

УДК 502.35

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ СЕКВЕСТРАЦИИ CO₂ В РОССИИ

CCS TECHNOLOGIES AND FEASIBILITY OF THEIR APPLICATION CO₂ IN RUSSIA

Череповицын А.Е., Сидорова К.И., Смирнова Н.В.
Национальный Минерально-Сырьевой Университет «Горный»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

A.E. Cherepovitsyn, K.I. Sidorova, N.V. Smirnova
National Mineral Resources University «Mining»,
St. Petersburg, the Russian Federation

e-mail: alekseicherepov@inbox.ru

Аннотация. Статья посвящена решению вопроса о целесообразности внедрения в России технологий секвестрации углекислого газа в целях снижения антропогенного воздействия на климат. Авторами сделан обзор основных элементов цепи секвестрации – захвата, транспортировки и захоронения углекислого газа, а также описаны существующие технологии на каждом из этих этапов. Представлены основные принципы технологий геологического захоронения CO₂ в глубинных соленосных формациях, выработанных нефтегазовых месторождениях, неразрабатываемых угольных пластах. Проанализирована степень их зрелости, а также выделены перспективные направления развития. Для доказательства целесообразности внедрения технологии вообще, и в России в частности, проведён анализ аргументов за и против секвестрации CO₂, отражённый на карте аргументации. При этом рассмотрены такие аспекты, как влияние на климат, особенности технологии, её безопасность, экономическая эффективность, международные отношения, общественное восприятие и влияние на энергетику. Отмечено, что отказ от участия России в международных конвенциях, направленных на снижение эмиссии CO₂ может привести к значительному научно-техническому отставанию российской энергетики и промышленности от развитых стран в долгосрочной перспективе. Исходя из анализа аргументов, сделан вывод о целесообразности применения технологии в России.

Abstract. The article is devoted to the issue of feasibility of CCS technology application in Russia to mitigate climate change. The authors made a review of the key elements of a CCS chain - CO₂ capture, transport and storage, and described existing technologies on each stage. The basic principles of technology of geological storage of

CO₂ in deep saline formations, depleted oil and gas fields and undeveloped coal beds are presented. The level of their maturity is evaluated, promising trends are highlighted. In order to prove the feasibility of CCS in general and particularly in Russia a pro/contra analysis is carried out, which is reflected in the argument map. Such topics as impact on climate, technology characteristics, its safety, economic efficiency, international policies, public acceptance and influence on energy are taken into account. Noted that the refusal of Russia's participation in international conventions aimed at reducing CO₂ emissions can lead to a significant scientific and technological lagging of the Russian energy and industry from developed countries in the long term. Basing on the argument analysis a conclusion is drawn on the feasibility of CCS technology application in Russia.

Ключевые слова: глобальное потепление, углекислый газ, технологии секвестрации, карта аргументации, целесообразность секвестрации в России.

Key words: global warming, carbondioxide, CCS technologies, argument map, CCS feasibility in Russia.

Проблема глобального потепления климата, ставшая необычайно актуальной в последние годы, непосредственно связана с парниковым эффектом. Практически все виды человеческой деятельности, так или иначе, увеличивают выбросы парниковых газов, в первую очередь CO₂, в атмосферу. Сокращение и стабилизация эмиссий CO₂ является одной из приоритетных задач для мировой общественности.

Существуют различные способы решения данной проблемы, но большинство из них – отказ от органического топлива, переход на возобновляемые источники энергии – на сегодняшний день, ни технологически, ни экономически не способны обеспечить растущую потребность в производстве энергии; другие – например, атомная энергетика – вызывают сомнения в плане долгосрочной безопасности.

Секвестрация углекислого газа (CCS, Carbon Capture and Storage) – процесс захвата CO₂ из источника выбросов, транспортировка и долгосрочное захоронение в геологических формациях – представляется связующим звеном между сегодняшней энергетикой органического топлива и последующим переходом к возобновляемым источникам энергии. Помимо экологических выгод, данная технология позволяет получать дополнительный эффект от закачки CO₂ под землю – повышение нефте- и газоотдачи, извлечение угольного метана.

В России пока отсутствуют проекты секвестрации CO₂, однако в таких странах, как США, Норвегия, Нидерланды, Австралия, уже имеется опыт исследований в данном направлении. Использование зарубежного опыта может помочь выявить ключевые аргументы «за» и «против» внедрения технологий CCS в России.

Основные элементы цепи CCS

Нельзя сказать, что секвестрация CO_2 представляет собой единую технологию – на каждом из трёх основных её этапов (захват, транспортировка, захоронение) существует несколько возможных опций, которые могут комбинироваться друг с другом для формирования более гибкой и эффективной системы. Это делает существующие проекты столь непохожими друг на друга, но это, же и усложняет процесс разработки единых методов для их технико-экономической оценки.

