



# ОЦЕНКА БОРЬБЫ С УГЛЕРОДНЫМ СЛЕДОМ

Чтобы обеспечить существенное сокращение выбросов парниковых газов, важно понимать, с какими затратами это сопряжено в долгосрочной перспективе

Кеннет Гиллингем

Ученые сходятся во мнении, что продолжающееся увеличение частоты и интенсивности природных катаклизмов — от засух и лесных пожаров до ураганов и затопления прибрежных районов — связано с изменением климата. Достоверно установить размеры экономического ущерба не представляется невозможным, однако есть веские основания полагать, что они могут быть весьма значительными. Директивным органам предстоит решить непростую задачу — определить объем средств на финансирование мероприятий, направленных на сокращение выбросов парниковых газов. Для этого необходимо иметь возможность сопоставить затраты, связанные с различными вариантами решения этой проблемы, включая возобновляемые источники энергии и электрические автомобили.

Политическое решение этой задачи приобретает все большую неотложность, ввиду того что ученые-климато-

логи настаивают на оперативном и радикальном сокращении выбросов, с выходом на нулевой чистый уровень уже к 2050 году, если не раньше (Millar et al., 2017). Достижение этой цели, которую многие страны уже поддержали, потребует серьезных преобразований в системе энергетических ресурсов, используемых для обеспечения работоспособности мировой экономики, и это означает необходимость значительного ускорения технологического прогресса по сравнению с сегодняшней ситуацией. И действительно, согласно *Международному прогнозу в области энергетики на 2019 год*, подготовленному Управлением энергетической информации США, доля ископаемых видов топлива в производстве электроэнергии в 2050 году все еще будет составлять 57 процентов.

Во сколько обойдется колоссальный рывок, который потребуется сделать, чтобы приблизиться к нулевому чистому уровню выбросов к 2050 году? Чтобы ответить

на этот вопрос, важно разграничить краткосрочные и долгосрочные затраты. Существуют низкозатратные способы сокращения выбросов, которые можно использовать в краткосрочной перспективе, однако более масштабные изменения сопряжены со стремительным ростом издержек. В то же время некоторые мероприятия, которые поначалу могут показаться дорогостоящими (особенно связанные с использованием новейших низкоуглеродных технологий), могут, благодаря ускоренному внедрению инноваций, фактически оказаться низкозатратными подходами в долгосрочной перспективе. Это позволяет предположить, что долгосрочные затраты на борьбу с изменением климата могут оказаться не столь значительными, как принято считать.

### Краткосрочные затраты на развитие технологий

Чтобы рассчитать краткосрочные затраты на сокращение выбросов парниковых газов, экономисты определяют величину первоначальных расходов и делят ее на массу углекислого газа (или его эквивалента) в тоннах, выбросы которого удалось предотвратить. Предположим, например, что правительство выделило 20 млн долларов на поддержку строительства ветровых электростанций, позволяющих сократить выбросы углекислого газа на 1 млн тонн. В этом случае краткосрочные затраты на сокращение выбросов составят 20 долларов на тонну CO<sub>2</sub>. Этот метод расчета удобно

использовать для сопоставления затрат, связанных с различными способами сокращения выбросов.

Разумеется, интерпретировать результаты, связанные с отдельно взятой технологией или мерой политики, следует с большой осторожностью. Например, различные меры экологической политики могут оказывать влияние друг на друга, кроме того, затраты, связанные с теми или иными технологиями, могут различаться в зависимости от места и особенностей применения соответствующих технологий. Оценочные показатели этих затрат ежегодно меняются. В частности, стоимость производства электроэнергии на солнечных и ветровых электростанциях за последнее десятилетие резко снизилась, и эта тенденция, судя по всему, сохранится.

Мы с коллегой Джеймсом Стоком проанализировали затраты на реализацию различных несубсидируемых технологий сокращения выбросов парниковых газов, основываясь на последних экономических публикациях и «Ежегодном прогнозе в области энергетики на 2018 год», подготовленном Управлением энергетической информации США (рис. 1). Результаты этого анализа приведены в соотношении с существующими затратами на генерирование электроэнергии на основе угля. Сравнение с углем удобно, поскольку он является наиболее углеродоемким видом топлива, и в процессе борьбы за сокращение углеродных выбросов директивным органам многих стран еще предстоит оценить целесообразность закрытия действующих угольных электростанций. Приведенные нами значения представляют собой усредненные оценочные показатели для США, и применять их к другим странам следует с осторожностью.

