

## Оценка углеродоемкости внешней торговли России<sup>1</sup>

**Макаров И.А., Соколова А.К.**

В рамках современной системы международного климатического регулирования страны несут ответственность за выбросы парниковых газов, осуществляемые в результате хозяйственной деятельности на их территории, даже в том случае, если эмиссия происходит при производстве продукции, направляемой на экспорт. Напротив, импорт углеродоемкой продукции международными соглашениями никак не ограничивается.

В данной работе на основе анализа межстрановых таблиц «затраты – выпуск», представленных в базе данных *WIOD*, осуществлена оценка объема выбросов углекислого газа, осуществляемых при производстве продукции, экспортируемой Россией за рубеж («экспорта выбросов») и импортируемых в Россию из других стран («импорта выбросов»). Выявлено, что Россия является вторым в мире нетто-экспортером выбросов углекислого газа, причем подавляющее большинство выбросов направляется в форме экспортируемой продукции в развитые страны. Причинами высокой углеродоемкости российской экспортной продукции являются как технологическая отсталость от развитых стран, так и особенности товарной структуры внешней торговли России: ее экспорт состоит преимущественно из углеводородного сырья и энергоемких товаров, а импорт – из продукции с относительно невысокой энергоемкостью.

Значительные объемы нетто-экспорта выбросов делают Россию страной, интересам которой текущая схема учета выбросов отвечает в наименьшей степени. С одной стороны, Россия, как и другие крупные страны-нетто-экспортеры выбросов, заинтересована в пересмотре принципов распределения ответственности между производителями и потребителями углеродоемкой продукции. С другой стороны, существующая технологическая отсталость делает ее уязвимой перед лицом политики «углеродного протекционизма», которая может начать применяться в других государствах.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ. Авторы признательны Л.М. Григорьеву за некоторые идеи, легшие в основу данной работы. Авторы также выражают благодарность за замечания к тексту анонимному рецензенту.

**Макаров Игорь Алексеевич** – к.э.н., доцент, заместитель руководителя департамента мировой экономики НИУ ВШЭ. E-mail: imakarov@hse.ru

**Соколова Анна Константиновна** – стажер-исследователь Центра комплексных европейских и международных исследований НИУ ВШЭ. E-mail: aksokolova@hse.ru

Статья поступила в Редакцию в августе 2014 г.

**Ключевые слова:** глобальное изменение климата; выбросы углекислого газа; углеродоемкость торговли; внешняя торговля России; таблицы «затраты – выпуск»; Киотский протокол.

## 1. Введение

Изменение климата является одной из острейших глобальных проблем, наносящих значительный ущерб мировой экономике. Согласно выводам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), наибольший вклад в процесс климатических изменений вносят антропогенные выбросы парниковых газов [IPCC, 2013], в первую очередь – CO<sub>2</sub>.

Международное сотрудничество в области смягчения климатических изменений, начавшееся в 1990-е годы, обусловило необходимость учета выбросов CO<sub>2</sub> в страновом разрезе. При этом ключевой вопрос заключается в том, по какому принципу определять принадлежность выбросов CO<sub>2</sub> к той или иной стране. Для выполнения своих обязательств в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК) и Киотского протокола страны составляют национальные кадастры, которые содержат информацию о выбросах тех парниковых газов, которые «были осуществлены в пределах территории страны» [IPCC, 2006].

Этот подход максимально прозрачен и наиболее прост для реализации, однако сопряжен с рядом недостатков, возникающих из-за того, что он оставляет вне поля своего внимания роль международной торговли. Между тем на настоящий момент 30% всех выбросов CO<sub>2</sub> осуществляется при производстве товаров, торгуемых на мировом рынке [Sato, 2013]. Таким образом, рост потребления углеродоемкой продукции в одной стране может не приводить к увеличению выбросов в этой стране, однако способствовать росту выбросов в других странах, поставляющих в данную страну углеродоемкую продукцию.

Эта сложность усугубляется тем, что большая часть торговых потоков направляется из развивающихся стран в развитые. Однако развивающиеся страны не входят в Приложение I РКИК, т.е. не несут количественных обязательств по сокращению выбросов. Это значит, что тот рост потребления углеродоемкой продукции в развитых странах, который приходится на импорт из развивающихся, никак не ограничивается действующей системой климатического регулирования. Более того, она стимулирует «утечку выбросов», т.е. замещение производства относительно менее углеродоемкой продукции, производимой в развитых странах, на которые налагаются ограничения по выбросам, импортом более углеродоемкой продукции из развивающихся стран, на которые подобные ограничения не распространяются.

В связи с этим нередко предлагается альтернативный подход к учету выбросов, основанный на подсчете выбросов от производства продукции, не производимой (как провозглашает РКИК), а потребляемой на территории той или иной страны<sup>2</sup>. При таком подходе выбросы, осуществленные за рубежом при производстве импортируемой продукции, учитываются в той же мере, что и выбросы, осуществляемые при производстве продук-

<sup>2</sup> Далее для краткости мы будем называть выбросы от производства продукции, потребляемой на территории страны, «выбросами от потребления» в противовес «выбросам от производства», которые рассчитываются при традиционном подходе.

ции для собственного потребления внутри страны. Предпосылки для «утечки выбросов» в таком случае исчезают, при этом возникают дополнительные стимулы для сокращения потребления (но не производства и экспорта) углеродоемкой продукции.

Объемы выбросов от производства и от потребления в масштабах всего мира идентичны. Однако по странам между этими двумя величинами наблюдаются существенные различия. Так, Г. Петерс и Э. Хертвич определили, что в 2001 г. суммарные выбросы от потребления для стран Приложения I РКИК были на 5% больше их выбросов от производства. В частности, выбросы от потребления в США в 2001 г. на 7,3% превышали выбросы от производства. В Китае же, наоборот, выбросы от производства превышали выбросы от потребления на 17,8%, а в России – на 21,6% [Peters, Hertwich, 2008].

Выбросы от производства отличаются от выбросов от потребления на величину выбросов, осуществляемых при производстве продукции, составляющей чистый экспорт страны:

$$(1) \quad E_{prod} = E_{cons} + E_{exp} - E_{imp},$$

где  $E_{prod}$  – выбросы от производства;  $E_{cons}$  – выбросы от потребления;  $E_{exp}$  – выбросы, осуществляемые при производстве экспортируемой продукции (далее – экспорт выбросов);  $E_{imp}$  – выбросы, осуществляемые при производстве импортируемой продукции (далее – импорт выбросов).

Разница между выбросами от производства и выбросами от потребления по странам мира определяется географией международных потоков торговли ресурсами и готовой продукцией. Чаще всего для оценки углеродоемкости международной торговли (объемов торговли «виртуальным углеродом»)<sup>3</sup> используются таблицы «затраты – выпуск», которые позволяют оценить выбросы углекислого газа, осуществленные на всех этапах производства конечной продукции.

В рамках данного исследования на основе использования метода «затраты – выпуск» и базы данных *WIOD* осуществлена оценка экспорта и импорта выбросов России. Результаты свидетельствуют, что Россия является вторым в мире нетто-экспортером выбросов, а причины этого кроются как в технологической отсталости, так и в особенностях отраслевой структуры внешней торговли страны.

Исследование имеет следующую структуру. Раздел 2 содержит характеристику основных подходов к оценке экспорта выбросов, а также обзор результатов научных работ, в которых выполнена такая оценка. Раздел 3 посвящен описанию структуры межстрановой таблицы «затраты – выпуск» в базе данных *WIOD*, которая выступила в качестве основного источника данных для проведенного анализа. Раздел 4 раскрывает методологию исследования. Раздел 5 содержит его основные результаты – оценки объемов и структуры экспорта и импорта выбросов в России. Вслед за ними представлено сравнение показателей России и других стран, а также произведен анализ причин высокой углеродоемкости российского экспорта. Наконец, в разделе 6 поставлен вопрос о значении полученных результатов для позиции России на международных переговорах по изменению

<sup>3</sup> Термин возник по аналогии с «виртуальной водой» [Atkinson et al., 2011], под которой понимается объем воды, используемый для производства того или иного товара.

климата. В частности, приведена аргументация того, что у России есть и мотивы, и основания отстаивать на переговорах необходимость разделения ответственности за осуществление выбросов при производстве углеродоемкой продукции между ее экспортерами и импортерами.

## 2. Основные подходы к оценке экспорта выбросов и обзор литературы

Начало использованию метода «затраты – выпуск» для оценки влияния на окружающую среду было положено в 1970-е годы, после публикации В. Леонтьева, который, предложив методологию анализа источников загрязнений в экономике с двумя отраслями (сельское хозяйство и промышленность) с помощью таблиц «затраты – выпуск», показал, что именно такой анализ должен лежать в основе борьбы с экологическими экстерналиями [Leontief, 1970]. В дальнейшем на основе сходной методологии проводились эмпирические исследования, направленные на оценку объемов использования энергии, воды, различных материалов, а также генерации загрязнений на разных этапах производства готовой продукции. Первое значительное исследование, в котором таблицы «затраты – выпуск» были использованы для оценки межотраслевых «перетоков» выбросов парниковых газов (CO<sub>2</sub>), было осуществлено П. Гэем и Дж. Прупсом в 1994 г. для Великобритании на основе анализа данных по 38 отраслям [Gay, Proops, 1994]. В настоящее время основные базы данных, содержащие системы таблиц «затраты – выпуск»<sup>4</sup>, содержат информацию, устанавливающую связь между выпуском в страновом и отраслевом разрезе и выбросами парниковых газов.

Ранние оценки углеродоемкости международной торговли базировались (преимущественно из-за недостатка данных) на предположении об отсутствии различий в технологиях между странами (т.е. о том, что производство единицы одних и тех же товаров и услуг в разных странах сопровождается одинаковым количеством выбросов). Иначе говоря, объектом анализа выступали двусторонние международные торговые потоки, а национальная таблица «затраты – выпуск» служила основой для определения углеродоемкости как экспортной, так и импортной продукции. Например, А. Выкофф и Д. Руп на основе такого подхода оценили в 1994 г. углеродоемкость импорта конечной продукции шести крупнейших экономик ОЭСР (Канада, Франция, Германия, Япония, Великобритания и США). Результатом исследования стал вывод о том, что политика рассматриваемых стран по снижению выбросов парниковых газов может быть неэффективной, если доля импорта в потреблении очень высока [Wuyckoff, Roop, 1994]. Однако предпосылка о равенстве технологий экспортеров и импортеров может привести к смещению оценок объемов «виртуального углерода» в международной торговле, особенно в случае если у стран-контрагентов значительно различаются уровень развития технологий и/или структура энергобаланса.

Для устранения подобных неточностей начались исследования по применению к анализу экспорта/импорта выбросов межрегиональных таблиц «затраты – выпуск» (*Multi-regional input-output, MRIO*). Такие таблицы, расширяющие первоначальную концеп-

<sup>4</sup> В частности, базы *World Input-Output Database (WIOD)*, (<http://www.wiod.org/>), *Global Trade Analysis Project (GTAP)*, (<http://www.gtap.agecon.purdue.edu>), *Eora Database* (<http://www.worldmrio.com>).

