

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2023.4.177-193>

EDN OXNWFC

УДК 661.97

Потенциал хранения CO₂ нефтегазового сектора России

Холодионова А.С., Хмелевский Р.Я., Ерка Б.А.

ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

CO₂ storage potential of the Russian petroleum sector

A.S. Kholodionova, R.Y. Khmelevskiy, B.A. Yerka

Tyumen Petroleum Research Center LLC, Tyumen, Russia

E-mail: askholodionova@tnnc.rosneft.ru

Аннотация. Международная политика по достижению углеродной нейтральности остается ключевым направлением в энергетическом развитии нефтегазового сектора России. По ряду международных оценок Россия обладает наибольшим объемом для хранения углекислого газа (CO₂) в мире. Статья отражает потенциальные возможности хранения CO₂ российской нефтегазовой отрасли. Согласно результатам рассмотрения технологической цепочки CCS (Carbon capture and storage) авторами выделен менее затратный этап – геологическое хранение CO₂. На основании отчетов аналитических агентств и международных организаций определены основные аспекты применимости резервуаров для долгосрочного и безопасного хранения CO₂. В работе проанализированы риски по хранению CO₂ в различных геологических формациях. Оценка рисков проведена с использованием матричного метода и количественного анализа на основании расчетной величины индекса рисков. Выявлено, что наиболее эффективным способом сокращения выбросов CO₂ для нефтегазовой промышленности России является геологическое хранение CO₂ в истощенных нефтегазовых коллекторах Западной Сибири.

Ключевые слова: *секвестрация, энергетический переход, выбросы CO₂, геологическое хранение CO₂, декарбонизация, выбросы парниковых газов, технология по улавливанию и хранению углекислого газа, геологическая формация, матрица вероятности, возникновение риска, воздействие на окружающую среду*

Для цитирования: Холодионова А.С., Хмелевский Р.Я., Ерка Б.А. Потенциал хранения CO₂ нефтегазового сектора России // Нефтяная провинция.-2023.-№4(36).-С. 177-193. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2023.4.177-193>. - EDN OXNWFC

Abstract. The international “net zero” policy remains a key focus in the energy transition process of the Russian petroleum industry which offers the highest capacity of carbon dioxide (CO₂) storage in the world. Out of the CCS (Carbon Capture and Storage) process chain, we have selected a less expensive stage, i.e. the geological storage of CO₂. The paper describes the CO₂ storage potential of the Russian petroleum sector. We introduced the main aspects of the reservoirs’ availability for long-term and safe storage of CO₂. The paper also presents an analysis of the risks and uncertainties of CO₂ storage in various geological formations. The risks and uncertainties were assessed using the matrix method and quantitative analysis based on the estimated risk index. We concluded that the most effective way for the petroleum industry to reduce emissions is to store CO₂ in depleted oil and gas reservoirs of West Siberia.

Key words: *sequestration, energy transition, CO₂ emissions, geological storage of CO₂, decarbonization, greenhouse gas emissions, carbon dioxide capture and storage (CCS) technology, geological formation, probability matrix, occurrence of risk, impact on the environment*

For citation: A.S. Kholodionova, R.Y. Khmelevskiy, B.A. Yerka Potensial khraneniya TSO₂ neftegazovogo sektora Rossii [CO₂ storage potential of the Russian petroleum sector]. Neftyanaya Provintsiya, No. 4(36), 2023. pp. 177-193. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2023.4.177-193>. EDN OXNWFC (in Russian)

В мировой энергетической повестке 2023 г. была отмечена необходимость ускорения политики декарбонизации за счет снижения энергоемкости мирового ВВП, сокращения совокупных объемов загрязняющих выбросов, внедрения технологий (проектов), позволяющих ускорить переход к экологически чистой энергии и глобальному снижению температурных показателей (Technology report / Global EV Outlook 2023).

Всемирной метеорологической организацией ООН отмечен риск повышения среднегодовой глобальной приземной температуры на 1,5 градусов по Цельсию по сравнению с доиндустриальным уровнем. Глобальная температура в 2011-2020 гг. поднялась до 1,09 градусов по Цельсию по сравнению с периодом 1850-1900 гг. С 1850 г. каждое из последних четырех десятилетий было более теплым по сравнению с любым предшествующим десятилетием.

