



УДК 502.3, 338.2

Перспективы и общественные эффекты проектов секвестрации и использования углекислого газа

А.А.ИЛЬИНОВА[✉], Н.В.РОМАШЕВА, Г.А.СТРОЙКОВ

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Как цитировать эту статью: Ильинова А.А. Перспективы и общественные эффекты проектов секвестрации и использования углекислого газа / А.А.Ильинова, Н.В.Ромашева, Г.А.Стройков // Записки Горного института. 2020. Т. 244. С. 493-502. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.12

Аннотация. Вопросы глобального потепления и возникновения парникового эффекта широко обсуждаются в мировом масштабе. Активно исследуются и апробируются различные способы снижения эмиссии парниковых газов, в том числе технологии секвестрации углекислого газа, реализация которых осуществляется в виде CC(U)S (carbon capture, utilization and storage) проектов, связанных с захватом, захоронением и в некоторых случаях использованием CO₂. В России технологии CC(U)S пока не применяются, но существует значительный потенциал для их развития и распространения. Особую роль технологии CC(U)S приобретают в контексте развития энергетического и промышленного секторов России, которые являются ключевыми источниками выбросов, а принадлежащие к ним геологические объекты – потенциальными хранилищами углерода. Цель исследования заключается в концептуальном анализе технологического цикла CC(U)S и типологизации таких проектов, оценке перспектив их внедрения в России и выявлении общественных эффектов от реализации CC(U)S проектов. Основные результаты исследования представлены в виде типологии CC(U)S проектов, стратегическом анализе перспектив внедрения таких технологий в условиях России, а также разработке подходов к оценке общественных эффектов с систематизацией и выделением комплекса показателей для их оценки, что может служить основой для переоценки ценности CC(U)S проектов. Основными методами исследования выступали методы декомпозиции, систематизации и типологизации, а также стратегического анализа с ориентацией на актуальные практические материалы по тематике работы. Направления дальнейших исследований связаны с обоснованием методики оценки общественной эффективности CC(U)S проектов, в том числе для условий России, основанной на принципах баланса интересов ключевых участников.

Ключевые слова: технологии; секвестрация; углекислый газ; Россия; проекты; SWOT-анализ; общественные эффекты; CC(U)S

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

Введение. Проблема потепления климата впервые была озвучена в 1980-х годах Организацией Объединенных Наций. В последние десятилетия планомерно осуществляются инициативы, направленные на снижение эмиссии парниковых газов.

В 1988 г. под эгидой ООН и Всемирной метеорологической организации (World Meteorological Organization, WMO) была сформирована Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК, Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) для оценки риска такого изменения, вызванного антропогенной деятельностью. В 1992 г. была принята Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК, United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), отражающая общие принципы действия стран по проблеме изменения климата. В 2005 г. ратифицирован Киотский протокол, а в 2015 г. было подписано Парижское соглашение, регулирующее меры по снижению углекислого газа в атмосфере. Целью соглашения является удержание роста температуры Земли до 1,5 °С.

По данным компании BP (BP Statistical Review of World Energy 2019), объем эмиссии CO₂ в мире по результатам 2018 г. достиг своего максимума (33,9 млрд т) со средним ростом за 2007-2017 гг. порядка 1 % в год [12]. Россия занимает четвертое место в мире по объемам выбросов (1,55 млрд т в 2018 г. – 4,5 % от общемировых) после Китая (27,8 %), США (15,1 %) и Индии (7,2 %) [12]. При этом основная часть выбросов CO₂ в России приходится на энергетический и промышленный секторы, доля которых составляет порядка 79 и 11 % соответственно, а также сельское хозяйство (6 %) [4]. Значительное количество выбросов в энергетическом секторе России обусловлено добычей, переработкой, транспортировкой и дальнейшим использованием неф-



ти, природного газа, попутного нефтяного газа, угля и торфа. Так, например, по результатам 2017 г. совокупные выбросы CO_2 , CH_4 (метан) и N_2O (оксид азота) от операций с нефтью превысили уровень 1990 г. на 5,4 % и достигли 37,8 млн т. Бурение, опробование и обслуживание действующих нефтяных скважин является основным источником выбросов CO_2 и составляет порядка 98,5 % совокупного выброса от операций с нефтью [4].

Выбросы CO_2 в промышленном секторе связаны со сжиганием ископаемого топлива и включают производство электроэнергии и тепла для собственных нужд; это предприятия черной и цветной металлургии, а также химической промышленности. Большая часть выбросов в металлургии приходится на выплавку чугуна и стали, далее следует производство первичного алюминия, в химической промышленности это производство аммиака [4].

