

МЕТОДЫ И ОЦЕНКА СТОИМОСТИ СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА¹

Кудрявцева Ольга Владимировна
д.э.н., доцент
МГУ имени М.В. Ломоносова
Экономический факультет
(Москва, Россия)

Яковлева Екатерина Юрьевна
младший научный сотрудник
МГУ имени М.В. Ломоносова
Евразийский Центр по продовольственной безопасности
(Москва, Россия)

Аннотация

В данной статье на основе модели межотраслевого баланса рассчитаны оценки затрат на сокращение единицы загрязнения атмосферного воздуха диоксидом серы, оксидом углерода, оксидом азота, углеводородами и летучими органическими соединениями. Оценка найдена для каждого из шести секторов экономики: промышленность, энергетика, сельское хозяйство, транспорт и связь, жилищно-коммунальное хозяйство и прочие отрасли. С помощью задачи линейного программирования, которая позволяет учесть связи между секторами, сравниваются различные варианты сокращения выброса оксида углерода в атмосферу на территории России на основе данных 2010 г. Также оценивается сокращение выбросов остальных видов загрязнения.

Ключевые слова: модель межотраслевого баланса, оценка затрат на сокращение единицы выброса, оксид углерода, задача линейного программирования.

JEL коды: Q 200, Q 250, Q 280, С 440, С 670.

¹ Статья подготовлена при финансовой поддержке РГНФ, в рамках проекта для молодых ученых 13-32-01-220 «Методы повышения ресурсоэффективности российской экономики».

Кудрявцева О.В., e-mail: olgakud@mail.ru

Яковлева Е.Ю., e-mail: e.u.yakovleva@gmail.com

В результате деятельности человека в окружающую среду выбрасывается огромное количество загрязняющих веществ. В последние десятилетия выбросы стали настолько велики, что природа сама уже не справляется с их нейтрализацией. Результатом этого становится ухудшение здоровья людей, бесследное исчезновение многих видов животных и растений, ускоряющееся повышение температуры на планете, сопровождающееся таянием ледников и ожидаемым повышением уровня океана, накоплением больших объемов парниковых газов в атмосфере и ростом числа природных катастроф. В связи с этим методы и оценки стоимости снижения выбросов загрязняющих веществ вызывают интерес и могут принести важные с практической точки зрения результаты, как для государственных органов, так и для предприятий.

1. Оценка затрат на сокращение единицы выброса определенного вида загрязнения

Можно считать, что отрасли «бесплатно» выделяют в атмосферу загрязняющие вещества и получают доход в виде денежных единиц от реализации продукции, в результате производства которой и было осуществлено загрязнение воздуха. Если рассчитать, какую выручку в среднем получает отрасль при производстве тонны определенного вида загрязнения, то полученную величину можно назвать *оценкой затрат на сокращение единицы выброса определенного вида загрязнения*. Этой величиной в среднем придется пожертвовать в отрасли для сокращения выброса определенного вида загрязнения на единицу³. Расчеты данной величины в среднем за 6 рассматриваемых лет, с 2005 до 2010 гг., приведены в Таблице 1.

Таблица 3.

Стоимость продукции в млн. рублей,
выбросы при производстве которой составляют 1 тонну

	Диоксид серы	Оксид углерода	Оксид азота	Углеводороды	ЛОС
Промышленность	5.17	3.36	30.19	10.49	11.70
Энергетика	1.67	3.68	2.28	56.45	216.53
Сельское хозяйство	327.68	45.12	213.84	169.63	454.67
Транспорт и связь	18.68	0.37	1.79	2.98	18.54
Жилищно-коммун. Услуги	342.83	84.63	470.21	17.71	111.96
Прочее	5.17	87.30	444.25	1040.84	441.02

На основе Таблицы 1 можно видеть, что чем интенсивнее происходит выброс загрязнения при производстве продукции, тем меньшим количеством продукции необходимо по-

³ При таком предположении не учитывается ни эффект масштаба ни закон убывающей предельной производительности, однако, эта предпосылка характерна для Модели межотраслевого баланса в целом, а не только для данного подхода к оценке стоимости сокращения выбросов.

