

## **Особенности мировых проектов секвестрации CO<sub>2</sub>**

**Ромашева Н.В.**, к.э.н., доцент кафедры организации и управления,  
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

**Крук М.Н.**, к.э.н., доцент кафедры организации и управления,  
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

**Череповицын А.Е.**, д.э.н., профессор кафедры организации и управления,  
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** Статья посвящена анализу, обобщению и систематизации информации о реализованных и реализуемых проектах секвестрации CO<sub>2</sub>, отличающиеся по своим масштабам, отраслевой принадлежности, применяемым технологиям и геологическим условиям захоронения. Представлена информация о распределении активных, завершенных, приостановленных, остановленных по решению менеджмента, планируемых к реализации, проектов улавливания, захоронения и улавливания и захоронения CO<sub>2</sub> по частям света. Полученные результаты позволили выявить, систематизировать особенности действующих проектов секвестрации CO<sub>2</sub>. В процессе исследования были использованы кабинетные исследования, системный и сравнительный анализ, а теоретической и методологической основой работы явились исследования зарубежных и отечественных авторов, Интернет-ресурсы компаний, базы данных проектов.

**Ключевые слова:** глобальное потепление, изменение климата, парниковый эффект, углекислый газ, мировой опыт, перспективы, проекты секвестрации CO<sub>2</sub>, налог, государство, общество.

### **Features of global CO<sub>2</sub> sequestration projects**

**Romasheva N.V.**, PhD in Economics, Associate Professor of organization and management department, Saint-Petersburg mining university,

Saint-Petersburg, Russia

**Kruk M.N.**, PhD in Economics, Associate Professor of organization and management department, Saint-Petersburg mining university, Saint-Petersburg, Russia

**Cherepovicyn A.E.**, Doctor of Science, Economics, Professor Organization and management department, Saint-Petersburg mining university, Saint-Petersburg, Russia

**Annotation.** The article is devoted to the analysis, compilation and systematization of information on implemented and implemented CO<sub>2</sub> sequestration projects, differing in their scale, industry sector, applied technologies and geological conditions of burial. Information is presented on the distribution of active, completed, suspended, stopped by management decisions, planned for implementation, projects for capturing, storing and trapping and storing CO<sub>2</sub> in parts of the world. The obtained results allowed us to identify and systematize the features of existing projects of CO<sub>2</sub> sequestration. In the course of the study, desk studies, systemic and comparative analysis were used, and the theoretical and methodological basis of the work was the studies of foreign and domestic authors, companies' Internet resources, and a database of projects.

**Keywords:** global warming, climate change, greenhouse effect, carbon dioxide, world experience, prospects, CO<sub>2</sub> sequestration projects, tax, state, society.

Дискуссия о глобальном потеплении между ведущими учеными мира ведется примерно с середины прошлого века. Многие специалисты изменение климата на планете связывают с эмиссией техногенных парниковых газов, к которым относится углекислый газ. Однако, некоторые специалисты, например, международная группа ученых из Принстонского университета (США) и Института химии имени Макса Планка (Германия) пришла к выводу, что глобальное потепление связано не с деятельностью человека, а с высвобождением углекислого газа (CO<sub>2</sub>) из вод Южного океана [1,2].

Тем не менее, большинство ученых связывают климатические изменения на планете с выбросами парниковых газов, преимущественно CO<sub>2</sub>, которые возникают под действием антропогенных факторов, основными из которых являются:

- добыча и сжигание нефти, угля, газа и других полезных ископаемых;
- первичная переработка газа, переработка и обогащение нефти;
- восстановление железа;
- производство и использование удобрений.

Для решения проблемы глобального потепления разработан ряд способов, среди которых:

- отказ от использования органического топлива для выработки электроэнергии и удовлетворения прочих нужд мирового хозяйства;
- сокращение традиционной угольной энергетики;
- полный или частичный переход на возобновляемые источники энергии;
- развитие атомной энергетики;
- секвестрация CO<sub>2</sub>.

При этом, по мнению специалистов секвестрация углекислого газа, (улавливание и захоронение CO<sub>2</sub> – Carbon capture and storage - CCS), которая заключается в улавливании, подготовке, транспортировке, захоронении и мониторинге CO<sub>2</sub>, является критически важной для достижения цели сдерживания роста температуры на планете до 1,5°C. По прогнозам, вклад технологий секвестрации CO<sub>2</sub> в снижение накопления CO<sub>2</sub> в мировом масштабе к 2050 г. должен составлять не менее 13% [3].

