



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 3. С. 155–160

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2023, vol. 23, iss. 3, pp. 155–160

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-3-155-160>, EDN: RCNSBM

Научная статья

УДК 502.08



Актуальность декарбонизации деятельности промышленных предприятий на территории Волгоградской области

С. В. Николаенко¹✉, Н. Е. Степанова²

¹ Филиал Уральского района управления сейсмических исследований ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПнефть» в г. Перми, Россия, 400078, г. Волгоград, проспект им. В. И. Ленина, д. 96

² Волгоградский государственный аграрный университет, Россия, 400002, Волгоград, просп. Университетский, д. 26

Николаенко Сергей Викторович, ведущий геофизик отдела интерпретации сейсмических данных, SergeyNikolaenko@lukoil.com, <https://orcid.org/0009-0004-9609-7624>

Степанова Наталья Егоровна, доцент кафедры землеустройство, кадастры и экология, nat_stepanowa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0646-4979>

Аннотация. В статье представлен анализ влияния промышленных предприятий Волгоградской области на состояние атмосферного воздуха региона. Показана важность решения проблемы выбросов в атмосферу парниковых газов на международном уровне. Рассмотрен зарубежный опыт в части снижения выброса углекислого газа промышленных предприятий. Предложен способ снижения экологической нагрузки на атмосферный воздух путем декарбонизации, т. е. улавливания и захоронения углекислого газа в глубоких геологических объектах.

Ключевые слова: глобальное потепление, климат, Волгоградская область, углекислый газ, декарбонизация

Для цитирования: Николаенко С. В., Степанова Н. Е. Актуальность декарбонизации деятельности промышленных предприятий на территории Волгоградской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 3. С. 155–160. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-3-155-160>, EDN: RCNSBM

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

The importance of decarbonization of industrial enterprises in the Volgograd region

S. V. Nikolaenko¹✉, N. E. Stepanova²

¹ Branch of Ural region of seismic research department LLC LUKOIL-Engineering PermNIPmorneft in the city of Perm, 96 Lenina St., Volgograd 400078, Russia

² Volgograd State Agrarian University, 26 University Ave., Volgograd 400002, Russia

Sergey V. Nikolaenko, Sergey.Nikolaenko@lukoil.com, <https://orcid.org/0009-0004-9609-7624>

Natalia E. Stepanova, nat_stepanowa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0646-4979>

Abstract. The article presents the influence analysis of industrial enterprises of the Volgograd region on the state of atmospheric air in the region. The importance of solving the problem of greenhouse gas emissions into the atmosphere at the international level has been analyzed. Foreign experience in terms of reducing carbon dioxide emissions of industrial enterprises is considered. A method to reduce the environmental burden on atmospheric air by decarbonization, i.e. carbon capture and storage of CO₂ in deep geological objects is proposed.

Keywords: global warming, climate, Volgograd region, carbon dioxide, decarbonization

For citation: Nikolaenko S. V., Stepanova N. E. The importance of decarbonization of industrial enterprises in the Volgograd region. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 3, pp. 155–160 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-3-155-160>, EDN: RCNSBM

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Глобальные изменения климата во многом связаны с увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере и вызываемого им парникового эффекта. По данным Международного энергетического агентства, глобальные выбросы

CO₂ выросли в 2022 году до нового исторического максимума и составили 36,8 Гт CO₂ [1]. Проблема значительного увеличения доли антропогенной эмиссии в атмосферный воздух в настоящее время осознана мировым сообществом. Важность вопроса выброса в атмосферу



парниковых газов обсуждалась на международном уровне в ходе Конференции по климату в Париже в 2015 году, по результатам которой 175 странами – участниками были подписаны Парижские соглашения, регулирующие меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере с 2020 года. Российская Федерация присоединилась к данным договоренностям. В целях реализации соглашения 4 ноября 2020 года был издан указ Президента РФ № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов», а уже в 2021 году был принят Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» (№ 296-ФЗ от 2 июля 2021 года). Кроме того, на уровне Правительства РФ планируется регулирование выбросов крупных предприятий, что закреплено постановлением Председателя Правительства Михаилом Мишустиним (постановление от 14 марта 2022 года № 355). Предполагается, что в будущем максимальный объем выбросов для предприятий будет сокращен до 50 тыс. т углекислого газа в год.