По результатам научных исследований 2023 г. Межправительственной группой экспертов ООН по изменению климата (МГЭИК) сделан вывод, что в текущем году изменение климата происходит интенсивнее предыдущего [1]. Кроме того, прогнозные данные МГЭИК указывают на вероятность возникновения высоких температурных колебаний не только в 2023 г., но в ближайшие пять лет.

МГЭИК определены основные направления перспективных исследований, связанных с изменением климата: 1) оценка текущего состояния и тенденций температурных колебаний, 2) разработка мероприятий по сокращению негативного воздействия на окружающую среду в условиях меняющегося климата, 3) сокращение глобальных выбросов CO₂ на 45 % к 2030 г. по отношению к 2010 г., 4) долгосрочное прогнозирование климатических изменений [1].

Превышение порогового уровня температурных показателей создает серьезные угрозы для стабильного государственного развития и экологической безопасности страны. При ускоренном энергетическом переходе странам необходимо включить в свои стратегии меры по сокращению выбросов парниковых газов (ПГ), а также предусмотреть необходимость адаптации и повышения устойчивости к изменению климата.

Наблюдаемое в настоящее время и ожидаемое в перспективе изменение климата сопряжено с повсеместными и необратимыми последствиями для антропогенных и естественных систем [2]. Для минимизации рисков меняющихся климатических условий необходима адаптация сфер государственного управления и регулирования в рамках обеспечения энергетической стабильности и устойчивого развития.

В России на государственном уровне разработан ряд стратегических документов, направленных на сокращение и регулирование выбросов ПГ. Перечень основных государственных законопроектов в рамках политики декарбонизации представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Перечень основных государственных законопроектов в рамках
политики декарбонизации**

№ п/п	Название	Направление развития
1	Стратегия долгосрочного развития РФ с низким уровнем выбросов ПГ до 2050 г.	Определение мер по обеспечению к 2023 г. сокращения выбросов ПГ до 70% (относительно уровня 1990 г.) с учетом максимально возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем [2].
2	Распоряжение Правительства РФ «Об энергетической стратегии России на период до 2035 г.»	Обеспечение потребности социально-экономического развития РФ соответствующими объемами производства, экспорта продукции и услуг отраслей топливно-энергетического комплекса (ТЭК) [3].
3	Указ Президента РФ №666 «О сокращении выбросов ПГ»	Создание условий для реализации мер по сокращению и предотвращению выбросов ПГ, а также по увеличению их поглощения [4].
4	Федеральный закон «Об ограничении выбросов ПГ»	Разработка отчетов для организаций, деятельность которых сопровождается выбросами ПГ. Введение терминологического аппарата, системы мониторинга выбросов ПГ и механизма реализации добровольных климатических проектов [5].
5	Стратегия экологической безопасности РФ на период до 2025 г.	Осуществление мониторинга и оценки состояния экологической безопасности федеральными органами исполнительной власти в рамках государственного мониторинга окружающей среды [6].
6	Постановление Правительства РФ «Об утверждении правил создания и ведения реестра углеродных единиц, а также проведения операций с углеродными единицами в реестре углеродных единиц»	Разработка положения о формировании отчетности и отражении результатов реализации климатических проектов по сокращению выбросов ПГ и (или) увеличению поглощения ПГ, выраженных в массе, эквивалентной 1 тонне углекислого газа [7].
7	Методические рекомендации по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых	Регламентируют отношения в части выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых, их геологическое изучение и экспертизу геологических материалов по этим участкам [8].

Несмотря на существующую законодательную базу по сокращению выбросов загрязняющих веществ, разработанную на национальном уровне, в России отсутствуют промышленные проекты по декарбонизации, реализованные в полном объеме.

В международных климатических рейтингах низкоуглеродная политика России считается малоэффективной. Этому свидетельствуют итоговые значения индекса эффективности действий в области изменения кли-

мата 2023 г. (Climate Change Performance Index 2023). В рейтинге из 63 стран Россия занимает 59 место. По результатам оценки сокращение выбросов ПГ в России составило всего 6,07 %, а сокращение энергопотребления – 1,77 % (от целевого уровня – 100 %) [9].

Для России ключевое значение в ускоренном энергетическом переходе имеет нефтегазовая отрасль, как одна из главных составляющих ТЭК страны. В результате деятельности нефтегазодобывающих компаний наибольшее воздействие на изменение климата и загрязнение окружающей среды оказывают выбросы CO₂, большая часть которых, образуется при сжигании попутных нефтяных газов (ПНГ) на факельных установках [10].