На рисунке 1 приведена обобщённая схема существующих опций на каждой ступени CCS.

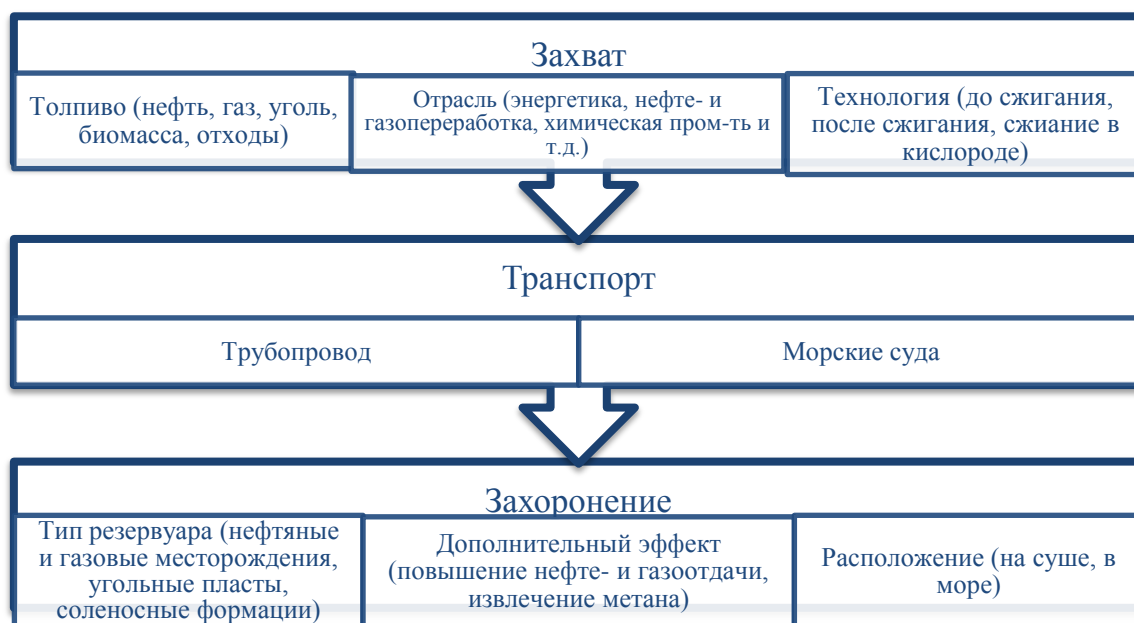


Рисунок 1. Схема технологий CCS

Технологии захвата CO_2

Цель улавливания CO_2 заключается в создании концентрированного потока CO_2 высокого давления, который можно легко транспортировать к месту хранения. Существуют следующие основные концепции улавливания CO_2 :

- *После сжигания*

Системы улавливания после сжигания отделяют CO_2 от дымовых газов, образующихся в воздухе в результате сжигания первичного топлива. Как правило, основываются на химической абсорбции с восстановлением CO_2 под воздействием тепла.

Технология применяется в энергоустановках, работающих на угольной пыли (УП) и в энергоустановках с комбинированным циклом природного газа

(КЦПГ). Данная технология хорошо изучена, однако она сопряжена со значительными затратами средств и энергии.

- *До сжигания*

В системах улавливания до сжигания осуществляется обработка первичного топлива в реакторе для создания смеси, состоящей из окиси углерода и водорода («синтетический газ»), которые потом разделяют на два независимых потока - CO_2 улавливается и отправляется в хранилище, а водород сжигается, при этом единственным продуктом сгорания является водяной пар. Технология основывается на физической абсорбции, в ходе которой CO_2 связывается с растворителем при высоких давлениях и освобождается, когда давление понижается.

Первоначальные этапы преобразования топлива являются более сложными и дорогостоящими по сравнению с системами «после сжигания», но зато образующиеся при помощи смещенного реактора высокие концентрации CO_2 и высокое давление создают более благоприятные условия для сепарации CO_2 . Улавливание до сжигания используется в энергоустановках, в которых применяется технология комбинированного цикла комплексной газификации (КЦКГ).

- *Сжигание в кислороде*

В этих вместо воздуха для сжигания первичного топлива используется кислород для получения дымового газа, который состоит главным образом из водяного пара и CO_2 . Благодаря этому дымовой газ характеризуется высокими концентрациями CO_2 (более 80% по объему). Затем водяной пар удаляется посредством охлаждения и компрессии газового потока.

Существует определённый опыт использования данной технологии в промышленности (например, стекольной), однако в качестве метода улавливания CO_2 системы сжигания с обогащением топлива кислородом изучены несколько хуже, чем вышеописанные технологии.

Схематично технологии захвата CO_2 изображены на рисунке 2.