Одним из способов сокращения выбросов CO_2 в атмосферу и, как следствие, снижения парникового эффекта являются технологии секвестрации. В литературе такие технологии также называются технологиями улавливания и хранения CO_2 или технологиями CCS (carbon capture and storage). Технологический цикл представляет собой улавливание (захват, отделение) CO_2 из источников (чаще всего промышленных) с целью предотвращения попадания в атмосферу, подготовку и последующую транспортировку, а также закачку углекислого газа для долгосрочной безопасной изоляции под землей. В некоторых случаях технологический цикл может включать полезное использование газа, тогда такие технологии носят названия технологий секвестрации и утилизации CO_2 – CCUS (carbon capture, utilization and storage). Появление технологий, способных полностью использовать CO_2 без его последующего захоронения, обусловило возникновение CCU проектов (carbon capture and utilization). Авторы статьи используют обозначение CC(U)S технологии и проекты.

По данным Глобального института CCS (Global CCS Institute), по состоянию на 2019 г. в мире насчитывается 43 масштабных CC(U)S проекта, из них 18 находятся на стадии эксплуатации, остальные – на ранних стадиях развития. Лидером по числу действующих проектов является Северная Америка (в основном, США), по числу проектов на ранних стадиях – Китай и Европа*. Самым распространенным видом CC(U)S проектов в мире являются проекты EOR- CO_2 (CO_2 – enhanced oil recovery), направленные на повышение нефтеотдачи; проекты также реализуются в угольной, цементной и газовой промышленности, металлургии, химическом и горно-химическом секторе [21].

Проекты CC(U)S в мире находятся на начальном этапе развития, в основном реализуются их пилотные версии. Факторы, сдерживающие их развитие, были проанализированы в опубликованных авторами исследованиях [8, 15, 21], и связаны с экономическими и организационно-управленческими аспектами, безопасностью, а также реакцией общества на долгосрочное захоронение техногенного CO_2 под землей.

Вопросы развития CC(U)S технологий и проектов нашли широкое отражение в зарубежных публикациях в различных контекстах и практически не рассматриваются отечественными учеными. Зарубежные ученые исследуют такие аспекты, как роль государственной поддержки в развитии CC(U)S технологий и проектов [11, 13, 25]; барьеры на пути их развития [28]; роли, обязанности и выгоды заинтересованных сторон [14] и многое другое. Публикации посвящены также изучению и анализу аргументов «за» и «против» проектов CC(U)S [22].

Зарубежные публикации посвящены конкретным примерам развития CC(U)S кластеров и проектов [23], ситуациям в конкретных странах [11, 30]. В некоторых исследованиях представлено разделение технологий CC(U)S на типы, однако в большей степени они направлены на конкретные виды [29].

Зарубежные научные работы в основном имеют аналитический и описательный характер, большое внимание уделено практическим аспектам. Кроме того, результаты исследований зарубежных авторов обладают спецификой, характерной для конкретных стран и ситуаций, и могут использоваться лишь как ориентир для условий России.

* Hiroshi Nambo. Presentation of Global CCS Institute. CCS Knowledge Sharing Meeting between Global CCS Institute and St. Petersburg Mining University. Japan CCS Co. 2019. May, 23.



В российской научной литературе проблеме выбросов парниковых газов и развития CC(U)S технологий уделяется недостаточное внимание, особенно с точки зрения экономики и управления. Исследования ученых Горного университета направлены на экономику секвестрации CO₂. Опубликованные статьи посвящены управлению стейкхолдерами в CC(U)S проектах [8, 15], государственному регулированию развития CC(U)S технологий [21], оценке потенциала использования технологий EOR-CO₂ в условиях России [5, 19], переоценке экономической ценности углекислого газа в свете концепции циркулярной экономики [26], перспективам и экономико-социальным аспектам рассматриваемых технологий [6, 7, 12, 27] и др.

Постановка проблемы. Несмотря на достаточное количество зарубежных публикаций и с учетом их ограниченного количества в России, рассматриваемая тема остается недостаточно изученной.

Цель данного исследования заключается в представлении системы взглядов на развитие CC(U)S проектов, в том числе в условиях России, с ориентацией на их особенности, типологию, а также необходимость выявления общественных эффектов от их реализации. Для достижения поставленной цели был решен ряд задач: исследована сущность CC(U)S проектов и осуществлена типологизация CC(U)S технологий; проведена оценка перспектив реализации CC(U)S проектов в условиях России; определены подходы к выявлению влияния CC(U)S проектов на общество.