Рамочной конвенцией ООН о снижении CO₂ в атмосфере и об изменении климата было отмечено, что доля выбросов от нефтегазовой промышленности составляет около четверти суммарных выбросов. В России крупнейшими источниками эмиссии CO₂ также считается нефтегазовый комплекс, интенсивность совокупных выбросов в котором напрямую зависит от эффективности внедрения проектов с «зелеными» технологиями, направленными на экологически чистую энергетику. Согласно международному научному и политическому консенсусу, основная причина происходящих на планете климатических изменений (повышения среднегодовой температуры атмосферы) заключается в усилении парникового эффекта из-за увеличения содержания в атмосфере парниковых газов. К ним относится прежде всего углекислый газ (CO₂), доля которого в общих выбросах ПГ в России в 2017 г. составила 76,4 % [11].

По данным международного энергетического агентства (МЭА) для достижения международных целей «чистого нуля» наиболее перспективным направлением считается секвестрация CO₂ (CCS - улавливание, транспортировка, хранение CO₂) [12].

Несмотря на высокую международную оценку проектов CCS, для России они труднореализуемы с технологической, нормативно-правовой и

экономической точки зрения. Климатические проекты в России имеют низкий уровень инженерно-экологической и технологической готовности, отсутствие экономической рентабельности, высокую капиталоемкость проектов, а также отсутствие комплексных государственных мер по регулированию, стимулированию и финансированию. Проведенная в работе [13] оценка экономической эффективности проекта CCS показала отрицательное значение NPV (-6 483 млн. руб.), высокие капитальные вложения (16 181 млн. руб.) и операционные затраты (20 520 млн. руб.). В связи с этим, выручка, полученная за счет продажи уловленного CO₂ не покрывает инвестиционные вложения на реализацию и поддержание проекта CCS, что приводит как к отсутствию окупаемости, так и к сложности обоснования долгосрочных инвестиций компании. В дальнейшем необходимо проводить работы по повышению экономической эффективности подобных проектов.

Необходимо отметить, что в России проведение детализированного стоимостного анализа полного цикла CCS считается затруднительным в виду отсутствия введенных в эксплуатацию промышленных проектов CCS, сложности определения исходных параметров, большой вариативности и отсутствия эмпирических данных.

Однако соотношение долей от совокупных инвестиций в укрупненной технологической цепочке CCS российскими экспертами было определено неоднократно. Таким образом, стоимость улавливания составляет около 75 % от общей стоимости внедрения CCS [16]. Диапазон стоимости зависит от условий эксплуатации и технологических характеристик объектов. Затраты на транспортировку зафиксированы на уровне 15 %. Стоимость зависит от объемов перевозки и вида транспортировки. Наиболее распространенным способом транспортировки CO₂ является трубопроводный транспорт. Главным осложняющим фактором при транспортировке CO₂ в отличие от транспортировки природного газа является повышенное

коррозионное воздействие диоксида углерода на трубопровод. Для уменьшения негативного воздействия CO_2 газ осушают, трубопроводы используют из специальной стали, а его отдельные секции, расположенные перед установками осушки, обрабатывают антикоррозийным сплавом. Затраты на геологическое хранение CO_2 составляют 10 % от общей стоимости CCS. Стоимость обусловлена выбором резервуара для хранения CO_2 в зависимости от его типа: истощенные нефтегазовые месторождения, водоносные пласты, базальтовые породы, угольные пласты или соленосные формации. Кроме того, стоимостные характеристики зависят от геологических особенностей и от физико-химических характеристик выбранного коллектора (давление, проницаемость, пористость, глубина залегания пласта, размер емкости хранения и т.д.).

Геологическое хранение предполагает закачку CO_2 в подземные породные формации, которые могут поглощать и обеспечивать долгосрочное удержание CO_2 . Целесообразно выделить из технологической цепочки CCS менее затратный этап – геологическое хранение CO_2 (10 % от общей стоимости технологии CCS).

Энергетическая политика любого государства направлена на оценку потенциала подземного хранения CO_2 . По оценкам Rystad Energy 2021 г. и МГЭИК 2005 г. максимальный геологический потенциал по хранению CO_2 в мире составляет 11 тыс. Гт, в т.ч. 0,9 тыс. Гт – хранение в нефтегазовых месторождениях, 0,2 тыс. Гт – в неиспользуемых угольных пластах и 10 тыс. Гт – в минерализованных водоносных пластах.