Самый поразительный вывод заключается в том, что технологии на основе возобновляемых источников энергии оказываются в ряду наименее затратных. (Этот вывод *может* быть применен за пределами США, поскольку рынки для большинства таких технологий являются глобальными.) Если же при этом учесть прямое или косвенное субсидирование, использование энергии ветра и солнца может обходиться еще дешевле. В то же время эти расчеты не отражают нестабильный характер возобновляемых источников энергии: ведь ни солнце, ни ветер не отличаются постоянством (Joskow, 2019). При интенсивном использовании возобновляемые источники энергии приходится дополнять технологиями хранения, такими как гидроаккумулирующие электростанции или аккумуляторные батареи, или генерирующими устройствами, способными быстро компенсировать потери при снижении производительности ветрового или солнечного источника энергии.

В США в качестве недорогой низкоуглеродной альтернативы углю используются электростанции, сочетающие в целях повышения эффективности газовые и паровые турбины. На этих станциях, известных как парогазовые электростанции комбинированного цикла, используются богатые запасы дешевого сланцевого газа, добываемого методом гидравлического разрыва пласта. Следует иметь в виду, что расчетная

Рисунок 1

#### Сопоставление затрат

Технологии на основе возобновляемых источников энергии входят в число наименее затратных по сравнению с существующей технологией на основе угля.

(В долларах за тонну углекислого газа, в долларах 2017 года)



**Источник:** Kenneth Gillingham and James H. Stock, "The Cost of Reducing Greenhouse Gas Emissions," *Journal of Economic Perspectives* 32, no. 4 (осень 2018 года): стр. 53–72.

**Примечание.** Оценочные показатели заимствованы из «Ежегодного прогноза в области энергетики на 2018 год» Управления энергетической информации США. Прогнозируемые расходы относятся к объектам, подлежащим вводу в эксплуатацию в 2022 году. Расходы не включают федеральные налоговые льготы для объектов, работающих на возобновляемых источниках энергии, и иные виды субсидирования.

стоимость в размере 27 долларов за тонну достигается при условии полного отсутствия утечек метана из скважин, трубопроводов и хранилищ. Метан относится к газам, обладающим выраженным парниковым эффектом. Гигантская утечка метана, случившаяся в 2015 году на месторождении Ализо-Каньон в Калифорнии свидетельствует о том, что производство электроэнергии на основе природного газа может быть сопряжено с более интенсивными выбросами парниковых газов, а значит, и с более высоким уровнем затрат на тонну общего сокращения выбросов парниковых газов.

### Социальные издержки

Чтобы понять, насколько целесообразно вкладывать средства в сокращение таких выбросов, можно сравнить соответствующие затраты с теми издержками, которые несет общество в результате накопительного ущерба от выброса одной тонны углекислого газа и других парниковых газов в атмосферу. Величина накопительного ущерба может определяться такими факторами, как убытки (или, напротив, выгоды, если речь идет о странах с холодным климатом) сельхозпроизводителей, связанные с глобальным потеплением, затопления в результате повышения уровня моря, а также разрушения, вызванные более мощными тропическими циклонами и участвовавшими лесными пожарами. Согласно усредненным прогнозам, составленным администрацией президента США Барака Обамы, величина этого ущерба в 2019 году составит 50 долларов за тонну углекислого газа.

При расчете методом социальных издержек некоторые технологии, применяемые в борьбе с изменением климата, оказываются менее дорогостоящими, чем их традиционные аналоги (при условии, что их внедрение не требует больших усилий), в то время как другие, в том числе основанные на использовании солнечной тепловой энергии и энергии прибрежного ветра, требуют более значительных затрат. Наряду с оценкой 50 долларов за тонну полезными также могут оказаться и другие целевые ориентиры. Так, в одном из последних докладов МВФ предполагается, что введение во всем мире налога в размере 75 долларов за тонну углекислого газа позволило бы достичь цели Парижского соглашения, заключающейся в ограничении глобального потепления 2 градусами Цельсия по сравнению с доиндустриальным уровнем. Если в качестве ориентира принять именно 75 долларов, а не 50, тогда дополнительным вариантом — менее дорогостоящим по сравнению с социальными издержками углеродных технологий — становятся усовершенствованные атомные электростанции.

