



УГЛЕРОДНО-НЕЙТРАЛЬНЫЙ СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ — ТЕКУЩИЙ СТАТУС, ПЕРСПЕКТИВЫ И МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА

© Н.В. Купцов,
М.С. Самодуров, 2023



Н.В. Купцов*, **М.С. Самодуров**

Научно-Технический Центр «Газпром нефти» (ООО «Газпромнефть НТЦ»), РФ, Санкт Петербург

Электронный адрес: kuptsov.nv@gazprom-neft.ru

Введение. Направление декарбонизации сжиженного природного газа (СПГ) является современным и актуальным. С появления в середине 2019 года первой углеродно-нейтральной поставки СПГ реализовано более 30 сделок-поставок, в основном в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. По прогнозам газ в последующие десятилетия активного энергоперехода будет ключевым энергоносителем. Снижение выбросов CO₂ при его поставках является неотъемлемой частью устойчивого экологического развития стран и компаний. Это обуславливает растущий интерес компаний и ассоциаций (GIGNL, GECF) к развитию унифицированных методологий расчета и учета выбросов по всей цепочке производства, транспорта и потребления СПГ.

Материалы и методы. В статье выполнена систематизация международного опыта, оценены различные подходы к учету и снижению углеродного следа СПГ, использованы методы системного анализа научных исследований и отраслевых обзоров.

Результаты. В обзорном исследовании, описанном в данной статье, впервые в подробной форме на русском языке детализированы и освещены вопросы снижения углеродного следа по всей цепочке производства, транспорта и потребления СПГ. Усредненная партия в 70 000 т СПГ при производстве, транспорте и потреблении образует порядка выбросов 240 000 т CO₂-эквивалента. Для признания поставки СПГ углеродно-нейтральной необходимо нивелировать выбросы CO₂ во всем производственно-логистическом цикле. Существуют различные варианты снижения выбросов CO₂, которые разделяют на 3 категории: компенсация природными решениями, снижение выбросов за счет энергоэффективности, избегание выбросов за счет возобновляемых источников энергии и улавливания, очистки и хранения CO₂ в геологических структурах (CCS). Наибольшая доля выбросов, 67–75 %, возникает при конечном использовании СПГ с генерацией энергии на электростанции, а на процессы добычи природного газа, подготовки/сжижения, морского транспорта и регазификации приходится порядка 25–33 %. В настоящий момент компании компенсируют выбросы природными решениями (из портфелей природных проектов компаний или приобретенных на добровольных рынках углеродных единиц). В среднесрочной перспективе компании нацеливаются на улучшение энергоэффективности и внедрение ВИЭ, в долгосрочной перспективе — на улавливание и геологическое хранение (CCS).

Заключение. В результате проведенного анализа создана основа для дальнейших исследовательских и прикладных работ по декарбонизации СПГ или других углеводородных поставок продукции, что особенно актуально в связи с растущей заинтересованностью государства и промышленных предприятий в снижении углеродного следа.

Ключевые слова: сокращение выбросов углекислого газа, углеродно-нейтральный СПГ, зеленый СПГ, поставки СПГ, выбросы углекислого газа (CO₂), декарбонизация, ESG, энергопереход, улавливание и хранение углерода (CCS)

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Купцов Н.В., Самодуров М.С. Углеродно-нейтральный сжиженный природный газ — текущий статус, перспективы и методы снижения углеродного следа. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2023;8(1):138–146. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2023-8-1-138-146>

Статья поступила в редакцию 22.06.2022

Принята к публикации 01.11.2022

Опубликована 31.03.2023

CARBON NEUTRAL LIQUEFIED NATURAL GAS — CURRENT STATUS, PERSPECTIVES AND CARBON FOOTPRINT REDUCING METHODS

Nikolay V. Kuptsov*, **Maxim S. Samodurov**

Gazprom-neft STC LLC, RF, Saint Petersburg

E-mail: kuptsov.nv@gazprom-neft.ru

Background. The field of knowledge of LNG decarbonization is modern and relevant. Since the first carbon-neutral LNG supply appeared in mid-2019, more than 30 supply transactions have been completed (mainly to Asia-Pacific countries). Gas is expected to be a key energy carrier in the coming decades in period of active energy transition. Reducing CO₂ emissions during LNG supply is an essential part of the sustainable environmental development for countries

and companies. This causes the growing interest of companies and associations (GIIGNL, GEFCF) in the development of unified methodologies for calculating and accounting of emissions in whole the chain of production, transport and consumption of LNG.

Materials and methods. The article presents the overview of international experience and comparison of various approaches to account and minimize the carbon footprint of LNG. The methods of system analysis of scientific researches and industrial reports were used.