Оценивая потенциал хранения CO_2 необходимо рассматривать географическое расположение источников выбросов CO_2 и его концентрацию вблизи предполагаемых мест хранения. В настоящее время огромное большинство крупных источников выбросов характеризуется концентрациями CO_2 менее 15 % (в некоторых случаях значительно меньше). В то же время небольшая часть (менее 2 %) промышленных источников на ископа-

емом топливе имеет концентрации CO_2 , превышающие 95 % [14]. Источники с высокой концентрацией CO_2 считаются потенциальными кандидатами для хранения CO_2 .

Утилизация промышленных выбросов CO_2 путем их захоронения в глубокие подземные резервуары является сложным технологическим процессом. Для определения потенциала хранения CO_2 необходимо оценить рассматриваемые объекты по ряду факторов. В виду этого авторами статьи предлагается поэтапный анализ оценки применимости геологических формаций для хранения CO_2 в России:

- Этап I. Выбор геологического резервуара для хранения CO_2 с определением преимуществ и недостатков.
- Этап II. Оценка рисков основных видов геологических формаций для хранения CO_2 с применением матричного метода и количественного подхода.
- Этап III. Определение основных видов работ по применимости емкостей для геологического хранения CO_2 .

Результаты исследования представлены в соответствии с разработанным алгоритмом.

На этапе I определены основные виды геологических формаций для хранения CO_2 и выявлены их слабые и сильные стороны. Выводы по этапу I представлены в табл. 2 [8, 15, 16, 17].

Таблица 2

Основные преимущества и недостатки при выборе геологической формации для хранения CO_2

№ п/п	Основные виды геологической формации для хранения CO_2	Слабые стороны	Сильные стороны
1	Водоносные пласты	1. Химическое взаимодействие CO_2 с вмещающими породами и сопутствующими флюидами в коллекторе. 2. Для определения пригодности	1. Флюидоупорная порода перекрывает водоносный пласт, что предотвращает вертикальную утечку углекислого газа.

		хранения необходимо изучить фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) продуктивных пластов.	
2	Истощенные нефтегазовые коллекторы	1. Химическое взаимодействие CO ₂ с вмещающими породами и сопутствующими флюидами в коллекторе. 2. Фонд ликвидированных и законсервированных скважин должен отвечать требованиям, обеспечивающим отсутствие перетока флюидов по их стволам.	1. Флюидоупорная порода перекрывает водоносный пласт, что предотвращает вертикальную утечку углекислого газа. 2. Изучена геологическая структура месторождения, ФЕС продуктивных пластов, свойства и герметичность пород-покрышек. 3. Высокая концентрация CO ₂ вблизи нефтегазовых месторождений на поздней стадии разработки.
3	Базальтовые породы	1. Ограниченное географическое распространение базальтовых пород на территории РФ. 2. Для определения пригодности хранения необходимо изучить ФЕС продуктивных пластов.	1. Высокая активность в химическом отношении к CO ₂ , что приводит к образованию карбонатных пород.
4	Угольные пласты	1. Снижение проницаемости за счет сильного уплотнения, глубокого залегания (~1500 м) и разбухания пласта при закачке CO ₂ . 2. Для определения пригодности хранения необходимо изучить ФЕС продуктивных пластов.	1. Извлечение метана (метан при взаимодействии с угольным пластом десорбируется и высвобождается).
5	Соленосные формации	1. Ограниченные объемы емкостей хранилищ. 2. Ограниченное распространение в осадочных бассейнах.	1. Каменная соль характеризуется значительной устойчивостью во времени, низким содержанием влаги и склонности к пластическому течению, что приводит к быстрому устранению образующихся трещин.

Этап II. Произведена оценка рисков основных видов геологических формаций для хранения CO₂ с применением матричного метода. Количественный подход при оценке рисков базируется на вычислении индекса риска в соответствии с характеристиками рассматриваемых типов резервуаров для хранения CO₂ (Табл. 2). Величина индекса риска рассчитывается по формуле:

$$R = Pq * Vq, \quad (1)$$

где R - индекс риска (весовой коэффициент),

Pq - вероятность возникновения риска в соответствии с видами геологических формаций для хранения CO₂,

Vq - размер потенциального воздействия на окружающую среду в соответствии с видами геологических формаций для хранения CO₂.