Новизна исследования заключается в типологизации различных видов CC(U)S проектов и разработке системы показателей, позволяющей оценить эффекты от реализации таких проектов для общества.

Методология. При проведении исследований авторами было проанализировано более 100 литературных источников (преимущественно зарубежных) по различным экономическим аспектам секвестрации углекислого газа, значительная часть из которых представлена в таких авторитетных изданиях, как Energy Procedia, Energy Policy, Applied Energy, International Journal of Greenhouse Gas Control и др. Особое внимание было уделено материалам, представленным в аналитических докладах таких организаций и объединений, как Global CCS Institute, World energy council, International Energy Agency (IEA), Carbon capture and storage association и др., а также в специализированных базах данных (CCSprojects' databases), таких как National Energy Technology Laboratory (NETL), MIT carbon capture and sequestration technologies data base и др.

Основным методом исследования выступали кабинетные исследования, а также сравнительный, логико-структурный, ситуационный, факторный, системный, причинно-следственный анализы, индуктивно-дедуктивный подход, методы декомпозиции и систематизации, типологии, а также SWOT-анализ. При определении сущности CC(U)S проектов и выделении этапов их развития авторы ориентировались на общепринятую теорию проектного управления в части структурной модели проекта по фазам жизненного цикла и декомпозиции работ проекта [10]. Для систематизации общественных эффектов CC(U)S проектов использовались упомянутые методы и подходы, а также метод группировки показателей по направлениям и общеметодологические принципы проведения экономического анализа и оценки (системности, комплексности, динамический и принцип сравнительного анализа).

Результаты исследования. Сущность и типология CC(U)S технологий и проектов. Для понимания сущности CCS проектов в работе представлены общие этапы их развития (рис.1) с описанием содержания каждого этапа (табл.1).

С точки зрения этапов в проектах CCUS добавляется этап использования CO₂ с подробным технико-экономическим обоснованием, а жизненный цикл проектов CCU представляет собой цикл производственного проекта, не связанного с захоронением газа.

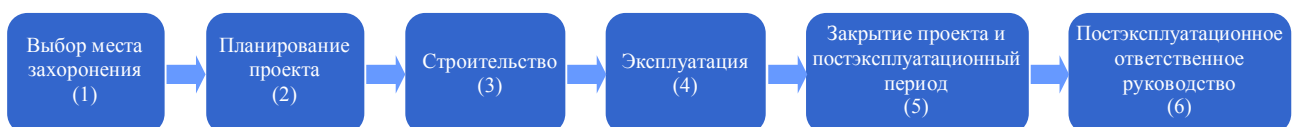


Рис.1. Этапы развития CCS проектов



Таблица 1

Сущность этапов развития CCS проектов

Этап	Содержание	Продолжительность, годы
1	Сбор и анализ исходных данных, предварительное исследование и обоснование организационной, технической и экономической осуществимости проекта, исследование характеристик потенциального хранилища, пробная закачка	1-10
2	Разработка комплексного плана развития проекта, оценка рисков проекта, разработка плана действий в непредвиденных обстоятельствах, анализ и оценка ключевых стейкхолдеров проекта, обоснование экономической осуществимости проекта	1-10
3	Строительство и обустройство объекта, развитие (адаптация имеющейся) инфраструктуры, пробные пуско-наладочные работы, дополнительные геологические исследования, тестирование технологии	1-10
4	Закачка CO ₂ , постоянный текущий мониторинг и валидация, перманентная актуализация подземной модели	1-50
5	Прекращение закачки CO ₂ , закрытие эксплуатационной деятельности на объекте, консервация скважин, постэксплуатационный мониторинг, закрытие проекта	20-50
6	Мониторинг объекта до момента, когда он перестает представлять угрозу, сертификация закрытия, передача ответственности по объекту, долгосрочный мониторинг	Бессрочно

На рис.2 представлена схема технологического цикла с одновременной типологией технологий CC(U)S (схема составлена авторами с использованием [18, 20]).