Текущая ситуация с выбросами загрязняющих веществ в Волгоградской области

На территории Волгограда и области расположено значительное количество промышленных предприятий, доля загрязнений от которых составляет 80 % в общем объеме выбросов в атмосферный воздух. Основными эмитентами в регионе являются такие промышленные предприятия, как: АО «Каустик», ООО «Газпром трансгаз Волгоград», АО «РУСАЛ Волгоград», ОАО «Волжский абразивный завод», ООО «ЛУКОЙЛ – Волгограднефтепереработка», ОАО «Серебряковцемент» и др. [2, 3].

Анализ показателей загрязнения окружающей среды Волгоградской области в результате деятельности промышленных предприятий демонстрирует неблагоприятные тенденции (таблица).

Особую настороженность вызывает ситуация с эмиссией оксида углерода, выбросы которого в 2021 году выросли более чем в 4 раза (рис. 1).

Динамика валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (2014–2021 гг.)

Показатель выбросов, тыс. т	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Всего	153,5	159,9	161,4	138	141,5	143,6	174,6	222,5
В том числе: твердые	9,95	10	8,9	8,7	6,6	6,2	7	7,6
газообразные и жидкие	143,6	149,9	152,5	129,3	134,9	137,5	167,5	214,9
диоксид серы	7,2	7,6	12,1	7,4	7,5	8,2	10,3	10,3
оксид углерода	56,7	70,8	54,5	54,3	58,1	17,8	25,7	117,9
оксиды азота	25,4	27,3	26,2	25,4	20,5	54	58,3	26,5
углеводороды (без ЛОС)	28,6	28,1	39	22,7	31,4	39,9	55,4	42,1
ЛОС	22,5	23,1	17,4	17,8	16,3	16,3	16,4	16,4
прочие газообразные вещества	3,1	3,2	3,2	1,6	1,1	1,2	1,5	1,8

Примечание. ЛОС – летучие органические соединения. Сост. по: [1, 2].

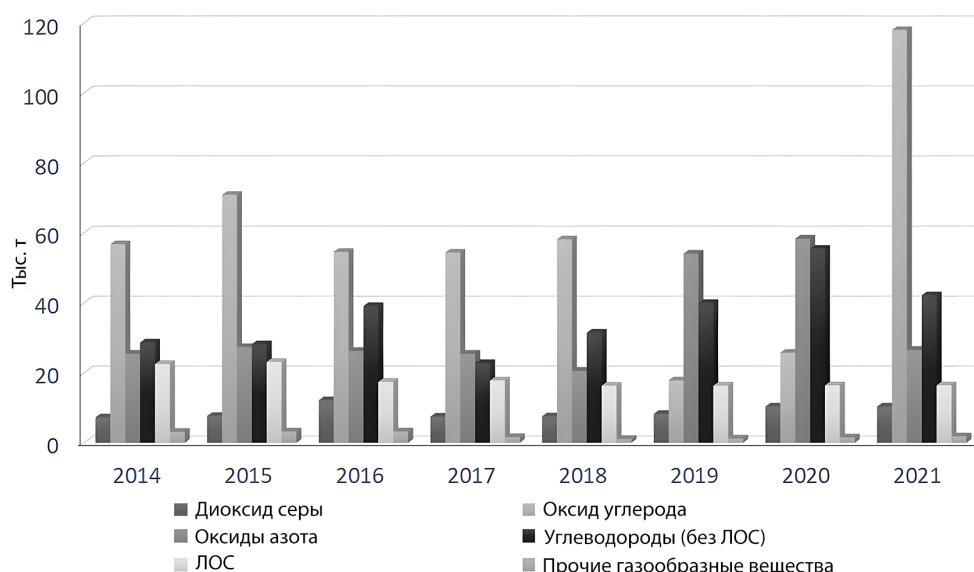


Рис. 1. Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух



Обобщив данные по валовым выбросам промышленных предприятий Волгоградской области и ежегодно возрастающей динамике поступления оксида углерода в атмосферный воздух, в своей статье мы предлагаем внедрить в производственный процесс промышленных предприятий комплекс мероприятий по сокращению выбросов парниковых газов, а именно декарбонизацию.