Results. The review study described in this article, for the first time in Russian, covers in detail the issues of reducing the carbon footprint for LNG. The average batch of 70,000 tons of LNG in production, transport and consumption generates emissions of about 240,000 tons of CO₂-equivalent. For LNG supply to be recognized as carbon neutral, CO₂ emissions from the full cycle of production, liquefaction/transport and consumption of natural gas must be included. It is emphasized that there are various options to reduce CO₂ emissions, which are divided into 3 categories: compensation with natural solutions, reducing emissions through energy efficiency, avoiding emissions through renewables and carbon capture and storage in geological reservoirs (CCS). The main share of emissions, 67–75%, comes from the end-use of LNG with combustion at power plants (Scope 3), while the processes of gas production, treatment / liquefaction, maritime transport and regasification (Scope 1, 2) account for about 25–33%. Companies currently offset their emissions with natural solutions (from companies' nature project portfolios or carbon credits purchased from voluntary markets). In the medium term, companies are aiming to improve energy efficiency and the introduction of renewable energy, in the long term — to capture and store in geological storages (CCS).

Conclusions. Finally, groundwork has been created for further researches and applied studies, which is especially relevant due to the growing interest of the government and industrial enterprises in reducing the carbon footprint.

Keywords: carbon reduction, carbon-neutral LNG, green LNG, LNG supply, emissions of carbon dioxide (CO₂), decarbonization, ESG, energy transition, carbon capture and storage (CCS)

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Kuptsov N.V., Samodurov M.S. Carbon neutral liquefied natural gas — current status, perspectives and carbon footprint reducing methods. PRONEFT. Professionally about oil. 2023;8(1):138–146. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2023-8-1-138-146>

Manuscript received 22.06.2022

Accepted 01.11.2022

Published 31.03.2023

ВВЕДЕНИЕ

Направление ESG является комплексным, в его основе — ответственное отношение к процессам деятельности компании. Фокусы внимания разделяют на следующие: экология (E — environment), общество и сотрудники (S — social), корпоративное управление (G — government).

С точки зрения экологии (E) стратегической целью является снижение негативного влияния на окружающую среду. Парижское соглашение (2016 год) и климатический пакт Глазго (2021 год) сформировали принципы снижения выбросов парниковых газов для удержания общемировой температуры менее 2 °C сверх доиндустриальных уровней начала XX века. Обязательства по достижению чистого нулевого уровня выбросов приняла государства, на которые приходится более 90 % мирового ВВП. Правительства большинства развитых стран вводят элементы углеродного регулирования, в том числе устанавливая цены на выбросы CO₂, что влияет на экономику стран и международный торговый баланс. Большинство зрелых компаний формируют долгосрочные стратегии развития с акцентом на меньшую углеродную интенсивность и снижение воздействия на окружающую среду

(как минимум по охватам Scope 1+2, а также по Scope 3¹).

Многие прогнозы отмечают, что газ по-прежнему будет играть заметную роль в энергетическом балансе в ближайшие десятилетия даже в случае масштабного внедрения возобновляемых источников энергии. В связи с возрастающими объемами рынка сжиженного природного газа (СПГ) учет и сокращение выбросов парниковых газов (в частности, CO₂) по всей цепочке СПГ становятся важными компонентами торговли. Это формирует концепцию СПГ со сниженным углеродным следом (в отдельных источниках его называют «углеродно-нейтральным» или «зеленым»).

Основной целью данной статьи является анализ и обзор практических решений снижения углеродного следа СПГ, накопленных в мировых исследованиях. Подобная систематизация вносит вклад в общественно-научную информированность и является основой для последующих исследований в РФ.

¹ Scope 1 — прямые выбросы от источников, находящихся в собственности или под контролем отчитывающейся организации; Scope 2 — косвенные энергетические выбросы; Scope 3 — учитывает все прочие косвенные эмиссии парниковых газов.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В исследованиях [1–4] рассмотрены более 30 поставок различных грузов морскими судами (в основном СПГ, но также встречаются нефть, конденсат, сжиженные углеводородные газы, этилен) с компенсацией выбросов в 2019–2022 годах. Внимание акцентируется на возмещениях (офсеты) углеродного следа за счет покупки квот на выбросы CO₂ на добровольных рынках верифицированных углеродных единиц (VCM — voluntary carbon market). При этом затрагивается проблема необходимости унификации измерений и расчетов объемов выбросов CO₂ на различных этапах производственной цепочки. В частности, в исследованиях [5, 6] выполнен сравнительный анализ интенсивности выбросов на этапах производственной цепочки в различных странах.

СПГ-ПРОЕКТЫ «ЯМАЛ СПГ» И «АРКТИК СПГ-2» НАПРАВЛЕННЫ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ CO₂ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ.

Оператор проекта «Сахалин-2» (первая поставка «зеленого» СПГ из РФ) компания Sakhalin Energy занимается вопросами снижения углеродного следа, изначально фокусируясь на VCM-офсетах. Компания рассматривает возможность внедрения решения по энергоэффективности, улавливанию и геологическому хранению CO₂ (CCS — carbon capture and storage) [7]. Помимо этого, компания «Новатэк» на СПГ-проектах «Ямал СПГ» и «Арктик СПГ-2» планирует повышение энергоэффективности производства, CCS, замещение части топливного газа водородом, генерацию электроэнергии на возобновляющихся источниках энергии (ВИЭ) [8].

НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Снижение углеродного следа СПГ является достаточно новой международной задачей, в настоящий момент еще не решена проблема создания единой методологии расчетов выбросов, учитывающей характеристики сырья и оборудования по всей цепочке СПГ. Ряд компаний и ассоциации (импортеры GIGNL [9], форум экспортеров GECCF) занимаются обоснованием и разработкой унифицированной методологии. В частности, Chevron, Qatar Energy и Pavilion в 2021 году выпустили первую редакцию справочника по расчетам выбросов при поставках СПГ [10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В статье выполнена систематизация международного опыта, оценены различные подходы к учету и снижению углеродного следа СПГ по всей цепочке производства, транспорта и потребления. Использованы методы системного анализа научных исследований и отраслевых обзоров.

РЕЗУЛЬТАТЫ

ГРАНИЦЫ ЦЕПОЧКИ СПГ

Выбросы парниковых газов в различных объемах возникают на всех этапах производственной, транспортной и потребительской цепочки СПГ — от добычи до полезного использования при генерации энергии. Расчет количества парниковых газов заключается в суммировании выбросов на каждой производственной операции, включая потенциал сохранения отдельных веществ за определенный период времени, в том числе углекислого газа (CO₂), метана (CH₄), закиси азота (N₂O), дифторуглеродов (HFC), перфторуглеродов (PFC) и гексафторида серы (SF₆), итог вычислений обычно считается в приведенном CO₂-эквиваленте.

С точки зрения учета выбросов по производственной цепочке СПГ от скважины до потребителя существует несколько подходов.

1. Изолированное сложение выбросов CO₂ от отдельных процессов по функциональному принципу «производство 1 т СПГ → морская транспортировка 1 т СПГ → регазификация 1 т СПГ → производство 1 МВт энергии» (рис. 1).
2. По секторам нефтегазовой отрасли «апстрим — мидстрим — даунстрим» [11]. При этом процесс сжижения СПГ в различных источниках относят как к мидстриму [10], так и апстриму [7]. Это зависит от точки зрения: в вертикально-интегрированных компаниях «Новатэк» и Qatar Energy порты сжижения Сабетта и Ras Laffan находятся вблизи объектов добычи в ведении единого оператора; в проектах отдельных портовых компаний, например в США, порты сжижения Freeport и Cameron являются изолированными объектами профильных компаний (рис. 2).
3. По охватам выбросов в соответствии с Greenhouse Gas Protocol (протокол о парниковом газе — мировой стандарт по учету выбросов парниковых газов): Score 1 — прямые выбросы предприятия от производства; Score 2 — косвенные выбросы от деятельности (обычно потребление электроэнергии при производстве