цию В. Леонтьева, позволили учесть межстрановые различия в технологиях. Хотя данный тип анализа применялся с начала 1950-х годов для региональных сравнений [Miller, Blair, 1985], его использование для оценки экспорта и импорта выбросов CO<sub>2</sub> началось относительно недавно [Ahmad, Wykoff, 2003; Lenzen, 2004].

К настоящему времени сложились два подхода к оценке углеродоемкости международной торговли: оценка выбросов на основе анализа двусторонних торговых потоков (*Environmentally extended bilateral trade, EEBT*) и оценка на основе анализа межрегиональных таблиц «затраты – выпуск» (*Multi-regional input-output analysis, MRIO*) [Peters, 2007]. Они отличаются не только по характеру используемых источников информации (национальные таблицы «затраты – выпуск» в случае *EEBT* и межрегиональные в случае *MRIO*), но и по характеру учета информации о выбросах на разных этапах производства готовой продукции.

Разницу между двумя подходами удобно показать на примере. Предположим, страна *A* импортирует автомобиль из страны *B*. При использовании метода *EEBT* в импорт страны *A* будут включены только выбросы, осуществленные в стране *B* непосредственно при производстве автомобиля, а выбросы, осуществленные в стране *C* при добыче руды, и выбросы, осуществленные в стране *D* при производстве стали, необходимой для производства автомобиля, будут отражены как импорт страны *B* из стран *C* и *D* [The Carbon Trust, 2011].

В случае с методом *MRIO* выбросы CO<sub>2</sub> от добычи руды, выплавки стали и производства автомобиля будут отражены как импорт страны *A* из стран *B*, *C* и *D* соответственно. При использовании метода *MRIO* учитывается, таким образом, полный жизненный цикл товаров и объемы «виртуального углерода» в международной торговле отражаются наиболее полно.

В настоящее время появляется все большее количество исследований, в которых с помощью таблиц «затраты – выпуск» проводится оценка объемов экспорта выбросов как для конкретных стран (наиболее популярны подобные исследования, посвященные Китаю – крупнейшему в современном мире эмитенту и экспортеру выбросов CO<sub>2</sub> [Peters et al., 2007; Xu, Allenby, Chen, 2009; Liu et al., 2010; Lin, Sun, 2010; Dietzenbacher, Pei, Oosterhaven, 2012; Su, Ang, Low, 2013]), так и для мира в целом<sup>5</sup>.

Н. Ахмад и А. Выкофф в 2003 г. установили, что общий объем экспорта выбросов CO<sub>2</sub> сопоставим, а во многих случаях превышает объемы выбросов отдельных стран. При этом большая часть развитых стран являются нетто-импортерами выбросов, тогда как развивающиеся страны преимущественно выступают в качестве нетто-экспортеров. Так, чистый экспорт из Китая и России в 1995 г. был примерно равен чистому импорту стран ОЭСР. Это, в свою очередь, соответствовало примерно 5% его выбросов [Ahmad, Wykoff, 2003]. Тем не менее ряд исследований обнаруживают среди нетто-экспортеров выбросов некоторые развитые страны с энергоемким экспортом – Австралию [Lenzen, 1998], Норвегию [Peters, Hertwich, 2006] и Швецию [Kander, Lindmark, 2006].

Г. Петерс и Э. Хертвич в 2008 г. оценили выбросы CO<sub>2</sub> при производстве торгуемых товаров для 87 стран мира по состоянию на 2001 г. Общий объем экспорта выбросов CO<sub>2</sub> составил около 5,3 млрд т. Авторы указали на несовершенство действующей архитектуры международного климатического регулирования, связанное с тем, что обязательства по

<sup>5</sup> Общий обзор исследований представлен в работах [Wiedmann, 2009; Sato, 2013].

сокращению выбросов в рамках РКИК несут преимущественно нетто-импортеры выбросов. Было предложено отражать эффект от торговли в национальных кадастрах выбросов, а обязательства по сокращению выбросов распределять не по отдельным странам, а по их региональным группам, что позволило бы сократить влияние фактора торговли на рост объемов CO<sub>2</sub> [Peters, Hertwich, 2008].

С. Дэвис и К. Калдейра оценили объемы экспорта выбросов CO<sub>2</sub> по 113 странам мира и 57 отраслям. По состоянию на 2004 г. они составили около 6,2 млрд т CO<sub>2</sub> (по обновленным данным 2011 г. [Davis, Caldeira, Peters, 2011] – 6,4 млрд т), причем большая часть торговли выбросами происходила в форме их экспорта из Китая и других развивающихся стран в страны ОЭСР. Так, в Швейцарии, Швеции, Австрии, Великобритании и Франции более 30% выбросов от потребления импортировалось, а в Китае 22,5% выбросов по производству – экспортировалось. Авторы отмечают, что разделение ответственности между потребителями и производителями выбросов является важным для достижения эффективного международного климатического соглашения [Davis, Caldeira, 2010].

В работе Б. Буатье данные по CO<sub>2</sub> в торговле были получены с использованием метода *MRIO* для анализа данных по 40 странам (другие страны сгруппированы в категорию «Остальной мир») и 35 отраслям на основе данных из базы WIOD за период 1995–2009 гг. Автор выделил «страны-потребители CO<sub>2</sub>» (страны ОЭСР, особенно ЕС-15, в которых выбросы по производству меньше выбросов по потреблению) и «страны-производители CO<sub>2</sub>» (развивающиеся страны – БРИК и «Остальной мир»). Автор предлагает вести учет выбросов CO<sub>2</sub> как от производства, так и от потребления, что позволило бы более объективно оценить эффективность политики по смягчению изменения климата. Кроме того, делается предположение, что для большинства стран, не входящих в Приложение I РКИК, расчет выбросов от потребления для определения национальной цели по их сокращению был бы более предпочтительным и, возможно, стимулировал бы принятие международных обязательств по сокращению выбросов [Boitier, 2012].

В большинстве исследований, посвященных оценке углеродоемкости международной торговли, среди прочих представлены и оценки экспорта и импорта выбросов из России [Boitier, 2012; Peters, Hertwich, 2008; Davis, Caldeira, Peters, 2011]. При этом исследований, анализирующих углеродоемкость российской внешней торговли в деталях (выходя за рамки указания валовых значений российского экспорта и импорта выбросов), достаточно мало.

В 2011 г. в исследовании российско-индийского коллектива авторов была проведена оценка экспорта и импорта выбросов России по методу *EEBT* на основе таблицы «затраты – выпуск» Росстата (2002 г.), торговой статистики и данных по углеродоемкости отраслей [Mehra et al., 2011]. Экспорт выбросов из России в 2002 г. был оценен в 373 млн т, а импорт – в 203 млн т. Авторы пришли к выводу о том, что крупнейшими импортерами выбросов из России являются страны Европы и Китай, что связано с большими объемами экспорта полезных ископаемых. При оценке объемов импорта была использована предпосылка о том, что российский импорт произведен по той же технологии, что и экспорт (а значит, с той же углеродоемкостью), что, очевидно, привело к некоторому смещению оценки для импорта.

В 2013 г. в работе Н. Пискуловой с соавторами осуществлен анализ экспорта российских регионов с точки зрения их уязвимости перед лицом ужесточения климатической политики в странах-контрагентах. Авторы показали, что углеродоемкость экспорта

многих российских регионов достаточно высока, а потому введение пограничных компенсационных мер (пограничного углеродного налога) торговыми партнерами окажется для них достаточно болезненным [Пискулова, Костюнина, Абрамова, 2013]. Однако количественной оценки экспорта выбросов в данном исследовании не проводилось.

### 3. Структура используемых данных

В рамках данной работы для оценки экспорта выбросов различными странами используется база данных *World Input-Output Database (WIOD)*, которая содержит национальные таблицы «затраты – выпуск», а также межстрановую таблицу для всего мира. Таблицы построены на основе национальных таблиц «затраты – выпуск» и/или таблиц ресурсов и использования, базы данных UN COMTRADE по торговле товарами, данных ОЭСР, Eurostat, МВФ и ВТО по торговле услугами и др. источников [Timmer, 2012].

Таблицы «затраты – выпуск» для России в базе данных *WIOD* основаны на детализированном варианте базовой системы национальных таблиц 1995 г. Для расчетов за последующие годы разработчики опирались на контрольные итоги из счетов и таблиц СНС. Произошедшие изменения в методологии расчета показателей СНС и построения таблиц «затраты – выпуск» Росстатом, а также наблюдавшиеся на протяжении рассматриваемого периода высокие темпы инфляции неизбежно смещают межотраслевые пропорции для России в базе данных *WIOD* [Баранов и др., 2014]. Кроме того, достоверность таблиц «затраты – выпуск» в этой базе ограничивается такими факторами, как использование упрощающих предположений о распределении импортируемой продукции по потребляющим отраслям в стране-импортере; пересчет в доллары из национальных валют по единому для всех товаров и услуг среднегодовому валютному курсу; невозможность очистки данных по экспорту от реэкспорта; неизбежный недоучет объемов предоставления транспортных услуг и др. Однако на настоящий момент эти ограничения имеют неустранимый характер и относятся к любому динамическому ряду таблиц «затраты – выпуск» для России.

Межстрановая таблица «затраты – выпуск» в *WIOD* включает в себя 40 стран (более 85% мирового ВВП) и «Остальной мир», 35 отраслей и имеет следующую структуру (упрощенно): в строках размещены данные о потоках стоимости предоставляемых ресурсов и произведенной продукции (как для внутреннего потребления, так и на экспорт) в отраслевом и страновом разрезе; в столбцах – данные о потоках потребляемых ресурсов и товаров (как производимых внутри страны, так импортных), также по отраслям и странам (табл. 1).

База данных *WIOD* содержит также данные о выбросах CO<sub>2</sub> по странам мира, причем выбросы разбиты на 35 отраслей и – отдельно – выбросы от конечного потребления домохозяйств. Данные доступны для 40 стран и «остального мира» за период с 1995 по 2009 гг. Однако в данной работе в качестве валовых значений выбросов по странам использовались не данные *WIOD*, а официальные данные, отражаемые странами в Национальных кадастрах выбросов в рамках РКИК<sup>6</sup>. Для стран, не входящих в Приложение I РКИК, значения выбросов были взяты у World Resource Institute<sup>7</sup>. Так как кадастры выбросов в

<sup>6</sup> UNFCCC ([http://unfccc.int/ghg\\_data/items/3800.php](http://unfccc.int/ghg_data/items/3800.php)).

<sup>7</sup> CAIT 2.0. 2014. *Climate Analysis Indicators Tool: WRI's Climate Data Explorer* (<http://cait2.wri.org>).