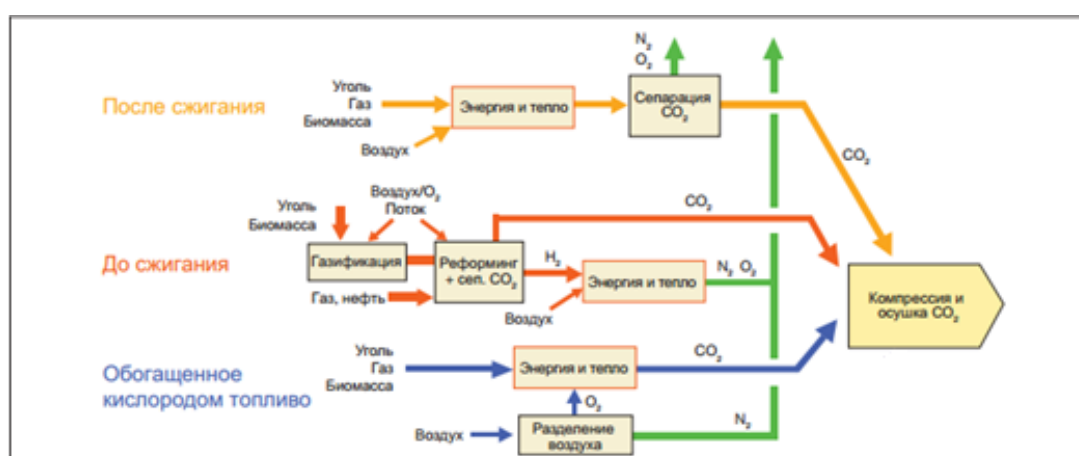


Рисунок 2. Принцип различных технологий захвата CO_2 [1]

Технологии транспортировки CO₂

- *Трубопровод*

Трубопроводный транспорт является наиболее распространённым способом перемещения небольших объёмов CO₂. В 2002 году мировая сеть трубопроводов для CO₂ насчитывала приблизительно 5600 км, а диаметр труб достигал 762 мм, что позволяло транспортировать порядка 50 млн т CO₂ в год [2].

В целом, технология мало отличается от транспортировки природного газа. CO₂ осушают, чтобы снизить вероятность коррозии. Трубы делают из стали, которая не подвергается коррозии при контакте с сухим газом, а отдельные секции трубопровода, расположенные перед установками осушки, обрабатываются антикоррозийным сплавом.

CO₂ не является взрыво- или пожароопасным газом, однако, обладая большей плотностью по сравнению с воздухом, он накапливается в низинах и при высоких концентрациях представляет риск для здоровья и жизни. Присутствие примесей, таких как H₂S или SO₂, увеличивает риски, связанные с потенциальной утечкой газа, коррозией трубопровода, недостаточностью клапанов и разрушением сварных швов. Внешний осмотр и внутренний мониторинг утечек являются важнейшими элементами контроля данной стадии проектов CCS.

Так как CO₂ транспортируется в сверхкритическом состоянии (с плотностью, в 10 раз превышающей плотность метана), а среднее расстояние между компрессорными станциями должно составлять около 200 км (для природного газа – от 120 до 160 км), транспортировка CO₂ потребует меньше энергии, чем транспортировка природного газа на то же расстояние. Однако даже в этом случае капитальные затраты будут существенными: к 2050 году трубопроводная сеть США должна будет справляться с объёмами CO₂, в три раза превышающими объёмы транспортировки природного газа. Исследования показывают, что только в Европе нужно будет проложить 30 000 – 150 000 км трубопроводов для CO₂ [2].

- *Морские суда*

Соотношение давления, объёма и температуры CO₂ делают возможным его транспортировку либо в охлаждаемых танкерах (при температуре -50°C и давлении 7 бар), либо в СПГ-газовозах. Современные исследователи ориентируются на газовозы грузоподъёмностью 10-50 тыс. т. Транспортировка CO₂ морскими судами предполагает большую гибкость, так как можно будет забирать газ от нескольких небольших или средних источников и экономить на капитальных затратах в инфраструктуру. Также этот вид транспорта может подстраиваться под конкретное хранилище в плане времени и объёмов. Например, условия доставки могут измениться, когда нефтяное месторождение приблизится к завершению эксплуатации после применения методов повышения нефтеотдачи.

Технологии захоронения CO₂

На сегодняшний день эксперты выделяют три реально осуществимых опции захоронения CO₂: в глубинных соленосных формациях, в выработанных нефтегазовых месторождениях (с повышением нефтеотдачи) и в неразрабатываемых угольных пластах (с повышением извлечения метана) [1].

- *Глубинные соленосные формации*

В соленосных формациях пористое пространство, которое потенциально может занять закачанный CO₂, составляет до 30% от общего объема породы. Под землей углекислый газ сжимается и заполняет поры, частично вытесняя находящуюся в них жидкость.