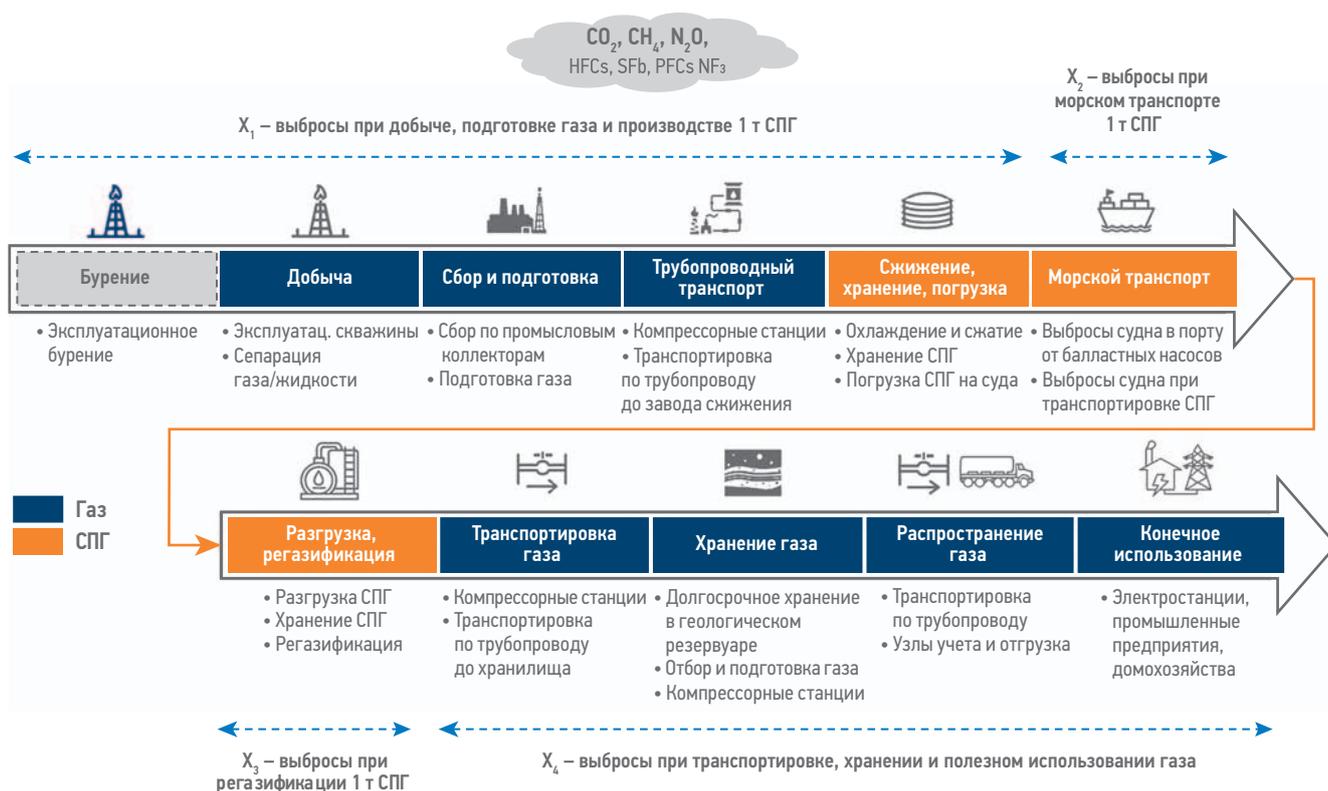


Рис. 1. Образование выбросов в цепочке газа/СПГ с точки зрения производственных процессов [6]
Fig. 1. Emission in the gas/LNG chain in terms of production processes [6]

продукции); Score 3 — остальные выбросы от всей цепочки жизненного цикла продукции, не связанные с ее производством (закупка сырья, доставка, продажа, использование, утилизация и др.). Нумерация охватов зависит от того, какая компания находится в центре рассмотрения и занимается снижением углеродного следа. Вариативность охватов представлена в табл. 1.

ВАРИАНТЫ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ СПГ УГЛЕРОДНОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ

В настоящий момент существуют и разрабатываются различные методологии расчета выбросов CO_2 ,

не противоречащие стандартам ISO. В стандарте ISO 14044 «Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines» приведены предпосылки к определению жизненного цикла продукции. Методология измерений углеродного следа для природного газа приведена в ISO 14067 «Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification», а определения, касающиеся поставок углеродно-нейтральной продукции, приведены в ISO 14021 «Environmental labels and declarations. Self-declared environmental claims (Type II environmental labeling)». В соответствии с данными стандартами требуется покрытие полного объема выбросов



Рис. 2. Распределение цепочки СПГ и выбросов углекислого газа по секторам нефтегазовой отрасли
Fig. 2. Distribution of the LNG emissions in chain of oil and gas industry sectors

Таблица 1. Вариативность охватов парниковых газов [4]
Table 1. Variability in greenhouse gas coverage [4]

Сторона/компания	Охват выбросов		
	Апстрим (добыча, подготовка, транспорт до терминала, сжижение)	Мидстрим (морской транспорт, регазификация)	Даунстрим (производство энергии на электростанции)
Производитель СПГ	Score 1, 2	Score 3	Score 3
Судоходная компания	Score 3	Score 1, 2	Score 3
Потребитель СПГ	Score 3	Score 3	Score 1, 2

парниковых газов при производстве, транспорте и потреблении продукции, чтобы соответствовать статусу углеродно-нейтральной продукции.

За прошлые 30 лет более 200 различных проектов сертифицированы с подтверждениями о снижении выбросов [2]. Для признания поставки СПГ углеродно-нейтральной существуют различные варианты нивелирования выбросов CO₂, которые разделяются на 3 категории (рис. 3) [1–4, 7].

1. Компенсация природными решениями:
 - предотвращение природных потерь, т.е. охрана существующих естественных поглотителей углерода (леса, луга, торфяники и др.);
 - природное удаление с посадкой новых естественных поглотителей (лесонасаждение, регенеративное земледелие и др.).
2. Снижение выбросов за счет улучшения энергоэффективности.

3. Избегание выбросов с применением долгосрочных технологических решений.

ОБЪЕМ ВЫБРОСОВ В ЦЕПОЧКЕ ПРОИЗВОДСТВА И ТРАНСПОРТИРОВКИ СПГ

В настоящий момент большинство компаний (Shell, Mitsui, JERA, «Газпром» и др.) при расчете объемов выбросов используют упрощенную методологию Департамента бизнеса, энергии и промышленной стратегии Великобритании [12] по которой при производстве, транспорте и потреблении усредненной партии в 70 000 т СПГ образуется выбросов порядка 240 000 т CO₂-эквивалента (Score 1, 2 и 3 с точки зрения производителя СПГ). Количество парниковых газов, выбрасываемых источником, — это усредненные значения по наборам данных Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК/ИРСС). Выбросы для СПГ являются суммой отдельных парниковых газов (CO₂, CH₄, N₂O, HFC,