рамках РКИК используют классификацию отраслей, отличную от той, которая применяется в таблицах *WIOD*, отраслевая структура выбросов (доля каждой отрасли в суммарных выбросах страны) была принята нами аналогичной той, которая представлена в базе *WIOD*. Кроме того, для разбиения по отраслям выбросов 2010 и 2011 гг. по причине отсутствия соответствующих данных была использована структура выбросов 2009 г.


Таблица 1.


**Структура межстрановой таблицы «затраты – выпуск»  
в базе данных *WIOD***


		Промежуточное потребление						Конечное потребление товаров и услуг*			Валовый выпуск (сумма по строке)	
		$C_1$			...	$C_{41}$			$C_1$	...		$C_{41}$
		$O_1$	...	$O_{35}$	...	$O_1$	...	$O_{35}$				
$C_1$	$O_1$											
	...											
	$O_{35}$											
...	$O_1$											
	...											
	$O_{35}$											
$C_{41}$	$O_1$											
	...											
	$O_{35}$											
ВДС в основных ценах												
Выпуск в основных ценах (сумма по столбцу)												

$O_i$  – отрасль  $i = 1, \dots, 35$ ;

$C_m$  – страна  $m = 1, \dots, 41$ ;  $C_1, \dots, C_{40}$  – отдельные страны,  $C_{41}$  – это остальной мир;

 – внутреннее производство страны  $m$  для внутреннего потребления страны  $m$ ;

 – экспорт (страна  $m$  в страну  $v$ );

 – импорт (страны  $m$  из страны  $v$ ).

\* Потребление включает в себя: Конечное потребление домохозяйств, Конечное потребление НКО, Государственные расходы, Валовое накопление основного капитала. Изменения запасов (Changes in inventories and valuables) приняты равными нулю.

Источник: составлено авторами на основе *WIOD*.

#### 4. Методология

Применяемая в данной работе методология является стандартной для оценки экспорта выбросов методом *MRIO*. В адаптированном для таблиц *WIOD* виде она описана в работе Б. Буатье [Boitier, 2012], и именно на это описание мы будем опираться.



Основная идея оценки объемов экспорта выбросов по странам состоит в объединении стоимостных данных о потоках ресурсов, товаров и услуг (как между отраслями внутри стран, так и между странами) с данными о выбросах CO<sub>2</sub> (в физических единицах).

Данные таблицы «затраты – выпуск» могут быть представлены в следующем виде:

$$(2) \quad x = Ax + f,$$

$$(3) \quad \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \\ \vdots \\ x_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1v} & \cdots & A_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{m1} & \cdots & A_{mv} & \cdots & A_{mN} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{N1} & \cdots & A_{Nv} & \cdots & A_{NN} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \\ \vdots \\ x_N \end{pmatrix} + \sum_{m=1}^N \begin{pmatrix} f_{1m} \\ \vdots \\ f_{vm} \\ \vdots \\ f_{Nm} \end{pmatrix},$$

где  $x_m$  – вектор выпуска страны  $m$ ,  $m = v = 1, \dots, N$ ;  $A_{mv}$  – межотраслевая блочная матрица для стран  $m$  и  $v$ , элементы которой измеряются в расчете на единицу выпуска; по главной диагонали расположены матрицы коэффициентов затрат отечественной продукции на производство отечественной продукции; в остальных блоках – матрицы коэффициентов затрат импортируемых из соответствующих стран продуктов (по столбцам); они же являются матрицами коэффициентов потребления продукции, экспортируемой из данной страны в другие (по строкам);  $f_{vm}$  – вектор конечного потребления страной  $m$  товаров из страны  $v$ .

Отсюда можно выразить  $x$ :

$$(4) \quad x - Ax = \sum_m f_m,$$

$$(5) \quad x(I - A) = \sum_m f_m,$$

где  $I$  – единичная матрица;  $f_m$  – вектор конечного потребления страны  $m$ .

$$(6) \quad x = \sum_m (I - A)^{-1} f_m,$$

$$(7) \quad x = \sum_m y_m,$$

где  $y_m$  – вектор выпуска страны  $m$ , необходимого для удовлетворения спроса (конечного потребления) этой страны и стран – торговых партнеров.

Причем  $y_m$  можно разбить на внутреннее производство страны  $m$  для внутреннего потребления ( $y_{m,m}$ ) и экспорт страны  $m$  в страну  $v$  ( $y_{m,v}$ ) (при  $v \neq m$ ):

$$(8) \quad y_m = y_{m,m} + \sum_{v \neq m} y_{m,v},$$

$$(9) \quad y_{m,m} = (I - A_{m,m})^{-1} f_{m,m},$$

$$(10) \quad y_{m,v} = (I - A_{m,v})^{-1} f_{m,v}.$$

Валовой выпуск страны  $m$  равен

$$(11) \quad x_m = \sum_{v=1}^N y_{m,v}.$$

Для того чтобы получить объемы выбросов  $\text{CO}_2$ , которые были осуществлены для производства продукции  $y_m$ , данное значение необходимо умножить на следующий коэффициент:

$$(12) \quad e = \frac{\text{выбросы } \text{CO}_2 \text{ по отрасли}}{\text{выпуск по отрасли}},$$

где выпуск по отрасли рассчитывается как сумма по строке в таблице «затраты – выпуск». В результате получим матрицу  $E$ , отражающую межстрановые потоки «виртуального углерода». В частности, выбросы  $\text{CO}_2$  в стране  $m$  при производстве для внутреннего потребления:

$$(13) \quad E_{m,m} = e_m y_{m,m} = e_m (I - A_{m,m})^{-1} f_{m,m}.$$

Выбросы от экспорта  $\text{CO}_2$  из страны  $m$ :

$$(14) \quad E^{exp} = \sum_{v \neq m} E_{m,v} = e_m y_{m,v} = e_m (I - A_{m,v})^{-1} f_{m,v}.$$

Выбросы от импорта  $\text{CO}_2$  в страну  $m$ :

$$(15) \quad E^{imp} = \sum_{m \neq v} E_{v,m} = e_v y_{v,m} = e_v (I - A_{v,m})^{-1} f_{v,m}.$$

Выбросы  $\text{CO}_2$  от производства рассчитываются следующим образом:

$$(16) \quad E^{prod} = E_{m,m} + E^{exp} + E^H,$$

а выбросы  $\text{CO}_2$  от потребления:

$$(17) \quad E^{cons} = E_{m,m} + E^{imp} + E^H,$$

где  $E^H$  – выбросы  $\text{CO}_2$ , осуществляемые непосредственно в процессе конечного потребления домохозяйствами (например, от сжигания топлива автомобилями внутри страны  $m$ , табл. 2).

Таблица 2.

**Структура межотраслевых и межстрановых потоков  
«виртуального углерода»**

Производство		Конечное потребление				
		$C_1$	...	Россия	...	$C_N$
$C_1$	$O_{1-35}$			Импорт CO <sub>2</sub>		
...	...			Импорт CO <sub>2</sub>		
Россия	$O_{1-35}$	Экспорт CO <sub>2</sub>	Экспорт CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> в производстве России для потребления России	Экспорт CO <sub>2</sub>	Экспорт CO <sub>2</sub>
...				Импорт CO <sub>2</sub>		
$C_N$				Импорт CO <sub>2</sub>		



Выбросы CO<sub>2</sub> от производства для внутреннего потребления.

Экспорт CO<sub>2</sub> (из страны 1 в страну  $m$ ).

Импорт CO<sub>2</sub> (в страну 1 из страны  $m$ ).

Источник: составлено авторами на основе WIOD.

## 5. Результаты расчетов

### 5.1. Экспорт выбросов из России

В настоящее время Россия занимает четвертое место в мире по текущим выбросам углекислого газа после Китая, США, и Индии<sup>8</sup>, а с учетом землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗИЛХ) она, возможно, позади Бразилии и Индонезии. Советская индустриализация 1930–1980-х годов сопровождалась стремительным наращиванием объемов парниковых выбросов. За 70 лет своего существования Советский Союз увеличил годовой объем выбросов более чем в 1000 раз (с 11,2 млн т углерода в 1922 г. до 1,1 млрд т в 1988 г.), перед своим распадом вплотную приблизившись по объему выбросов к США [Marland et al., 2011]. Трансформационный кризис привел к тому, что ВВП с 1990 по 1998 г. упал на 42,5%<sup>9</sup>, множество предприятий прекратили свое существование. Одним из последствий этого стало сокращение выбросов углекислого газа (рис. 1). К 1998 г. их объем (без учета ЗИЗИЛХ) по сравнению с 1990 г. снизился на 42,5%. С 1999 г. началось восстановление экономики, которое, однако, не вернуло Россию к прежнему уровню выбросов, так как сопровождалось отраслевой перестройкой: преобладавшие в советское время углеродоемкие отрасли тяжелой промышленности в отраслевой структуре экономики стала замещать сфера услуг [Grigoryev, Makarov, Salmina, 2013]. В первое десятилетие XXI в. выбросы углекислого газа росли, но незначительно, и к 2012 гг. их общий объем оказался ниже уровня 1990 г. примерно на 33,9%<sup>10</sup>.

<sup>8</sup> По данным UNFCCC.

<sup>9</sup> По данным World Development Indicators.

<sup>10</sup> По данным UNFCCC.

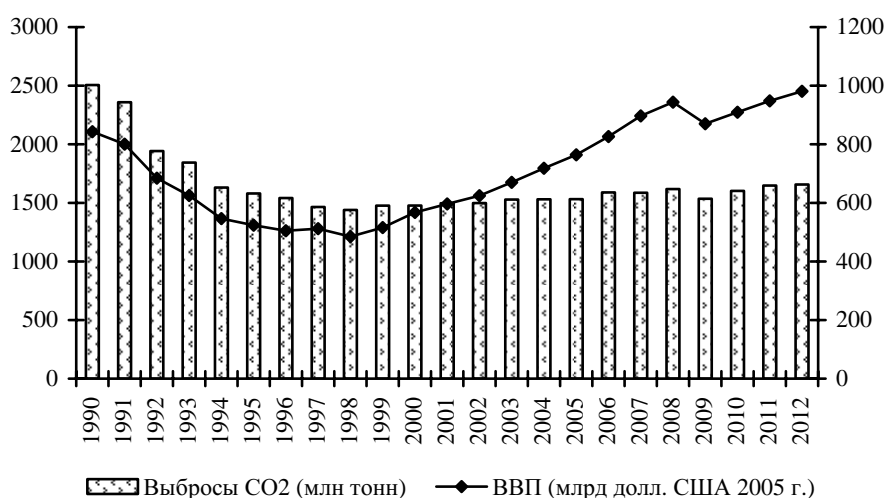


Рис. 1. Выбросы CO<sub>2</sub> (левая ось) и ВВП (правая ось) России в 1990–2012 гг.

Источник: UNFCCC, World Developments Indicators.

Можно было бы ожидать, что динамика экспорта выбросов в России в целом повторяла бы динамику выбросов в стране. Однако проведенный анализ показал, что это не так. По итогам 2011 г. Россия экспортировала 541 млн т CO<sub>2</sub> (рис. 2). Это максимальный показатель с 2007 г., однако на 18% ниже, чем в 2000 г. Если в 2000 г. Россия экспортировала 45% осуществляемых на ее территории выбросов, то в 2011 г. – лишь 32%.

