

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ВНЕШНИХ ЭФФЕКТОВ В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

А. М. ФИЛИПЦОВ¹⁾, М. А. ЛАГУН¹⁾

¹⁾Белорусский государственный экономический университет,
пр. Партизанский, 26, 220070, г. Минск, Беларусь

Аннотация. Исследована методологическая основа регулирования отрицательных внешних эффектов в экологической сфере как компонент устойчивого развития экономической системы. Обобщены подходы к оценке экологического компонента устойчивого развития, а также методики оценки эколого-экономического ущерба. Предложены методика расчета ущерба от загрязнения окружающей среды источником, являющимся производителем продукции, и модель выбора оптимальной технологии и объема выпуска.

Ключевые слова: внешние эффекты; устойчивое развитие; экологическая безопасность; охрана окружающей среды; Республика Беларусь.

Благодарность. Статья подготовлена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта ГР20231073 «Устойчивость белорусской модели экономики перед новыми вызовами и угрозами».

METHODOLOGY FOR ASSESSING NEGATIVE EXTERNAL EFFECTS IN THE ECOLOGICAL FIELD

A. M. FILIPTSOV^a, M. A. LAHUN^a

^aBelarus State Economic University, 26 Partyzanski Avenue, Minsk 220070, Belarus
Corresponding author: A. M. Filiptsov (filipsov@mail.ru)

Abstract. The methodological basis for the regulation of negative external effects in the ecological field as a component of sustainable development of the economic system is studied. Approaches to the assessment of the environmental component of sustainable development and methods of assessing environmental and economic damage are generalised. The methodology of calculation of damage from environmental pollution by the source which is a producer of products and the model for selecting the optimal technology and output volume are proposed.

Образец цитирования:

Филипцов АМ, Лагун МА. Методология оценки отрицательных внешних эффектов в экологической сфере. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2024;2:13–21.
EDN: UAQLUZ

For citation:

Filiptsov AM, Lahun MA. Methodology for assessing negative external effects in the ecological field. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2024;2:13–21. Russian.
EDN: UAQLUZ

Авторы:

Андрей Михайлович Филипцов – доктор экономических наук, профессор; профессор кафедры экономической теории факультета международных экономических отношений.
Марина Александровна Лагун – ассистент кафедры экономической политики факультета международных экономических отношений.

Authors:

Andrey M. Filiptsov, doctor of science (economics), full professor; professor at the department of economic theory, faculty of international economic relations.
filipsov@mail.ru
Marina A. Lahun, assistant at the department of economic policy, faculty of international economic relations.
marichka_mih@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0009-9807-9477>

Keywords: external effects; sustainable development; ecological safety; environmental protection; Republic of Belarus.

Acknowledgements. This article was prepared with the financial support of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research within the framework of the scientific project GR20231073 «Sustainability of the Belarusian economic model in the face of new challenges and threats».

Введение

В настоящее время экономика Республики Беларусь сталкивается со значительными внешними и внутренними вызовами своему безопасному и устойчивому развитию. Такая ситуация актуализирует необходимость научного обоснования мероприятий по повышению устойчивости и эффективности функционирования национальной экономической системы. Как в отечественной, так и в зарубежной экономической науке проводится много исследований по указанной проблеме. Самым распространенным направлением таких исследований выступает устойчивое развитие, составляющими которого являются экономический рост, социальная ответственность и экологический баланс. В рамках данного направления преобладают работы, в которых изучаются социальный и экологический компоненты. Результаты одних исследований зарубежных авторов могут быть применены к странам с развитыми рынками и требуют адаптации к условиям Республики Беларусь. В других исследованиях рассматриваются проблемы социально-экономической динамики развивающихся стран, которые почти не характерны для нашей страны. По этим причинам изучение указанной проблемы применительно к Республике Беларуси является актуальным.

В настоящей статье излагаются результаты исследований, касающихся регулирования отрицательных внешних эффектов (экстерналий) в экологической сфере как направления обеспечения устойчивости национальной экономики. В частности, анализируется методология оценки экологической составляющей устойчивого развития.