Оценка рисков проведена авторами статьи с помощью матрицы вероятности возникновения риска и размера потенциального воздействия на окружающую среду по каждому типу резервуара. Вероятность возникновения рисков определяется, исходя из величины индекса риска по шкале от 0,1 до 0,9 (где 0,01-0,07 – низкий уровень рисков; 0,09-0,35 – средний уровень рисков; 0,45-0,81 – высокий уровень рисков). Геологическая формация с наименьшей величиной индекса риска имеет наибольший потенциал геологического хранения CO₂. При расчете индекса риска размер потенциального воздействия на окружающую среду (Vq) определен в пределах от 0,1 до 0,9. Наиболее перспективными формациями для хранения CO₂ считаются истощённые нефтегазовые коллекторы и водоносные пласты [14, 15, 18, 19], что также подтверждено наименьшим показателем индекса риска, который соответственно равен 0,09/0,27. По результатам экспертной оценки наименьшее значение индекса риска относится к истощённым нефтегазовым коллекторам – 0,09 (Рис. 1). Авторами будет продолжена работа по детализированной разработке всех видов критериев оценки рисков и неопределенностей основных видов геологических формация для хранения CO₂.

Вероятность возникновения риска (Pq)	Слабые стороны					Сильные стороны				
	0,9	0,09	0,27	0,45	0,63	0,81	0,81	0,63	0,45	0,27
0,7	0,07	0,21	0,35	0,49	0,63	0,63	0,49	0,35	0,21	0,07
0,5	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,45	0,35	0,25	0,15	0,05
0,3	0,03	0,09	0,15	0,21	0,27	0,27	0,21	0,15	0,09	0,03
0,1	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01
Размер потенциального воздействия на окр. среду (Vq)	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1

Рис. 1. Матрица вероятности возникновения риска и потенциального воздействия на окружающую среду

На этапе III предложены основные виды работ для определения применимости резервуаров для долгосрочного и безопасного хранения CO₂ формации с наименьшим индексом риска (этап 2):

- 1) изучение истории формирования и разработки месторождений-кандидатов;
- 2) изучение геологического разреза и условий хранения CO₂;
- 3) исследование керн пород-покрышек и пород-коллекторов для оценки петрофизических, литологических, спектральных, седиментологических и фациальных характеристик;
- 4) объединение динамических характеристик месторождения и определение критериев оценки пород-коллекторов и пород-покрышек, их ранжирование по качеству;
- 5) определение приоритетных зон для хранения CO₂ с лучшими совокупными результатами;
- 6) нормализация каротажных кривых для получения качественных литологических параметров разных типов резервуаров;
- 7) проведение гидродинамического моделирования закачки CO₂ в потенциальные объекты геологического хранения;
- 8) определение вариативных расчетов с учетом международных подходов оценки хранения CO₂, в т.ч. SPE-SRMS (SPE-Storage resources management system);
- 9) верификация, контроль и мониторинг динамических данных по хранению CO₂.

Оценка геологических параметров истощенных нефтегазовых месторождений должна производиться на этапе подбора месторождений-кандидатов для целей долгосрочного, безопасного и эффективного хранения CO₂. Перед выбором емкостей для хранения CO₂ необходимо изучить основные виды работ по применимости резервуаров (этап III). Дополнительно рекомендуется проанализировать геологические условия с целью

определения герметизации перекрывающей породы, целостности герметизации отработавших и действующих скважин, а также ФЕС рассматриваемых резервуаров. Потенциально пригодными формациями следует считать пласты-коллекторы месторождений нефти и газа на поздней стадии разработки с наибольшим объемом емкости для геологического хранения CO₂.

Максимальные суммарные ресурсы по геологическому хранению CO₂ основных нефтегазовых месторождений России зафиксированы на уровне 156 777 млн. т. Наибольшим потенциалом по хранению CO₂ в разрезе регионов России обладает Западная Сибирь с оцененной суммарной емкостью хранилищ 73 104 млн. т. (Рис. 2) [1].