Это может показаться странным – ведь стоимость российского товарного экспорта (в долларах в текущих ценах) выросла с 2000 г. по 2011 г. в 5 раз, а выбросы от производства, согласно национальным кадастрам, предоставляемым в рамках РКИК, – на 11%<sup>11</sup>. Однако, во-первых, индекс объема экспорта<sup>12</sup>, примерно отражающий изменение экспорта в натуральном выражении, к 2011 г. достиг лишь 140% (при уровне 2000 г., принятом за 100%)<sup>13</sup>. Во-вторых, наблюдаемый 40-процентный прирост товарного экспорта был компенсирован, с одной стороны, улучшением технологий, а с другой – примитивизацией структуры экспорта (производство готовой продукции, предполагающее сжигание большого объема собственного энергетического сырья, сопровождается большим количеством выбросов, чем продажа этого сырья в сыром виде).

Рассчитанные объемы экспорта выбросов из России в целом сходны с данными, полученными в ряде других исследований, использующих метод *MRIO* (табл. 3). Исключением являются исследования, в качестве источника информации использующие базу данных *GTAP*. Эта база имеет ряд отличий от баз данных *WIOD* и *Eora*. Наиболее значимыми являются следующие. Во-первых, база *GTAP* учитывает лишь выбросы от сжигания ископаемого топлива, в то время как другие базы данных отражают еще и выбросы, осу-

<sup>11</sup> По данным UNFCCC.

<sup>12</sup> Отношение индекса стоимости экспорта и индекса стоимости национальной валюты.

<sup>13</sup> По данным World Development Indicators.

ществуемые в промышленных процессах. Во-вторых, для анализа выбросов по отраслям в базе *GTAP* используются среднемировые эмиссионные коэффициенты (12)<sup>14</sup>.

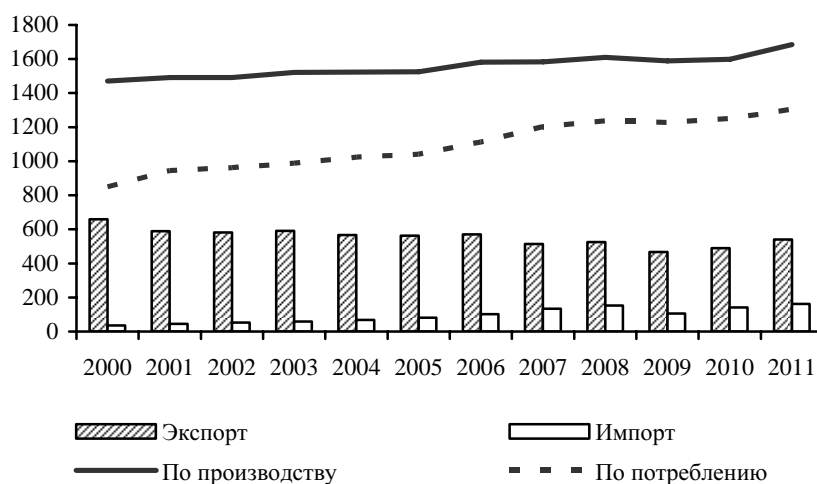


Рис. 2. Выбросы от производства и потребления, экспорт и импорт CO<sub>2</sub>, млн т, 2000–2011 гг.  
Источник: расчеты авторов по данным UNFCCC и WIOD.

Таблица 3.

Различные оценки объемов экспорта выбросов из России  
в 2000–2011 гг.

	Источник данных	Метод	Годы											
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Данная работа	WIOD	MRIO	659	590	581	592	567	563	571	513	525	468	490	541
Lenzen et al. (2013)	Eora	MRIO	604	596	649	631	568	504	557	522	506	483	414	-
Boitier (2012)	WIOD	MRIO	703	625	615	635	606	604	614	555	558	469	-	-
Mehra et al. (2011)	Затраты – выпуск РФ	EEBT	-	-	372	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peters, Hertwich (2008)	GTAP	MRIO упрощ.*	-	413	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Davis, Caldeira, Peters (2011)	GTAP	MRIO	-	-	-	-	422	-	-	-	-	-	-	-

\* При использовании упрощенного метода *MRIO* торгуемые товары не разделяются на направляемые на промежуточное и конечное потребление. Таким образом, метод *MRIO* приближается к методу *EEBT*.

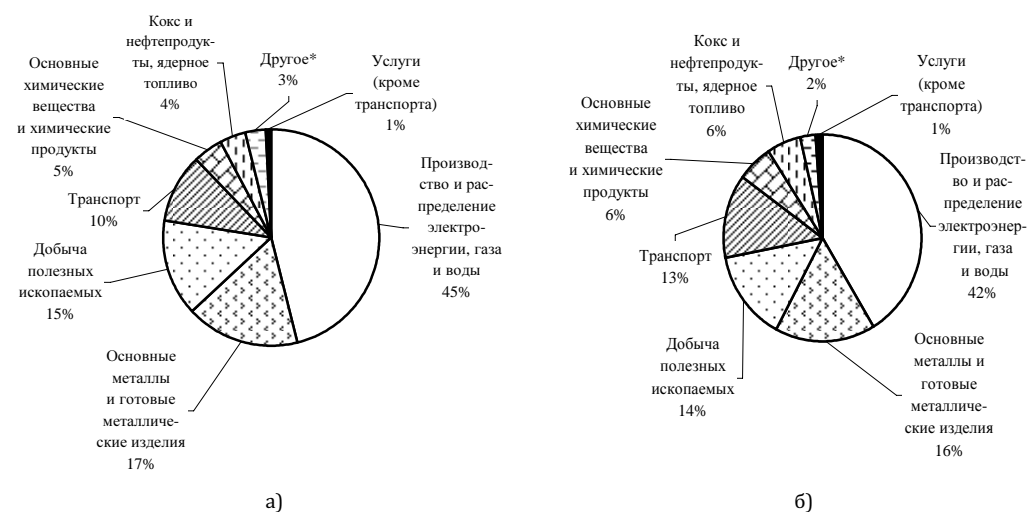
Источник: расчеты авторов по данным UNFCCC и WIOD; [Lenzen et al., 2013; Boitier, 2012; Mehra et al., 2011; Peters, Hertwich, 2008; Davis, Caldeira, Peters, 2011].

<sup>14</sup> Ограничения по применению базы *GTAP* подробно описаны в работе [Peters, Hertwich, 2007].

Таким образом, поскольку для России эмиссионные коэффициенты в большинстве отраслей выше среднемировых, анализ на основе базы *GTAP* приводит к занижению объемов экспорта выбросов. Кроме того, подсчитанные в данном исследовании объемы экспорта выбросов выше, чем объемы, рассчитанные с помощью метода *EEBT* в работе [Mehra et al., 2011], ввиду того, что она охватывает более узкий набор торговых потоков и основывается на предпосылке о равенстве технологий в России и за рубежом.

## 5.2. Структура экспорта выбросов из России

Выбросы, входящие в состав экспортной продукции, осуществляются преимущественно (на 42%) в сфере «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» (при производстве электроэнергии и тепла для производства продукции на экспорт). 16% «экспортных» выбросов приходится на металлургию, 14% – на добычу полезных ископаемых (в основном нефти), 13% – на транспорт. Структура «экспортных» выбросов остается достаточно стабильной – лишь доля выбросов при производстве и распределении электроэнергии, газа и воды снизилась на несколько процентных пунктов, будучи замещенной приростом доли транспорта (рис. 3).



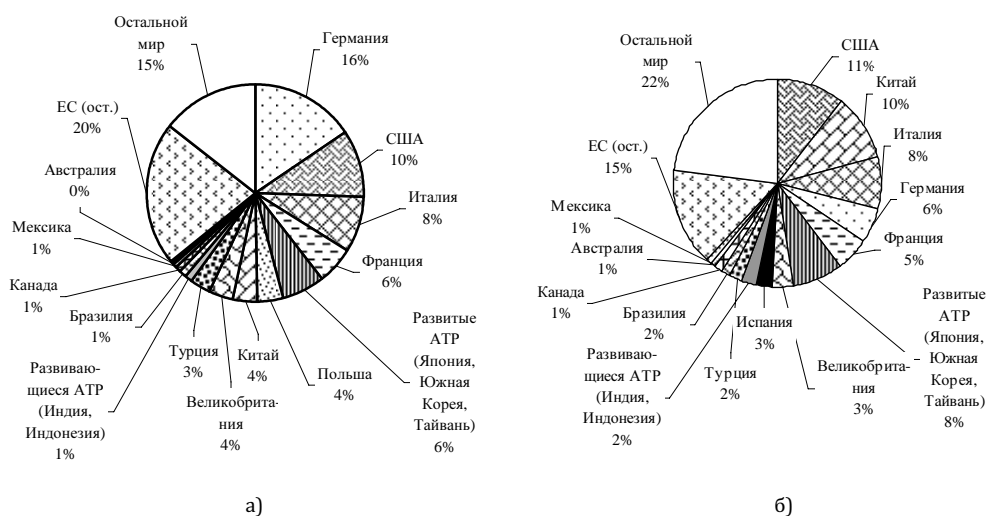
\* К категории «другое» относятся: Резиновые и полимерные изделия; прочие минеральные неметаллические продукты; Сельское хозяйство, охота, лесное хозяйство и рыболовство; Бумага и изделия из бумаги, печатные услуги; Машины, транспортные средства и оборудование; Строительство; Пищевые продукты, напитки и табачные изделия.

**Рис. 3.** Отраслевая структура выбросов, осуществленных для производства российского экспорта в 2000 г. (а) и 2011 г. (б)

Источник: расчеты авторов по данным *UNFCCC* и *WIOD*.

Большая часть российских выбросов 2011 г. была экспортирована в США (рис. 4). С учетом малого объема товарного экспорта России в эту страну это может показаться странным. Причина такой высокой доли США кроется в особенностях методологии. Ме-

тод *MRIO* учитывает в качестве экспорта выбросов из России в США не только выбросы, осуществленные при производстве готовой продукции, вывозимой из России непосредственно в США, но и выбросы, осуществляемые при добыче ресурсов, экспортируемых в Китай, ЕС и др. страны и используемых затем для производства продукции, экспортируемой в США из этих стран. Таким образом, в значительной мере направления экспорта российских выбросов, рассчитываемых методом *MRIO*, определяются не направлениями российского товарного экспорта, а общемировой географией международной торговли. Так или иначе, по сравнению со страновой структурой экспорта выбросов 2000 г., обращает на себя внимание значительный рост доли Китая (с 4 до 10%) и падение доли Германии (с 16 до 6%). Доля стран ЕС сократилась с 59 до 40%.



Примечание: мы вынуждены были включить в категорию «Остальной мир» ряд крупных торговых партнеров России, в том числе Украину, Беларусь и Казахстан, из-за отсутствия данных.