После закачивания в формацию удерживаемая часть зависит от сочетания физических и геохимических механизмов удерживания. Физическое удерживание с целью предотвращения миграции CO₂ в верхнем направлении обеспечивается благодаря слою перекрывающей глинистой породы. Дополнительная физическая ловушка может создаваться капиллярными силами, которые удерживают CO₂ в пористых пространствах формации. Однако во многих случаях одна или несколько сторон формации остаются открытыми, из-за чего становится возможной боковая миграция CO₂ ниже перекрывающей породы. В подобных случаях, важное значение имеют геохимические механизмы, например, постепенная карбонизация вмещающей породы.

- *Выработанные нефтегазовые месторождения*

Технология закачки CO₂ в выработанные нефтегазовые месторождения с целью повышения нефте- и газоотдачи была разработана в США и применяется там с 1970-х годов.

Двуокись углерода может подаваться в скважину в виде газа или под очень высоким давлением в фазе сверхкритического флюида. Степень чистоты CO₂ подбирается специально в зависимости от состава нефти: углекислый газ лучше растворяется, если в нём присутствуют незначительные примеси (например, около 1% H₂S).

Когда CO₂ подаётся под давлением в резервуар, двуокись углерода смешивается с нефтью, вызывая увеличение её объема и снижение вязкости. Расширяющаяся нефть выталкивается из пор и вместе с водой, которая также нагнетается в пласт, поступает в добывающую скважину. Большая часть углекислого газа остаётся в порах породы, но определённый объём газа выходит на поверхность через добывающие скважины – в таком случае его перерабатывают, сжижают и повторно закачивают в резервуар.

- *Неразрабатываемые угольные пласты*

В случае захоронения CO₂ в угольных пластах газ попадает в микропоры на поверхности угля и хранится в них в сверхкритическом состоянии при высоких давлениях. Количество газа зависит от качества и проницаемости угля, давления и глубины залегания пласта, но по средним оценкам составляет не менее 100 м³/т.

Как правило, угольный метан извлекается путём осушения угольного пласта и снижения давления, так чтобы абсорбированный газ покинул пористую породу. Однако коэффициент извлечения при использовании данной технологии – 50% и менее. Технология предполагает закачку в пласт углекислого газа, который будет абсорбироваться породой и вытеснять уже имеющийся в порах метан.

На данный момент, повышенное извлечение угольного метана находится на стадии разработки. Основными ограничивающими факторами являются отсутствие коммерческих стимулов, недостаточная изученность фундаментальных вопросов поведения метана и CO₂ при высоких давлениях, несовершенство технологии.

Степень зрелости технологий

На рисунке 3 представлен обзор имеющихся технологий захвата, транспортировки и захоронения CO₂. По многим из них имеется многолетний опыт использования в промышленности (EOR¹, трубопроводный транспорт CO₂, временное захоронение газа в выработанных месторождениях углеводородов), другие тестируются в ходе пилотных проектов (захоронение в соленосных формациях, ЕСВМ², технологии захвата).

Целесообразность применения секвестрации в России

В научной периодике (особенно зарубежной) широко обсуждается вопрос о целесообразности применения секвестрации CO₂ для сокращения эмиссии парниковых газов. При этом значение имеют не только общие вопросы технологии, экологии и безопасности, но и конкретные особенности каждой отдельной страны, её энергетики, ресурсов и экономики.

¹EOR (EnhancedOilRecovery) –повышение нефтеотдачи

²ЕСВМ (EnhancedCoalBedMethane) – повышенное извлечение угольного метана

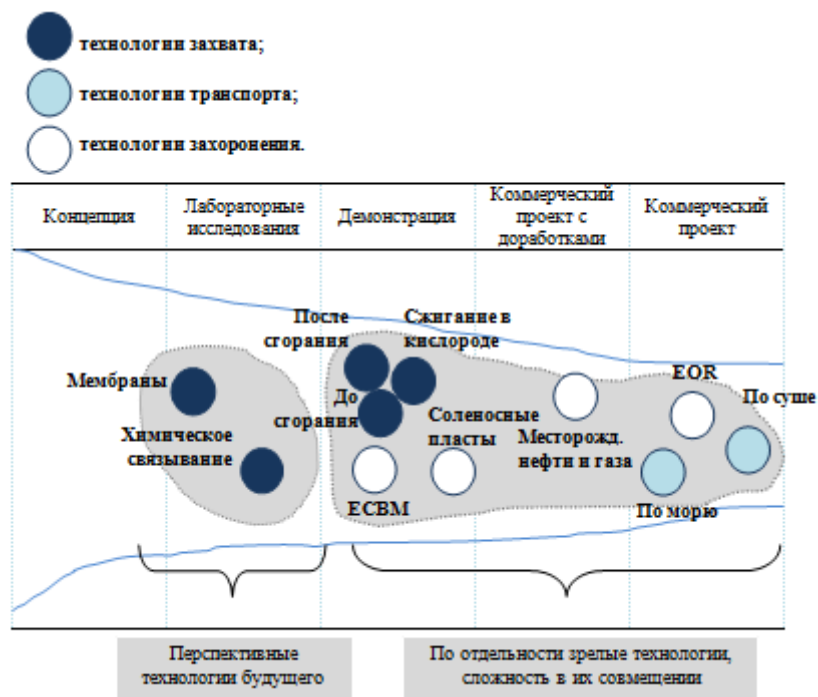


Рисунок 3. Нынешнее состояние технологий секвестрации [1,3]