Теоретико-методологическая основа оценки экологической составляющей устойчивого развития

Одним из родоначальников теории внешних эффектов является А. С. Пигу, который рассмотрел их с позиции влияния на рыночное равновесие, а также выделил понятия услуг, увеличивающих и снижающих благосостояние третьих лиц [1]. Понятия положительных и отрицательных экстерналий ввел П. Э. Самуэльсон [2]. Р. Г. Коуз [3] исследовал внешние эффекты с точки зрения разницы между общественными и частными выгодами и издержками, а также изучил возможности интернализации данных эффектов, сформулировав условия того, что впоследствии было названо теоремой Коуза [4]. Отрицательные внешние эффекты возникают тогда, когда общественные издержки производства определенного продукта выше частных [5]. В таком случае субъекты, участвующие в производстве данного продукта, перекладывают часть своих издержек на общество и увеличивают объем выпуска сверх общественно оптимального уровня.

Причиной возникновения экстерналий выступает то, что отдельные виды экономических ресурсов и продуктов являются неисключаемыми, т. е. никого нельзя лишить возможности пользоваться ими. Следствие наличия такой характеристики – внешний эффект как ситуация, в которой сделка между двумя субъектами приносит выгоды или издержки третьему субъекту, не участвующему в данной сделке.

С точки зрения экономической теории загрязнение окружающей среды представляет собой отрицательный внешний эффект [6]. Данный эффект может проявляться в ситуации «производство – производство», когда повышаются издержки производства одного продукта в результате увеличения объема выпуска другого продукта (снижается благосостояние товаропроизводителей), а также в ситуации «производство – потребление», когда загрязнение влияет на потребление благ (снижается благосостояние потребителей). Так как загрязнение окружающей среды практически всегда касается широкого круга лиц, оно связано с высокими трансакционными издержками при попытках его регулирования частным образом. Кроме того, права собственности на важнейшие виды ресурсов (землю, атмосферный воздух и т. д.) недостаточно ясно определены [7]. Данные обстоятельства приводят к нарушению условий теоремы Коуза и являются основанием для государственного регулирования отрицательных экстерналий, связанных с загрязнением окружающей среды.

Регулирование внешних эффектов представляет собой их интернализацию, т. е. превращение во внутренние выгоды и издержки [8]. Целью такого регулирования выступает повышение эффективности аллокации ресурсов в экономике. Интернализация внешних эффектов может происходить путем заключения добровольных соглашений между производителями экстерналий и агентами, на которых оказывается

воздействие со стороны внешних эффектов; определения прав собственности на ресурсы (источники эффектов) между сторонами; установления системы допустимых ограничений на объемы внешних эффектов; налогообложения или субсидирования производителя экстерналии со стороны государства.

Для разработки мероприятий по интернализации внешних эффектов в экологической сфере необходимо использовать методики оценки как уровня эффектов (загрязнений), так и ущерба для субъектов экономики. Одним из распространенных подходов к оценке экологического компонента устойчивого развития является составление рейтингов на основе различных комплексных индексов [9–11].

В публикации [11] данные индексы проанализированы и разделены на тематические экологические индексы, индексы общественного и социального развития с учетом экологической составляющей, эколого-экономические индексы и индексы зеленой экономики. С помощью интегральных экологических индексов оценивались характеристики устойчивого развития регионов Российской Федерации в работе [12].

Необходимо отметить наиболее часто используемые для оценки ущерба от загрязнения окружающей среды индексы. К ним относятся индекс экологической устойчивости (эффективности)¹, экологический след [13], индекс скорректированных чистых накоплений², индекс глобальной адаптации³, индекс эффективности действий в области изменения климата⁴, индекс живой планеты⁵ и т. д.

