

## ЭКОЛОГО-МЕЖОТРАСЛЕВОЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ

*Александр Борисович Базаров*

Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 17, инженер, тел. (983)458-70-90, e-mail: sasha.bazarov.97@bk.ru

Экологически расширенный анализ затрат-выпуска (ЕЕИОА) обеспечивает оценку взаимосвязей между экономическим потреблением и воздействием на окружающую среду. ЕЕИОА в настоящее время широко используется для оценки факторов воздействия на окружающую среду, воплощенного в произведенных и продаваемых товарах и услугах. В данной статье применяются экологические расширения, связанные с образованием отходов, воздушных и водных загрязнений на основе межотраслевого баланса Бурятии за 2016 год.

**Ключевые слова:** межотраслевой баланс, Республика Бурятия, экологические расширения, экологические загрязнения

## ENVIRONMENTALLY EXTENDED INPUT-OUTPUT ANALYSIS OF THE BURYATIA REPUBLIC ECONOMY

*Alexander B. Bazarov*

Institute of economics and industrial engineering of SB RAS, 17, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, engineer, phone: (983) 458-70-90, e-mail: sasha.bazarov.97@bk.ru

Environmentally Extended Input-Output Analysis (EEIOA) provides a method for assessing the relationship between economic consumption and environmental impact. EEIO is now widely used to assess environmental impacts embodied in goods and services produced and sold. In this article, environmental extensions for the generation of waste and air and water pollutants are applied based on the input-output table of Buryatia for 2016.

**Keywords:** input-output table, Buryatia Republic, ecological extension, environmental pollution

### *Введение*

Поскольку воздействие человека на природную среду продолжает расти, все большее значение приобретают методы, позволяющие определить причины этих воздействий. Экологически расширенный анализ затрат-выпуска (ЕЕИО) - это давно зарекомендовавший себя метод, который продолжает набирать популярность как метод оценки взаимосвязи между экономической деятельностью и последующим воздействием на окружающую среду. Среди других приложений подходы на основе ЕЕИО недавно использовались для анализа углеродного [1–5], водного [6, 7], экологического [8–10], азотного [11] и биологического следов [12, 13]. Этот метод может использоваться для определения экономических факторов любого воздействия на окружающую среду, включая выбросы загрязняющих веществ, деградацию или сбор природных ресурсов и утрату биоразнообразия. В этой работе рассматриваются цели ЕЕИО, принципы и математическое описа-

ние, лежащие в основе базового анализа ЕЕЮ, а также сильные и слабые стороны подхода ЕЕЮ.

В экологической литературе ЕЕЮ обычно используется для достижения одной или обеих из двух основных целей:

1) для расчета скрытого, восходящего, косвенного или воплощенного воздействия на окружающую среду, связанного с последующим потреблением;

2) для расчета количества воплощенного воздействия на окружающую среду товаров, торгуемых между странами.

Традиционно анализ воздействий на окружающую среду и воплощенных воздействий на продаваемые продукты выполнялся с использованием анализа жизненного цикла на основе процессов, сосредоточенного на отдельных продуктах и выбранном воздействии на окружающую среду. Эти традиционные методы имеют ряд ограничений, описанные ниже, которые имеют схожие допущения в ЕЕЮ анализе.

### *Методы и материалы*

В приведенном ниже примере описывается межотраслевая модель Республики Бурятия за 2016 год, в которой спрос на товары и услуги со стороны конечных потребителей является экзогенным и отделен от деятельности производственных секторов, в которой любые и все продукты, производимые экономикой, потребляются в рамках одной и той же экономической системы. Это наиболее распространенный подход, используемый при анализе ЕЕЮ в масштабе экономики одного региона.

В данной таблице в республике представлены три сектора экономики: первичный – сельское хозяйство и добыча полезных ископаемых, вторичный – обрабатывающая промышленность и строительство, третичный – торговля и услуги.

Эти три сектора продают товары и услуги друг другу, а также конечным потребителям, которые покупают конечную готовую продукцию, продаваемую каждым из секторов. Эту взаимосвязь можно описать с помощью таблицы затрат-выпуска, представленной в табл. 1.

*Таблица 1*

Таблица затрат-выпуска для Республики Бурятия для трех секторов, млн. руб.

	Первичный сектор	Вторичный сектор	Третичный сектор	Конечное использование	Валовой выпуск
Первичный сектор	2 595,4	20 649,1	14 705,0	-20 104,9	17 844,7
Вторичный сектор	3 343,1	19 402,1	30 017,9	17 590,5	70 353,6
Третичный сектор	1 429,2	5 803,4	47 251,4	143 077,5	197 561,5
Валовая добавленная стоимость	10 476,9	24 499,0	105 587,1		
Валовой выпуск	17 844,7	70 353,6	197 561,5		

В данной таблице можно отметить отрицательное значение конечное использование экономическими агентами продукции первичного сектора. В отраслевом разрезе основную долю составляет добыча полезных ископаемых и другие производства. По статьям II квадранта видно, что эти виды экономической деятельности были вывезены из этого региона в другие, либо находились под статьёй импорта.