На рисунке 4 представлена карта аргументации целесообразности применения секвестрации CO_2 (CCS) в России – для её составления была проанализирована полемика в зарубежной литературе, а также приняты во внимание особенности ресурсного потенциала, экономики и экологической политики РФ. Было выделено семь ключевых тем обсуждения: климат, технология, безопасность, экономика, энергетика, этика и международные отношения, по каждой теме приведены аргументы «за» и «против», к сожалению, не представляется возможным подробно прокомментировать все 36 аргументов, поэтому было сделано краткое резюме по каждой теме.

- *Климат*

Вопросы этой тематики можно отнести к наиболее важным, поскольку они решают, можно ли при помощи секвестрации CO_2 достичь основной цели – сокращения эмиссии парниковых газов. Например, WWF придерживается мнения, что полный переход на возобновляемые источники энергии возможен уже к 2050 году. Ежегодная эмиссия CO_2 в таком случае не будет превышать 2 Гт и технологии секвестрации, по мнению экспертов, себя не оправдают, т.к. к тому моменту, когда они будут достаточно зрелыми для промышленного внедрения, потребление ископаемых источников энергии настолько сократится, что инвестиции в CCS себя не окупят [4].

В качестве контраргумента можно привести расчёты МЭА, согласно которым к 2050 году эмиссия CO_2 может быть сокращена лишь до 14 Гт/год, и то в случае совместного использования целого ряда различных технологий. При этом доля CCS в сокращении эмиссий составляет 19%. В случае же отказа от CCS эмиссия CO_2 будет составлять не менее 18 Гт/год [5].