CCS технологии постепенно развиваются по всему миру, происходит их внедрение на объекты, относящиеся к различным отраслям народного хозяйства. Опыт применения проектов CCS говорит о том, что секвестрация CO<sub>2</sub> представляет собой технологию, способную в перспективе решить проблемы выбросов углекислого газа на предприятиях, относящихся к различным отраслям промышленности [4,5].

В основу гипотезы исследования заложено предположение о целесообразности и перспективности масштабной реализации проектов секвестрации CO<sub>2</sub>. Предполагается, что проекты секвестрации CO<sub>2</sub> могут внести значительный вклад в снижение накопления CO<sub>2</sub> в мировом масштабе.

Целью исследования было на основе всестороннего анализа, обобщения, систематизации информации о реализованных и реализуемых проектах секвестрации CO<sub>2</sub>, выявить и оценить особенности реализации действующих проектов секвестрации в мире.

Проекты секвестрации достаточно подробно рассмотрены в зарубежных источниках, где эти проекты классифицируются по различным признакам, и исследуются проблемы возможности распространения данной технологии по всем странам мира. Однако, в отечественной литературе данный вопрос практически не освещается, что делает данное исследование безусловно актуальным.

Согласно базе данным Национальной лаборатории энергетических технологий (the National Energy Technology Laboratory – NETL) по сбору и хранению углерода [9], по состоянию на апрель 2018 года в мире насчитывалось порядка 305 проектов CCS<sup>1</sup>, из которых в открытом доступе имеется информация по 299 проектам. База данных включает сведения обо всех активных, планируемых и реализованных проектах CCS, что дает представление обществу об усилиях различных отраслей, групп и правительств, которые предпринимаются в целях развития и широкого внедрения технологии CCS.

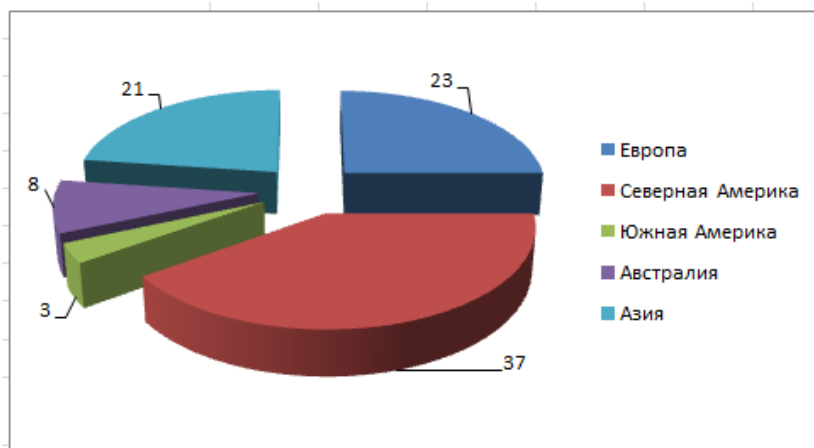
Данные проекты реализуются более чем в 30 странах мира, на 6 континентах и включают 76 проектов по улавливанию углерода, 76 проектов по захоронению углерода и 147 проектов по улавливанию и захоронению углерода. Из общего числа проектов, 93 проекта являются активными, 77

---

<sup>1</sup> В данной базе проекты, предусматривающие осуществление только улавливания или захоронения, а также проекты, предусматривающие и улавливание, и захоронение, называются проектами CCS

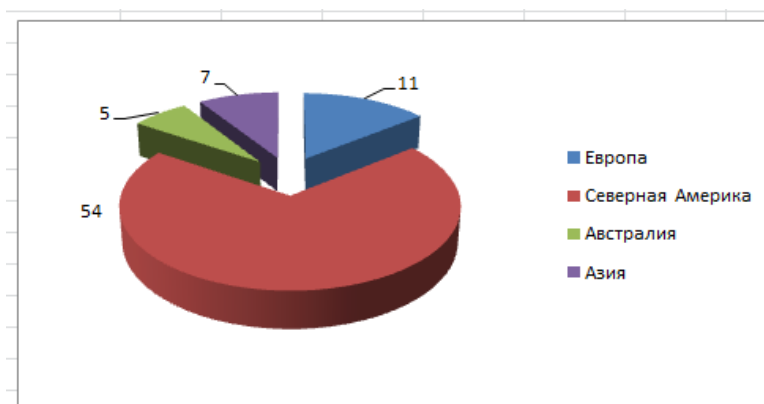
проектов завершены, 58 проектов остановлены по решению менеджмента, 36 проектов планируются к реализации и 35 проектов приостановлены.