В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 9 ноября 2010 г. № 575 «Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь» основными индикаторами безопасности в экологической сфере являются коэффициенты эластичности выбросов, сбросов загрязняющих веществ, образования отходов и прироста ВВП⁶. Согласно Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. ключевыми показателями устойчивого развития в сфере окружающей среды выступают запасы полезных ископаемых (нефть, калийные соли, цементное сырье), индекс образования отходов производства, индекс накопления отходов производства и потребления, доля рекультивированных земель в общей площади нарушенных земель, индекс выбросов вредных веществ в атмосферу, индекс сброса сточных вод, а также отношение затрат на преодоление последствий катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции к ВВП (в %)⁷. В Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года отражено введение таких интегральных показателей эффективности охраны окружающей среды, как отношение затрат на охрану окружающей среды к ВВП и место страны в международном рейтинге Республики Беларусь по индексу экологической эффективности⁸. В Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года указанных интегральных показателей нет⁹. В качестве частных предлагается применять следующие экологические показатели:

- показатели экологической нагрузки (индекс выбросов загрязняющих веществ от стационарных и мобильных источников в атмосферный воздух, индекс снижения объема выбросов парниковых газов, индекс сброса недостаточно очищенных сточных вод в водные объекты, а также индекс удельного веса поверхностных водных объектов, имеющих хороший и отличный экологический статус водотоков и водоемов);
- показатели использования природно-ресурсного потенциала (доля использования воды в системах оборотного и повторного (последовательного) водоснабжения и площадь нарушенных земель);
- показатели эффективности политики в сфере обращения с отходами (доля использования отходов производства от общего объема их образования, индекс накопления опасных отходов производства, доля использования твердых коммунальных отходов в общем объеме их образования и индекс интенсивности образования отходов на единицу ВВП);

¹United Nations Economic Commission for Europe : site. URL: <https://unece.org/ru/indeks-ekologicheskoy-effektivnosti-epi> (date of access: 08.03.2024).

²Adjusted net savings // World Bank Group : site. URL: <https://databank.worldbank.org/metadataglossary/adjusted-net-savings> (date of access: 09.03.2024).

³University of Notre Dame : site. URL: <https://gain.nd.edu/our-work/> (date of access: 08.03.2024).

⁴CCPI 2025: ranking and results // Climate change performance index : site. URL: <https://ccpi.org/> (date of access: 08.03.2024).

⁵Living planet index : site. URL: <https://www.livingplanetindex.org/> (date of access: 09.03.2024).

⁶Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь : Указ Президента Респ. Беларусь от 9 нояб. 2010 г. № 575 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=p31000575> (дата обращения: 08.09.2023) ; О рассмотрении проекта новой Концепции национальной безопасности Республики Беларусь : постановление Совета Безопасности Респ. Беларусь от 6 марта 2023 г. № 1 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P223s0001> (дата обращения: 08.09.2023).

⁷Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Нац. ком. по устойчивому развитию Респ. Беларусь ; редкол.: Я. М. Александрович [и др.]. Минск : Юнипак, 2004. 200 с.

⁸Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года // Экон. бюллетень Науч.-исслед. экон. ин-та М-ва экономики Респ. Беларусь. 2015. № 4. С. 7–99.

⁹Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года [Электронный ресурс] // М-во экономики Респ. Беларусь. URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/NSUR-2035-1.pdf> (дата обращения: 10.06.2023).

- показатели в сфере сохранения и устойчивого использования биологического и ландшафтного разнообразия (индекс удельного веса площади особо охраняемых природных территорий);
- показатели экологической безопасности сельского и лесного хозяйства (индекс пестицидной нагрузки в сельскохозяйственных организациях и уровень лесистости территории).