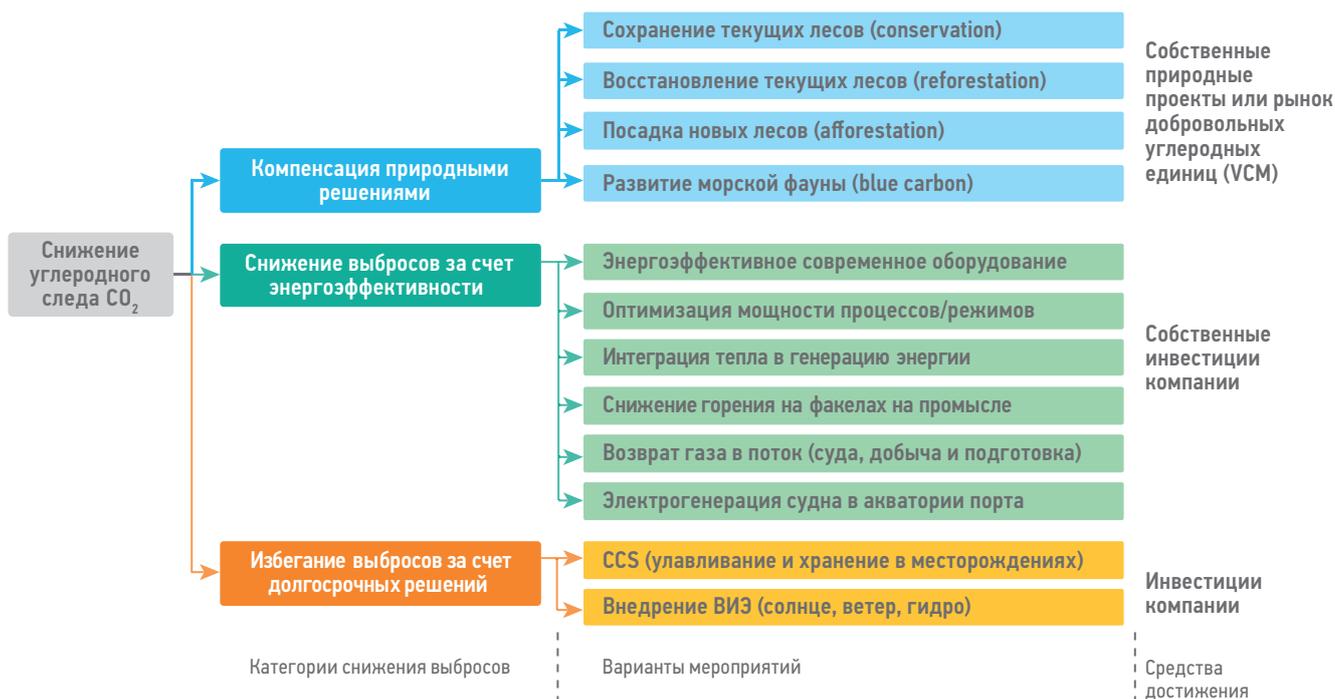


Рис. 3. Категории, варианты мероприятий и средства снижения выбросов СПГ. Составлено авторами
Fig. 3. Categories, action options and resources to reduce LNG emissions. Prepared by the authors

PFC, SF₆) при производственных операциях, что в итоге приводит к следующим значениям CO₂-экв:

$$1 \text{ т СПГ} = 3,42 \text{ т CO}_2\text{-экв}, \quad (1)$$

$$1 \text{ т СПГ} = S_{1,2} + S_3 = 0,88 \text{ т CO}_2\text{-экв} + 2,54 \text{ т CO}_2\text{-экв}, \quad (2)$$

$$70 \text{ 000 т СПГ} = 63 \text{ 700 т CO}_2\text{-экв} + 177 \text{ 800 т CO}_2\text{-экв} = 239 \text{ 400 т CO}_2\text{-экв}, \quad (3)$$

где S_{1,2} — это охват выбросов Score 1 (производство СПГ) и Score 2 (морской транспорт и регазификация СПГ); S₃ — это охват выбросов Score 3 (производство энергии электростанцией).

В настоящий момент для создания прецедентов углеродно-нейтральных поставок прибегают к упрощению в масштабах всей отрасли. Однако детализированный расчет выбросов по всей цепочке цикла СПГ значительно сложнее, в связи с этим разрабатывается отдельная методология [10]. Это связано с тем, что выбросы охватывают различные производственные процессы, оборудование и характеристики газа. Объем выбросов различается в соответствии с расчетами различных авторов (**табл. 2**): наибольшая доля (67–75 %) возникает при конечном использовании СПГ с генерацией энергии на электростанции; на процессы добычи, подготовки и морского транспорта и регазификации приходится 25–33 % от общего объема выбросов.