жертвовать, чтобы сократить выбросы на 1 тонну. Из этого следует важный вывод: чтобы нанести экономике наименьший ущерб, связанный с ограничением на выбросы, нужно начинать сокращение выброса определенного вида загрязнения в той отрасли, где сокращение выпуска продукции, вызванное ограничением выбросов, будет наименьшим. Нет смысла искусственно контролировать выбросы того или иного вида загрязняющего вещества в той отрасли, которая не является основным источником его производства, или сокращение выброса в которой является очень дорогостоящим по сравнению с издержками на сокращение данного вида загрязнения в других отраслях.

Анализируя результаты в Таблице 1, дешевле всего начать сокращение выбросов диоксида серы в отрасли энергетики, оксида углерода, оксида азота и углеводородов в отрасли транспорта и связи, а сокращение летучих органических соединений в промышленности.

Зная оценку затрат на сокращение единицы загрязнения определенного вида, можно рассчитать, каким количеством выпуска (здесь в денежном выражении, то есть выручки) нужно пожертвовать, чтобы сократить выброс данного загрязнителя до указанного уровня (на указанный процент). Однако, не все так просто. В экономике все отрасли связаны друг с другом, это значит, что сокращение выпуска в одной отрасли (для снижения загрязнения) приведет к падению выпуска в других отраслях, а это приведет и к сокращению выброса рассматриваемого вида загрязнения в других отраслях и т.д. Чтобы отразить эти сложные связи между отраслями, необходимо воспользоваться моделью межотраслевого баланса, которая и поможет рассчитать, насколько должно сократиться загрязнение в каждой из отраслей, чтобы суммарное сокращение выброса составило искомую величину.

Предложим методику расчета издержек, с которыми сталкивается экономика при снижении выброса определенного вида загрязнения до желаемого уровня (на некоторую величину). Опробуем предлагаемую методику на данных по России за 2010 г., положим, что перед экономикой стоит задача сокращения выброса оксида углерода на 4 %.

2. Оценка издержек на снижение выброса оксида углерода на территории России на основе данных 2010 г.

Чтобы применить модель межотраслевого баланса для оценки стоимости снижения выброса определенного вида загрязнения, используем матрицу прямых затрат A (см. Таблицу 2), рассчитанную на основе данных системы таблиц «Затраты-выпуск» России за 2003 г. Матрица прямых затрат основана на данных 2003 г. в связи с отсутствием более новых таблиц «Затраты-Выпуск», однако с учетом того, что коэффициенты этой матрицы слабо меняются во времени и рассматривается сильно агрегированное деление экономики на сектора, матрицу 2003 г. правомерно использовать в расчетах.

Матрица коэффициентов прямых затрат

	Промышленность	Энергетика	Сельское хозяйство	Транспорт и связь	ЖКХ	Прочее
Промышленность	0,377	0,156	0,117	0,153	0,104	0,052
Энергетика	0,041	0,131	0,014	0,039	0,128	0,007
Сельское хозяйство	0,045	0,000	0,218	8,5·10 ⁻⁷	0,000	0,003
Транспорт и связь	0,038	0,055	0,022	0,050	0,025	0,029
ЖКХ	0,005	0,012	0,003	0,011	0,019	0,006
Прочее	0,125	0,242	0,067	0,206	0,153	0,063

Экономика разделена на шесть секторов: промышленность, энергетика, сельское хозяйство, транспорт и связь, ЖКХ и прочие отрасли. Также для расчетов используется вектор валовых выпусков x , рассчитанный на основе данных сборника «Национальные счета России в 2010 г.», объемы выбросов оксида углерода и других веществ рассчитаны с использованием Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» за 2010 г.

Методика строится следующим образом: предполагается, что сокращение выброса в экономике производится за счет снижения выпуска, конечно, в реальности это не всегда так, но данная предпосылка позволит нам сравнить расходы на очистное оборудование и сокращение выбросов без затрат на данное оборудование, что позволит сказать, выгодно ли реально сокращать выпуск для сокращения выброса или дешевле установить очистное оборудование, и какова в данном случае верхняя оценка стоимости данного оборудования.