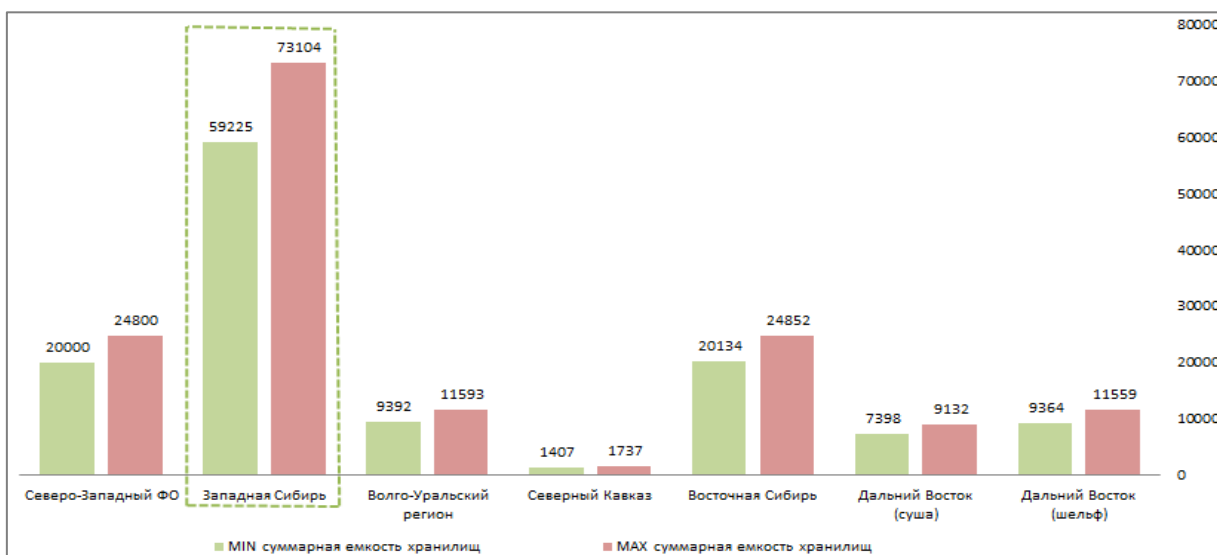


Рис.2. Ресурсы по хранению CO₂ нефтегазовых месторождений по регионам России, млн.т.[1]

Несмотря на свой потенциал, истощенные формации, как правило, глубокозалегающие с невысокими фильтрационными свойствами, поэтому при обосновании объектов нужно обращать внимание на полный стратиграфический разрез, включая водоносные горизонты. Как альтернатива хранению параллельно смотрятся вопросы полезного использования для целей газовых методов увеличения нефтеотдачи (МУН), сельхозсектора.

Выводы:

1. Проблемы глобальных климатических изменений и энергетической безопасности формируют мировую повестку научных исследований. В настоящее время более 120 стран объявили планы по достижению глобальной углеродной нейтральности в 2050-2060 гг. Международная значимость климатической повестки определяет необходимость обеспечения ускоренного энергетического перехода и уменьшения совокупных выбросов углекислого газа. Задача обеспечения экологически чистого экономического роста приобретает особую значимость применительно к российской нефтегазовой промышленности, обеспечивающей существенную часть доходов в государственный бюджет.

2. Для нефтегазового сектора России определение потенциала хранения CO_2 позволит не только стабилизировать высокий уровень концентрации углекислого газа, но и обеспечит повышение энергетической эффективности и снижение углеродного следа.

3. По ряду международных оценок Россия обладает наибольшим объемом для хранения CO_2 в мире. Следовательно, российские нефтегазовые компании имеют конкурентные преимущества в долгосрочном и стратегическом снижении эмиссии CO_2 . Инвестиционные вложения по геологическому хранению CO_2 будут зависеть от выбранного вида коллектора (водоносные пласты, истощенные нефтегазовые коллекторы, базальтовые породы, угольные пласты, соленосные формации), его географического расположения, наличия инфраструктурных объектов, уровня концентрации CO_2 и физико-химических характеристик.

4. Проведенный анализ потенциала по геологическому хранению CO_2 в России показывает, что данная область требует дальнейшего детального изучения. Эффективность реализации «зеленых» проектов в рамках российской политики декарбонизации по геологическому хранению CO_2 возможна только при государственном регулировании и субсидировании, со-

здании различных механизмов стимулирования, а также при разработке методической и нормативно-правовой базы с учетом создания реестра крупных источников выбросов CO₂. Кроме того, необходима методическая разработка на государственном уровне системы учета, мониторинга, контроля и верификации данных по хранению CO₂ для различных видов геологических формаций (водоносные пласты, истощенные нефтегазовые коллекторы, базальтовые породы, угольные пласты, соленосные формации).