СДЕЛКИ С СПГ СО СНИЖЕНИЕМ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА

Первая поставка СПГ с компенсацией выбросов CO₂ выполнена компанией Shell в середине 2019 года, до января 2022 года заключено более 30 сделок (**табл. 3**), 90 % из которых выполнены с поставкой на рынки Азиатско-Тихоокеанского региона (Япония, Китай, Ю. Корея). Развитие направления в том числе обусловлено образованием в Японии в 2021 году альянса из 15 компаний-покупателей (Tokyo Gas, Toshiba, Asahi, Isuzu, Olympus и др.), целью которого является

распространение углеродно-нейтрального СПГ для устойчивого развития и улучшения экологии страны.

Необходимо отметить, что помимо СПГ подобные сделки заключались единично с прочими грузами углеводородов: нефть, конденсат, этилен.

Корпоративным лидером по углеродно-нейтральному СПГ является компания Shell, участвовавшая в 11 сделках. В РФ подобные сделки выполнялись с газом проектов «Ямал СПГ» (март 2021 года) и «Сахалин-2» (сентябрь 2021 года).

Практически все компании возмещали углеродный след с помощью природных офсетов с добровольного рынка углеродных единиц (стандарты/ механизмы верификации CDM, VCS, CCB) или из собственного портфеля природных проектов (компания Shell, Mitsui). В большинстве случаев (70–80 %) возмещение затрагивало полный цикл от скважины до производства электроэнергии (Score 1, 2, 3), в 20–30 % — от скважины до регазификации (Score 1, 2).

У специалистов и общественности возникают опасения, что информация по сделкам не раскрывается, включая цены за углеродные единицы. Компании и биржи ссылаются на положения о конфиденциальности. Фактически углеродный след компенсируется проектами природных решений, а не уменьшается в атмосфере, при этом в годовых отчетах компаний декларируются экологические выгоды без подробных расчетов [2]. Компании заявляют, что занимаются тестированием механизмов возмещения углеродного следа и популяризацией подобной практики для становления рынка — в дальнейшем более подробная отчетность должна последовать.

СТРАТЕГИИ КОМПАНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА

Производители СПГ придерживаются различных стратегий снижения углеродного следа. В текущем моменте в основном

Таблица 2. Объем выбросов в различных сегментах в цепочки СПГ
Table 2. Emissions by different segments of the LNG chain

Источник	Доля выбросов в цепочке СПГ				
	Добыча, подготовка, транспорт до терминала	Сжижение	Морской транспорт	Ревазификация	Производство энергии
Bloomberg NEF [13]	7–19 %	8–10 %	3–4 %	3–5 %	67–79 %
Columbia SIPA [1]	12,5 %	8,2 %	4 %	0,3 %	75 %
Gas exporting countries forum [14]	3 %	12,5 %	3 %	6,5 %	75 %
PACE global [5]	10,2–11,2 %	7,2–10,1 %	3,3–6,8 %	0,2–0,4 %	71,4–79,1 %
Sakhalin Energy [7]	12 %		88 %		

Таблица 3. Поставки СПГ с компенсацией выбросов CO₂
Table 3. Supply of LNG with CO₂ compensation

Дата	Поставщик	Покупатель	Рынок	Охват	Возмещение
июнь 2019 г.	Shell	Tokyo Gas	Япония	Score 1, 2, 3	Портфель Shell прир. решений
июнь 2019 г.	Shell	GS Energy	Ю. Корея	Score 1, 2, 3	
июнь 2019 г.	JERA	-	Индия	Score 3	CDM ¹
март 2020 г.	Shell	CPC	Тайвань	Score 1, 2, 3	Портфель Shell
июнь 2020 г.	Shell (x2)	CNOOC (x2)	Китай	Score 1, 2, 3	Портфель Shell
сент. 2020 г.	QP Trading	CNOOC	Китай	Score 1, 2, 3	VCS ²
окт. 2020 г.	Total	CNOOC	Китай	Score 1, 2, 3	VCS
нояб. 2020 г.	Shell	CPC	Тайвань	Score 1, 2, 3	Портфель Shell
март 2021 г.	Mitsui	Hokkaido Gas	Япония	Score 1, 2, 3	Портфель Mitsui
март 2021 г.	Gazprom	Shell	Великобр.	Score 1, 2, 3	VCS
март 2021 г.	RWE	POSCO	Ю. Корея	Score 1, 2	VCS
апр. 2021 г.	Mitsubishi/DGI	Toho Gas	Япония	-	-
апр. 2021 г.	-	Pavillion	Сингапур	Score 1, 2	VCS + CCB ³
май 2021 г.	Cheniere	Shell	Европа	Score 1, 2	Портфель Shell
июнь 2021 г.	Oman LNG	Shell	АТР	Score 1, 2, 3	-
июнь 2021 г.	Total	CNOOC	Китай	Score 1, 2, 3	VCS
июнь 2021 г.	Shell	Astomos	Япония	Score 1, 2, 3	Портфель Shell
июль 2021 г.	Shell	Petrochina	Китай	Score 1, 2, 3	Портфель Shell
июль 2021 г.	INPEX	-	Япония	Score 1, 2, 3	-
июль 2021 г.	Shell/Brunei LNG	Osaka Gas	Япония	Score 1, 2, 3	Портфель Shell
июль 2021 г.	BP + Sempra	IEpowa	Мексика	Score 1, 2	Прир. решения
июль 2021 г.	-	AES	Доминикана	Score 1, 2	ВИЭ
авг. 2021 г.	ENI	CPC	Тайвань	Score 1, 2, 3	VCS + CCB
авг. 2021 г.	Petronas	Shikoku	Япония	Score 1, 2	VCS
сент. 2021 г.	Ichthys LNG	Inpex	Япония	Score 1, 2, 3	VCS
сент. 2021 г.	INPEX	Shizuoka Gas	Япония	Score 1, 2, 3	VCS
сент. 2021 г.	BP	CPC	Тайвань	Score 1, 2	-
сент. 2021 г.	Sakhalin Energy	Toho Gas	Япония	-	VCS
окт. 2021 г.	DGI	JAPEX	Япония	-	-
дек. 2021 г.	CNOOC	CNOOC	Китай	Score 1, 2, 3	-
янв. 2022 г.	Petronas	Hiroshima Gas	Япония	-	-