### Краткосрочные затраты на реализацию мер политики

До сих пор мы рассматривали сегодняшние затраты на несубсидируемые технологии, о которых полезно иметь представление, чтобы понимать, куда будут двигаться рынки в ближайшем будущем. Какой бы ни была энергетическая политика,

Таблица 1

#### Широкий диапазон

Экономические исследования указывают на существенные различия между стоимостью краткосрочных мер по сокращению выбросов углекислого газа.

МЕРА ПОЛИТИКИ	РАСЧЕТНАЯ СТОИМОСТЬ СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА (В ДОЛЛАРАХ 2017 Г. ЗА ТОННУ)
Поведенческая энергоэффективность	-190
Этиловый спирт из кукурузного крахмала	-18+310
Восстановление лесных массивов	1-10
Стандарты использования возобновляемых источников энергии	0-190
Корпоративные стандарты среднего расхода топлива (CAFÉ)	-110+310
Субсидии на развитие ветровой энергетики	2-260
Планы развития экологически чистой энергетики	11
Налоги на бензин	18-47
Нормативы по сжиганию метана	20
Сокращение практики аренды угольных месторождений на федеральных землях	33-68
Политика в области сельскохозяйственных выбросов	50-65
Национальные стандарты в области чистой энергетики	51-110
Система ухода за почвой	57
Политика в области животноводства	71
Расширение технологии концентрации солнечной энергии	100
Субсидии на использование возобновляемых источников топлива	100
Стандарты низкоуглеродного топлива	100-2,900
Субсидии на развитие солнечных фотоэлектрических систем	140-2,100
Биодизель	150-420
Программы повышения энергоэффективности	250-300
Программа утилизации старых автомобилей	270-420
Программы помощи по повышению климатической энергоэффективности зданий	350
Субсидии на производство электромобилей со специально выделенной батареей	350-640

**Источник:** Kenneth Gillingham and James H. Stock, "The Cost of Reducing Greenhouse Gas Emissions," *Journal of Economic Perspectives* 32, no. 4 (осень 2018), стр. 53-72.

**Примечание.** В таблице собраны примеры мер политики, реализуемых в разных странах мира, но большинство из них относится к США. Затраты на парниковые газы, не являющиеся углекислым газом, выражены в эквиваленте углекислого газа с помощью потенциала глобального потепления. Оценочные показатели основаны либо на отдельных опубликованных исследованиях, либо на ряде оценок из различных исследований.

очевидно, что по мере выведения из эксплуатации старых электростанций и строительства новых будет происходить сдвиг в сторону возобновляемых источников энергии. Однако этот переход, возможно, будет происходить гораздо медленнее, чем диктуют амбициозные цели, которые поставили перед собой правительства многих стран. В связи с этим также важно понимать, какими могут быть затраты на сокращение выбросов в результате реализации тех или иных мер *политики*, имеющихся в распоряжении правительств.

Обзорный анализ экономической литературы свидетельствует о том, что диапазон затрат на различные меры политики, которые были реализованы и подверглись оценке, чрезвычайно широк (таблица 1). В число недорогостоящих решений входят мероприятия по повышению энергоэффективности, которые действительно дают экономию средств. В поведенческой экономике их нередко называют «подталкиваниями», поскольку они сводятся к предоставлению или переформулированию информации с целью повлиять на принятие решений в области энергопользования путем «подталкивания» потребителей к выбору более приемлемых в экологическом отношении вариантов. Широко распространенный пример — включение в счета за электричество отчетов, в которых потребление электроэнергии в соответствующем домохозяйстве сравнивается с аналогичным показателем у соседей. Подобные мероприятия, не требуя больших затрат, позволяют сократить потребление электроэнергии примерно на 2 процента и обеспечивают чистую экономию. Несмотря на потенциальную окупаемость этих мер, достигаемое с их помощью сокращение выбросов бывает, как правило, весьма скромным и не играет большой роли в рамках широкомасштабной борьбы за отказ от угольной энергетики.

Среди дорогостоящих решений представлены многочисленные меры политики, реализация которых с точки зрения краткосрочных статических затрат оказывается чрезвычайно дорогой. Наиболее примечательны в этом смысле меры, направленные на создание дополнительных генерирующих мощностей на основе возобновляемых источников энергии и перевод транспорта на безуглеродные виды топлива. Наиболее же дорогостоящими оказываются субсидии на развитие электротранспорта. Это связано с тем, что во многих регионах для зарядки электромобилей используется энергия, получаемая из ископаемых видов топлива, а это снижает потенциальную экономию от сокращения выбросов.