5. Разработка проектов по хранению CO₂, комплексно реализованных в рамках стратегии низкоуглеродного развития России (на государственном, отраслевом и корпоративном уровне) позволит не только снизить уровень концентрации CO₂, но и повысит эффективность использования углеводородного сырья и передовых технологий, а также будет способствовать переходу нефтегазового сектора к низкоуглеродной экономике.

Список литературы

1. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) / Сводный отчет шестого оценочного доклада МГЭИК AR6: Изменение климата к 2023 г. / 2023. – [Электронный ресурс]. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf (дата обращения: 11.08.2023).
2. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. // Распоряжение №3052-р Правительства РФ от 29 октября 2021 г., г.: Москва.
3. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г. // Распоряжение №1523-р Правительства РФ от 9 июня 2020 г., г.: Москва.
4. Указ Президента Российской Федерации №666 «О сокращении выбросов парниковых газов», 4 ноября 2020 г. // Распоряжение 3052-р Правительства РФ от 29 октября 2021 г., г.: Москва.
5. Проект Федерального закона №1116605-7 «Об ограничении выбросов парниковых газов» // ГД ФС РФ от 1 июня 2021 г., г.: Москва.
6. Указ Президента Российской Федерации №176 «О Стратегии экологической безопасности РФ на период до 2025 г.» // Правительство РФ от 19 апреля 2017 г., г.: Москва.
7. Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Правил создания и ведения реестра углеродных единиц, а также проведения операций с углеродными единицами в реестре углеродных единиц» // Постановление Правительства РФ №790 от 30 апреля 2022 г., г.: Москва.

8. Методические рекомендации по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых // Федеральное государственное учреждение «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» (ФГУ «ГКЗ») от 1 апреля 2007 г., г.: Москва.
9. The climate change performance index 2023 / Overall Results CCPI 2023 // Электронная ссылка: <https://newclimate.org/resources/publications/the-climate-change-performance-index-2023> (дата обращения: 18.08.2023).
10. Оценка эколого-экономического эффекта от реализации проекта Федерального закона №454850-5 «Об использовании попутного нефтяного газа и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Экспертный доклад Российского газового общества. – М., 2011. – С. 28.
11. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики №52 // Аналитический центр при Правительстве РФ, 2019 г., г.: Москва.
12. World Energy Outlook 2023 // International Energy Agency. – 2023. – [Электронный ресурс]. URL: [http://www.iea.org/media/technology report/ global EV Outlook 2023.pdf](http://www.iea.org/media/technology%20report/global%20EV%20Outlook%202023.pdf) (дата обращения: 10.08.2023).
13. Холодионова А.С., Кулик А.А. Основные аспекты декарбонизации нефтегазовой отрасли России // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 7. С. 102–106.
14. Улавливание и хранение двуокиси углерода. Доклад рабочей группы III МГЭИК. Межправительственная группа экспертов по изменению климата // ISBN 92-9169-419-3 / 2005. С. 22.
15. Геологическое хранение CO₂ в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии: первичный анализ потенциала и политики // Экспертный доклад Российского газового общества. – Европейская экономическая комиссия ООН, 2021.
16. Технологии улавливания, полезного использования и хранения двуокиси углерода // Skolkovo Moscow School of Management. – 2022.
17. Широкомасштабное, быстрое и усиливающееся изменение климата / Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). – 2021. – [Электронный ресурс]. URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press Release_ru.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press_Release_ru.pdf) (дата обращения: 15.07.2023).
18. Energy Technology Perspectives 2020, Special Report on Carbon Capture, Utilisation and Storage, CCUS in Clean Energy Transitions / IEA, September 2020.
19. The Global Status of CCS Report 2020 / The Global CCS Institute, March 2020. – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/03/Global-Status-of-CCS-Report-English.pdf> (дата обращения: 12.08.2023).

References

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023. Summary Report of the Sixth IPCC Assessment Report AR6: Climate Change by 2023. [Electronic source]. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SUR_LongerReport.pdf (accessed 11.08.2023). (in Russian)
2. Strategy of social and economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions by 2050, Order No. 3052-r of the Government of the Russian Federation, dated October 29, 2021, Moscow. (in Russian)
3. Energy Strategy of the Russian Federation till 2035, Order No. 1523-r of the Government of the Russian Federation, dated June 9, 2020, Moscow. (in Russian)