Далее, составляем экологические последствия, связанные со всеми видами производственной деятельности каждого сектора в этом году, по следующим категориям: загрязнение воды, воздуха и образование отходов, как указано в табл. 2.

Таблица 2

Образование отходов, атмосферных выбросов и загрязненных сточных вод

Сектор	Атмосферные выбросы, тыс. т.	Образование загрязненных сточных вод, млн. м <sup>3</sup>	Образование отходов, тыс. т.
Первичный	6973	1618	69109
Вторичный	49353	11378	3379
Третичный	4897	16442	106
Итого	61224	29438,4	75294

Здесь мы можем увидеть, что инвентаризация выбросов показала, что деятельность в первичном секторе привела к выбросу 6973 тыс. т. загрязняющих воздух веществ, 1618 млн м<sup>3</sup> сточных вод, выпущенных в поверхностные водные объекты, образованию 69109 тыс. т. отходов производства и потребления. Воздух наиболее сильно загрязняет вторичный сектор экономики (80,6%), воду – третичный и вторичный, самые многочисленные отходы образуются в первичном секторе из-за добычи угля (91,8%).

Эти данные о загрязнениях вместе с информацией об общем выпуске каждого сектора можно использовать для расчета прямого вектора интенсивности  $f$ , который дает объемы загрязнений, связанные с 1 млн. руб. выпуска каждого сектора. Прямую интенсивность в каждом секторе можно посчитать делением каждого элемента матрицы из табл. 2 на валовый выпуск из табл. 1. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Прямая интенсивность выбросов  $f$

Сектор	Воздух, тыс. т. / млн. руб.	Вода, млн. м <sup>3</sup> / млн. руб.	Отходы, тыс. т. / млн. руб.
Первичный	0,39	0,02	0,35
Вторичный	2,77	0,16	0,02
Третичный	0,27	0,23	0,0005
Общий	3,43	0,42	0,38

Согласно расчётам, мы получаем, что на каждый 1 млн. руб. выпуска первичного сектора будет образовано 0,39 тыс. т. атмосферных выбросов, 0,02 млн м<sup>3</sup> загрязненных сточных вод, а также 0,35 тысяч тонн отходов, если бы не было промежуточных продаж между предприятиями. Используя данные из табл. 1, можно вычислить  $(E - A)^{-1}$ ,

$$(E - A)^{-1} = \begin{pmatrix} 1,32 & 0,56 & 0,24 \\ 0,38 & 1,57 & 0,35, \\ 0,18 & 0,23 & 1,38 \end{pmatrix} \quad (1)$$

где функция  $(E - A)^{-1}$ , называется обратной матрицей Леонтьева [20]

$$F = f(E - A)^{-1} \quad (2)$$

### **Результаты**

Это уравнение чаще всего используется в расширениях межотраслевого анализа, в том числе – приложениях экологического блока к таблице «затраты-выпуск».

Затем, умножая вектор  $f$  по каждому виду загрязнений на результат действий (1), мы получим вектор общей интенсивности  $F$ , который сообщает об общем количестве загрязнений, или другом воздействии на окружающую среду, которые происходят в любой отрасли, чтобы в конечном итоге произвести 1 млн. руб. продукции для конечных потребителей в секторе. Результаты данного анализа представлены в табл. 4.

*Таблица 4*

Мультипликаторы образования отходов и веществ, загрязняющих воздух и воду

Сектор	Воздух, тыс. т. / млн. руб.	Вода, млн. м <sup>3</sup> / млн. руб.	Отходы, тыс. т. / млн. руб.
Первичный	0,514	1,55	0,066
Вторичный	0,03	0,091	0,056
Третичный	0,46	0,009	0,0001

Согласно табл. 4, мы можем отметить, что для всех видов загрязнений максимальное влияние будет оказывать первичный сектор.

### **Обсуждение**

Анализ ЕЕИО представляет собой простой и быстрый метод, который можно использовать для оценки воздействия на окружающую среду, связанного с потреблением, а также воплощенного воздействия на окружающую среду в продаваемых товарах. Этот подход эффективно устраняет каждый из основных, ранее описанных недостатков традиционных методов.

В частности, ЕЕИО позволяет:

- использовать уровни производства для детальной оценки воздействий;
- использовать общедоступные таблицы затрат-выпуска;
- устранить циклы в производстве, которые возникают, когда продукт используется для производства самого себя;
- избегать двойного учета за счет взаимоисключающего распределения воздействий на окружающую среду между отраслями;
- учесть торговлю вторичными продуктами переработки.

Подходы ЕЕЮ также имеют несколько хорошо известных ограничений. Ниже приведены краткие описания наиболее важных моментов:

- Возможно, наиболее важное допущение ЕЕЮ известно как однородность, или допущение, что каждый сектор экономики производит один однородный товар или услугу;
- Отраслевое разрешение таблиц «затраты-выпуск» может быть очень многочисленным, что приводит как к проблемам с однородностью, так и с практическим применением;
- Таблицы «затраты-выпуск» могут не отражать все виды деятельности в экономике;
- Анализ затрат-выпуска - это линейные модели, которые предполагают, что для создания выпуска сектора используется постоянная фиксированная доля затрат;
- Таблицы «затраты-выпуск», как правило, доступны не для каждой страны и могут публиковаться с большими временными лагами (например, каждые пять лет);
- Точная оценка самих воздействий на окружающую среду и распределение этих воздействий по секторам часто затруднены.

