает температуру вспышки CO₂. В зависимости от потока и тепловых условий, переход в газовое состояние может происходить внутри насосно-компрессорных труб или в прискважинном пространстве. Дополнительные подробности представлены в следующем разделе

Этап 4. Эта стадия представляет собой ожидаемые условия давления и температуры после заполнения пла-

ста CO₂. Предполагается 100% замещение пустот, и поэтому ожидается, что конечное давление будет примерно равно начальному давлению в пласте. При отсутствии возмущения средней температуры пласта стадия D на рисунке 2 соответствует сверхкритическому состоянию CO₂ при D = (3500 psia, 182°F).

2.1. Потенциал использование CCS в Казахстане

По данным KazEnergy (2015), на территории Казахстана имеется 15 осадочных бассейнов. По двум причинам (упомянутым ниже), только шесть из них (Прикаспийский, Устюртский, Мангышлакский, Южно-Тургайский, Чу-Сарысуыйский и Зайсанский бассейны) выбраны для данного исследования после обширного обзора литературы по геологии Казахстана в ранних работах советских геологов, последних исследованиях и местных геологических базах данных.

Достаточные геологические данные для оценки потенциала хранения CO₂ в основном находятся в углеводородных бассейнах, а внедрение CCS в Казахстане в нефтяных бассейнах более осуществимо и реалистично по экономическим причинам (существующая инфраструктура и потенциал для CO₂-EOR, среди прочего). Шесть выбранных бассейнов имеют разный возраст, геологические характеристики, потенциал ископаемого топлива, близость к источникам CO₂ и разный уровень развития существующих инфраструктур (рисунок 3).

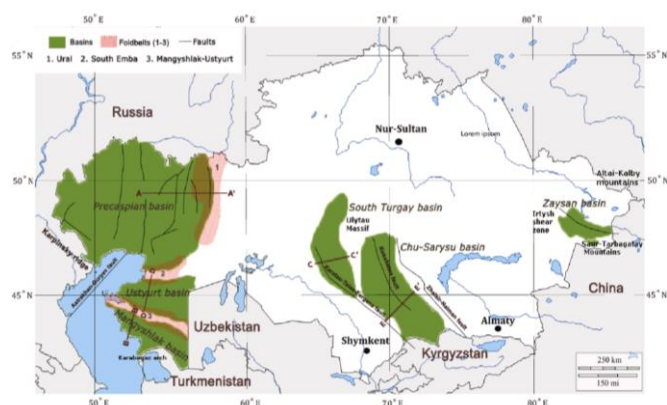


Рисунок 3. Потенциально пригодные бассейны для CCS в Казахстане

3. Результаты и обсуждение

Как выяснилось, закачка CO₂ в плотном состоянии в пласт с низким давлением приводит к испарению CO₂ либо в стволе скважины, либо в приповерхностном пласте. Процесс испарения связан с падением температуры из-за эффекта Джоуля-Томсона, резкими изменениями термодинамических свойств фаз CO₂ и увеличением скорости потока из-за расширения CO₂. Эти явления могут быть опасными, так как могут вызвать проблемы с обеспечением потока, такие как образование гидратов, потеря контроля давления и нарушение целостности ствола скважины. Основной целью работы ученых стало изучение поведения CO₂. Ученые заключают, что широко используемое моделирование с развязкой является неэффективным методом в деле описания поведения потока углекислого газа в переходном состоянии жидкость-газ в стволе скважины, так как развязанный подход предсказывает разрыв давления, что

нереально. Учеными было предложено решение нагревать поток закачиваемого газа на устье скважины для обеспечения фазового перехода газа из жидкого в сверхкритическое состояние. Помимо этого, исследователи затронули и экономические показатели проекта. Так, для достаточного повышения температуры CO₂ потребуется от 60 до 70 кВт/ч на метрическую тонну CO₂. Также могут возникнуть дополнительные затраты в зависимости от эффективности установки и теплообмена.

4. Выводы

Учитывая большой потенциал хранения на территории Казахстана, стабильную тектонику, высокую зависимость от ископаемого топлива и хорошо развитую нефтяную промышленность региона, CCS обладает большим потенциалом понижения загрязнения атмосферы в соответствии с Парижским соглашением. Выявлено четыре наиболее подходящих бассейна, в которых CO₂ может храниться в сверхкритическом состоянии. Ими являются: Прикаспийский бассейн, мангышлакский, Южно-Тургайский и Устюртский бассейны. Как сообщает в своей статье Е. Абуов, Н. Сейсенбаев и W.Lee емкость хранения CO₂ в этих бассейнах составляет 462 Гт, 43 Гт, 5 Гт и 29 Гт, с суммарной мощностью 539 Гт эффективных мощностей хранения CO₂ в Казахстане [1]. Как показывает исследование рассчитанные эффективное хранение CO₂ в Казахстане может обеспечить снижение национальных выбросов парниковых газов и поддержание углеродной нейтральности в течение 1600 лет.