Стандарты верификации углеродных единиц: 1 — Clean Development Mechanism (CDM); 2 – Verified Carbon Standard (VCS); 3 — Climate Community and Biodiversity (CCB) Standard.

применяются компенсирующие природные решения. В среднесрочной перспективе практически все компании нацелены на улучшение энергоэффективности и внедрение ВИЭ в производственной цепочке, а в долгосрочной перспективе рассматривают CCS. Сравнение стратегий компаний по снижению углеродного следа СПГ приведено в **табл. 4**.

На данный момент только СПГ-проекты Gorgon (Австралия) с 3,4 млн т CO₂/год и Snohvit (Норвегия) с 0,7 млн т CO₂/год улавливают и хранят CO₂ в геологическом пласте (CCS), что является сложной технологией, позволяющей фактически избежать выбросов при производственной деятельности. Прочие проекты нацеливаются на внедрение

Таблица 4. Стратегии компаний по снижению углеродного следа СПГ [13]
Table 4. Companies' strategies to reduce the carbon footprint of LNG [13]

Компания	Варианты снижения углеродного следа СПГ				
	Природные решения (оффсеты)	Энергоэффективность	CCS	ВИЭ	Возврат отпарных газов
Qatar Energy (проект Ras Laffan)		+	+	+	+
Chevron (Gorgon)		+	+		
Equinor (Hammerfest)		+	+		
Petronas (Bintulu)		+		+	+
Novatek (Ямал СПГ)		+	+	+	
Shell, Total, Mitsui, Vitol, RWE, JERA, Gazprom	+				

CCS в качестве неотъемлемой части производственной цепочки после 2025 года:

- Австралия: Darwin (1,7 млн т CO₂/год с 2025 года);
- Индонезия: Tangguh (25 млн т CO₂ за жизненный цикл проекта с 2026 года)
- Малайзия: Bintulu (3,7 млн т CO₂/год с 2025 года);
- Катар: Qatar LNG (5 млн т CO₂/год с 2025 года);
- Россия: компания «Новатэк» изучает геологические участки на Ямале (проект «Ямал СПГ») и Гыдане (проект «Арктик СПГ-2») для дальнейшего применения CCS;
- США: Cameron (4,5 млн т CO₂/год), Plaquemines (0,25 млн т CO₂/год с 2024 г.); Rio Grande (5 млн т CO₂/год с 2024 года).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненного системного анализа отмечено:

1. Существуют несколько подходов в представлении данных по выбросам парниковых газов (обычно приведенных к CO₂-эквиваленту): изолированное сложение при отдельных процессах, по секторам нефтегазовой отрасли «апстрим — мидстрим — даунстрим», по охватам Scope 1, 2, 3.
2. Для признания поставки СПГ углеродно-нейтральной необходимо покрыть полный цикл выбросов при производстве, транспорте и потреблении. Существуют различные варианты снижения выбросов CO₂, которые разделяют на 3 категории: компен-

- сация природными решениями, снижение выбросов за счет энергоэффективности, избегание выбросов за счет ВИЭ и CCS.
3. Производство, транспорт и потребление усредненной партии в 70 000 т СПГ образует выбросов порядка 240 000 т CO₂-эквивалента (1 т СПГ = 3,42 т CO₂-экв), что включает сумму отдельных парниковых газов (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆) при производственных операциях. При этом ряд компаний и ассоциации GIGNL, GECF занимаются разработкой детализированной унифицированной методологией расчета выбросов.
 4. Наибольшая доля выбросов, 67–75 %, возникает при конечном использовании СПГ с генерацией энергии на электростанции, а на процессы добычи, подготовки и морского транспорта и регазификации приходится порядка 25–33 %.
 5. С середины 2019 по январь 2022 года отмечено становление и популяризация поставок СПГ с компенсацией выбросов CO₂ (заключено более 30 сделок), большинство выполнены в страны АТР (Япония, Китай, Ю. Корея).
 6. В настоящий момент снижение углеродного следа СПГ компенсируют природными решениями (из портфелей природных проектов компаний или приобретённых углеродных единиц), в среднесрочной перспективе компании нацелены на улучшение энергоэффективности и внедрение ВИЭ, в долгосрочной перспективе — улавливание и геологическое хранение CO₂ (CCS).