Перед лицом, принимающим решение, да и перед экономикой в целом, стоит задача произвести сокращение загрязнения с минимальными потерями валового выпуска в экономике. Поэтому целевую функцию можно записать следующим образом:

$$(x_1 - x'_1) + (x_2 - x'_2) + (x_3 - x'_3) + (x_4 - x'_4) + (x_5 - x'_5) + (x_6 - x'_6) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где x_i – первоначальное значение переменной, а x'_i – значение переменной, после сокращения выброса. Также будет эквивалентна следующая запись:

$$x'_1 + x'_2 + x'_3 + x'_4 + x'_5 + x'_6 \rightarrow \max \quad (2)$$

У этой задачи есть также и специальные ограничения. Во-первых, необходимо отразить сокращение количества загрязнений до определенного уровня:

$$e_1^* x'_1 + e_2^* x'_2 + e_3^* x'_3 + e_4^* x'_4 + e_5^* x'_5 + e_6^* x'_6 = E', \quad (3)$$

где, e_i^* - объем выброса загрязняющего вещества, приходящийся на единицу выпуска, $E' < E^0$, и их разница составляет желаемую величину сокращения выброса. Для рассматриваемого случая положим $E' = 14830\ 000$ тонн, что эквивалентно снижению выброса оксида углерода на 4 %.

$$0,249 \cdot x'_1 + 0,235 \cdot x'_2 + 0,025 \cdot x'_3 + 2,245 \cdot x'_4 + 0,014 \cdot x'_5 + 0,010 \cdot x'_6 = 14830\ 000, (4)$$

Во-вторых, балансовые уравнения в экономике также должны выполняться:

$$\begin{pmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ x'_3 \\ x'_4 \\ x'_5 \\ x'_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,6933 & 0,2783 & 0,3577 & 0,3139 & 0,2518 & 0,1088 \\ 0,0899 & 1,1787 & 0,0391 & 0,0688 & & 0,1679 \\ 0,0977 & 0,0221 & 1,2946 & 0,0190 & 0,0170 & 0,0158 \\ 0,0847 & 0,0958 & 0,0477 & 1,0794 & 0,0100 & 0,0553 \\ 0,0127 & 0,0198 & 0,0068 & 0,0166 & 0,0391 & 1,0245 \\ 0,2770 & 0,3786 & 0,1513 & 0,3014 & 0,0081 & 0,2573 \\ & & & & & 1,0973 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} y'_1 \\ y'_2 \\ y'_3 \\ y'_4 \\ y'_5 \\ y'_6 \end{pmatrix}; \quad (5)$$

где y'_i – значение переменной, после сокращения выброса. Естественно предполагается, что **все переменные неотрицательны**

В-третьих, необходимо добавить несколько содержательных ограничений, некоторые из которых являются обязательными, чтобы решение математической задачи было адекватно реальности и предпосылкам модели, а также можно добавить дополнительные ограничения, которые может накладывать лицо, принимающее решение.

Среди обязательных условий должно быть невозрастание валовых выпусков в отраслях:

$$x'_1 \leq 17227276; \quad (6)$$

$$x'_2 \leq 2716733; \quad (7)$$

$$x'_3 \leq 1843458; \quad (8)$$

$$x'_4 \leq 4561379; \quad (9)$$

$$x'_5 \leq 673280; \quad (10)$$

$$x'_6 \leq 21372074; \quad (11)$$

где x'_1 – промышленность, x'_2 – энергетика, x'_3 – сельское хозяйство, x'_4 – транспорт и связь, x'_5 – ЖКХ, x'_6 – прочие отрасли (после сокращения выброса).

Согласно идее рассматриваемой модели, **нет оснований полагать, что выпуск в какой либо из отраслей вырастет, если в экономике будет происходить сокращение выбросов за счет сокращения выпуска.**

Модель (2), (4) – (11) позволяет учесть связи между отраслями в процессе сокращения загрязнения, а не рассматривает сокращение выпусков, конечного потребления и объемов загрязнения в каждой отрасли изолированно. Данную задачу можно решить симплекс-методом.

Дополнительные ограничения нужны лицу, принимающему решение, во-первых для того, чтобы решить следующую дилемму. Поскольку стоит задача сократить выбросы с наименьшими потерями для экономики, то сделать это нужно за счет той отрасли, в которой цена единицы загрязнения минимальна, и это кажется верным решением, но здесь нужно учитывать, на сколько сократится объем загрязнения и на сколько произойдет сокращение выпуска в данной отрасли (рассматриваем валовой выпуск, так как содержательно важна зависимость выпуска одной отрасли от выпусков в других отраслях). При заметном сокращении загрязнения, возможно, придется сократить выпуск в «выбранной» отрасли на 20-30 %, но для реальной экономики это абсолютно неприемлемо. Даже в тяжелые кризисные годы сокращение выпусков отраслей не происходит так резко и значительно. Поэтому в модель (2), (4) – (11) можно добавить границы снижения выпусков и перераспределить «ответственность» за сокращение выбросов на другие отрасли.

