

УДК 502.3, 338.2

## Перспективы и общественные эффекты проектов секвестрации и использования углекислого газа

А.А.ИЛЬИНОВА<sup>✉</sup>, 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 CO<sub>2</sub>. 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 °C.

По данным компании BP (BP Statistical Review of World Energy 2019), объем эмиссии CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (метан) и N<sub>2</sub>O (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<sub>2</sub> и составляет порядка 98,5 % совокупного выброса от операций с нефтью [4].

Выбросы CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> в атмосферу и, как следствие, снижения парникового эффекта являются технологии секвестрации. В литературе такие технологии также называются технологиями улавливания и хранения CO<sub>2</sub> или технологиями CCS (carbon capture and storage). Технологический цикл представляет собой улавливание (захват, отделение) CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> – CCUS (carbon capture, utilization and storage). Появление технологий, способных полностью использовать CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> – 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<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. 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-CO<sub>2</sub> 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 удалено 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 анализ, 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 fazam 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 CO<sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> , постоянный текущий мониторинг и валидация, перманентная актуализация подземной модели	1-50
5	Прекращение закачки CO <sub>2</sub> , 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<sub>2</sub> и высвободить чистый энергетический ресурс CH<sub>4</sub> 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<sub>2</sub>, 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<sub>2</sub>, 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 жидким 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<sub>2</sub>-EOR (например, проект Weyburn-Midale Carbon Dioxide Project, Канада).

Проекты CCU связаны с полной утилизацией CO<sub>2</sub>, 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, жидким минеральным ресурсов, полученные в результате реализации таких проектов, делают возможным частичную или полную компенсацию затрат на улавливание и транспортировку CO<sub>2</sub>, а в некоторых случаях и получение коммерческого эффекта.

Угрозой для развития CC(U)S технологий в России является существующее экологическое законодательства, 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 Республике

Сильные стороны	Слабые стороны
<ul style="list-style-type: none"><li>• Наличие большого количества водоносных структур, геологических формаций, подземных резервуаров, в том числе истощенных месторождений нефти для захоронения CO<sub>2</sub></li><li>• Наличие большого количества техногенных источников CO<sub>2</sub></li><li>• Реализация CC(U)S проектов возможна на базе действующих предприятий с развитой инфраструктурой</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Не зрелость некоторых этапов технологической цепочки улавливание – транспортировка – захоронение – использование CO<sub>2</sub></li><li>• Высокие первоначальные капитальные и текущие эксплуатационные затраты при реализации CC(U)S проектов</li><li>• Отсутствие или низкая коммерческая эффективность CC(U)S проектов</li><li>• Отсутствие нормативно-правовой базы, способствующей реализации технологий CC(U)S</li><li>• Возможные утечки CO<sub>2</sub> из геологических формаций</li></ul>
Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none"><li>• Достижение значительных положительных общественных эффектов, в том числе сохранение рабочих мест</li><li>• Дальнейшая ориентация страны на использование традиционных источников энергии</li><li>• Применение налоговых льгот и налоговых кредитов для компаний, реализующих CC(U)S проекты</li><li>• Сложности применения механизма торговли квотами на выбросы CO<sub>2</sub> в связи с отсутствием утвержденных документов, определяющие процедуры и правила применения данного механизма, что способствует внедрению природоохранных технологий</li><li>• Улучшение имиджа России за рубежом</li><li>• Стремление крупных промышленных предприятий к реализации принципов устойчивого развития</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Волатильность цен на получаемые продукты в случае реализации CCUS и CCU проектов</li><li>• Негативное восприятие проектов обществом</li><li>• Развитие других природоохранных технологий</li><li>• Стабильность экологического законодательства, не предусматривающая его ужесточение</li><li>• Ограниченные возможности международного сотрудничества в связи с существующими санкциями</li></ul>

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

лике Татарстан, где CO<sub>2</sub> использовался для повышения нефтеотдачи. В течение первых трех лет реализации проекта на Елабужском месторождении успешно осуществлялась опытная закачка CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> вблизи истощенных месторождений [5, 19], поэтому проекты CCUS (EOR-CO<sub>2</sub>) могут рассматриваться как перспективные [3].

Угрозой для развития CC(U)S проектов может стать обеспокоенность общественности, связанная с возможностью утечек захороненного CO<sub>2</sub>, однако имеющийся мировой опыт в реализации проектов CC(U)S демонстрирует, что в случае тщательного мониторинга поведения CO<sub>2</sub> под землей, а также наличия отлаженной системы реагирования на возможные утечки, подземное хранение CO<sub>2</sub> 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(У)С технологий и проектов

Социум и экономика	Безопасность и здоровье	Окружающая среда	Долгосрочное экологическое развитие
<b>Сущность</b>			
Социальный эффект и социально-экономические последствия для человека и общества в целом, в том числе развитие территории	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
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(У)С; новые бизнес-возможности по принципам устойчивого развития; популяризация экологических принципов и формирование экологического человеческого сознания (общественного и индивидуального)
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(У)С 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, поверхности 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
<b>Показатели максимизации</b>			
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 <sub>2</sub> ), 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 <sup>2</sup>	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(У)С (по этапам технологического цикла), балл (экспертная оценка) Уровень развития других эколого-ориентированных технологий, балл (экспертная оценка) Уровень осведомленности общественности о технологиях СС(У)С, % 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, %	Объемы выбросов CO <sub>2</sub> , 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.
	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		

**Эффекты CC(U)S проектов для общества.** С учетом специфической природы проектов секвестрации и использования CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, 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)С 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)С 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)С 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 СО<sub>2</sub> в России. Полученные результаты могут стать основой для развития академической дискуссионной площадки по экономике секвестрации СО<sub>2</sub> в России.

Дальнейшие направления исследований связаны с обоснованием методики оценки общественной эффективности СС(У)С 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.Коноваловский, А.В.Тудачев, 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. С 13. № 1. С. 291-306.
3. Лавренченко Г.К. Перспективы совершенствования и широкого использования CCS-технологий / Г.К.Лавренченко, 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 СО<sub>2</sub> 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 СО<sub>2</sub> / 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 СО<sub>2</sub> 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.Ezedine, 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.Smale // 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.Evseeva // 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 CO<sub>2</sub>-Enhanced Oil Recovery / A.Cherepovitsyn, S.Fedoseev, P.Tcvetkov, K.Sidorova, A.Kraslawski // Energies. 2018. Vol. 11(6). № 1528. DOI: 10.3390/en11061528
20. Putting CO<sub>2</sub> 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. Romasheva N. CCS Projects: How Regulatory Framework Influences Their Deployment / N.Romasheva, 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.ijgge.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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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.