Проекты CCS связаны с улавливанием и захоронением углекислого газа в геологических формациях, водоносных структурах. Примером такого проекта может служить проект секвестрации углекислого газа, реализуемый в Японии – Tomakomai CCS Project. При выборе геологических структур для захоронения целесообразно ориентироваться на опыт, полученный при экс-



Рис.2. Типология технологий CC(U)S



плуатации газовых и нефтяных месторождений, а также создании подземных хранилищ газа [1]. Для долгосрочного хранения углекислого газа могут быть использованы подземные резервуары – отработанные и действующие нефтяные и газовые месторождения, соленосные формации, неразрабатываемые угольные пласты. Последний вариант использования обеспечивает дополнительные возможности по аккумулированию и использованию адсорбированного метана. Таким образом, этот физический процесс позволяет достичь две цели: перевести в твердое состояние парниковый CO_2 и высвободить чистый энергетический ресурс CH_4 в процессе дегазации угольного пласта [1, 2, 24]. Очевидно, что CCS технологии не являются коммерческими. Основные стимулы использования проектов – вклад в глобальную борьбу с эмиссией CO_2 , создание демонстрационного объекта, апробация и развитие технологий, повышение имиджа государства и участников и т.д. Они отражают отношение страны и бизнеса к борьбе с глобальными экологическими проблемами.

Проекты CCUS и CCU связаны с использованием CO_2 , при этом первые – также с его захоронением. CCUS технологии используются в основном при добыче полезных ископаемых, в основном, для повышения нефтеотдачи; также возможно использование для добычи жидких минеральных ресурсов и вытеснения глубоко залегающей засоленной воды с дальнейшим восстановлением и использованием в промышленных, сельскохозяйственных или бытовых целях [18]. Проекты CCUS в мире представлены, в основном, проектами CO_2 -EOR (например, проект Weyburn-Midale Carbon Dioxide Project, Канада).

Проекты CCU связаны с полной утилизацией CO_2 , но такие проекты в большей степени находятся на начальной стадии развития по всему миру. Большая часть технологий CCU реализуется в виде небольших пилотных проектов на различных производствах. Согласно отчету IEA [20], сформировались четыре ключевых направления использования углекислого газа (рис.2). Так, ряд химических веществ требует углерода для обеспечения их структуры и свойств, в то время как углеродсодержащие виды топлива могут стать критически важными в случаях, когда использование электричества или водорода ограничено (например, в авиации). Такие технологии по праву являются инновационными и в ближайшем будущем могут занять значимое место в различных отраслях промышленности.

Перспективы развития CC(U)S технологий в России. Сегодня на территории Российской Федерации не реализуется ни один из CC(U)S проектов, однако по ряду причин их внедрение является перспективным и в будущем может привести к экономическим и значительным общественным эффектам. На рис.3 представлены основные сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы развития CC(U)S технологий в России.

Согласно прогнозам ведущих специалистов, ископаемые виды топлива будут играть важную роль в удовлетворении энергетических потребностей России в ближайшие десятилетия. Дальнейшая ориентация на традиционные источники энергии будет обеспечивать востребованность природоохранных технологий, в том числе CC(U)S технологий. Проекты CC(U)S характеризуются высокими капитальными и эксплуатационными затратами, что является основным барьером для их широкомасштабного внедрения, однако в случае реализации CCUS проектов дополнительные объемы нефти, метана, жидких минеральных ресурсов, полученные в результате реализации таких проектов, делают возможным частичную или полную компенсацию затрат на улавливание и транспортировку CO_2 , а в некоторых случаях и получение коммерческого эффекта.

Угрозой для развития CC(U)S технологий в России является существующее экологическое законодательство, которое характеризуется достаточно низкими штрафами за негативное воздействие компаний на окружающую среду. Законодательство является стабильным, что не стимулирует крупный бизнес активно внедрять природоохранные технологии. Вместе с этим, развитие альтернативной энергетики, внедрение современных технологий по рекультивации земель, использованию промышленных отходов, утилизации попутного нефтяного газа и т. п., также тормозят развитие CC(U)S технологий, так как бюджет, выделяемый компаниями на природоохранные проекты, достаточно ограничен.

Большой вопрос в перспективности реализации проектов CC(U)S вызывает незрелость применяемых технологий, однако в ряде стран уже накопился значительный опыт их реализации. Пилотные проекты CCUS осуществлялись и в России, в частности на месторождениях в Респуб-