Оценка эколого-экономического ущерба как необходимое условие интернализации отрицательных внешних эффектов

При определении индикаторов оценки экологического компонента устойчивого развития, а также при установке их пороговых значений необходимо использовать методики оценки внешних эффектов загрязнения на уровнях отраслей, регионов, стран; видов, реципиентов и источников загрязнения; форм ущерба. В законодательстве Республики Беларусь используются понятия «вред, причиненный окружающей среде» (имеющее денежную оценку отрицательное изменение окружающей среды в форме загрязнения, истощения, повреждения природных объектов в результате влияния на данную среду с нарушением законодательства) и «экологический вред» (вред для окружающей среды, а также для жизни, здоровья и имущества граждан, юридических лиц и государства, возникающий ввиду воздействия на окружающую среду)¹⁰. Второе понятие более точно отражает категорию отрицательных внешних эффектов, связанных с загрязнением окружающей среды.

Обзор методик оценки эколого-экономического ущерба проведен в работах [14; 15]. А. С. Тулунов и его коллеги выделили следующие подходы к оценке ущерба от загрязнения окружающей среды: затратный (величина вреда оценивается через затраты на приведение объектов в первоначальное состояние), аналитический (для оценки используются экономико-математические методы и вычленяется экологическая составляющая из совокупности факторов) и экспертно-социологический (оценка происходит на базе опросов экспертов или населения). Исследователи также указали, что к направлениям оценки ущерба относятся ущерб субъектам экономической деятельности (хозяйствующему субъекту, отрасли, региону или стране), оценка потерь вследствие ухудшения функций или гибели природных объектов, вред здоровью населения (с позиции отдельного человека, отрасли, региона или страны) и имущественный ущерб, полученный в результате воздействия загрязнения [14].

И. М. Потравный, А. Л. Новоселов и И. Ю. Новоселова рассматривали методики оценки причиненного, предотвращенного и прошлого (накопленного) ущерба. Они классифицировали направления оценки ущерба следующим образом: ущерб экономике (материальным ценностям, эффективности и объемам производства), ущерб реципиентам (населению, животному миру и растительности) и ущерб природной среде (атмосферному воздуху, воде, ландшафту и т. д.) [15].

В основном оценка эколого-экономического ущерба осуществляется в соответствии с таксами либо согласно затратам на устранение вреда. В законодательстве Республики Беларусь описываются оба подхода. Так, размер возмещения вреда, причиненного окружающей среде, определяется в соответствии с установленными таксами. Если в конкретном случае использовать таксы нельзя, то оценка эколого-экономического ущерба осуществляется согласно фактическим затратам на восстановление окружающей среды с учетом упущенной выгоды¹¹.

При проведении исследований по проблемам оценки загрязнения окружающей среды многие ученые придерживаются затратного подхода (например, работа [16]). Некоторые методики оценки эколого-экономического ущерба сочетают в себе элементы затратного и аналитического подходов. Так, при оценке такого ущерба с учетом неопределенности, а также при прогнозировании затратный подход дополняется вероятностными методами, например методами Монте-Карло, сценарного дерева или теории нечетких множеств [15].

Аналитический подход к оценке величины экологических экстерналий предполагает использование такого метода, как анализ на основе моделей частичного равновесия [17], решающих задачу нахождения оптимального решения по критерию максимизации общественного благосостояния при наличии ограничений в ресурсах и технологиях. С помощью глобальной модели управления биосферой¹²

¹⁰Об охране окружающей среды : Закон Респ. Беларусь от 26 нояб. 1992 г. № 1982-XII : с изм. и доп. в ред. от 4 янв. 2022 г. № 145-З // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <http://www.pravo.by/> (дата обращения: 08.09.2023).

¹¹Там же ; Положение о порядке исчисления размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде, и составления акта об установлении факта причинения вреда окружающей среде : в ред. постановлений Совета Министров Респ. Беларусь от 31 дек. 2010 № 1940, от 12 дек. 2011 № 1677, от 25 авг. 2017 № 648 [Электронный ресурс] // М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. URL: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fminpriroda.gov.by%2Fuploads%2Ffiles%2FPolozhenie-o-porjadke-isch.-razmera.docx&wdOrigin=BROWSELINK> (дата обращения: 12.03.2024).