Рис. 4. Страновая структура российского экспорта выбросов в 2000 г. (а) и 2011 г. (б)

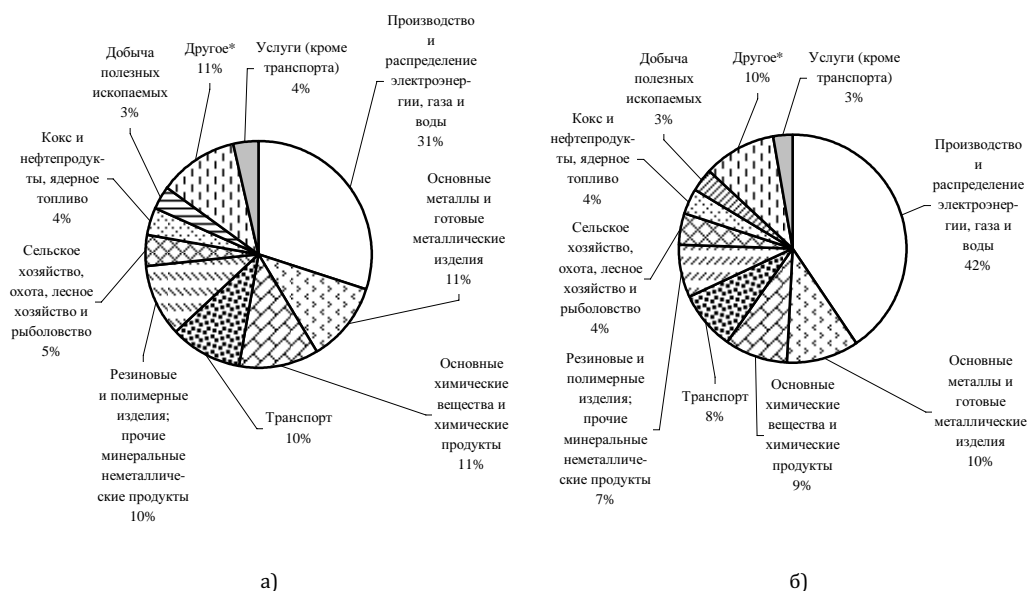
Источник: расчеты авторов по данным UNFCCC и WIOD.

### 5.3. Импорт выбросов в Россию

Российский импорт выбросов с 2000 по 2011 г. увеличился в 4,4 раза (рис. 2), частично – за счет роста объемов товарного импорта, частично – за счет замещения в структуре импорта европейских товаров относительно более углеродоемкими китайскими. Однако величина импорта выбросов в 2011 г. все равно составила лишь 161 млн т – в 3,4 раза меньше, чем величина экспорта.

Отраслевая структура импортируемых выбросов более дифференцирована, чем экспортируемых, что определяется более сложной по сравнению с экспортом структурой российского товарного импорта. Наряду с производством и распределением энергии, газа и воды (41%) и металлургией (10%) и транспортом (9%), значительная доля импорта выб-

росов приходится на основную химию (9%), производство резиновых и полимерных изделий (7%), а также сельское хозяйство (4%). Выбросы при добыче полезных ископаемых, на которые приходится заметная доля в российском экспорте выбросов, в импорте представлены относительно слабо (рис. 5).



\* К категории «другое» относятся: Текстильная промышленность; Машины, транспортные средства и оборудование; Пищевые продукты, напитки и табачные изделия; Бумага и изделия из бумаги, печатные услуги; Кожа и изделия из кожи, обувь; Древесина и изделия из дерева и пробки, кроме мебели; Другие обрабатывающие производства; переработка отходов; Строительство.

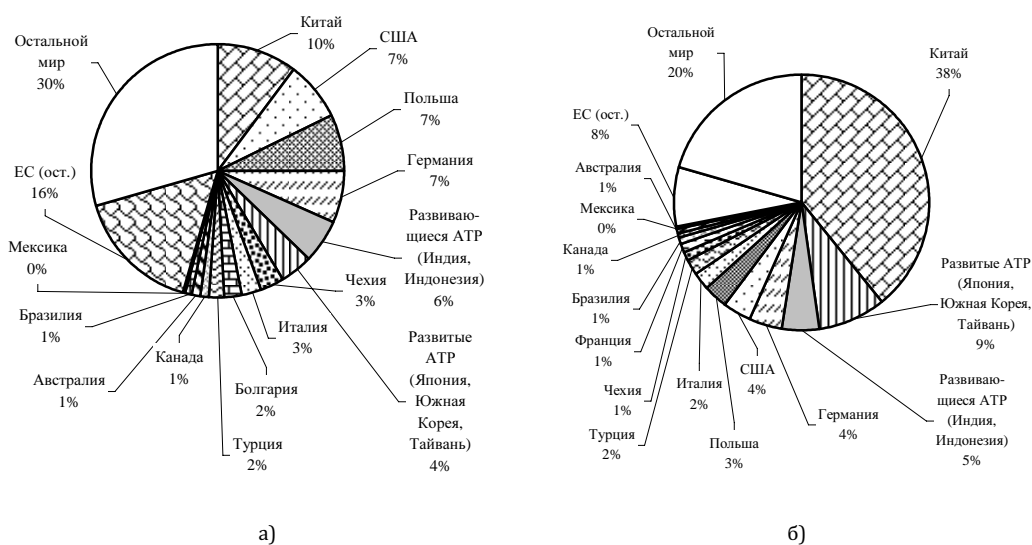
**Рис. 5.** Отраслевая структура выбросов, осуществленных для производства российского импорта в 2000 г. (а) и 2011 г. (б)

Источник: расчеты авторов по данным UNFCCC и WIOD.

При анализе динамики структуры импорта выбросов обращает на себя внимание значительное повышение доли производства и распределения энергии, газа и воды – с 30 до 41%. С одной стороны, это может быть обусловлено ростом импорта готовой промышленной продукции относительно сырьевой, с другой – сдвигом импорта выбросов на Китай, характеризующийся меньшей энергоэффективностью, чем страны Европы.

Географическая структура импорта выбросов за 10 лет поменялась кардинально (рис. 6). Если в 2000 г. на долю Китая приходилось лишь 10% импортируемых в Россию выбросов, то в 2011 г. – уже 39%. На долю шести ведущих стран АТР (Китай, Индия, Индонезия, Япония, Республика Корея, Тайвань) в настоящее время приходится более половины импорта выбросов в Россию, а доминировавшие ранее США и развитые страны Европы отодвинуты на второй план. В целом текущая структура импорта выбросов отражает сложившуюся в мире на настоящий момент структуру распределения выбросов от производства с поправкой на географическую близость России к Азиатско-Тихоокеанскому региону.





Примечание: мы вынуждены были включить в категорию «Остальной мир» ряд важных торговых партнеров России, в том числе Украину, Беларусь и Казахстан, из-за отсутствия данных.

Рис. 6. Страновая структура российского импорта выбросов в 2000 г. (а) и 2011 г. (б)

Источник: расчеты авторов по данным UNFCCC и WIOD.

#### 5.4. Сравнение показателей России и других стран

Подсчеты выбросов CO<sub>2</sub> от производства и от потребления для ведущих стран мира дают разные результаты. Например, если при подсчете выбросов от производства доля лидера – Китая – в суммарном объеме выбросов в 2011 г. составляла 30%, то при подсчете выбросов от потребления – лишь 25%. В США наблюдается обратная картина: при подсчете по производству американские выбросы составляют 19% общемировых, а при подсчете по потреблению – 21% (табл. 4).

В России выбросы от производства и потребления также различаются весьма значительно. Если по выбросам от производства Россия занимает четвертое место в мире и имеет долю 6% от общемировых выбросов, то по выбросам от потребления ее доля снижается до 4%, а четвертое место Россия уступает Японии.

Разрыв между выбросами от производства и потребления обусловлен большими объемами экспорта выбросов из России (он даже больше, чем из США, при несопоставимых объемах товарного экспорта) при их крайне низком импорте (по этому показателю Россия не входит даже в десятку лидеров).

По чистому экспорту выбросов Россия еще в 2000 г. занимала первое место в мире. Однако с тех пор чистый экспорт выбросов из России сократился на 40%, а из Китая – вырос почти втрое. Как результат, в настоящее время Россия является вторым нетто-экспортером выбросов CO<sub>2</sub>, уступая Китаю. Отрыв России от Китая по объемам чистого экспорта выбросов четырехкратный. Однако отрыв России от занимающей третье место Индии еще больше – их показатели различаются в 4,8 раза.

**Таблица 4.**

**Экспорт и импорт выбросов ведущими странами-эмитентами CO<sub>2</sub>  
в 2000 и 2011 гг.**

№	Страна	Выбросы от производства, млн т	Выбросы от потребления, млн т	Экспорт выбросов, млн т	Импорт выбросов, млн т	Чистый экспорт выбросов, млн т	Доля в выбросах от производства, %	Доля в выбросах от потребления, %
2000 г.								
1	США	5962,7	6643,2	486,6	1167,1	-680,5	27	30
2	Китай	3607,5	3093,2	696,7	182,3	514,3	16	14
3	Россия	1471,3	848,6	659,4	36,7	622,8	7	4
4	Япония	1251,5	1496,1	190,5	435,1	-244,6	6	7
5	Индия	1023,8	922,3	174,9	73,4	101,6	5	4
6	Германия	891,4	1101,5	212,4	422,5	-210,1	4	5
7	Канада	564,6	503,5	208,6	147,5	61,1	3	2
8	Великобритания	555,2	685,6	126,8	257,2	-130,4	3	3
9	Южная Корея	463,3	434,3	147,5	118,6	29	2	2
10	Италия	462,3	577,5	103,9	219,1	-115,2	2	3
11	Франция	415,8	532,5	103,9	220,5	-116,7	2	2
12	Мексика	376,3	412,1	68,3	104,2	-35,9	2	2
13	Австралия	349,4	339,7	88,6	78,9	9,7	2	2
14	Бразилия	326,9	348,3	40,9	62,3	-21,4	1	2
15	Остальной мир	4294,3	3934	1102,6	742,3	360,4	20	18
2011 г.								
1	Китай	9034,7	7503,4	2116,4	585	1531,4	30	25
2	США	5603,8	6303,6	522,5	1222,3	-699,8	19	21
3	Индия	1860,9	1782,2	319	240,3	78,7	6	6
4	Россия	1684,4	1304,9	540,7	161,2	379,6	6	4
5	Япония	1240,7	1475,1	249,9	484,3	-234,4	4	5
6	Германия	798,1	981,3	243,4	426,7	-183,3	3	3
7	Южная Корея	611,7	555,8	236,8	181	55,9	2	2
8	Канада	555,6	593,2	180,3	217,8	-37,6	2	2
9	Великобритания	464,6	604,4	118,5	258,3	-139,8	2	2
10	Мексика	458,1	505	87,5	134,4	-46,9	2	2
11	Индонезия	447,2	457,2	103,2	113,2	-10	1	2
12	Бразилия	443,2	524,7	66,6	148,1	-81,5	1	2
13	Италия	414,2	548,7	98,9	233,4	-134,5	1	2
14	Австралия	406,6	503,3	87	183,7	-96,7	1	2
15	Остальной мир	6254,4	6215	1401,5	1362,1	39,4	21	21

Источник: расчеты авторов по данным UNFCCC и WIOD.