Однако в конечном итоге подобные технологии могут оказаться более экономичными, чем можно предположить, судя по приведенным в таблице краткосрочным оценкам. Дело в том, что многие из них способны обеспечить дополнительные преимущества, такие как снижение загрязнения воздуха, а это может повысить привлекательность таких технологий, даже несмотря на то что их внедрение с целью сокращения выбросов углерода сопряжено с высокими затратами. Более того, в результате вторичных эффектов от совершенствова-

ния этих технологий в более отдаленной перспективе они могут обеспечить совершенно иное сокращение выбросов и уровень затрат на тонну парниковых газов, выбросы которых удалось предотвратить.

## Долгосрочные динамические издержки

Почему вторичные эффекты от внедрения инноваций способны повлиять на существующую ситуацию? Изменение климата — это долгосрочная проблема, с которой придется иметь дело многим поколениям жителей нашей планеты. Накопившийся углекислый газ может оставаться в атмосфере на протяжении сотен или даже тысяч лет. В связи с этим развитие технологий и инновации играют ключевую роль в долгосрочных усилиях по предотвращению изменения климата путем поиска альтернатив ископаемым видам топлива. Несмотря на то что технологии, позволяющие резко сократить выбросы, доступны уже сегодня, наблюдается не только большая инертность энергетической системы, но существует также значительный потенциал для дальнейшего снижения стоимости этих технологий. Эти соображения создают долгосрочную динамическую перспективу, отражающую, каким образом вложение средств в новые технологии сегодня способно снизить стоимость мероприятий, направленных на сокращение выбросов, в будущем.

Есть несколько причин, по которым рассмотрение ситуации в более длительной динамической перспективе может быть целесообразно. Экономистам известно, что научно-исследовательская деятельность нередко сопровождается вторичными эффектами, поскольку фирмы не всегда имеют возможность в полной мере присваивать выгоды, которые она приносит. Например, после истечения срока действия патента любая фирма может воспользоваться инновацией, которая находилась под его защитой. Кроме того, бывают ситуации, когда инженерные и управленческие усовершенствования, связанные с внедрением новой технологии, снижают технологические издержки (так называемое «обучение в процессе работы»), и этим снижением могут воспользоваться другие фирмы. Например, описаны случаи, когда предприятия в полупроводниковой промышленности сокращали производственные затраты за счет увеличения объема производства полупроводников каждого следующего поколения, и это положительным образом отражалось на производственных затратах других предприятий (Irwin and Klenow, 1994). Также возможны позитивные сетевые эффекты, когда принятие единого стандарта, например, введение разьема единого образца для зарядки всех электромобилей, отвечает интересам общества в целом. Все три типа побочных эффектов позволяют другим фирмам сокращать издержки, улучшая общественное благосостояние и создавая экономическую мотивацию для реализации тщательно разработанных мер политики, направленных на стимулирование эффектов такого рода.

Как показали последние исследования по экономике инноваций в области чистой энергетики, возможны и другие важ-

ные особенности, помимо вторичных эффектов: оптимальная политика в долгосрочной перспективе может оказаться совершенно иной по той простой причине, что сегодняшние расходы могут иметь долгосрочный эффект. Некоторые подходы к сокращению выбросов, которые оказываются более дорогостоящими на первых этапах, могут стимулировать развитие инноваций, способных снизить долгосрочные издержки более ощутимо по сравнению с подходами, применяемыми в настоящее время. В качестве примера можно назвать субсидирование электротранспорта, которое включает такие стремительно совершенствующиеся технологии, как аккумуляторные батареи. Если сегодняшняя политика в области экологически чистых технологий способна существенно снизить издержки будущих периодов, в таком случае, возможно, что выбор более дорогостоящих альтернатив оправдан (Acemoglu et al., 2016; Vogt-Schilb et al., 2018). В принципе, этот вывод справедлив даже в том случае, если лишь одна фирма внедрит низкоуглеродные инновации (т.е. вторичный эффект не распространится на другие фирмы), хотя на практике вторичные эффекты, способствующие сокращению долгосрочных издержек, возникают почти всегда. Главное, что следует понимать обществу при поиске наиболее эффективного способа борьбы с изменением климата, — это то, что оптимальное долговременное решение может отличаться от краткосрочного, не основанного на анализе отдаленной перспективы. Безусловно, прогнозировать развитие технологий непросто, поэтому принятие любого решения включает элемент неопределенности. В то же время известно, что отработанные технологии дают меньше оснований ожидать прорывного развития по сравнению с технологиями, находящимися в процессе становления. Таким образом, подход, рассчитанный на долгосрочную перспективу, применим только к более новым низкоуглеродным технологиям, которые обладают реальным потенциалом сокращения издержек в будущем.