Способы снижения экологической нагрузки

В рамках общей стратегии декарбонизации региона одним из путей снижения экологической нагрузки от деятельности промышленных предприятий в Волгоградской области может стать развиваемая в мире технология улавливания и захоронения/утилизации CO_2 в подземные геологические объекты. По мнению руководителя отдела технологий CCUS (Carbon capture, utilisation and storage – улавливания, использования и хранения углерода) Международного энергетического агентства Саманты МакКаллох, «это фактически единственная группа технологий, которая способствует как прямому сокращению выбросов в важнейших отраслях экономики, так и удалению CO_2 для балансировки выбросов, которых невозможно избежать» [4].

Первоочередной задачей для реализации проектов захоронения CO_2 в подземные резервуары является определение критериев пригодности геологического объекта под закачку. В настоящее время общепризнанных количественных характеристик природных объектов, пригодных под закачку, не существует. Это вызвано как специфичностью условий залегания принимающих пластов (природных резервуаров), так и составом закачиваемого газа (как правило, это смеси CO_2 и сопутствующих газов), а также их взаимодействием. Тем не менее при выборе геологических структур, пригодных для организации подземного захоронения углекислого газа, целесообразно ориентироваться на опыт, полученный при эксплуатации газовых и нефтяных месторождений, а также при создании подземных хранилищ газа [5]. Чаще всего подземные хранилища создаются в пластах с хорошими коллекторскими свойствами. В таких высокопроницаемых пластах закачиваемый газ будет распределяться сравнительно равномерно по всему объему пласта.

Особые требования предъявляются к структуре и размерам ловушки. Для предотвращения вертикальной миграции CO_2 крышка должна быть непроницаемой, а также обеспечивать надежность механизма, который позволяет хранить газ на протяжении длительного времени. Размеры ловушки должны быть достаточно большими для накопления должного объема CO_2 .

Как показывает мировой опыт закачки CO_2 , а также согласно «Методическим рекомендациям по обоснованию выбора участков недр для целей,

не связанных с добычей полезных ископаемых» [6] в качестве потенциальных геологических объектов для закачки газа могут рассматриваться:

- выработанные нефтяные пласты;
- выработанные пласты газовых и газоконденсатных месторождений;
- объекты, связанные с соляными мульдами и кавернами;
- водоносные горизонты.

Геологические объекты в выработанных нефтяных пластах являются потенциальными объектами для закачки CO_2 в том случае, если в процессе эксплуатации будет доказано, что газ может хорошо удерживаться в пластовых условиях. Объем природного резервуара определяется величиной порового пространства, освобожденного нефтью вместе с дополнительным объемом пор, занимаемым подземными водами, подпирающими нефтяную залежь.

На территории Волгоградской области имеется исторический фонд выработанных в XX веке месторождений [7], которые при соответствии определенным условиям могут быть потенциальными объектами для закачки CO_2 (рис. 2).

Геологические объекты в выработанных газовых или газоконденсатных месторождениях аналогично нефтяным обладают изолирующими свойствами (герметичностью) для газа, которые гарантируют его консервацию на долгий период времени. В России работы по поискам объектов, пригодных для закачки газа, и созданию газохранилищ начались с 50-х годов XX века. В соседнем с Волгоградской областью Ставропольском крае в 1979 году были проведены работы по созданию крупнейшего в стране хранилища в истощенном газовом месторождении – Северо-Ставропольском, которое создано на основе одноименного газового месторождения с активным объемом более 43 млрд м^3 .