Сильные стороны	Слабые стороны
<ul style="list-style-type: none">Наличие большого количества водоносных структур, геологических формаций, подземных резервуаров, в том числе истощенных месторождений нефти для захоронения CO₂Наличие большого количества техногенных источников CO₂Реализация CC(U)S проектов возможна на базе действующих предприятий с развитой инфраструктурой	<ul style="list-style-type: none">Не зрелость некоторых этапов технологической цепочки улавливание – транспортировка – захоронение – использование CO₂Высокие первоначальные капитальные и текущие эксплуатационные затраты при реализации CC(U)S проектовОтсутствие или низкая коммерческая эффективность CC(U)S проектовОтсутствие нормативно-правовой базы, способствующей реализации технологий CC(U)SВозможные утечки CO₂ из геологических формаций
Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none">Достижение значительных положительных общественных эффектов, в том числе сохранение рабочих местДальнейшая ориентация страны на использование традиционных источников энергииПрименение налоговых льгот и налоговых кредитов для компаний, реализующих CC(U)S проектыСложности применения механизма торговли квотами на выбросы CO₂ в связи с отсутствием утвержденных документов, определяющие процедуры и правила применения данного механизма, что способствует внедрению природоохранных технологийУлучшение имиджа России за рубежомСтремление крупных промышленных предприятий к реализации принципов устойчивого развития	<ul style="list-style-type: none">Волатильность цен на получаемые продукты в случае реализации CCUS и CCU проектовНегативное восприятие проектов обществомРазвитие других природоохранных технологийСтабильность экологического законодательства, не предусматривающая его ужесточениеОграниченные возможности международного сотрудничества в связи с существующими санкциями

Рис.3. SWOT-анализ развития CC(U)S технологий в России

лике Татарстан, где CO₂ использовался для повышения нефтеотдачи. В течение первых трех лет реализации проекта на Елабужском месторождении успешно осуществлялась опытная закачка CO₂, однако в 1989 г. по финансовым причинам проект был остановлен [5]. В России существует большое количество нефтяных месторождений, находящихся на поздней стадии отработки, а также техногенных источников CO₂ вблизи истощенных месторождений [5, 19], поэтому проекты CCUS (EOR-CO₂) могут рассматриваться как перспективные [3].

Угрозой для развития CC(U)S проектов может стать обеспокоенность общественности, связанная с возможностью утечек захороненного CO₂, однако имеющийся мировой опыт в реализации проектов CC(U)S демонстрирует, что в случае тщательного мониторинга поведения CO₂ под землей, а также наличия отлаженной системы реагирования на возможные утечки, подземное хранение CO₂ может быть безопасным. Несмотря на отсутствие или низкую коммерческую эффективность CC(U)S проектов, их реализация может привести к положительным общественным эффектам.

Таким образом, можно констатировать наличие в России перспектив для реализации CC(U)S технологий. Перспективы обуславливаются существованием большого количества водоносных структур, геологических формаций, подземных резервуаров, в том числе нефтегазовых месторождений, характеризующихся высокой степенью выработанности; желанием промышленных предприятий соответствовать имиджу экологоориентированных, а также возможными общественными эффектами. Тем не менее, ряд ограничений не позволяет осуществить широкомасштабное внедрение в краткосрочной перспективе указанных технологий, однако позитивные последствия осуществления обеспечивают привлекательность их внедрения в будущем.



Таблица 2

Система общественных эффектов развития СС(U)S технологий и проектов

Социум и экономика	Безопасность и здоровье	Окружающая среда	Долгосрочное экологическое развитие
Сущность			
Социальный эффект и социально-экономические последствия для человека и общества в целом, в том числе развитие территорий	Экологический эффект и потенциальное воздействие на здоровье населения	Экологический эффект и потенциальное воздействие на окружающую среду (атмосферу, почвы, воды и экосистему в целом)	Стратегический эффект от развития и масштабирования экологических технологий и формирования сознания, отражающего экологическую сторону отношений между человеком и средой обитания
Положительное влияние			
Развитие и поддержание инфраструктуры, экономическое развитие территории; обучение на всех этапах жизни человека; создание новых и сохранение существующих рабочих мест; приток различных групп людей к объекту (образовательные туры, научные исследования, туризм); развитие научного потенциала	Улучшение общей экологической обстановки в регионе; положительное влияние на здоровье человека; улучшение самочувствия людей	Снижение выбросов, вклад в борьбу с глобальным потеплением климата; следование принципам устойчивого развития; статус региона с благополучной экологической обстановкой (имиджевая составляющая)	Развитие и диффузия эколого-ориентированных технологий СС(U)S; новые бизнес-возможности по принципам устойчивого развития; популяризация экологических принципов и формирование экологического человеческого сознания (общественного и индивидуального)
Отрицательное влияние			
Отрицательное воздействие на ведение хозяйственной деятельности местными жителями (фермерство, земледелие, рыболовство); изъятие земель под нужды проекта; возможное снижение стоимости земли и недвижимости на территориях вблизи места реализации проекта; использование денежных средств налогоплательщиков (через механизмы гос. поддержки СС(U)S проектов)	Пагубное воздействие на здоровье человека при утечках и авариях; возможное влияние сопутствующих вредных газов (сероводород), увеличение риска сейсмической активности (не доказано)	Возможные утечки углекислого газа и загрязнение воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод; изменение биоразнообразия; изъятие земель (в том числе сельскохозяйственного назначения); увеличение риска сейсмической активности (не доказано)	Снижение темпов развития эколого-ориентированных технологий, направленных на снижение эмиссии углекислого газа; снижение темпов развития ресурсо- и энергоэффективных технологий; ослабление стимулов к снижению объемов использования ископаемого топлива
Показатели максимизации			
Количество новых промышленных объектов, шт. Количество новых инфраструктурных объектов социального и инженерного назначения, шт. Объем социальных инвестиций, ден.ед. Количество новых образовательных программ и курсов (по уровням образования), шт. Доля делового и экскурсионного туризма в общем объеме туристического потока, % Количество новых смежных проектов (например, «умные фермы», использующие в качестве стимулятора роста растений CO ₂), шт. Количество фермерских хозяйств, шт. Площадь земель под фермерство и земледелие, га Стоимость земли в регионе, ден.ед./га Стоимость недвижимости в регионе, ден.ед./м ²	Уровень людей с хорошим самочувствием, %	Уровень концентрации углекислого газа в почвах, водах, % Видовое биоразнообразие, шт. Позиция региона в рейтинге регионов с благоприятной экологической обстановкой, место	Уровень развития технологий СС(U)S (по этапам технологического цикла), балл (экспертная оценка) Уровень развития других эколого-ориентированных технологий, балл (экспертная оценка) Уровень осведомленности общественности о технологиях СС(U)S, % Уровень экологически осознанных людей, % Количество новых технологий использования углекислого газа, шт. Количество новых продуктов к получению, шт. Доля использованного углекислого газа от общего объема улавливаемого, %