Среди ведущих стран мира не так много государств, имеющих положительные показатели чистого экспорта. Из всех стран, информация по которым есть в базе *WIOD*, они свойственны, кроме Китая, России и Индии, еще некоторым странам Азии (Республика Корея и Тайвань), а также отдельным государствам Восточной Европы. Но даже в последних (кроме Польши) чистый экспорт выбросов, хотя и является положительным, в целом близок к нулю.

Россия является и одним из лидеров по доле экспорта в общем объеме выбросов CO<sub>2</sub> от производства. 32,3% выбросов, осуществляемых в стране, направляется на экспорт. Это значительно больше, чем у Китая (23,4%) и тем более у США (9,3%). Из представленных в табл. 4 государств доля экспорта в общем объеме осуществленных выбросов выше российской лишь у Республики Корея (38,7%) и Канады (32,5%). Сопоставимые показатели имеет Германия (30,5%).

Напротив, по доле импорта выбросов в общем объеме выбросов от потребления Россия имеет минимальные значения (12,4%) наряду с другими крупнейшими странами – Китаем (7,8%), Индией (13,5%) и США (19,4%). У ведущих европейских стран – Германии, Великобритании и Италии – этот показатель превышает 40%.

### 5.5. Причины значительных объемов экспорта выбросов из России

С одной стороны, большие объемы экспорта выбросов из России легко объяснить структурой ее товарного экспорта, который в значительной степени состоит из топливного сырья и энергоемких товаров. Странами, имеющими наиболее высокую долю экспорта в выбросах от производства, являются Республика Корея, Канада, Россия и Германия. Если для Республики Корея и Германии это объясняется высокой экспортной квотой, то для России и Канады единственным объяснением может служить перекосяк в экспортной структуре в сторону энергоемкой продукции.

С другой стороны, можно заметить, что в число стран-нетто-экспортеров выбросов входят лишь страны Азии и Восточной Европы. Эти же страны лидируют (причем абсолютным лидером является Россия) по показателю углеродоемкости экспорта, полученному посредством деления объемов экспорта выбросов на стоимость товарного экспорта (рис. 7). Это дает основание предположить, что высокие значения экспорта CO<sub>2</sub> могут быть обусловлены относительной технологической отсталостью, свойственной развивающимся государствам, а также государствам, которым пришлось осуществить переход от плановой экономики.

Для того чтобы понять, насколько технологический фактор оказывает влияние на российский экспорт выбросов, можно подсчитать, каким был бы экспорт выбросов CO<sub>2</sub> из России, если бы при заданных объемах и товарной структуре экспорта она использовала бы при производстве экспортной продукции технологии, идентичные технологиям развитых стран. Понимая, что это предположение условно хотя бы потому, что никакого эталона чистых технологий не существует, возьмем, тем не менее, для примера Германию. Для того чтобы добиться сопоставимости полученных оценок с другими странами, предположим, что аналогичные технологии применяются во всем мире.

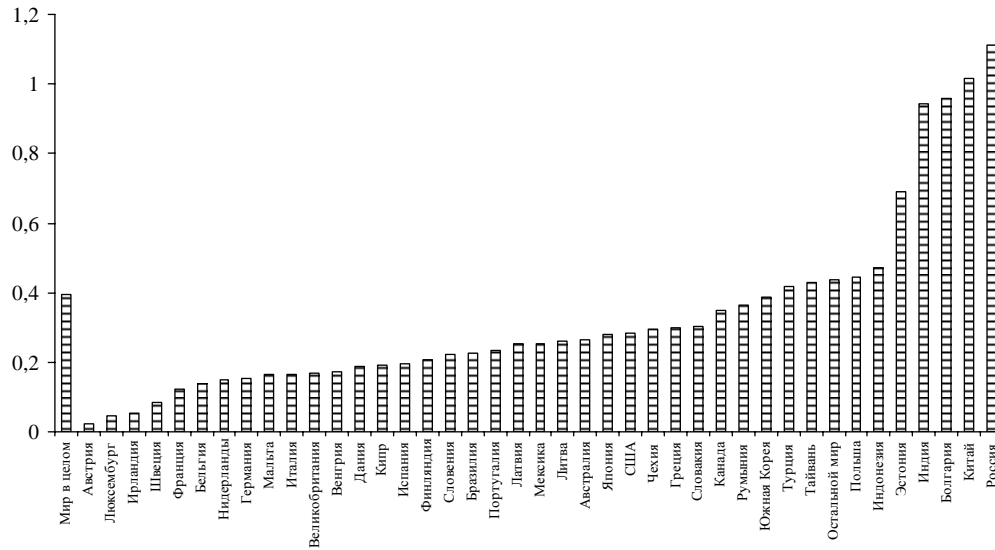


Рис. 7. Углеродоемкость экспорта стран мира в 2011 г., т/тыс. долл. США

Источник: расчеты авторов по данным UNFCCC и WIOD.

Для этого, во-первых, заменим в выражении (3) значения матрицы  $A$  для России и других стран на значения матрицы  $A$  для Германии (например,  $A_{RUS,RUS} = A_{DEU,DEU}$ ,  $A_{RUS,m} = A_{DEU,m}$ ;  $m = 1, \dots, N$ )<sup>15</sup>. При этом данные об объемах совокупного выпуска и конечного потребления товаров и услуг остаются неизменными.

В таком случае первоначальная межстрановая таблица «затраты – выпуск» (3) примет вид

$$\begin{aligned}
 (18) \quad \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{RUS} \\ \vdots \\ x_N \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} A_{1,1} & \cdots & A_{1,RUS} & \cdots & A_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{RUS,1} & \cdots & A_{RUS,RUS} & \cdots & A_{RUS,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{N,DEU} & \cdots & A_{N,RUS} & \cdots & A_{N,N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{RUS} \\ \vdots \\ x_N \end{pmatrix} + \sum_{m=1}^N \begin{pmatrix} f_{1,m} \\ \vdots \\ f_{RUS,m} \\ \vdots \\ f_{N,m} \end{pmatrix} = \\
 &= \begin{pmatrix} A_{DEU,DEU} & \cdots & A_{DEU,RUS} & \cdots & A_{DEU,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{DEU,1} & \cdots & A_{DEU,DEU} & \cdots & A_{DEU,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{N,DEU} & \cdots & A_{N,DEU} & \cdots & A_{N,DEU} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{RUS} \\ \vdots \\ x_N \end{pmatrix} + \sum_{m=1}^N \begin{pmatrix} f_{1,m} \\ \vdots \\ f_{RUS,m} \\ \vdots \\ f_{N,m} \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

<sup>15</sup> Возможность применения такого приема обоснована в работе [Lenzen, 2004].

Далее предположим, что для России и других стран отраслевые коэффициенты углеродоемкости производства (12) аналогичны соответствующим коэффициентам в Германии ( $e_m = e_{DEU}$ ). Тогда, с учетом (14), экспорт выбросов из России примет вид

$$(19) \quad E_{RUS}^{exp} = \sum_{v \neq RUS} E_{RUS,v} = e_{DEU} y_{RUS,v} = e_{DEU} (I - A_{DEU,v})^{-1} f_{RUS,v},$$

а импорт выбросов в Россию, с учетом (15), будет равен

$$(20) \quad E_{RUS}^{imp} = \sum_{v \neq RUS} E_{v,RUS} = e_{DEU} y_{v,RUS} = e_{DEU} (I - A_{v,DEU})^{-1} f_{v,RUS}.$$

Результаты расчетов по (19) и (20) приведены на рис. 8. В случае, если бы в России применялись технологии, идентичные технологиям Германии, российский экспорт выбросов 2011 г. снизился бы в 3,1 раза (с 541 до 175 млн т). Таким образом, лишь примерно треть российского экспорта выбросов обусловлена объемами и товарной структурой экспорта России, а оставшиеся две трети определяются технологическим отставанием страны (от Германии).

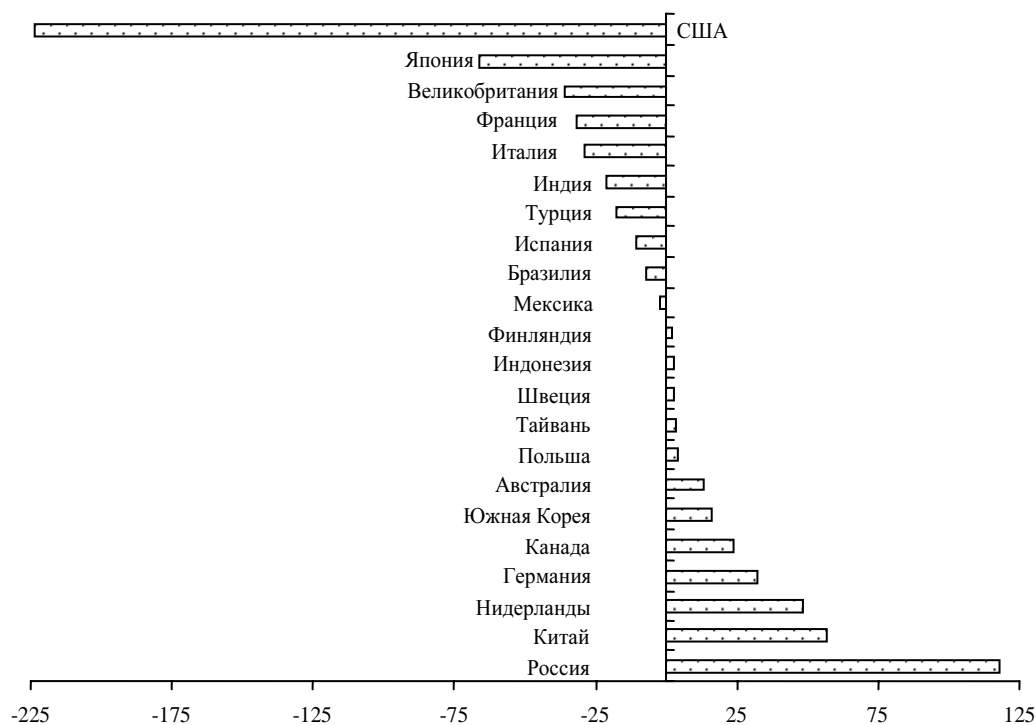
Однако с учетом предположения о том, что технологии, идентичные технологиям Германии, появятся и у всех торговых партнеров России, российский импорт выбросов также должен снизиться – в 2,8 раза (с 157 до 61 млн т в 2011 г.). Таким образом, при условии повсеместного применения относительно более чистых технологий Россия все равно осталась бы нетто-экспортером выбросов, причем соотношение экспорта и импорта выбросов изменилось бы (в пользу импорта) совсем незначительно: с 3,4:1 до 3,1:1.