При изменении валовых выпусков по отраслям меняются межотраслевые поставки и объемы конечного потребления. Причем компоненты вектора конечного потребления могут как расти, так и снижаться. Если рост конечного потребления, который возникает из-за сокращения межотраслевых поставок (которое в свою очередь связано с сокращением выпусков) нецелесообразен (например не найдет спроса на рынке), то необходимо установить верхние границы изменения компонентов вектора y . Возможна также и обратная ситуация, когда сокращение выпуска осуществляется за счет сокращения конечного потребления, что приведет к сильному дефициту на конечном рынке (население не будет обеспечено необходимым количеством какого-либо блага, например электроэнергии), тогда необходимо установить нижние границы изменения компонентов вектора y .

Теперь перейдем к рассмотрению результатов решения сформулированной задачи с добавлением и сокращением числа ограничений

Будем иметь в виду, что отрасль транспорта и связи⁴ является отраслью с наименьшей ценой выбросов оксида углерода: в среднем за 6 рассматриваемых лет она составляет 370 тысяч рублей за тонну. В 2010 г. в данной отрасли было произведено 66,7 % всех выбросов оксида углерода. Если в целом по экономике нужно сократить выбросы на 4 %, и это будет происходить в самой простой версии модели за счет отрасли транспорта и связи, то желаемый объем сокращения выбросов составит чуть более 6 % от выбросов в данной отрасли.

Если не добавлять в модель никаких дополнительных ограничений, то в силу линейности связей в модели получится, что конечное потребление во всех отраслях вырастет, кроме транспорта (конечное потребление здесь сократится более, чем на 9 %). Валовой выпуск во всех отраслях кроме транспорта останется неизменным, а в транспорте сократиться чуть больше, чем на 6 % (это равно проценту, который составляет сокращение выброса от общего объема производства оксида углерода в отрасли в силу линейности модели). Таким образом,

⁴ Для краткости будем ее называть просто «транспорт».

в результате расчетов по Модели 1 общие потери конечного потребления в экономике (ВВП) составят 0,51 % или 148,2 млрд рублей, валовой выпуск сократится на 0,57 % или 274,8 млрд рублей.

Далее добавим ограничения, запрещающие снижение выпуска больше, чем на 5%

$$x'_1 \geq 16365912; \quad (12)$$

$$x'_2 \geq 896; \quad (2580 \quad 13)$$

$$x'_3 \geq 1751285; \quad (14)$$

$$x'_4 \geq 4333310; \quad (15)$$

$$x'_5 \geq 639616; \quad (16)$$

$$x'_6 \geq 20303470. \quad (17)$$

Тогда мы получим следующее: максимально допустимый объем сокращения загрязнения будет осуществлен за счет самой дешевой отрасли – транспорта и связи, остаток будет покрыт за счет отрасли, являющейся второй по «дешевизне сокращения выбросов», - промышленности. Для того, чтобы достигнуть сокращения до желаемого уровня, придется пожертвовать еще примерно 2,5 % выпуска в данной отрасли. Итого, общие потери конечного потребления в экономике составят 0,95 %, или 278,1 млрд. рублей, или 1,34 % валового выпуска (649,4 млрд рублей). То есть, потери экономики увеличатся почти в 2 раза за счет того, что потери выпуска в отрасли транспорта и связи сократятся с 6 до 5 % по сравнению с вариантом модели без дополнительных ограничений.