## Прорывные технологии

А теперь вернемся к нашему исходному вопросу. Возможно ли настолько масштабно отказаться от углеродных технологий, чтобы к 2050 году нулевой чистый уровень выбросов парниковых газов оказался в пределах досягаемости? Да, это возможно, причем необходимые для этого технологии существуют уже сегодня. В то же время столь масштабная трансформация энергетической системы в случае ее ускоренной реализации обойдется недешево и будет сопряжена с определенными рисками, особенно если принять во внимание высокие первоначальные затраты такого перехода в развивающихся странах, экономика которых находится в большой зависимости от ископаемых видов топлива. Разумеется, существуют менее затратные меры, которые могут быть реализованы уже сегодня, — это энергосбережение, стимулирование населения к использованию менее энергоемких устройств и переход на возобновляемые источники энергии в процессе вывода из эксплуатации генерирующих мощностей, которые

работают на ископаемых видах топлива. Стоимость реализации этих мер уже будет ниже, чем величина ущерба от изменения климата, который они способны предотвратить, рассчитанного с учетом социальных издержек от использования углеродных технологий. Однако многие другие подходы, в особенности меры по внедрению новых низкоуглеродных технологий, на начальных этапах требуют существенных затрат. В то же время если проводимая политика обладает высоким потенциалом стимулирования инноваций, она может способствовать значительному сокращению общих издержек в долгосрочной перспективе.

Долгосрочный анализ с учетом инновационного развития — обязательный элемент принятия решений, касающихся определения способов борьбы с изменением климата. Внедрение таких инноваций, как небольшие ядерные реакторы модульного типа и технологии улавливания углерода, может в корне изменить ситуацию, позволив свести к нулю выбросы парниковых газов при невысоком уровне затрат. Конечно, как сказал датский физик Нильс Бор, «предсказывать что-либо очень трудно, особенно если речь идет о будущем». Невозможно заранее сказать, по какому пути пойдет развитие технологий, поэтому нам остается лишь строить предположения о конечной стоимости достижения нулевого уровня выбросов. Однако в наших силах планировать будущее, о котором нам не придется жалеть. Для этого необходимо создавать стимулы к низкозатратному сокращению выбросов парниковых газов и внедрению низкоуглеродных инноваций, в том числе за счет повсеместного взимания платы за выбросы углерода в атмосферу и разумного вложения средств в новые технологии. **ФР**

**КЕННЕТ ГИЛЛИНГЕМ** — адъюнкт-профессор экономики природопользования и энергетики Йельского университета. Эта статья представляет собой переработанную версию статьи «Стоимость сокращения выбросов парниковых газов» (“The Cost of Reducing Greenhouse Gas Emissions”), написанной в 2018 году совместно с Джеймсом Стоком и опубликованной в *Journal of Economic Perspectives*.

## Литература

- Acemoglu, Daron, Ufuk Akcigit, Douglas Hanley, and William Kerr. 2016. “Transition to Clean Technology.” *Journal of Political Economy* 124, no. 1: 52–104. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/684511>
- Irwin, Douglas, and Peter Klenow. 1994. “Learning-by-Doing Spillovers in the Semiconductor Industry.” *Journal of Political Economy* 102, no. 6: 1200–27. <https://doi.org/10.1086/261968>
- Joskow, Paul L. 2019. “Challenges for Wholesale Electricity Markets with Intermittent Renewable Generation at Scale: The US Experience.” *Oxford Review of Economic Policy* 35, no. 2: 291–331. <https://doi.org/10.1093/oxrep/grz001>
- Millar, Richard J., Jan S. Fuglestedt, Pierre Friedlingstein, and others. 2017. “Emission Budgets and Pathways Consistent with Limiting Warming to 1.5°C.” *Nature Geoscience* 10: 741–47. <https://www.nature.com/articles/ngeo3031>
- Vogt-Schilb, Adrian, Guy Meunier, and Stephane Hallegatte. 2018. “When Starting With the Most Expensive Option Makes Sense: Optimal Timing, Cost and Sectoral Allocation of Abatement Investment.” *Journal of Environmental Economics and Management* 88: 210–33. <https://doi.org/10.1016/j.jeeem.2017.12.001>