**Рис. 8.** Экспорт и импорт выбросов России в 2000–2011 г. в реальности и при условии применения «чистых» технологий

Источник: расчеты авторов по данным UNFCCC и WIOD.

Более того, в случае, если бы весь мир перешел на технологии, идентичные технологиям Германии, Россия превратилась бы в крупнейшего в мире нетто-экспортера выбросов (рис. 9) и четвертого по величине экспортера (после Китая, Германии и США). Это говорит о том, что только лишь отставание в технологиях неспособно объяснить большие объемы чистого экспорта выбросов из России – имеющееся соотношение экспорта и импорта и сложившаяся товарная структура внешней торговли априори делают Россию одним из крупнейших нетто-экспортеров выбросов в мире.



**Рис. 9.** Чистый экспорт выбросов из некоторых стран в 2011 г. при условии, что во всем мире использовались бы технологии, идентичные технологиям Германии

Источник: расчеты авторов по данным UNFCCC и WIOD.

## 6. Выводы и дискуссия

Особенности методологии исследования и структуры используемых данных накладывают некоторые ограничения на точность полученных оценок. В качестве основы для формулирования практических выводов их можно принимать лишь при предположении, что исходные данные достоверно представляют структуру межотраслевых взаимосвязей. Однако проведенный анализ, как и предшествующие ему научные работы, демонстрирует, что потоки экспорта выбросов, преимущественно из развивающихся стран в развитые, слишком велики, чтобы их можно было игнорировать в международном климатическом регулировании.

С учетом того, что большая часть выбросов экспортируется из ведущих развивающихся стран в развитые, ответственность за них не несут ни экспортеры (ведущие развивающиеся страны, не входящие в Приложение I), ни импортеры (развитые страны, сокращающие выбросы от производства лишь на своей территории). В новом климатическом соглашении, которое должно быть подписано в 2015 г. и вступить в силу после 2020 г., предполагается участие ведущих развивающихся стран, и тогда ответственность за большую часть экспорта выбросов ляжет именно на них. Однако это как раз одна из причин, по которой убедить развивающиеся страны полноценно присоединиться к климатическому соглашению пока не удастся.

Россия – страна, которая до окончания первого периода действия Киотского протокола (в рамках второго периода она не взяла на себя обязательств по сокращению выбросов) уже находилась в ситуации, в которой ведущие развивающиеся страны предположительно окажутся после 2020 г. На настоящий момент Россия – единственный крупный нетто-экспортер выбросов, входящий в Приложение I РКИК. Значительная часть ее эмиссии осуществляется для потребления в развитых странах, но ответственность за эти выбросы согласно международным соглашениям лежит исключительно на России.

В этой связи Россия могла бы настаивать на необходимости разделения ответственности за выбросы CO<sub>2</sub> от производства экспортируемой продукции между экспортером и импортером. Импортер должен нести такую ответственность, так как именно его спрос стал предпосылкой для осуществления соответствующих выбросов. В то же время перекладывать всю ответственность на импортера неправильно, так как экспортер, осуществляя выбросы при производстве того или иного экспортируемого товара, получает за него плату от импортера [Sato, 2013].

Формы совместной ответственности могут быть различными. Например, возможна корректировка обязательств, которые примут на себя страны в рамках нового соглашения, с учетом фактора экспорта/импорта выбросов (нетто-экспортеры выбросов могли бы взять на себя меньшие, а нетто-импортеры – большие обязательства по сравнению с теми, которые были бы приняты без учета фактора международной торговли). Другим вариантом может быть механизм компенсаций от нетто-импортеров к нетто-экспортерам за принятие на себя последними полноценных обязательств по сокращению выбросов. Вероятна также проработка механизмов гибкости, дающих возможность развитым странам финансировать в счет своих климатических обязательств проекты, направленные на сокращение экспорта выбросов нетто-экспортерами.

Вместе с тем требования о разделении ответственности за экспорт выбросов между экспортерами и импортерами обоснованы лишь в отношении той части экспорта выбросов, которая обусловлена большими объемами и/или особенностями товарной структуры экспорта, но не применением более «грязных» технологий. Как показывает проведенный в данной работе анализ, эта доля в российском экспорте выбросов составляет около трети. Оставшиеся две трети<sup>16</sup> экспорта выбросов из России – это результат ее технологического отставания от развитых стран, и ответственность за эти выбросы должна лежать на России.

---

<sup>16</sup> Обе оценки следует воспринимать как примерные, так как в качестве представителя развитых стран принята Германия, репрезентативность которой по отношению к группе развитых стран оценить достаточно сложно.

Более того, именно эта часть выбросов делает Россию уязвимой перед лицом введения в других странах пограничных компенсационных мер (пограничного углеродного налога). В какой-то мере их тоже можно рассматривать как механизм разделения ответственности за экспорт выбросов между экспортером и импортером. Часть издержек от введения пограничного углеродного налога накладывается на потребителей страны-импортера, которые вынуждены платить более высокие цены за облагаемые углеродным налогом импортные товары. Другая часть издержек ложится на экспортеров в связи со снижением конкурентоспособности их продукции на рынке страны-импортера. Очевидные минусы «углеродного протекционизма» заключаются в потерях благосостояния и в стране-экспортере, и стране-импортере, а также в изначально конфликтном характере данной группы мер (их нередко называют «углеродным протекционизмом»). Нахождение компромиссов при распределении обязательств по сокращению выбросов, предполагающее взаимный учет странами-нетто-экспортерами и нетто-импортерами выбросов интересов друг друга, а также разработка механизмов сотрудничества в сокращении выбросов от экспорта (как в форме передачи технологий, так и в форме применения экономических механизмов гибкости) являются более привлекательными шагами для совершенствования системы международного климатического регулирования в будущем.

## Приложение

Таблица П1.

### Отрасли, данные по которым содержатся в базе данных *WIOD*

Номер п/п	Название
1	Сельское хозяйство, охота, лесное хозяйство и рыболовство
2	Добыча полезных ископаемых
3	Пищевые продукты, напитки и табачные изделия
4	Текстильная промышленность
5	Кожа и изделия из кожи, обувь
6	Древесина и изделия из дерева и пробки, кроме мебели
7	Бумага и изделия из бумаги, печатные услуги
8	Кокс и нефтепродукты, ядерное топливо
9	Основные химические вещества и химические продукты
10	Резиновые и полимерные изделия
11	Прочие минеральные неметаллические продукты
12	Основные металлы и готовые металлические изделия
13	Прочее оборудование



Окончание табл. П1.

Номер п/п	Название
14	Компьютерное, электронное и оптическое оборудование
15	Транспортные средства
16	Другие обрабатывающие производства; переработка отходов
17	Производство и распределение электроэнергии, газа и воды
18	Строительство
19	Продажа и ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, розничная продажа топлива
20	Оптовая торговля (кроме автотранспортных средств, мотоциклов)
21	Розничная торговля (кроме автотранспортных средств, мотоциклов), ремонт бытовых изделий и предметов личного пользования
22	Гостиницы и рестораны
23	Наземный транспорт
24	Водный транспорт
25	Воздушный транспорт
26	Другие транспортные услуги, деятельность туристических агентств
27	Почта и телекоммуникации
28	Финансовая деятельность
29	Операции с недвижимым имуществом
30	Аренда и предоставление прочих услуг
31	Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование
32	Образование
33	Здравоохранение и предоставление социальных услуг
34	Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг
35	Деятельность домохозяйств

**Таблица П2.**

**Страны, данные по которым содержатся в базе данных *WIOD***

<b>ЕС-27</b>		
Австрия	Германия	Нидерланды
Бельгия	Греция	Польша
Болгария	Венгрия	Португалия
Кипр	Ирландия	Румыния
Чехия	Италия	Словакия
Дания	Латвия	Словения
Эстония	Литва	Испания
Финляндия	Люксембург	Швеция
Франция	Мальта	Великобритания
<b>Северная Америка</b>	<b>Латинская Америка</b>	<b>Азиатско-Тихоокеанский регион</b>
Канада	Бразилия	Китай
США	Мексика	Индия
		Япония
		Южная Корея
		Австралия
		Тайвань
		Турция
		Индонезия
		Россия

\* \*  
\*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Баранов Э.Ф., Ким И.А., Пионтковский Д.И., Старицына Е.А.* Вопросы построения таблиц «затраты – выпуск» России в международных классификаторах // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2014. Т. 18. № 1. С. 7–42.

*Пискулова Н.А., Костюнина Г.М., Абрамова А.В.* Климатическая политика основных торговых партнеров России и ее влияние на экспорт ряда российских регионов. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013.

- Ahmad N., Wyckoff A. Carbon Dioxide Emissions Embodied in International Trade of Goods // OECD Publishing 2003. № 2003/15.
- Atkinson G., Hamilton K., Ruta G., Van Der Mensbrugge D. Trade in 'Virtual Carbon': Empirical Results and Implications for Policy // Global Environmental Change. 2011. Vol. 21. № 2. P. 563–574.
- Boitier B. CO<sub>2</sub> Emissions Production-based Accounting vs Consumption: Insights from the WIOD Databases. April 2012. ([http://www.wiod.org/conferences/groningen/paper\\_Boitier.pdf](http://www.wiod.org/conferences/groningen/paper_Boitier.pdf))
- The Carbon Trust. International Carbon Flows. The Carbon Trust, 2011.
- Davis S., Caldeira K. Consumption-based Accounting of CO<sub>2</sub> Emissions // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2010. Vol. 107. № 12. P. 5687–5692.
- Davis S., Peters G., Caldeira K. The Supply Chain of CO<sub>2</sub> Emissions // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2011. Vol. 108. № 45. P. 18554–18559.
- Dietzenbacher E., Pei J., Oosterhaven J. How Much do Exports Contribute to China's Income Growth? // Economic Systems Research. 2012. Vol. 24. № 3. P. 275–297.
- Gay P.W., Proops J.L. Carbon Dioxide Production by the UK Economy: An Input-output Assessment // Applied Energy. 1993. Vol. 44. № 2. P. 113–130.
- Grigoryev L., Makarov I., Salmina A. Domestic Debates on Climate Change in Russia // Climate Change, Sustainable Development, and Human Security: A Comparative Analysis. Plymouth : Lexington Books, 2013.
- IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge, 2013.
- IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Kanagawa, Japan, 2006.
- Kander A., Lindmark M. Foreign Trade and Declining Pollution in Sweden: A Decomposition Analysis of Long-term Structural and Technological Effects // Energy Policy. 2006. Vol. 34. № 13. P. 1590–1599.
- Lenzen M. Primary Energy and Greenhouse Gases Embodied in Australian Final Consumption: An Input-output Analysis // Energy Policy. 1998. Vol. 26. № 6. P. 495–506.
- Lenzen M., Moran D., Kanemoto K., Geschke A. Building Eora: A Global Multi-regional Input-output Database at High Country and Sector Resolution 2013 // Economic Systems Research. 2013. Vol. 25. № 1. P. 20–49.
- Lenzen M., Pade L., Munksgaard J. CO<sub>2</sub> Multipliers in Multi-region Input-output Models // Economic Systems Research. 2004. Vol. 16. № 4. P. 391–412.
- Leontief W. Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-output Approach // The Review of Economics and Statistics. 1970. Vol. 52. № 3. P. 262–271.
- Lin B., Sun C. Evaluating Carbon Dioxide Emissions in International Trade of China // Energy Policy. 2010. Vol. 38. № 1. P. 613–621.
- Liu X.B., Ishikawa M., Wang C., Dong Y.L., Liu W.L. Analyses of CO<sub>2</sub> Emissions Embodied in Japan – China Trade // Energy Policy. 2010. Vol. 38. № 3. P. 1510–1518.
- Marland G., Boden T.A., Andres R.J. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, 2011. (<http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview.html>)
- Mehra M., Sawhney R., Piskulova N., Abramova A. International Trade and Carbon Leakage: An Analytical Framework for India and Russia. Geneva: UNCTAD Virtual Institute, 2011.
- Miller R.E., Blair P.D. Input-output Analysis: Foundations and Extensions. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985.
- Peters G. Opportunities and Challenges for Environmental MRIO Modeling: Illustrations with the GTAP Database. Paper Presented at the 16<sup>th</sup> International Input-output Conference. Istanbul, Turkey, 2–6 July, 2007.
- Peters G., Hertwich E. Pollution Embodied in Trade: The Norwegian Case // Global Environmental Change. 2006. Vol. 16. № 4. P. 379–387.
- Peters G., Hertwich E. CO<sub>2</sub> Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy // Environmental Science & Technology. 2008. Vol. 42. № 5. P. 1401–1407.