¹²Global biosphere management model // International Institute for Applied Systems Analysis : site. URL: <https://iiasa.ac.at/models-tools-data/globiom> (date of access: 23.03.2024).

исследователи провели оценку экстерналий, связанных с выбросами парниковых газов при экспорте продукции сельского и лесного хозяйства из Российской Федерации в Китайскую Народную Республику [18]. В результате расчетов общественная стоимость 1 т выброса углекислого газа была оценена в 68 долл. США. Для оценки ущерба от загрязнения окружающей среды может использоваться метод эконометрического моделирования. Пример такого применения описан в публикации Е. И. Лазаревой и И. Дун [19]. Эколого-экономический анализ территории (региона, страны) также осуществляется с помощью метода декаплинга¹³ [12; 20]. Он представляет собой сопоставление динамики показателей выпуска с динамикой показателей использования природных ресурсов и накопления отходов.

В рамках экспертно-социологического подхода также применяются определенные методы. С помощью метода выявленных предпочтений, или метода условной оценки [14], анализируется готовность людей платить за получение блага и принять компенсацию за отказ от него. Таким образом, данный метод восходит к критерию оценки общественного благосостояния Калдора – Хикса [21; 22]. Его использование отражено в работе [23]. Метод выявленных предпочтений предполагает оценку платы за доступ к благу с применением концепции излишка потребителя, логистических затрат, изменения стоимости недвижимости из-за экологических факторов. К экспертно-социологическому подходу можно также причислить метод гедонистического ценообразования [24]. Метод переноса выгод предполагает использование методик и результатов оценки, разработанных и примененных в других странах. Кроме метода Дельфи и метода анализа иерархий, при эколого-экономическом анализе можно опираться на метод экспертных оценок, который распространен в различных областях науки и практики [25].

Подходы к оценке ущерба от загрязнения окружающей среды можно разделить на практико-ориентированные (направлены на определение конкретного ущерба с установлением виновных и возможным возмещением ущерба) и научно-ориентированные (нацелены на получение информации исследователями и государственными органами для последующего использования при разработке прогнозов и программ государственного регулирования). В качестве подхода второй категории предлагается следующий методический подход к оценке экологических внешних эффектов.

На первом этапе экстерналии классифицируются по типам (направленность третьих лиц, область деятельности, тип влияния на субъекта, вектор воздействия, территориальный признак, временной признак, а также способ трансформации) и видам (загрязнение атмосферы, парниковый эффект, загрязнение водных ресурсов, деградация земельных ресурсов, рост заболеваемости людей, уменьшение биоразнообразия и т. д.). Также определяются их объекты (земельные ресурсы, водные источники, атмосферный воздух, имущество) и субъекты (доноры – субъекты, генерирующие внешние эффекты, и реципиенты – субъекты, подвергающиеся воздействию внешних эффектов). Типы экстерналий могут быть универсальными для всех отраслей и субъектов, тогда как их виды являются специфическими для конкретного случая. Второй этап предполагает разработку методик оценки экстерналий с учетом результатов, полученных на первом этапе. На третьем этапе с опорой на эти методики дается количественная оценка внешних эффектов с разделением их на положительные и отрицательные, а также с анализом объектов и субъектов. Четвертый этап предусматривает определение результирующих показателей экстерналий, которые отражают их общий знак (превышение положительных или отрицательных эффектов) и величину для доноров и реципиентов, а также для уровня анализа (отрасли, региона, страны или планеты).

Представим методику расчета ущерба от загрязнения окружающей среды источником, являющимся производителем продукции (организацией или отраслью). Ущерб на единицу производимой продукции рассчитывается как сумма ущербов, наносимых через объекты природы реципиентам, следующим образом:

$$ED = \sum_{i \in I_0} \sum_{j \in J_0} ED_{ij}, \quad (1)$$

где ED – ущерб от источника загрязнения, рублей на единицу продукции; i – номер объекта природы, через который ущерб передается реципиенту; I_0 – множество объектов природы; j – номер реципиента ущерба; J_0 – множество реципиентов ущерба. Формула расчета ущерба от источника загрязнения, нанесенного через объект природы реципиенту, может иметь следующий вид:

$$ED_{ij} = \sum_{k \in K_0} a_{ijk} c_{ijk}, \quad (2)$$

где k – номер фактора загрязнения; K_0 – множество факторов загрязнения; a – загрязнение, физических единиц выбросов на единицу продукции; c – стоимость устранения загрязнения, рублей на физическую единицу выбросов.