Если ограничить сокращение выпуска в транспорте 4 %-ми (обозначим это Модель 2), то придется пожертвовать почти 5 % выпуска в промышленности. И общие потери конечного потребления в экономике составят 1,38 % или 405 млрд руб. (или 2,1 % валового выпуска)

Сделаем еще одно важное замечание: так как необходимо осуществить сокращение загрязнения на 4 %, то если установить пределы сокращения выпусков в каждой отрасли в 4 % (обозначим это Модель 3), весь «запас прочности» будет использован, что следует из особенностей модели. Иными словами, в силу линейности связей в модели для сокращения выбросов оксида углерода примерно на 4% нужно пожертвовать почти 4% выпуска в каждой отрасли. Конечно, это будет одним из самых дорогих способов (сокращение конечного потребления составит 3,9% или 1141,6 млрд. рублей, а валового выпуска 3,8% или 1847,4 млрд. рублей). Самым дешевым способом будет сокращение выбросов только за счет отрасли транспорта и связи, в которой цена выброса минимальна, но тогда сокращение в данной отрасли составит более 6%.

Для каждого рассмотренного случая можно рассчитать, насколько сократится выброс других видов загрязнения. Различные компоненты выбросов наносят различный ущерб, поэтому прямое сложение объемов выбросов различных веществ нежелательно. Выбросы мож-

но «взвесить», например, с коэффициентами, равными $\frac{1}{\text{ПДК}_k}$, (где ПДК – предельно допустимые концентрации веществ $k = 1, \dots, 5$, это различные виды загрязняющих веществ). Поскольку в группу летучих органических соединений (ЛОС) входит большое число различных веществ, и рассчитать предельную допустимую концентрацию (ПДК) проблематично, то взвесим компоненты выбросов с коэффициентами $\frac{1}{(\text{класс опасности } k)}$, оценив класс опасности ЛОС как среднее арифметическое классов его компонентов. Данные веса учтут реальную опасность загрязнения, поскольку чем больше номер класса, к которому принадлежит вещество, тем «безопаснее» выброс

Таблица 3.

Веса для расчета объема сокращения выбросов различных веществ

	Диоксид серы	Оксид углерода	Оксид азота	Углеводороды	ЛОС
Класс опасности ⁵	3	4	2	4	3
Коэффициент для расчета суммарного сокращения выбросов	$\frac{1}{3}$	–	–	$\frac{1}{4}$	–

В последнем столбце Таблицы 4 приведены данные о сокращении и видах загрязнения, отличных от оксида углерода, а в Таблице 5 приведено соотношение суммарного сокращения выбросов (рассчитанного с использованием весов из Таблицы 3) и сокращения конечного потребления в экономике (ВВП). Анализ результатов показал, что в рассматриваемом случае более «дорогие» способы сокращения оксида углерода не компенсируются сокращением других видов выбросов. То есть, темпы потерь ВВП не компенсируются суммарными темпами сокращения выбросов загрязнителей различных видов. Однако нужно учитывать, что здесь разобран лишь частный пример, основанный на том, что сокращение выбросов оксида углерода является приоритетным по сравнению с другими видами загрязнений в силу его небезопасности и значительных объемов. Чтобы определить, как оптимальным образом сократить суммарное количество загрязнений, следует проводить расчеты иначе, учтя в модели сразу все виды загрязнений.

Значительное сокращение валового выпуска и ВВП приводит к мысли о том, что сокращение интенсивно производящихся выбросов загрязняющих веществ требует значительных затрат (выраженных в сокращении производства) и побуждает к поиску альтернативных способов сокращения загрязнения как для предприятий, так и для лица, принимающего ре-

⁵ <http://www.stroyplan.ru/docs.php?showitem=42030> – предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест

шение о сокращении загрязнения. Директивное принуждение к чему-либо (именно так можно интерпретировать предпосылки рассмотренной методики) всегда считается одним из самых неэффективных способов достижения результата.

Рассчитанные издержки, которые экономике необходимо понести для сокращения выброса определенного вида до желаемого уровня, можно считать верхней оценкой подобных издержек. Рассчитанную по предложенной методике сумму можно сравнить со стоимостью очистных сооружений и другого оборудования, которое позволит сократить выбросы без сокращения выпуска (с более низким сокращением выпуска), и тогда можно сказать, выгодно ли реально сокращать выпуск или дешевле установить очистное оборудование для сокращения выбросов.

Таблица 4.