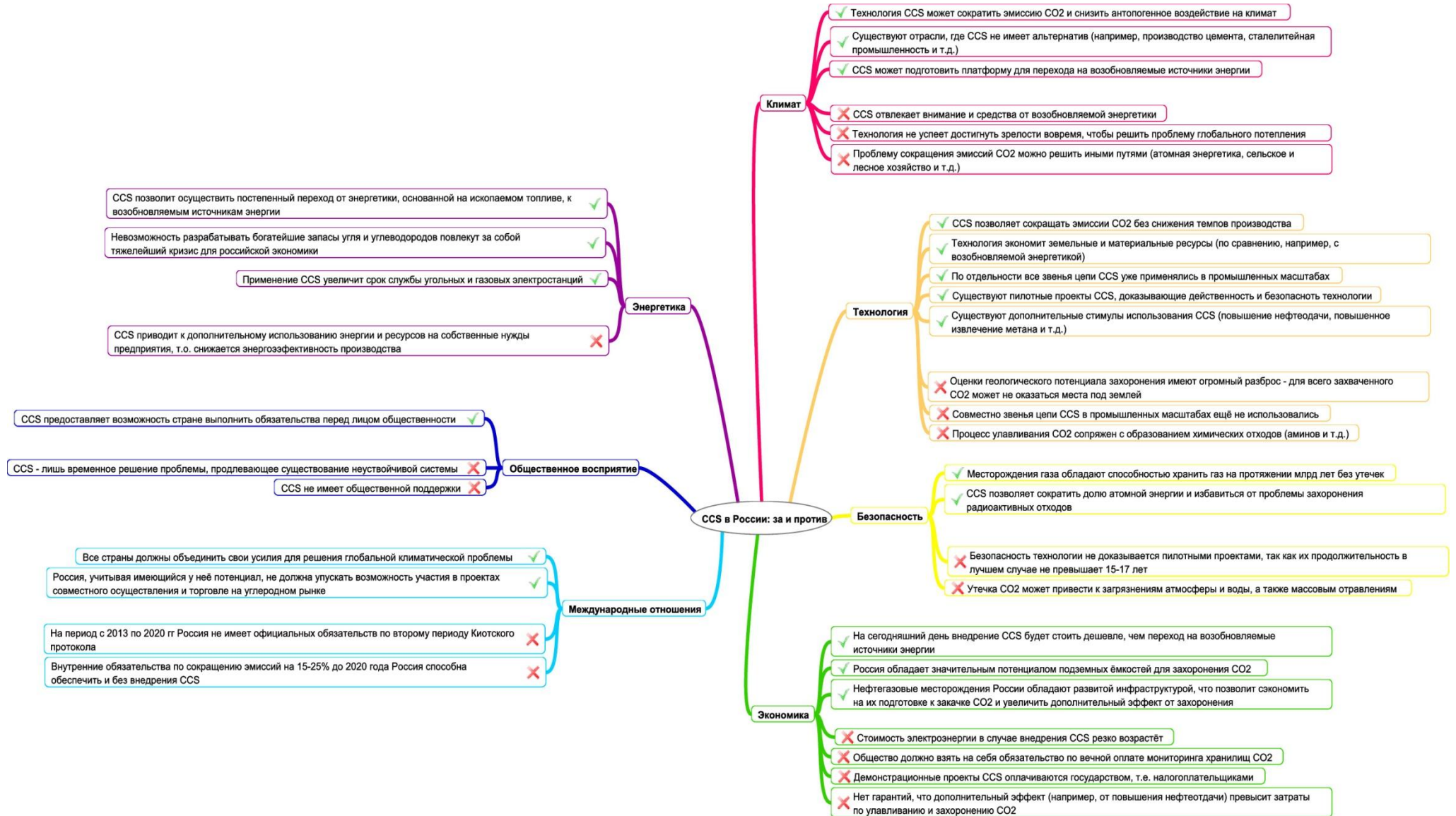


Рисунок 4. Карта аргументации: CCS в России [4-10]

Также много споров возникает вокруг эффективности технологии. Так, Greenpeace утверждает, что даже по достижении стадии коммерческой эффективности установки по захвату CO₂ смогут улавливать лишь 20-40% всех эмиссий [6]. Одновременно с этим есть сведения об эффективности захвата в пределах 80-90% и даже 99% [1,7].

- *Технология*

Несмотря на технологическую зрелость отдельных звеньев CCS, противники данной опции отмечают, что вся цепь целиком в промышленных масштабах ещё ни разу не применялась. Впрочем, существует ряд довольно успешных демонстрационных проектов в США, Австралии, Норвегии, Нидерландах и некоторых других странах.

- *Безопасность*

Существуют самые разнообразные риски, связанные с утечкой CO₂ из хранилища (загрязнение атмосферы, попадание в питьевую воду, отравление людей и животных и т.д.). Важно отметить, что не все из них связаны с техногенными авариями в процессе транспортировки и закачки, гораздо большее опасение вызывает поведение CO₂ через некоторое время (возможно, десятки или сотни лет) после прекращения работ. Углекислый газ может вступить в реакцию с вмещающими породами и со временем освободить себе путь для миграции. Отмечается, что утечка даже 1% захороненного CO₂ может свести на нет все усилия общественности по сокращению эмиссий [6]. Поэтому вопросам безопасности и минимизации рисков должно уделяться особое внимание.

- *Экономика*

CCS как и, практически, любой технологии потребуется определённое время, чтобы достигнуть зрелости. Пока этого не произойдет, необходимо будет стимулировать инвесторов, например, в форме государственных субсидий. Так или иначе, груз демонстрационной стадии CCS ляжет на плечи налогоплательщиков, не всегда согласных с таким положением дел: «Вместо того, чтобы заставлять загрязнителей платить, предлагается другая схема – налогоплательщики будут платить загрязнителям за их попытки не загрязнять»[6].

В частности, применение CCS в энергетическом секторе приведёт к удорожанию электроэнергии на 21-91%[8]. Однако есть сомнения в том, можно ли рассматривать это как аргумент против секвестрации, поскольку любая другая технология, снижающая эмиссию парниковых газов, также приведёт к росту цен на электричество, а в случае с возобновляемыми источниками энергии рост будет даже бóльшим. Наоборот, применение CCS может приблизить тот момент, когда использование возобновляемых источников энергии станет экономически выгодным.

К тому же, по предварительным оценкам, Россия обладает значительным потенциалом подземных ёмкостей для захоронения CO₂, а некоторые опции (например, захоронение в выработанных нефтяных месторождениях с целью

повышения нефтеотдачи) могут приносить дополнительный экономический доход и способствовать более рациональному использованию ресурсов.

- *Энергетика*

Для России, столь богатой ископаемыми источниками энергии, переход на возобновляемую энергетику может казаться крайне невыгодным вариантом будущего, однако реальность парникового эффекта и негативного влияния современной энергетики на климат планеты являются общепризнанными фактами. Секвестрация CO₂ в данном контексте должна рассматриваться, как возможность продлить существование имеющейся энергетической системы, делающая её влияние на климат менее разрушительным. Возможно, это единственный способ избежать глубочайшего экономического кризиса, который будет ждать страну в случае невозможности разрабатывать угольные и нефтегазовые месторождения.

- *Общественное восприятие*

Проблема глобального потепления ставит мировую общественность перед необходимостью объединить свои усилия для достижения общей цели – снижения эмиссий парниковых газов. Данный вопрос затрагивает каждую страну без исключения, поэтому игнорировать его не представляется возможным.