На рисунках 1-5 представлено географическое распространение таких проектов в зависимости от состояния проекта.



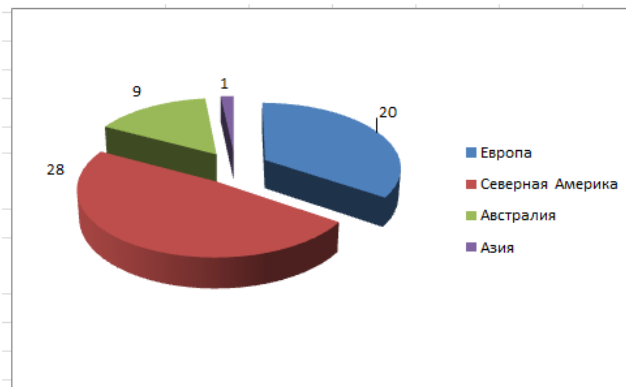
*Рис. 1 – Распределение активных проектов улавливания, захоронения и улавливания и захоронения CO2 по частям света (ед.)*

Как видно из рисунка 1 наибольшее количество активных проектов улавливания, захоронения и улавливания и захоронения CO2 приходится на Северную Америку, так в Соединенных Штатах Америки (США) реализуются порядка 30 проектов. Большое количество проектов реализуется также в Европе, при этом на Норвегию приходится проекты, большинство из которых относятся к крупномасштабным. На африканском континенте на сегодня реализуется один проект.



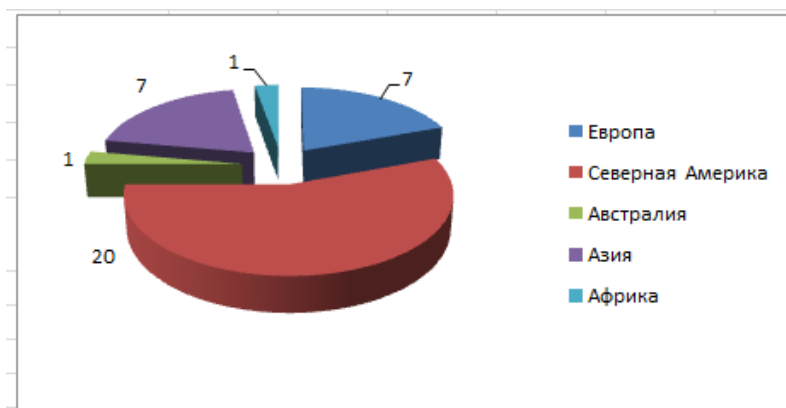
*Рис. 2 – Распределение завершенных проектов улавливания, захоронения и улавливания и захоронения CO2 по частям света (ед.)*

Как видно из рисунка 2 наибольшее количество завершенных проектов улавливания, захоронения и улавливания и захоронения CO<sub>2</sub> также приходится на Северную Америку, так в США завершено 49 проектов. В Южной Америке, а также в Африке пока нет ни одного завершеного проекта.



**Рис. 3 – Распределение проектов улавливания, захоронения и улавливания и захоронения CO<sub>2</sub>, остановленных по решению менеджмента по частям света (ед.)**

Как видно из рисунка 3 наибольшее количество остановленных по решению менеджмента проектов приходится на Северную Америку, а именно на США, так в США остановлено 25 проектов. Большое количество проектов также заморожено в Европе.



**Рис. 4 – Распределение планируемых к реализации проектов улавливания, захоронения и улавливания и захоронения CO<sub>2</sub> по частям света (ед.)**

Как видно из рисунка 4 наибольшее количество проектов, планируемых к реализации, приходится на Северную Америку. В Европе и Азии (преимущественно Китай) также планируется к реализации достаточное

количество проектов улавливания, захоронения, а также улавливания и захоронения CO<sub>2</sub>.

Таким образом, проекты улавливания, захоронения и улавливания и захоронения имеют достаточно широкую географию распространения. Лидирующую роль по количеству проектов занимают США, при этом интерес к проблеме также растёт в таких странах, как Австралия, Норвегия, Великобритания, Китай, Япония, Канада, Нидерланды.

На основе проведенного анализа действующих проектов секвестрации с использованием отечественных исследований [3,5,6], зарубежных открытых интернет ресурсов и баз данных [7,8] был составлен реестр, включающий такую информацию о проектах как наименование проекта, источник выбросов, технологические особенности, и другие особенности.