Окончание табл.2

Социум и экономика	Безопасность и здоровье	Окружающая среда	Долгосрочное экологическое развитие
Показатели минимизации			
Уровень безработицы среди населения, % Площадь земель под нужды проекта, га	Уровень заболеваемости в регионе, % Уровень концентрации углекислого газа в атмосфере, млн долей Количество аварий (утечек), шт. Уровень концентрации сопутствующих вредных газов в атмосфере, млн долей Количество случаев сейсмической активности, шт. Количество экологических проблем, шт. Уровень остроты экологической обстановки, степень (от удовлетворительной до катастрофической). Площадь изъятых земель, га	Объемы выбросов CO ₂ , млрд т	Доля ископаемого топлива от всех источников, % Уровень затрат государства (бизнеса) на НИОКР и развитие CC(U)S, ден.ед. Уровень затрат государства (бизнеса) на НИОКР и развитие других экологических технологий, ден.ед.

Эффекты CC(U)S проектов для общества. С учетом специфической природы проектов секвестрации и использования CO₂ и возможного противодействия общества таким проектам, важным представляется их экологическая и социальная направленность, а также роль в формировании экологического сознания общества. Это определяет необходимость применения совершенно иных подходов при их оценке, нацеленных на выявление и измерение в том числе устойчивых общественных эффектов, что, в свою очередь, может привести к переоценке ценности таких инициатив. В работе выявлено потенциальное положительное и отрицательное влияние технологий CC(U)S по таким направлениям, как социум и экономика, безопасность и здоровье, окружающая среда, долгосрочное экологоориентированное развитие (табл.2).

Такая система демонстрирует влияние как краткосрочного, так и долгосрочного (стратегического) характера, что, в свою очередь, определяет возникновение положительных и отрицательных эффектов. Очевидно, что целью является увеличение положительного и снижение отрицательного влияния.

Для проведения оценки могут быть использованы предложенные показатели, которые распределены на группы показателей максимизации и минимизации. Большее значение показателей первой группы и меньшее значение второй свидетельствуют о совокупном увеличении общественных эффектов.

Необходимо отметить, что представленные показатели должны рассматриваться в непосредственной связи с CC(U)S проектами. Так, объем социальных инвестиций, измеряемый в денежном выражении, должен учитывать только те инвестиции, которые связаны с инициацией, разработкой и реализации CC(U)S проекта. Также многие показатели (например, объемы выбросов CO₂, уровень осведомленности общественности о технологиях CC(U)S) могут быть информативными только при исследовании их в динамике. В дальнейших исследованиях будет разработана полноценная методика оценки общественной эффективности таких проектов с разработкой рекомендаций по оценке CCS, CCUS и CCU проектов.

Заключение. В результате проведенного исследования получены следующие результаты:

1. Описана сущность технологий и представлена типология CC(U)S проектов в зависимости от того, какие стадии технологической цепочки в них присутствуют. Новизна полученных результатов заключается в четкой типологизации проектов, анализе их особенностей. В существующей литературе нет единого подхода к используемой терминологии, многие авторы обобщают рассматриваемые проекты, не выделяя их особенностей, и используют общий термин CCS проекты.