С другой стороны, CCS как частный случай решения проблемы не имеет большой общественной поддержки, что во многом объясняется недоверием людей к новой технологии. В России же, например, опция секвестрации CO₂ вообще практически не известна широкой общественности. Необходимо повышать осведомлённость населения в области экологических вопросов, а также проводить демонстрации технологии для роста уверенности в её надёжности.

- *Международные отношения*

С точки зрения экологической политики, Россия отказалась брать на себя какие-либо количественные обязательства по второму периоду Киотского протокола (2013-2020 гг.). Планируется, что к 2020 г. эмиссия CO₂ в России будет составлять примерно 75% от уровня 1990г. [9], причём данные внутренние обязательства явно не требуют внедрения каких-либо новых технологий. На сегодняшний день выбросы составляют порядка 65% от уровня 1990 г. [9], так что речь идёт даже не о сокращении, а о наращивании эмиссии.

Неудивительно, что такая позиция не встречает одобрения в международных политических кругах. С одной стороны, цели России неочевидны и поэтому вызывают опасения, а с другой – они откровенно противоречат общим тенденциям защиты окружающей среды и перехода на устойчивое развитие промышленности и энергетики. Вместо того, чтобы принимать участие в проектах совместного осуществления и торговле на углеродном рынке, используя свой природный потенциал, Россия сознательно отказывается от изучения новых технологий, так как на ближайшие 10-15 лет снижение эмиссий CO₂ не является приоритетной целью. Результатом может быть серьёзное научно-техническое

отставание российской энергетики и промышленности от развитых стран в долгосрочной перспективе.

Заключение

Вокруг секвестрации CO₂ существует множество споров самого разного характера. Основные аргументы противников этой технологии сводятся к её неспособности вовремя сократить эмиссию CO₂ до необходимого уровня, неготовности к промышленному применению, потенциальной опасности и непопулярности у широкой общественности.

С другой стороны, нельзя игнорировать и свидетельства защитников CCS–технология позволяет осуществить плавный переход от энергетики ископаемого топлива к возобновляемым источникам энергии, на сегодня она является экономически более оправданной, чем, скажем использование энергии ветра или солнечной энергии. К тому же, уже существует ряд вполне успешных демонстрационных проектов.

Для России секвестрация CO₂ может быть перспективна ещё по ряду причин – ввиду значительного потенциала подземных ёмкостей для захоронения CO₂, возможности использовать CO₂ для повышения нефте- и газоотдачи и развитой инфраструктуры нефтегазовых месторождений.

Исследование выполнено в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых, проект МД-3181.2013.5

Список используемых источников

1. МГЭИК – Улавливание и хранение двуокси углерода. Специальный доклад по просьбе Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Кембридж, Великобритания. 2005. 66 с. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_ru.pdf (дата обращения: 01.10.2013)

2. IEA – CO₂Capture and Storage: a Key Carbon Abatement Option. - OECD/IEA, Париж, Франция 2008. 266 с. URL: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CCS_2008.pdf (дата обращения: 01.10.2013)

3. McKinsey & Company – Carbon Capture & Storage: Assessing the Economics. – McKinsey & Co. - 2008.53 с. URL: <http://assets.wwf.ch/downloads/mckinsey2008.pdf> (дата обращения: 1.10.2013)

4. WWF The Energy Report, 100% Renewable Energy by 2050. – WWF/Ecofys/OMA, Гланд, Швейцария 2011.256 с. URL: http://www.wwf.or.jp/activities/lib/pdf_climate/green-energy/WWF_EnergyVisionReport.pdf (дата обращения: 1.10.2013)

5. IEA Energy Technology Perspectives. Scenarios and Strategies to 2050. – OECD/IEA, Париж, Франция 2010. 710 с. URL: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp2010.pdf> (дата обращения: 1.10.2013)
6. Greenpeace - False Hope Why Carbon Capture and Storage Won't Save the Climate. – Greenpeace International, Амстердам, Нидерланды. 2008. 44 с. URL: <http://www.greenpeace.org/usa/Global/usa/report/2008/5/false-hope-why-carbon-capture.pdf> (дата обращения: 02.10.2013)
7. Van Egmond S., Hekkert M.P. – Argument Map for Carbon Capture and Storage// International Journal of Greenhouse Gas Control. –2012.12 с. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2012.08.010> (дата обращения: 02.10.2013)
8. Rubin E.S. et al. – Comparative Assessments of Fossil Fuel Power Plants with CO₂ Capture and Storage. Материалы 7-ой Международной конференции по технологиям контроля за парниковыми газами (GHGT-7), Т.1, Elsevier –2005.9 с. URL: <http://repository.cmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1082&context=epp> (дата обращения: 02.10.2013)
9. Шаповалов А., Давыдова А. Климатическое бессознательное// «Коммерсантъ»: газета.2012. №232(5017). URL: <http://www.kommersant.ru/doc/2084514> (дата обращения: 02.10.2013)
10. IPCC–Renewable energy sources and climate change mitigation. Specialreport, Нью-Йорк, США. – 2012.1088с. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_Full_Report.pdf (дата обращения: 02.10.2013)
11. Global CCS Institute – Strategic Analysis of the Global Status of Carbon Capture and Storage. – Report 3: Russia. 2009.35 с. URL: <http://cdn.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/8622/strategic-analysis-global-status-ccs-country-study-russia.pdf> (дата обращения: 02.10.2013)