4. Decree of the President of the Russian Federation No. 666 On reducing greenhouse gas emissions, November 4, 2020, Order 3052-r of the Government of the Russian Federation, dated October 29, 2021, Moscow. (in Russian)
5. Draft Federal Law No. 1116605-7 On limiting greenhouse gas emissions, State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation, dated June 1, 2021, Moscow. (in Russian)
6. Decree of the President of the Russian Federation No. 176 On the Strategy of Environmental safety of the Russian Federation till 2025, Government of the Russian Federation, April 19, 2017, Moscow. (in Russian)
7. Decree of the Government of the Russian Federation On approval of the Rules for Creating and maintaining a Register of Carbon Units, as well as Conducting operations with carbon units in the Register of Carbon Units, Decree of the Government of the Russian Federation No. 790, dated April 30, 2022, Moscow. (in Russian)
8. Methodological recommendations for justifying the selection of subsoil areas for purposes not related to mining // Federal State Institution «State Commission for Mineral Reserves». – M., 2007. (in Russian)
9. The Climate Change Performance Index 2023, Overall Results CCPI 2023, Electronic link: <https://newclimate.org/resources/publications/the-climate-change-performance-index-2023>.
10. Assessment of the environmental and economic effect from the implementation of the draft Federal Law No. 454850-5 «On the use of associated petroleum gas and on amendments to legislative acts of the Russian Federation». Expert report of the Russian Gas Society. – M., 2011. – P. 28. (in Russian)
11. Bulletin on current trends of the Russian economy, No. 52, Analytical Center at the Government of the Russian Federation, 2019, Moscow. (in Russian)
12. World Energy Outlook 2023, International Energy Agency, 2023. [Electronic source]. URL: http://www.iea.org/media/technology_report/global_EV_Outlook_2023.pdf (accessed 10.08.2023).
13. A.S. Kholodionova, A.A. Kulik, 2022. The main aspects of decarbonization of the Russian petroleum industry, Exposition Oil and Gas. No. 7. pp. 102-106. (in Russian)
14. Carbon Capture and Storage. Report of IPCC Working Group III. Intergovernmental Panel on Climate Change. ISBN 92-9169-419-3 / 2005. pp. 22. (in Russian)
15. Geological storage of CO₂ in the countries of Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia: an initial analysis of potential. – United Nations Economic Commission for Europe, 2021. (in Russian)
16. Carbon Capture, Utilization and Storage CO₂, 2022, Skolkovo Moscow School of Management. (in Russian)
17. Widespread, rapid and increasing climate change, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021. [Electronic source]. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release_ru.pdf (accessed 15.07.2023). (in Russian)
18. Energy Technology Perspectives 2020, Special Report on Carbon Capture, Utilisation and Storage, CCUS in Clean Energy Transitions / IEA, September 2020.
19. The Global Status of CCS Report 2020 / The Global CCS Institute, March 2020. [Electronic source]. URL: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/03/Global-Status-of-CCS-Report-English.pdf> (accessed 12.08.2023).

Сведения об авторах

Холодионова Алеся Сергеевна, кандидат экономических наук, главный специалист управления концептуального и интегрированного проектирования ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

Россия, 625000, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1

E-mail: askholodionova@tnnc.rosneft.ru

Хмелевский Роман Янович, начальник отдела управления концептуального и интегрированного проектирования ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

Россия, 625000, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1

E-mail: rykhmelevskiy@tnnc.rosneft.ru

Ерка Борис Александрович, кандидат технических наук, главный менеджер управления концептуального и интегрированного проектирования ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

Россия, 625000, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1

E-mail: BAErka@tnnc.rosneft.ru

Authors

A.S. Kholodionova, Ph.D. in Economics, Chief Specialist of the Conceptual and Integrated Engineering Division, Tyumen Petroleum Research Center LLC

79/1, Osipenko st., Tyumen, 625000, Russian Federation

E-mail: askholodionova@tnnc.rosneft.ru

R.Y. Khmelevskiy, Head of Department the Conceptual and Integrated Engineering Division, Tyumen Petroleum Research Center LLC

79/1, Osipenko st., Tyumen, 625000, Russian Federation

E-mail: rykhmelevskiy@tnnc.rosneft.ru

B.A. Yerka, Ph.D. in Technical Sciences, Chief Manager of the Conceptual and Integrated Engineering Division, Tyumen Petroleum Research Center LLC

79/1, Osipenko st., Tyumen, 625000, Russian Federation

E-mail: BAErka@tnnc.rosneft.ru

Статья поступила в редакцию 15.10.2023

Принята к публикации 20.12.2023

Опубликована 30.12.2023