¹³System of environmental economic accounting // United Nations : site. URL: <https://seea.un.org/content/homepage> (date of access: 10.03.2024).

В таблице представлена декомпозиция формул (1) и (2) для случая, когда выделяются три объекта природы, через которые передается загрязнение, и две категории реципиентов. Возможно использование иной классификации объектов и субъектов загрязнения. Так, можно выделить более подробные уровни анализа: местный, региональный, страновой и планетарный. В ячейках таблицы показаны формулы определения ущерба, который наносится через объект природы реципиенту. В нижней строке таблицы представлены формулы для расчета суммы ущерба для конкретной категории реципиентов. В крайнем правом столбце таблицы указаны формулы для расчета суммы ущерба, нанесенного через каждую категорию объектов природы всем реципиентам.

**Ущерб от загрязнения окружающей среды,
нанесенный через объекты природы субъектам экономики**

**Damage from environmental pollution
caused through natural objects to economic entities**

Объекты природы	Субъекты-реципиенты		Итого
	Организация	Население	
Земля	$ED_{11} = \sum_{k \in K_0} a_{11k} c_{11k}$	$ED_{12} = \sum_{k \in K_0} a_{12k} c_{12k}$	$ED_{1j} = \sum_{j \in J_0} \sum_{k \in K_0} a_{1jk} c_{1jk}$
Вода	$ED_{21} = \sum_{k \in K_0} a_{21k} c_{21k}$	$ED_{22} = \sum_{k \in K_0} a_{22k} c_{22k}$	$ED_{2j} = \sum_{j \in J_0} \sum_{k \in K_0} a_{2jk} c_{2jk}$
Атмосферный воздух	$ED_{31} = \sum_{k \in K_0} a_{31k} c_{31k}$	$ED_{32} = \sum_{k \in K_0} a_{32k} c_{32k}$	$ED_{3j} = \sum_{j \in J_0} \sum_{k \in K_0} a_{3jk} c_{3jk}$
Итого	$ED_{i1} = \sum_{i \in I_0} \sum_{k \in K_0} a_{i1k} c_{i1k}$	$ED_{i2} = \sum_{i \in I_0} \sum_{k \in K_0} a_{i2k} c_{i2k}$	$ED = \sum_{i \in I_0} \sum_{j \in J_0} \sum_{k \in K_0} a_{ijk} c_{ijk}$

Таким образом, можно разделить сумму общего ущерба от источника загрязнения для каждого объекта природы и реципиента по всем факторам загрязнения. Далее следует рассчитать различные комбинации распределения общего объема ущерба между объектами природы и реципиентами для разных вариантов загрязнения. Например, если в качестве источника загрязнения взять организацию, можно сопоставить технологии, которые отличаются объемами ущерба по разным факторам (видам загрязнения). В случае если заданы пороговые значения объемов загрязнений и объемов ущерба, оказывается возможным составить модель выбора оптимального варианта хозяйствования с позиции максимизации разницы между прибылью от производства продукции и объемом экологического ущерба, а также выбрать наиболее оптимальную технологию. При рассмотрении отрасли как источника загрязнения можно сопоставить варианты объема отраслевого выпуска (произведен по различным технологиям), отличающиеся показателями ущерба по разным факторам, и также определить оптимальную технологию. Если отрасль многопродуктовая (например, сельское хозяйство), необходимо изучить варианты оптимизации структуры выпуска.