References

1. MGJEIK – Ulavlivanje i hranenie dvoukisi ugleroda. - Special'nyj doklad po pros'be Ramochnoj konvencii OON ob izmenenii klimata, Kembriđzh, Velikobritanija.– 2005. 66 s. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_ru.pdf (data obrashhenija: 01.10.2013) [in russian].
2. IEA – CO₂Capture and Storage: a Key Carbon Abatement Option. - OECD/IEA, Parizh, Francija – 2008. 266 s. URL: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CCS_2008.pdf (data obrashhenija: 01.10.2013)
3. McKinsey & Company – Carbon Capture & Storage: Assessing the Economics. – McKinsey & Co. - 2008.53 s. URL: <http://assets.wwf.ch/downloads/mckinsey2008.pdf> (data obrashhenija: 1.10.2013)

4. WWF - The Energy Report, 100% Renewable Energy by 2050. – WWF/Ecofys/OMA, Gland, Shvejcarija - 2011.256 s. URL: http://www.wwf.or.jp/activities/lib/pdf_climate/green-energy/WWF_EnergyVisionReport.pdf (data obrashhenija: 1.10.2013)
5. IEA - Energy Technology Perspectives. Scenarios and Strategies to 2050. – OECD/IEA, Parizh, Francija - 2010. 710 s. URL: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp2010.pdf> (data obrashhenija: 1.10.2013)
6. Greenpeace - False Hope – Why Carbon Capture and Storage Won't Save the Climate. – Greenpeace International, Amsterdam, Niderlandy. - 2008. 44 s. URL: <http://www.greenpeace.org/usa/Global/usa/report/2008/5/false-hope-why-carbon-capture.pdf> (data obrashhenija: 02.10.2013)
7. van Egmond S., Hekkert M.P. – Argument Map for Carbon Capture and Storage// International Journal of Greenhouse Gas Control. –2012.12 s. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2012.08.010> (data obrashhenija: 02.10.2013)
8. Rubin E.S. et al. – Comparative Assessments of Fossil Fuel Power Plants with CO2 Capture and Storage. Materialy 7-oj Mezhdunarodnoj konferencii po tehnologijam kontrolja za parnikovymi gazami (GHGT-7), T.1, Elsevier –2005.9 s. URL: <http://repository.cmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1082&context=epp> (data obrashhenija: 02.10.2013)
9. Shapovalov A., Davydova A. Klimaticheskoe bessoznatel'noe // «Kommersant»: gazeta.2012. №232(5017). URL: <http://www.kommersant.ru/doc/2084514> (data obrashhenija: 02.10.2013) [in russian].
10. IPCC–Renewable energy sources and climate change mitigation. Specialreport, N'ju-Jork, SShA. – 2012.1088s. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_Full_Report.pdf (data obrashhenija: 02.10.2013)
11. Global CCS Institute – Strategic Analysis of the Global Status of Carbon Capture and Storage. – Report 3: Russia. 2009.35 s. URL: <http://cdn.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/8622/strategic-analysis-global-status-ccs-country-study-russia.pdf> (data obrashhenija: 02.10.2013)

Сведения об авторах
Information about authors

Череповицын А.Е., д-р экон. наук, проф., зав. кафедры «Организация и Управление», Национальный Минерально-Сырьевой Университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

A.E. Cherepovitsyn, Doctor of Econ. Sciences, Professor, Head of the Chair of “Organization and Management” in National Mineral Resources University “Mining”, St. Petersburg, the Russian Federation

Сидорова К.И., аспирант кафедры «Организации и Управления», Национальный Минерально-Сырьевой Университет «Горный» г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

K.I. Sidorova, Graduate Student of the Chair of “Organization and Management” in National Mineral Resources University “Mining”, St. Petersburg, the Russian Federation

Смирнова Н.В., канд. экон. наук, доцент кафедры «Организация и Управление», Национальный Минерально-Сырьевой Университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

N.V. Smirnova, Candidate of Economics Sciences, Associate Professor of the Chair of Organization and Management in National Mineral Resources University “Mining”, St. Petersburg, the Russian Federation

e-mail: alekseicherepov@inbox.ru