2. Выполнен стратегический анализ перспектив реализации СС(У)S проектов в России, что позволило выявить основные сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы их развития. Новизна результата заключается в применении SWOT-анализа для условий России, что дало возможность систематизировать имеющуюся информацию и сделать вывод о возможности реализации рассматриваемых проектов.

3. Выявлены потенциальные общественные эффекты от реализации СС(У)S проектов по таким направлениям, как социум и экономика, безопасность и здоровье, окружающая среда, экологоориентированное развитие, с комплексом показателей для их оценки. Система показателей оценки общественных эффектов позволит расширить подходы к оценке таких проектов и усилить стимулы к их инициации и развитию, что определяет практическую значимость работы. В зарубежной литературе исследование общественных эффектов от реализации проектов СС(У)S проводились (например, [17]), однако, лишь в описательном виде, без выделения направлений их возникновения и конкретных показателей для оценки. Вместе с тем, в силу различной природы представленных показателей, их разнонаправленности, а также сложности сбора информации для расчета в дальнейшем требуется разработка и обоснование методики и детальных рекомендаций по проведению оценки.

Результаты исследования носят долгосрочный характер и могут быть использованы государственными структурами и промышленными компаниями, занимающимися вопросами устойчивого развития и, в частности, декарбонизации, при инициации, планировании и реализации первых проектов секвестрации CO₂ в России. Полученные результаты могут стать основой для развития академической дискуссионной площадки по экономике секвестрации CO₂ в России.

Дальнейшие направления исследований связаны с обоснованием методики оценки общественной эффективности СС(У)S проектов с разработкой и учетом системы интересов различных групп стейкхолдеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захоронение промышленных выбросов углекислого газа в геологические структуры / С.А.Переверзева, П.К.Консавский, А.В.Тудвачев, И.Л.Хархордин // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2014. Сер. 7. Вып. 1. С. 5-17.
2. Каркашадзе Г.Г. Современные подходы к технологиям захоронения углекислого газа в угольных пластах и породных массивах / Г.Г.Каркашадзе, Ю.В.Харин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. S 13. № 1. С. 291-306.
3. Лаврентченко Г.К. Перспективы совершенствования и широкого использования ССS-технологий / Г.К.Лаврентченко, А.В.Копытин // Технические газы. 2015. № 2. С. 3-15.
4. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2017 годы. М., 2019. 471 с.
5. Сидорова К.И. Разработка технико-экономической модели улавливания CO₂ для энергетического сектора // Экология и промышленность России. 2014. № 12. С. 20-25.
6. Федосеев С.В. Ключевые факторы общественного восприятия проектов захвата и захоронения углекислого газа / С.В.Федосеев, П.С.Цветков // Записки Горного института. 2019. Т. 237. С. 361-368. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.361
7. Череповицын А.Е. Оценка перспектив внедрения технологий секвестрации CO₂ / А.Е.Череповицын, Ю.Н.Васильев, А.Ю.Цветкова // Риск: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. 2018. № 2. С. 86-89.
8. Череповицын А.Е. Управление стейкхолдерами проектов секвестрации углекислого газа в системе государство – бизнес – общество / А.Е.Череповицын, А.А.Ильинова, О.О.Евсеева // Записки Горного института. 2019. Т. 240. С. 731-742. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.731
9. Череповицын А.Е. Экономико-социальные аспекты развития технологий захвата и захоронения CO₂ в нефтегазовом комплексе России // Записки Горного института. 2015. Т. 211. С. 125-130.
10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. 5th ed. / Project Management Institute. USA, 2013. 616 p.
11. Accelerating Carbon Capture and Sequestration Projects: Analysis and Comparison of Policy Approaches / E.Burton, S.Ezzedine, J.Reed, J.Beyer // Energy Procedia. 2011. Vol. 4. P. 5778-5785. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.02.574
12. BP: Statistical Review of World Energy – 2019 edition. URL: <https://nangs.org/analytics/bp-statistical-review-of-world-energy> (дата обращения 12.02.2020)
13. From demonstration to deployment: An economic analysis of support policies for carbon capture and storage / M.Krahe, W.Heidug, J.Ward, R.Smole // Energy Policy. 2013. Vol. 60. P. 753-763. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.05.019
14. Henriksen D. CCS – What Does it Take? Necessary Framework to Succeed with CCS / D.Henriksen, I.Ombudstvedt // Energy Procedia. 2014. Vol. 63. P. 6730-6737. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.11.708
15. Ilinova A. Stakeholder Management: An Approach in CCS Projects / A.Ilinova, A.Cherepovitsyn, O.Evsheeva // Resources. 2018. Vol. 7(4). № 83. DOI: 10.3390/resources7040083
16. Kapetaki Z. Overview of Carbon Capture and Storage (CCS) Demonstration Project Business Models: Risks and Enablers on the Two Sides of the Atlantic / Z.Kapetaki, J.Scowcroft // Energy Procedia. 2017. Vol. 114. P. 6623-6630. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.1816