В качестве природных резервуаров для CO_2 также могут быть использованы соляные каверны (искусственного или природного происхождения) и межсоляные мульды. Эти объекты являются отличными по герметичности резервуарами. Подобный объект на территории Волгоградской области был создан ООО «Газпром ПХГ» и введен в эксплуатацию в 2018 году. В данный момент газохранилище функционирует с максимальной суточной производительностью порядка 10 млн м^3 , оперативный резерв составляет более 135 млн м^3 .

Межсоляные мульды ввиду их ограниченности узкими и высокоамплитудными соляными грядами характеризуются гидрогеологической закрытостью недр. Это обстоятельство и наличие в разрезе пород-коллекторов, а также флюидопоров являются благоприятными факторами для закачки газа.

Геологические объекты, связанные с глубокими водоносными горизонтами, или обводнившиеся в процессе эксплуатации продуктивные



Рис. 2. Схема размещения потенциальных объектов для закачки CO₂: 1 – выработанные месторождения; 2 – межселевая мульда; 3 – административная граница Волгоградской области (цвет онлайн)

пласты (газовые или нефтяные) являются одним из наиболее перспективных вариантов захоронения диоксида углерода, поскольку не используются для нужд населения и народного хозяйства.

В России первое газохранилище в водоносном пласте было создано в 50-х годах XX века в районе г. Калуга. Позднее, в 70-х годах, – Касимовское ПГХ с проектным объемом активного газа более 12 млрд м³, которое является самым крупным хранилищем природного газа в мире, созданным в водоносном пласте.

Различают два основных типа водоносных структур – открытые и закрытые. Закрытые водоносные горизонты имеют естественные экраны, сформированные геологическими складками или литологическими условиями, которые значительно снижают вероятность латеральной миграции и просачивания CO₂ в смежные водоносные горизонты, используемые для питьевого водоснабжения. Это делает их перспективными для устройства хранилищ, но их объем меньше, чем у горизонтов открытого типа. Последние представляют собой протяженные горизонталь-

ные или пологопадающие толщи водоносных пород. Ввиду их открытости CO₂ может перемещаться в латеральном направлении. Но низкая скорость перемещения и большая протяженность горизонтов дают основание предполагать, что площадь распространения газа будет ограничена в пространстве. Уменьшению подвижности CO₂ в обоих случаях может способствовать растворение углекислого газа в остаточной воде, оставшейся в водоносном горизонте, что снижает эффект плавучести, а также реакция CO₂ с вмещающими минералами и последующее образование твердых продуктов их реакции.

Однако к пластам-коллекторам в водоносных горизонтах предъявляются особые требования [8], среди которых:

- насыщенность солеными водами или рассолами (более 35 г/дм³), не используемыми в настоящее время и не планируемыми к использованию для лечебных целей, технического водоснабжения, извлечения ценных компонентов на расстоянии ближе расчет-



ного радиуса гидродинамического влияния системы подземного газа;

- соответствие фильтрационно-емкостных свойств пластов-коллекторов запланированным объемам хранения газа;
- геохимическая совместимость пластовых вод и пород пласта-коллектора при исключении образования нерастворимых осадков и (или) вновь образуемых токсичных соединений в условиях нарушения природного физико-химического равновесия в пластах;
- обеспечение водоупорными отложениями надежной изоляцией продуктивных горизонтов, в том числе горизонтов с пресными водами, исключающих возможность межпластовых вертикальных перетоков подземных вод в процессе создания подземного хранилища газа.

Следует отметить, что, несмотря на высокую перспективность водоносных структур, на текущий момент их использование в качестве ПХГ имеет определенные сложности, среди которых можно выделить следующие:

- недоскональную изученность геологических характеристик водоносных горизонтов, которые требуют высоких денежных и временных затрат на обнаружение геологических характеристик водоносного горизонта и подтверждение его применимости, а также необходимость проведения сейсмических исследований, определения минералогического состава и пористости пласта, выявления емкости самого резервуара;
- разработку сопутствующей инфраструктуры для преобразования природных водоносных структур в эффективные природные хранилища газа, т. е. должна быть проработана и определена соответствующая инфраструктура, которая включает бурение скважин, добывающее оборудование, трубопроводы, обезвоживание и компрессорное оборудование, а также требует применения мощного оборудования для закачки, поддержания достаточного давления для заполнения пласта природным газом;
- экологические ограничения в использовании водоносных горизонтов в качестве хранилища природного газа. Еще в начале 1980-х годов Агентство по охране окружающей среды (EPA) установило определенные правила использования водоносных горизонтов для хранения природного газа.