Представим основные ограничения модели выбора оптимального варианта хозяйствования (на уровне организации или монопродуктовой отрасли) с точки зрения максимизации разницы между прибылью от производства продукции и объемом экологического ущерба. Ограничение по максимальному объему загрязнения фактором загрязнения выглядит следующим образом:

$$\sum_{i \in I_0} \sum_{j \in J_0} a_{ijk} q_y \leq A_k,$$

где q – объем выпуска продукции организации или отрасли, единиц продукции; y – номер технологии выпуска; A – максимальный объем загрязнений, физических единиц. Ограничение по максимальному объему ущерба реципиенту имеет следующий вид:

$$\sum_{i \in I_0} \sum_{k \in K_0} a_{ijk} c_{ijk} q_y \leq C_j,$$

где C – максимальный объем ущерба, рублей. Ограничение по максимальному объему ущерба, передаваемого через объект природы, можно представить следующим образом:

$$\sum_{j \in J_0} \sum_{k \in K_0} a_{ijk} c_{ijk} q_y \leq C_i.$$

Целевая функция, обозначающая максимум прибыли от производства продукции за вычетом ущерба от загрязнения окружающей среды, рассчитывается по формуле

$$F_{\max} = \sum_{y \in Y_0} p_y q_y - \sum_{y \in Y_0} z_y q_y - \sum_{i \in I_0} \sum_{j \in J_0} \sum_{k \in K_0} a_{ijk} c_{ijk} q_y,$$

где Y_0 – множество технологий выпуска; p – цена единицы продукции, рублей; z – величина издержек на единицу продукции, рублей.

Рассчитав параметры модели по всем вариантам технологий, можно выбрать оптимальную технологию и оптимальный объем выпуска продукции (он может отличаться при разных технологиях). Лимитирующими факторами в модели являются максимальные объемы выбросов тех или иных загрязняющих веществ и максимальные объемы ущерба различным категориям объектов природы и реципиентов. Более чистые технологии имеют меньшую прибыльность производства и меньшие объемы экологического ущерба. Например, расчеты по предлагаемой модели могут показать, что с помощью грязных технологий есть возможность произвести относительно небольшой объем продукции (так как существует ограничение по объему загрязнения), а с помощью чистых технологий можно увеличить выпуск продукции.

Производство с использованием более чистых технологий обычно менее прибыльно, что отчасти может быть компенсировано более высокой ценой получаемой таким способом продукции (если потребители осведомлены об этом и готовы платить больше за продукцию). Разница в прибыльности между технологиями может быть устранена или налогообложением производителей, использующих грязные технологии, или субсидированием производителей, использующих чистые технологии. Приведенная выше модель позволяет обосновать величину налогов или субсидий: она равна разнице между значениями целевой функции в случаях более чистых и грязных технологий.

Заключение

Неотъемлемым компонентом устойчивого развития экономики является экологический баланс. Ущерб от ухудшения экологии должен учитываться при расчете темпов экономического роста и развития. Кроме того, экологическая безопасность является важной частью национальной безопасности.

Экономическая теория исследует проблему загрязнения окружающей среды с точки зрения отрицательных внешних эффектов и их интернализации, т. е. превращения внешних выгод и издержек во внутренние. Интернализация внешних эффектов может происходить путем добровольного соглашения между донорами и реципиентами внешних эффектов, определения прав собственности на ресурсы, установления системы ограничений на объемы внешних эффектов, а также путем налогообложения или субсидирования со стороны государства.

Основным способом учета экологической составляющей устойчивого развития являются частные и интегральные индексы, пороговые значения показателей. В Республике Беларусь данные индексы используются в стратегиях устойчивого социально-экономического развития и других нормативных актах и программах.

Существует значительное количество подходов к оценке внешних эффектов загрязнения окружающей среды, которые можно разделить на затратный, аналитический и экспертно-социологический. Реципиентами ущерба могут выступать объекты природной среды и субъекты экономики.