Несмотря на предпринимаемые государством меры по снижению сжигания ископаемого топлива путем использования ВИЭ, влияние на общий объем выбросов CO₂ остается незначительным. Исходя из вышесказанного, технология CCS вполне применима на территории Казахстана и может оказать существенное влияние на снижение выбросов углекислого газа, что в свою очередь, положительно скажется на экологии региона и качестве жизни людей.

Литература / References

- [1] Abuov, Ye., Seisenbayev, N. & Lee, W. (2020). CO₂ storage potential in sedimentary basins of Kazakhstan. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 103:103186. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2020.103186>
- [2] Ghomian, Y., Gary A. Pope & Sepehrmoori, K. (2008). Reservoir simulation of CO₂ sequestration pilot in friso brine formation, usa gulf coast. *Energy*, 33(7):1055–1067. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.02.011>
- [3] Philip Ringrose. (2020). How to Store CO₂ Underground: Insights from early-mover CCS Projects. *Springer*
- [4] Ringrose, P.S. & Meckel, T.A. (2019). Maturing global CO₂ storage resources on offshore continental margins to achieve 2ds emissions reductions. *Scientific reports*, 9(1):1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54363-z>
- [5] Delshad, M., Kong, X., Tavakoli, R., Seyyed A.H. & Wheeler, M.F. (2013). Modeling and simulation of carbon sequestration at cranfield incorporating new physical models. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 18:463–473. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2013.03.019>
- [6] Amanbek, Ye. & Wheeler, M.F. (2019). A priori error analysis for transient problems using enhanced velocity approach in the discrete-time setting. *Journal of Computational and Applied*

- [7] Hoteit, H., Fahs, M. & Soltanian, M.R. (2019). Assessment of CO₂ Injectivity During Sequestration in Depleted Gas Reser-

Қазақстандағы көмірқышқыл газын (CCS) ұстау және сақтау үшін геологиялық сақтау мүмкіндіктеріне шолу

Д. Исмаилова, Х. Фади, А. Хакиджан*

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: arnurhakimzhan@gmail.com

Аңдатпа. Қазіргі уақытта Қазақстанда СО₂ шамадан тыс шығарындылары мәселесі бұрынғыдан да өткір тұр. Іс жүзінде барлық ірі өнеркәсіптік қалалар атмосферадағы зиянды заттардың құрамынан бірнеше есе көп зардап шегеді. Париж келісімі шеңберінде Қазақстан қатысушы елдермен қатар 2030 жылға қарай парниктік газдар шығарындыларының санын 1990 жылғы деңгеймен салыстырғанда 15%-ға төмендетуге міндеттенді. Алайда, бүгінгі таңда оң тенденция байқалмауда. Осыған байланысты өнеркәсіптік объектілерден көмірқышқыл газын алу және оны таусылған мұнай немесе газ кен орындарына айдау технологиясы жақсы инновация бола алады және парниктік газдар шығарындыларын азайту ісінде жақсы тренд орната алады. Бұл мақалада республиканың белгілі шөгінді бассейндерінің геологиясы бағаланған және нәтижелер СО₂ сақтау әлеуетін бағалаудың қолданыстағы критерийлерімен салыстырылған зерттеулер қарастырылады. Зерттеу нәтижелері жинақталып, Қазақстанның Каспий маңы өңірінің бассейндерінде, Үстірт бассейнінде, Маңғышлақ, Шу-Сарысу, Оңтүстік Торғай, Зайсан бассейндерінде CCS енгізуге жарамдылығын болжайтын техникалық шолу жасалды.

Негізгі сөздер: carbon capture and storage, CCS, потенциал, парниктік газдар, шығарындылар, ұңғыма, қысым, температура, айдау, фаза.

Обзор возможностей геологического хранения для улавливания и хранения углекислого газа (CCS) в Казахстане

Д. Исмаилова, Х. Фади, А. Хакиджан*

Satbayev University, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: arnurhakimzhan@gmail.com

Аннотация. В настоящее время в Казахстане проблема чрезмерных выбросов СО₂ стоит как никогда остро. Практически все крупные промышленные города, так или иначе, страдают от кратного превышения содержания вредных для здоровья веществ в атмосфере. В рамках Парижского соглашения Казахстан, наряду со странами участниками, обязался к 2030 году снизить количество выбросов парниковых газов на 15% по сравнению с уровнем 1990 года. Однако на сегодняшний день, положительной тенденции не наблюдается. В связи с этим, технология улавливания углекислого газа с промышленных объектов и закачка его в истощенные нефтяные или газовые месторождения могла бы стать неплохой инновацией и задать хороший тренд в деле снижения выбросов парниковых газов. В данной статье рассматриваются исследования, где оценивалась геология известных осадочных бассейнов республики и сравнивались результаты с существующими критериями оценки потенциала хранения СО₂. Были обобщены результаты исследований и представлен технический обзор, который предполагает пригодность Казахстана для внедрения CCS в бассейнах Прикаспийского региона, Устюртский бассейн, Мангышлакский, Чу-Сарысу, Южно-Тургайский, Зайсанский бассейн.

Ключевые слова: carbon capturing and storage, CCS, потенциал, парниковые газы, выбросы, скважина, давление, температура, закачка, фаза.

Received: 15 March 2023

Accepted: 15 August 2023

Available online: 31 August 2023