### *Заключение*

Несмотря на свои ограничения, популярность экологически расширенного межотраслевого анализа продолжает расти. Позволяя проводить быструю оценку исходных факторов воздействия на окружающую среду, а также воздействий, воплощенных в торговле между странами, этот подход дает возможность новым видам анализа, которые могут быть ориентированы на различные экологические проблемы, такие как причины глобальной деградации окружающей среды и использования природных ресурсов. Этот подход будет иметь особенно важное значение для усилий по отслеживанию потока ресурсов и загрязняющих веществ в условиях все более глобализированной экономики и для поиска способов уменьшения воздействия постоянно растущего потребительского спроса со стороны человека. По мере того, как продолжают создаваться новые и более подробные таблицы «затраты-выпуск», и по мере того, как добавляются новые экологические данные, в частности о выбросах углерода, оценке воздействий на воду, воздух, землю и биоразнообразии, можно заключить, что этот вид межотраслевого анализа будет приобретать все большее применение в эколого-экономических исследованиях.

## Благодарности

*Работа выполнена по плану НИР ИЭОПП СО РАН. Проект 5.6.6.4. (0260-2021-0008) «Методы и модели обоснования стратегии развития экономики России в условиях меняющейся макроэкономической реальности».*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Peters, G.P.; Hertwich, E.G. CO2 embodied in international trade with implications for global climate policy. *Environ. Sci. Technol.* 2008, 42, 1401–1407.
2. Wiedmann, T. Editorial: Carbon footprint and input-output analysis—An introduction. *Econ. Syst. Res.* 2009, 21, 175–186.
3. Minx, J.; Wiedmann, T.; Wood, R.; Peters, G.; Lenzen, M.; Owen, A.; Scott, K.; Barrett, J.; Hubacek, K.; Baiocchi, G.; et al. Input-output analysis and carbon footprinting: An overview of applications. *Econ. Syst. Res.* 2009, 21, 187–216.
4. Davis, S.J.; Caldeira, K. Consumption-based accounting of CO2 emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2010, 107, 5687–5692.
5. Davis, S.; Peters, G.; Caldeira, K. The supply chain of CO2 emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2011, 108, 18554–18559.
6. Hoekstra, A.Y.; Chapagain, A.K. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resour. Manag.* 2006, 21, 35–48.
7. Hoekstra, A.Y.; Mekonnen, M.M. The water footprint of humanity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2012, 109, 3232–3237.
8. Bicknell, K.; Ball, R.J.; Cullen, R.; Bigsby, H.R. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecol. Econ.* 1998, 27, 149–160.
9. Wiedmann, T.; Minx, J.; Barrett, J.; Wackernagel, M. Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis. *Ecol. Econ.* 2006, 56, 28–48.
10. Galli, A.; Weinzettel, J.; Cranston, G.; Ercin, E. A Footprint Family extended MRIO model to support Europe's transition to a One Planet Economy. *Sci. Total Environ.* 2013, 461–462, 813–818.
11. Leach, A.M.; Galloway, J.N.; Bleeker, A.; Erisman, J.W.; Kohn, R.; Kitzes, J. A nitrogen footprint model to help consumers understand their role in nitrogen losses to the environment. *Environ. Dev.* 2012, 1, 40–66.
12. Lenzen, M.; Moran, D.; Kanemoto, K.; Foran, B.; Lobefaro, L.; Geschke, A. International trade drives biodiversity threats in developing nations. *Nature* 2012, 486, 109–112.
13. Kitzes, J.A. Quantitative Ecology and the Conservation of Biodiversity: Species Richness, Abundance, and Extinction in Human-Altered Landscapes. Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, CA, USA, December 2012.
14. Miller, R.; Blair, P. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*; 2nd ed.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2009; p. 750.
15. Ten Raa, T. *The Economics of Input-Output Analysis*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2005; p. 197.
16. Tukker, A.; Dietzenbacher, E. Global multiregional input-output frameworks: An introduction and outlook. *Econ. Syst. Res.* 2013, 25, 1–19.
17. Lenzen, M.; Murray, J.; Sack, F.; Wiedmann, T. Shared producer and consumer responsibility—Theory and practice. *Ecol. Econ.* 2007, 61, 27–42.
18. Lenzen, M. Errors in conventional and input-output-based life-cycle inventories. *J. Ind. Ecol.* 2000, 4, 127–148.
19. United Nations Statistical Division. United Nations Commodity Trade Statistics Database.
20. Leontief, W. Quantitative input-output relations in the economic system of the United States. *Rev. Econ. Stat.* 1936, 18, 105–125.

© А. Б. Базаров, 2021