Объемы сокращения выбросов загрязняющих веществ в каждом из вариантов расчета

№ ⁶	Ограничения	Результат		Сокращение других видов выбросов
		при сокращении оксида углерода на 616 тыс. тонн или 4 %)	Снижение ВВП	
0	Нет	В транспорте конечное потребление сократится более, чем на 9 %, валовой выпуск - более, чем на 6 %. Конечное потребление во всех отраслях вырастет (за счет меньших межотраслевых поставок в отрасль транспорта и связи), а валовой выпуск не изменится.	0,51 % или 148,2 млрд рублей.	Диоксид серы: на 11,7 тыс. т или на 0,25 % от валового выброса; Оксид азота: 130,2 тыс. т или 3,4 %; Углекислоты: 88,9 тыс. т или 2,9 %; ЛОС: 14,9 тыс. т или 0,88 %.
1	Снижение выпуска во всех отраслях 5 %	Валовой выпуск в транспорте сократится на 5 %, в промышленности - примерно на 2,5 %, в остальных секторах останется неизменным. Конечное потребление в транспорте и промышленности сократится, в остальных секторах вырастет.	0,95 % или 278,1 млрд рублей.	<i>Диоксид серы</i> : на 82,1 тыс. т или на 1,8 % от валового выброса; <i>Оксид азота</i> : 121,4 тыс. т или 3,2 %; <i>Углекислоты</i> : 109,8 тыс. т или 3,5 %; <i>ЛОС</i> : 43,6 тыс. т или 2,6 %.
2	Снижение выпуска в транспорте 4 %	Валовой выпуск в транспорте сократится на 4 %, в промышленности - примерно на 5 %, в остальных секторах останется неизменным. Конечное потребление в транспорте и промышленности сократится, в остальных секторах вырастет.	1,38 % или 405 млрд рублей.	<i>Диоксид серы</i> : на 150,9 тыс. т или на 3,3 % от валового выброса; <i>Оксид азота</i> : 112,8 тыс. т или 2,9 %; <i>Углекислоты</i> : 130,1 тыс. т или 4,2 %; <i>ЛОС</i> : 71,6 тыс. т или 4,2 %.
3	Снижение вал. выпуска во всех отраслях 4 %	Снижение валового выпуска во всех отраслях составит 4 % (в прочих отраслях 3,6 %, но скорее всего, это в рамках погрешности). Конечное потребление во всех отраслях сократится.	3,9 % или 1141,6 млрд рублей	Снижение выбросов <i>каждого вида</i> составит 4 % в силу линейности модели.

Таблица 5.

Соотношение сокращения выпуска и выбросов загрязняющих веществ

№	Снижение ВВП, млрд. руб.	Диоксид серы, тыс. т	Оксид углерода, тыс. т	Оксид азота, тыс. т	Углекислоты, тыс. т	ЛОС, тыс. т	Стоимость сокращения единицы выбросов	
							Суммарные выбросы с весами, тыс. т.	Стоимость сокращения единицы выбросов
0	148,2	11,7	616	130,2	88,9	14,9	250,2	0,592
1	278,1	82,1	616	121,4	109,8	43,6	284,1	0,979
2	405	150,9	616	112,8	130,1	71,6	317,1	1,277
3	1141,6	182,6	616	153,5	124	68	345,3	3,306

⁶ Номер модели в соответствии с введенными обозначениями

3. Заключение

Для оценки стоимости сокращения выбросов на основе модели межотраслевого баланса построена задача линейного программирования. С ее помощью можно рассчитать расходы на сокращение загрязнения и оценить различия по отраслям. Если предположить, что снижение выбросов происходит за счет сокращения производства, то наиболее рационально осуществить это за счет отрасли, снижение выбросов в которой влечет наименьшие потери в выпуске. Если поставить задачу сокращения выбросов оксида углерода, то «дешевле» всегда начать сокращение с отрасли транспорта и связи, но чтобы снижение выпуска в этой отрасли не было слишком сильным, с помощью дополнительных ограничений можно перераспределить «ответственность» по сокращению выбросов на второй «по дешевизне» сектор – промышленность и т.д. Сокращение выбросов за счет этого сектора ведет к более серьезным потерям в выпуске в целом, но в относительном выражении, для промышленности (по сравнению с транспортом) эти потери менее чувствительны в связи с большими объемами производства. Можно рассчитать также и сокращение других видов выбросов загрязняющих веществ и найти общий эффект. Но в рассмотренном случае перераспределение «ответственности» по снижению выбросов на другие отрасли не приводит к эффективности мер, а именно темпы сокращения выпуска превышают темпы сокращения загрязнения. Чтобы полностью оптимизировать этот процесс, в задаче нужно учитывать производство сразу всех видов загрязнения, что делает задачу значительно более громоздкой.