Таблица 1

**Особенности уникальных проектов секвестрации CO<sub>2</sub>**

№	Наименование проекта	Источник выбросов, технологические особенности	Особенности
1.	Sleipner Carbon Dioxide Capture and Storage Project	CO <sub>2</sub> выделяется во время первичной переработки природного газа, улавливается до сжигания, в трубопроводном транспорте нет необходимости (прямая закачка)	Первый успешный коммерческий проект, важный демонстрационный проект
2.	Snøhvit CO <sub>2</sub> Storage Project	CO <sub>2</sub> выделяется во время первичной переработки природного газа, улавливается до сжигания, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Самый северный проект в мире, а также первый проект, согласно которому углекислый газ проходит через самый протяженный в мире одноструйный подводный трубопровод
3.	Petrobras Lula Oil Field CCS Project	CO <sub>2</sub> выделяется во время первичной переработки природного газа, улавливается до сжигания, в трубопроводном транспорте нет необходимости (прямая закачка)	Лула – первое сверхгигантское месторождение, расположенное в сверхглубоких водах и самый значительный проект CCS в Бразилии.
4.	Abu Dhabi CCS Project	CO <sub>2</sub> образуется в процессе прямого восстановления железа на сталелитейном заводе, для улавливания используется промышленная сепарация, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Первый в мире коммерческий проект по улавливанию CO <sub>2</sub> на сталелитейном заводе.
5.	In Salah Carbon Dioxide Capture and Storage Project	CO <sub>2</sub> выделяется во время первичной переработки природного газа, улавливается до сжигания, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Первый промышленный проект в мире по хранению CO <sub>2</sub> в водяной оторочке газового месторождения, важный демонстрационный проект
6.	Gorgon Carbon Dioxide injection project	CO <sub>2</sub> выделяется во время первичной переработки природного газа, улавливается до сжигания, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Самый крупномасштабный проект в мире, направленный на значительное сокращение выбросов CO <sub>2</sub> путем подземного захоронения

7.	Boundary Dam Carbon Capture Project	CO <sub>2</sub> выделяется на электростанции, улавливается после сжигания, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Первая электростанция в мире, которая успешно использует технологию CCS
8.	Quest project	CO <sub>2</sub> выделяется при производстве водорода на заводе по производству синтетической нефти, улавливается путем промышленной сепарации, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Первый в мире коммерческим проектом CCS, где CO <sub>2</sub> выделяется в процесс переработки битуминозных песков
9.	Alberta Carbon Trunk Line (ACTL) with Agrium CO <sub>2</sub> Stream	CO <sub>2</sub> выделяется при производстве удобрений, улавливается путем промышленной сепарации, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Проект представляет собой сеть, обеспечивающая множественные точки входа для сбора CO <sub>2</sub> из различных источников. Выход на полную проектную мощность (14,5 млн тонн в год) сделает это проект крупнейшим проектом CCS в мире
10.	Alberta Carbon Trunk Line (ACTL) with North West Sturgeon Refinery CO <sub>2</sub> Stream	CO <sub>2</sub> выделяется при переработки нефти, улавливается путем промышленной сепарации, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	
11.	Great Plains Synfuel plant and Weyburn-Midale project	CO <sub>2</sub> выделяется при газификации угля, улавливается до сжигания, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Уникальный проект в силу того, CO <sub>2</sub> выделяется при газификации угля, улавливается, транспортируется на месторождения с целью повышения нефтеотдачи
12.	Enid Fertilizer CO <sub>2</sub> -EOR Project	CO <sub>2</sub> выделяется при производстве удобрений, улавливается путем промышленной сепарации, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Использование EOR на месторождениях Northeast Purdy и Brady Unit началось еще в 1982 году, однако только в 2003 году для этих целей стал использоваться CO <sub>2</sub> , полученный на заводе удобрений.
13.	Shute Creek Gas Processing Facility	CO <sub>2</sub> выделяется во время первичной переработки природного газа, улавливается путем промышленной сепарации, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	В рамках этого проекта для сепарации газа и удаления сероводорода применяется новая технология «Контролируемая зона замораживания».
14.	Century Plant	CO <sub>2</sub> выделяется во время первичной переработки природного газа, улавливается путем промышленной сепарации, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Проект является крупнейшим промышленным заводом для улавливания CO <sub>2</sub> в Северной Америке.
15.	Petra Nova Carbon Capture Project	CO <sub>2</sub> выделяется при производстве электроэнергии, улавливается после сжигания, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Установка Petra Nova является одной из двух действующих электростанций с улавливанием и хранением углерода (CCS) в мире и единственной в США.
16.	Air Products Steam Methane Reformer EOR Project	CO <sub>2</sub> выделяется при производстве водорода, улавливается путем промышленной сепарации, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Первый проект по улавливанию CO <sub>2</sub> на установках по производству водорода.
17.	Coffeyville Gasification Plan	CO <sub>2</sub> выделяется при производстве удобрений, улавливается путем промышленной сепарации, для транспортировки требуется трубопроводный транспорт	Применяется установка для сжатия CO <sub>2</sub> на заводе, которая разработана компанией Blue Source



Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-18-00210 «Разработка методологии оценки общественной эффективности проектов секвестрации углекислого газа»)

### Библиографический список

1. Лавренченко Г.К. Перспективы совершенствования и широкого использования CCS-технологий / Г.К. Лавренченко, А.В. Копытин // Технические газы. – 2015. – №2. – С. 3-15.
2. Рогозин М.Ю. Чем опасен парниковый эффект / М.Ю. Рогозин, Д.С. Иванченко // Молодой ученый. – 2017. – №51(185) – С. 120-124.
3. Сидорова К.И. Разработка технико-экономической модели улавливания CO<sub>2</sub> для энергетического сектора / К.И. Сидорова // Экология и промышленность России. – 2014. – №12. – С. 20-25.
4. Череповицын А.Е. О захоронении CO<sub>2</sub> в геологических формациях: экономико-общественные аспекты / А.Е. Череповицын, Н.В. Смирнова, А.А. Ильинова // Ресурсы Информация Снабжение Конкуренция. – 2013. – №4. – С. 171-174.
5. Череповицын А.Е. Целесообразность применения технологий секвестрации CO<sub>2</sub> в России / А.Е. Череповицын, К.И. Сидорова, Н.В. Смирнова // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2013. – №5. – С. 459-473.
6. Череповицын А.Е. Экономико-социальные аспекты развития технологий захвата и захоронения CO<sub>2</sub> в нефтегазовом комплексе России / А.Е. Череповицын // Записки Горного института. – 2015. – Т. 211. – С. 125-130.
7. Carbon Capture and Sequestration Technologies. – Режим доступа: <https://sequestration.mit.edu/tools/projects>
8. Global CCS Institute. Projects Database. – Режим доступа: <https://www.globalccsinstitute.com/projects>
9. The National Energy Technology Laboratory's (NETL) Carbon Capture and Storage (CCS) Database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.netl.doe.gov/research/coal/carbon-storage/worldwide-ccs-database>

## References

1. Lavrenchenko G.K. Prospects for the improvement and widespread use of CCS-technologies / G.K. Lavrenchenko, A.V. Kopytin // Technical gases. – 2015. – №2. – P. 3-15.
2. Rogozin M.Yu. What is dangerous greenhouse effect / M.Yu. Rogozin, D.S. Ivanchenko // Young scientist. – 2017. – №51 (185). – P. 120-124.
3. Sidorova K.I. Development of a techno-economic model for capturing CO<sub>2</sub> for the energy sector / K.I. Sidorov // Ecology and Industry of Russia. – 2014. – №12. – P. 20-25.
4. Cherepovitsyn A.E. On CO<sub>2</sub> burial in geological formations: economic and social aspects / A.E. Cherepovitsyn, N.V. Smirnova, A.A. Il'inova // Resources Information Provision Competition. – 2013. – №4. – P. 171-174.
5. Cherepovitsyn A.E. The expediency of using CO<sub>2</sub> sequestration technologies in Russia / A.E. Cherepovitsyn, K.I. Sidorova, N.V. Smirnova // Oil and gas business: electronic scientific journal. – 2013. – №5. – P. 459-473.
6. Cherepovitsyn A.E. Economic and social aspects of the development of technology for the capture and disposal of CO<sub>2</sub> in the oil and gas complex of Russia / A.E. Cherepovitsyn // Zapiski Mining Institute. – 2015. – T. 211. – P. 125-130.
7. Carbon Capture and Sequestration Technologies. – Access mode: <https://sequestration.mit.edu/tools/projects>
8. Global CCS Institute. Projects Database. – Access Mode: <https://www.globalccsinstitute.com/projects>
9. The National Energy Technology Laboratory's (NETL) Carbon Capture and Storage (CCS) Database [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.netl.doe.gov/research/coal/carbon-storage/worldwide-ccs-database>