17. *Karayannis V.* Socio-economic Aspects of CCS Technologies / V.Karayannis, G.Charalampides, E.Lakioti // *Procedia Economics and Finance*. 2014. Vol. 14. P. 295-302. DOI: 10.1016/S2212-5671(14)00716-3
18. *Li Q.* Water-CCUS Nexus: Challenges and Opportunities of China's Coal Chemical Industry / Li Q., Wei Y-N, Chen Z-A. // *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2016. Vol. 18. P. 775-786. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.09.07
19. Potential of Russian Regions to Implement CO₂-Enhanced Oil Recovery / A.Cherepovitsyn, S.Fedoseev, P.Tsvetkov, K.Sidorova, A.Kraslawski // *Energies*. 2018. Vol. 11(6). № 1528. DOI: 10.3390/en11061528
20. Putting CO₂ to Use Creating value from emissions / Technology report. September 2019. URL: <https://www.iea.org/reports/putting-co2-to-use> (дата обращения 20.02.2020)
21. *Romashева N.* CCS Projects: How Regulatory Framework Influences Their Deployment / N.Romashева, A.Ilinova // *Resources*. 2019. Vol. 8(4). № 181. DOI: 10.3390/resources8040181
22. *Sander van Egmond.* Argument map for carbon capture and storage / Sander van Egmond, M.P.Hekkert // *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2012. Vol. 11. P. 148-159. DOI: 10.1016/j.ijggc.2012.08.010
23. *Singha P.* A Review of Existing Carbon Capture and Storage Cluster Projects and Future Opportunities / P.Singha, M.Haines // *Energy Procedia*. 2014. Vol. 63. P. 7247-7260.
24. *Shabalov M.Y.* Prospects of binary energy generation systems based on the joint use of traditional sources of energy and wave motion energy / M.Y.Shabalov, I.I.Filatova, Y.V.Kuskova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 643. № 012143. DOI: 10.1088/1757-899X1643/1/012143
25. The Politics of Large-scale CCS Deployment / J.Lipponen, S.McCulloch, S.Keeling, T.Stanley, N.Berghout, T.Berly // *Energy Procedia*. 2017. Vol. 114. P. 7581-7595. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.1890
26. *Tsvetkov P.* The Changing Role of CO₂ in the Transition to a Circular Economy: Review of Carbon Sequestration Projects / P.Tsvetkov, A.Cherepovitsyn, S.Fedoseev // *Sustainability*. 2019. Vol. 11(20). № 5834. DOI: 10.3390/su11205834
27. *Vasilev Y.* International review of public perception of CCS technologies / Y.Vasilev, P.Vasileva, A.Tsvetkova // 19th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM. 2019. Vol. 19. Iss. 5.1. P. 415-422. DOI: 10.5593/sgem2019/5.1/ S20.052
28. *Viebahn P.* Scrutinising the Gap between the Expected and Actual Deployment of Carbon Capture and Storage – A Bibliometric Analysis / P.Viebahn, E.J.L.Chappin // *Energies*. 2018. Vol. 11. № 2319. DOI: 10.3390/en11092319
29. *Viebahn P.* Integrated Assessment of Carbon Capture and Storage (CCS) in South Africa's Power Sector / P.Viebahn, D.Vallentin, S.Höller // *Energies*. 2015. Vol. 8. P. 14380-14406.
30. *Zhao X.* Impact of environmental regulations on the efficiency and CO₂ emissions of power plants in China / X.Zhao, H.Yin, Y.Zhao // *Applied Energy*. 2015. Vol. 149. P. 238-247. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.03.112

Авторы: А.А.Ильинова, канд. экон. наук, доцент, iljinovaaa@mail.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), Н.В.Ромашева, канд. экон. наук, доцент, natasmir84@mail.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), Г.А.Стройков, канд. экон. наук, ассистент, g.a.stroykov@mail.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Статья поступила в редакцию 20.02.2020.

Статья принята к публикации 16.07.2020.