Заключение

Таким образом, на основе обобщения практического опыта мировых проектов CCUS можно сформулировать следующие требования к геологическим объектам под закачку CO₂:

- коллекторские горизонты должны иметь над собой пласты-флюидоупоры, сложенные

непроницаемыми пластическими или твердыми породами;

- покрывка над выбранным объектом должна быть выдержанной по площади распространения, ее мощность должна составлять не менее 2–6 м при глубине залегания до 600 м и 4–5 м при глубине залегания более 600 м;
- для обеспечения длительного функционирования хранилищ в разрезе должны быть выявлены дополнительные прослои, обладающие герметизирующей способностью;
- в пределах расчетного контура будущего хранилища CO₂ не должно быть тектонических нарушений, являющихся причиной рисков снижения герметичности покрывки резервуара;
- выбранный объект должен находиться вне зоны возможных сейсмических событий, с силой землетрясения более 9 баллов.

Подводя итог, хочется отметить тот факт, что нефтегазовые компании, являющиеся крупными производителями диоксида углерода, имеют уникальные преимущества в крупномасштабном внедрении данных технологий, поскольку обладают наибольшими знаниями о геологическом строении потенциальных хранилищ CO₂. Однако следует отметить, что решение вопросов захоронения углекислого газа в геологические объекты является нетривиальной задачей и требует индивидуального подхода при всестороннем рассмотрении каждого потенциального объекта для закачки, что сопряжено с затратами временных и материальных ресурсов.

Тем не менее мировой опыт свидетельствует о том, что улавливание и захоронение CO₂ являются одной из немногих технологий с доказанной эффективностью и, пожалуй, единственным на сегодняшний момент вариантом декарбонизации в сфере деятельности промышленных предприятий.

Библиографический список

1. CO₂ emissions in 2022 // International Energy Agency. March 2023. URL: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022> (дата обращения: 22.02.2023).
2. Росприроднадзор // Информация об охране атмосферного воздуха (rpn.gov.ru). URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/air-protect> (дата обращения: 20.02.2023).
3. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области / Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. Волгоград, 2021. 54 с.
4. Кладбище для CO₂: как устроены технологии улавливания и хранения углерода // Статьи экологии. 2021. 9 ноября (plus-one.ru). URL: <https://plus-one.ru/ecology/2021/11/09/kladbishche-dlya-co2> (дата обращения: 22.02.2023).
5. Переверзева С. А., Коносовский П. К., Тудвачев А. В., Хархордин И. Л. Захоронение промышленных выбросов



углекислого газа в геологические структуры // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. 2014. Вып. 1. С. 5–21.

6. 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»). Москва, 2007. URL: <https://e-ecolog.ru/docs/2Jr0SL1x81c3mXT2kd2Ma?ysclid=ll4hkuopl220259404> (дата обращения: 22.02.2023).

7. Нефтяные и газовые месторождения СССР: справочник: в двух книгах / под редакцией С. П. Максимова. Кн. первая. Европейская часть СССР. Москва : Недра, 1987. 303 с.

8. Региональный прогноз перспектив реализации проектов CCUS на территории Российской Федерации / Д. А. Новиков, Ф. Ф. Дульцев, И. И. Юрчик [и др.] ; Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН. Новосибирск, 2022. Вып. 1. С. 248–255.

Поступила в редакцию 04.05.2023; одобрена после рецензирования 10.07.2023; принята к публикации 28.07.2023
The article was submitted 04.05.2023; approved after reviewing 10.07.2023; accepted for publication 28.07.2023