Тем не менее, полученную оценку стоимости снижения выбросов за счет снижения выпуска можно интерпретировать как верхнюю оценку издержек, с которыми реально может столкнуться экономика при сокращении определенного вида загрязнения на желаемую величину. Их можно сравнить с затратами по применению альтернативных способов сокращения загрязнения, что будет способствовать выбору оптимального варианта сокращения загрязнения.

Список литературы

- Воркуев Б.И.* Количественные методы исследования в микро- и макроэкономике. М.: ТЕИС. 2007. 436 с.
- Коссов В.В.* Межотраслевой баланс. М.: Экономика, 1966. 226 с.
- Кудрявцева О.В.* Методы учета потоков природных ресурсов (экономические, экологические, социальные особенности). М.: Экономический факультет МГУ, ТЕИС, 2008. 288 с.
- Кудрявцева О.В., Папенков К.В.* Экономика природопользования и охраны окружающей среды. Учебное пособие. М.: ТЕИС, 2010. 173 с.
- Кудрявцева О.В.* Экологическая эффективность на макроуровне: потоки ресурсов, модель межотраслевого баланса и экспорт воды в российской экономике. /Экономика и математические методы, 44 (4), 2008. с. 38-47.
- Кудрявцева О.В.* Математические модели анализа потребления природных ресурсов. /Вестник Московского университета, Серия 6 «Экономика», №3, с. 67-87. // Москва, МГУ, 2007.
- Машурин Ю.К.* Методы и модели векторной оптимизации. М.: «НАУКА», 1986. 140 с.
- Перман Р. Ю Ма, Макгилври Дж., Коммон М.* Экономика природных ресурсов и охраны окружающей среды (промежуточный уровень). М.: ТЕИС, 2006. 1166 с.
- Статистический сборник «Национальные счета России в 2003-2010 годах», М., 2011.
- Система таблиц «Затраты-выпуск» России за 2003 г.: Стат. сб. М., 2006.
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» в 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 гг. М.
- Liang S., Zhang T., Wang Y., Jia X.* Sustainable urban materials management for air pollutants mitigation based on urban physical input-output model, *Energy* 42, 2012. P. 387-392.
- Llop M.* Water reallocation in the input-output model, *Ecological Economics*. Vol. 86, 2013. P. 21-27.
- Roca J., Serrano M.* Income growth and atmospheric pollution in Spain: An input-output approach, *Ecological Economics* 63, 2007. P. 230-242.
- Tarancon M.A., Rio P.D.* Assessing energy-related CO2 emissions with sensitivity analysis and input-output techniques, *Energy* 37, 2012. P. 161-170.
- Velazquez E.* An input-output model of water consumption: intersectoral water relationships in Andalusia, *Ecological Economics* 56, 2006. P. 226- 240.
- Wang Y., Xiao H.L., Lu M.F.:* Analysis of water consumption using a regional input-output model: Model development and application to Zhangye City, Northwestern China// *Journal of Arid Environments* 73, 2009. P. 894-900.
- www.gks.ru (Федеральная служба государственной статистики России)

ESTIMATES OF EXPENDITURES THE AIR POLLUTION REDUCTION

Olga Kudryavtseva
Ph.D., Assistant Professor
MSU
Faculty of Economics
(Moscow, Russia)

Ekaterina Yakovleva
Research fellow
MSU
Eurasian Center for Food Security
(Moscow, Russia)

Abstract

The aim of this paper is to find the way of reduction the air pollution and evaluate the expenditures for that way. The costs of reduction per unit are estimated for sulfur dioxide, carbon oxide, nitrogen oxide, hydrocarbons and volatile organic compounds in each of the six sectors: manufacturing, energy, agriculture, transport and communications, utilities, and other industries. Using the linear programming, which allows considering the relationship between sectors, we compare different variants of reduction the emission of carbon oxide in Russia based on the statistics for 2010. The reduction of all other kinds of pollutants is estimated too.

Key words: input-output model, costs of emission reduction, carbon oxide, linear programming problem.

JEL codes: Q 200, Q 250, Q 280, C 440, C 670.