*Peters G., Weber C., Guan D., Hubacek K.* China's Growing CO<sub>2</sub> Emissions: A Race between Increasing Consumption and Efficiency Gains // *Environmental Science and Technology*. 2007. Vol. 41. № 17. P. 5939–5944.

*Sato M.* Embodied Carbon in Trade: A Survey of the Empirical Literature // *Journal of Economic Surveys*. 2013. № 5.

*Su B., Ang B.W., Low M.* Input-output Analysis of CO<sub>2</sub> Emissions Embodied in Trade and the Driving Forces: Processing and Normal Exports // *Ecological Economics*. 2013. Vol. 88. P. 119–125.

*Timmer M.P.* The World Input-output Database (WIOD): Contents, Sources and Methods, 2012.

*Wiedmann T.* A Review of Recent Multi-region Input-output Models Used for Consumption-based Emission and Resource Accounting // *Ecological Economics*. 2009. Vol. 69. № 2. P. 211–222.

*Wyckoff A., Roop J.* The Embodiment of Carbon in Imports of Manufactured Products // *Energy Policy*. 1994. Vol. 22. № 3. P. 187–194.

*Xu M., Allenby B., Chen W.Q.* Energy and Air Emissions Embodied in China– US Trade: Eastbound Assessment Using Adjusted Bilateral Trade Data // *Environmental Science & Technology*. 2009. Vol. 43. № 9. P. 3378–3384.

## Carbon Emissions Embodied in Russia's Trade

Makarov Igor<sup>1</sup>, Sokolova Anna<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Research University Higher School of Economics,  
20, Myasnitskaya ul., Moscow, 101990, Russian Federation.  
E-mail: imakarov@hse.ru

<sup>2</sup> National Research University Higher School of Economics,  
20, Myasnitskaya ul., Moscow, 101990, Russian Federation.  
E-mail: aksokolova@hse.ru

According to current international climate change regime countries are responsible for greenhouse gas emissions, which result from economic activities within national borders, including emissions from producing goods for exports. At the same time imports of carbon intensive goods are not regulated by international agreements.

In this paper carbon emissions embodied in exports and imports of Russia were calculated with the use of inter-country input-output tables from *WIOD* database. It was revealed that Russia is the second largest exporter of emissions embodied in trade and the large portion of these emissions is directed to developed countries. The reasons for high carbon intensity of Russia's exports are obsolete technologies (in comparison to developed economies) and the structure of commodity trade: Russian exports primarily fossil fuels and energy-intensive goods and imports products with relatively low energy intensity.

Because of large amount of net exports of carbon intensive goods the current approach to emissions accounting does not suit interests of Russia. On the one hand, Russia, as well as other large net emissions exporters, is interested in the revision of allocation of responsibility between producers and consumers of carbon intensive products. On the other hand, current technological backwardness makes Russia vulnerable to the policy of 'carbon protectionism', which can be implemented by its trade partners.

**Key words:** global climate change; carbon emissions; virtual carbon; carbon intensity of trade; Russia's trade; input-output analysis; Kyoto protocol.

**JEL Classification:** F18, F64, Q56.

\* \*  
\*

## References

Baranov Je.F., Kim I.A., Piontkovskij D.I., Staricyna E.A. (2014) Voprosy postroenija tablic «zatraty – vypusk» Rossii v mezhdunarodnyh klassifikatorah [Problems of Constructing Russian Input-Output Tables into the International Classifications]. *Higher School of Economics Economic Journal*, vol. 18, no 1, pp. 7–42.

Piskulova N.A., Kostjunina G.M., Abramova A.V. (2013) *Klimaticheskaja politika osnovnyh trgovykh partnerov Rossii i ee vlijanie na jeksport rjada rossijskih regionov* [Climate Policy in Main Russia's Trade Partners and Its Impacts on Exports from Some Russian Regions]. Moscow: Vsemirnyj fond dikoj prirody (WWF). (in Russian)

Ahmad N., Wyckoff A. (2003) Carbon Dioxide Emissions Embodied in International Trade of Goods. *OECD Publishing*, no 2003/15.

Atkinson G., Hamilton K., Ruta G., Van Der Mensbrugghe D. (2011) Trade in 'Virtual Carbon': Empirical Results and Implications for Policy. *Global Environmental Change*, vol. 21, no 2, pp. 563–574.

Boitier B. (2012) *CO<sub>2</sub> Emissions Production-based Accounting vs Consumption: Insights from the WIOD Databases*. April. [http://www.wiod.org/conferences/groningen/paper\\_Boitier.pdf](http://www.wiod.org/conferences/groningen/paper_Boitier.pdf)

The Carbon Trust (2011) *International Carbon Flows*. The Carbon Trust.

Davis S., Caldeira K. (2010) Consumption-based Accounting of CO<sub>2</sub> Emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, no 12, pp. 5687–5692.

Davis S., Peters G., Caldeira K. (2011) The Supply Chain of CO<sub>2</sub> Emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 108, no 45, pp. 18554–18559.

Dietzenbacher E., Pei J., Oosterhaven J. (2012) How Much do Exports Contribute to China's Income Growth? *Economic Systems Research*, vol. 24, no 3, pp. 275–297.

Gay P.W., Proops J.L. (1993) Carbon Dioxide Production by the UK Economy: An Input-output Assessment. *Applied Energy*, vol. 44, no 2, pp. 113–130.

Grigoryev L., Makarov I., Salmina A. (2013) Domestic Debates on Climate Change in Russia. *Climate Change, Sustainable Development, and Human Security: A Comparative Analysis*, Plymouth: Lexington Books.

IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (2006) *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Kanagawa, Japan.

Kander A., Lindmark M. (2006) Foreign Trade and Declining Pollution in Sweden: A Decomposition Analysis of Long-term Structural and Technological Effects. *Energy Policy*, vol. 34, no 13, pp. 1590–1599.

Lenzen M. (1998) Primary Energy and Greenhouse Gases Embodied in Australian Final Consumption: An Input-output Analysis. *Energy Policy*, vol. 26, no 6, pp. 495–506.

Lenzen M., Moran D., Kanemoto K., Geschke A. (2013) Building Eora: A Global Multi-regional Input-output Database at High Country and Sector Resolution 2013. *Economic Systems Research*, vol. 25, no 1, pp. 20–49.

Lenzen M., Pade L., Munksgaard J. (2004) CO<sub>2</sub> Multipliers in Multi-region Input-output Models. *Economic Systems Research*, vol. 16, no 4, pp. 391–412.

Leontief W. (1970) Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-output Approach. *The Review of Economics and Statistics*, vol. 52, no 3, pp. 262–271.

Lin B., Sun C. (2010) Evaluating Carbon Dioxide Emissions in International Trade of China. *Energy Policy*, vol. 38, no 1, pp. 613–621.

- Liu X.B., Ishikawa M., Wang C., Dong Y.L., Liu W.L. (2010) Analyses of CO<sub>2</sub> Emissions Embodied in Japan – China Trade. *Energy Policy*, vol. 38, no 3, pp. 1510–1518.
- Marland G., Boden T.A., Andres R.J. (2011) *Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions*. Carbon Dioxide Information Analysis Center. <http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview.html>
- Mehra M., Sawhney R., Piskulova N., Abramova A. (2011) *International Trade and Carbon Leakage: An Analytical Framework for India and Russia*. Geneva: UNCTAD Virtual Institute.
- Miller R.E., Blair P.D. (1985) *Input-output Analysis: Foundations and Extensions*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Peters G. (2007) Opportunities and Challenges for Environmental MRIO Modeling: Illustrations with the GTAP Database. Paper Presented at the 16<sup>th</sup> *International Input-output Conference*. Istanbul, Turkey, 2–6 July.
- Peters G., Hertwich E. (2006) Pollution Embodied in Trade: The Norwegian Case. *Global Environmental Change*, vol. 16, no 4, pp. 379–387.
- Peters G., Hertwich E. (2008) CO<sub>2</sub> Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy. *Environmental Science & Technology*, vol. 42, no 5, pp. 1401–1407.
- Peters G., Weber C., Guan D., Hubacek K. (2007) China's Growing CO<sub>2</sub> Emissions: A Race between Increasing Consumption and Efficiency Gains. *Environmental Science and Technology*, vol. 41, no 17, pp. 5939–5944.
- Sato M. (2013) Embodied Carbon in Trade: A Survey of the Empirical Literature. *Journal of Economic Surveys*, no 5.
- Su B., Ang B.W., Low M. (2013) Input-output Analysis of CO<sub>2</sub> Emissions Embodied in Trade and the Driving Forces: Processing and Normal Exports. *Ecological Economics*, vol. 88, pp. 119–125.
- Timmer M.P. (2012) *The World Input-output Database (WIOD): Contents, Sources and Methods*.
- Wiedmann T. (2009) A Review of Recent Multi-region Input-output Models Used for Consumption-based Emission and Resource Accounting. *Ecological Economics*, vol. 69, no 2, pp. 211–222.
- Wyckoff A., Roop J. (1994) The Embodiment of Carbon in Imports of Manufactured Products. *Energy Policy*, vol. 22, no 3, pp. 187–194.
- Xu M., Allenby B., Chen W.Q. (2009) Energy and Air Emissions Embodied in China– US Trade: Eastbound Assessment Using Adjusted Bilateral Trade Data. *Environmental Science & Technology*, vol. 43, no 9, pp. 3378–3384.