Список литературы / References

1. Blanton E., Mosis S. The carbon-neutral LNG market: creating a framework for real emissions reductions // Columbia SIPA. Center on Global Energy Policy. — 2021. — 31 p.
2. Bose A., Cohen J., Fattouh B., Johnson, O. Spilker G. Voluntary markets for carbon offsets: Evolution and lessons for the LNG market // Oxford Institute for Energy Studies. — 2021. — 22 p.
3. Roach B., Kendrick N., Wong Z. Carbon-Neutral LNG // Gibson Dunn. — 2022. — 8 p.
4. Howell N., Lazarovitch R., Quingley A. Decarbonising the LNG industry // Bracewell. — 2022. — 5 p.

5. LNG and coal life cycle assessment of greenhouse gas emissions / PACE Global. — 2015. — 86 p.
6. Roman-White S.A., Littlefield J.A., Fleury K.G., Allen D.T., Balcombe P., Konschnik K.E., Ewing J., Ross G.B., George F. LNG Supply Chains: A Supplier-Specific Life-Cycle Assessment for Improved Emission Accounting // ACS Sustainable Chem. Eng. — 2021. — 9 (32). — PP. 10857–10867.
7. Green LNG strategy. Leading in LNG markets during energy transition / Sakhalin Energy Investment Company Ltd. — 35th meeting of Working Group 2 "Internal Markets" (WS2). EU-Russia Gas Advisory Council (GAC). — 2021. — 20 p.
8. Отчет в области устойчивого развития 2020 / Новатэк. — 2021. — 199 с. [Sustainability Report 2020. Novatek, 2021, 199 p. (In Russ.)]
9. MRV and GHG Neutral LN Framework / GIIGNL. — 2021. — 42 p.
10. The SGE methodology. GHG methodology for delivered LNG cargoes. First edition / Chevron, Qatar Energy, Pavilion Energy. — 2021. — 112 p.
11. Гильманова Р.И. Современное состояние нефтегазосервисного сектора экономики, его структура // Производственный менеджмент: теория, методология, практика. — 2016. — 5. — С. 140–144. [Gilmanova R.I. The current state of the oil and gas service sector of the economy, its structure. Industrial management: theory, methodology, practice. 2016, vol. 5, p. 140–144 (In Russ.)]
12. Greenhouse gas reporting: conversion factors 2021. Condenset set / UK department for business, energy & industrial strategy. — 2022. — 15 p.
13. Carbon neutral LNG: Suppliers focus on optionality, transparency and CCS. [электронный ресурс]. — BloombergNEF. — 2021. Режим доступа: <https://www.bloomberg.com/professional/blog/carbon-neutral-lng-suppliers-focus-on-optionality-transparency-and-ccs/> (дата обращения 18.06.2022).
14. GECF's Annual Short Term Gas Market Report 2021 / Gas Exporting Countries Forum (GECF). — 2021. — 138 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Н.В. Купцов — разработал общую концепцию статьи, подготовил текст статьи и рисунки, утвердил итоговую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

М.С. Самодуров — выполнил аналитику для разделов статьи, отредактировал публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Nikolay V. Kuptsov — developed the article general concept, prepared the text and pictures, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Maxim S. Samodurov — prepared analysis for sections of the article, revised the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Николай Владимирович Купцов* — кандидат технических наук, руководитель проекта по улавливанию, транспорту и хранению CO₂, ООО «Газпромнефть НТЦ»
190000, Россия, г. Санкт-Петербург,
Набережная реки Мойки, д. 75–79, литер Д,
e-mail: kuptsov.nv@gazprom-neft.ru
SPIN-код: 5069-2444
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7001-7738>
Scopus: 56233510800

Максим Сергеевич Самодуров — главный специалист, ООО «Газпромнефть НТЦ»
190000, Россия, г. Санкт-Петербург,
Набережная реки Мойки, д. 75–79, литер Д,
e-mail: samodurov.ms@gazpromneft-ntc.ru

Nikolay V. Kuptsov* — Cand. Sci. (Techn.), Project manager in capture, transport and storage of CO₂, Gazpromneft STC LLC
75–79 liter D, Moika River emb., 190000,
Saint Petersburg, Russia.
e-mail: kuptsov.nv@gazprom-neft.ru
SPIN-code: 5069-2444
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7001-7738>
Scopus: 56233510800

Maxim S. Samodurov — Specialist, Gazpromneft STC LLC
75–79 liter D, Moika River emb., 190000,
Saint Petersburg, Russia.
e-mail: samodurov.ms@gazpromneft-ntc.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author