Разработанный авторами методический подход к оценке экологических экстерналий предполагает осуществление следующих этапов: классификации экстерналий, выявления их объектов и субъектов (доноров и реципиентов); разработки методик оценки экстерналий; количественной оценки внешних эффектов; определения результирующих показателей экстерналий с разбиением на объекты, субъекты и уровни оценки. Также в настоящем исследовании предложены методика расчета ущерба от загрязнения окружающей среды источником, выступающим производителем продукции (организацией или отраслью), и модель выбора оптимальной технологии и объема выпуска, которая позволяет обосновать величину налогов на источники внешних эффектов.

Библиографические ссылки

1. Pigou AC. *The economics of welfare*. London: Macmillan and Co; 1920. 976 p.
2. Samuelson PA. Aspects of public expenditure theories. *Review of Economics and Statistics*. 1958;40(4):332–338. DOI: 10.2307/1926336.
3. Coase RH. The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*. 1960;3:1–44. DOI: 10.1086/466560.
4. Dahlman CJ. The problem of externality. *Journal of Law and Economics*. 1979;22(1):141–162. DOI: 10.1086/466936.
5. Helbling T. What are externalities? *Finance & Development*. 2010;47(4):48–49.
6. Baumol WJ, Oates WE. *The theory of environmental policy*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 1988. 299 p. DOI: 10.1017/CBO9781139173513.
7. Alchian AA. Some economics of property rights. *II Politico*. 1965;30(4):816–829.
8. Bergstrom TC. Regulation of externalities. *Journal of Public Economics*. 1976;5:131–138.

9. Батова НН. Институциональные основы и международная оценка экологической составляющей устойчивого развития. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2018;1:4–14.
10. Диденко МП. Измерение устойчивого развития: основные показатели. *Экономические науки*. 2020;192:18–23. DOI: 10.14451/1.192.18.
11. Лопачук ОН. Интегральные экологические индексы как аналитический инструмент оценки результативности действий в природоохранной сфере. *Белорусский экономический журнал*. 2021;3:100–112. DOI: 10.46782/1818-4510-2021-3-100-112.
12. Аникина ИД, Аникин АА. *Эколого-экономическое развитие регионов: совершенствование методологии и методики оценки*. Аникина ИД, редактор. Волгоград: Издательство Волгоградского государственного университета; 2019. 196 с.
13. Wackernagel M, Rees W. *Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth*. Philadelphia: New Society Publishers; 1998. 176 p.
14. Тулупов АС, Мудрецов АФ, Витухин АД, Авраменко АА. Оценка вреда от нарушения природоохранного законодательства: обзор и систематизация методологических подходов и методического обеспечения. *Вестник Московского университета. Серия 6, Экономика*. 2021;1:3–25. DOI: 10.38050/01300105202111.
15. Потравный ИМ, Новоселов АЛ, Новоселова ИЮ. Развитие методов экономической оценки ущерба от загрязнения окружающей среды и их практическое применение. *Экономическая наука современной России*. 2018;3:35–48.
16. Аюшеева СН. Сравнительный анализ экономического ущерба от загрязнения природной среды на модельных территориях Российской Федерации. *Экономический анализ: теория и практика*. 2023;22(8):1460–1473. DOI: 10.24891/re.18.11.2205.
17. Havlik P, Valin H, Mosnier A, Obersteiner M, Baker JS, Herrero M, et al. Crop productivity and the global livestock sector: implications for land use change and greenhouse gas emissions. *American Journal of Agricultural Economics*. 2013;95(2):442–448. DOI: 10.1093/ajae/aas085.
18. Строков АС, Терновский ДС, Потапников ВЮ, Потапова АА. Оценка экологических экстерналий как последствий расширения внешнеторговой деятельности. *Журнал Новой экономической ассоциации*. 2020;4:113–137. DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-5.
19. Лазарева ЕИ, Дун И. Социо-эколого-экономическая оценка устойчивости в управлении развитием региона на основе эконометрического моделирования. *Дружковский вестник*. 2020;5:176–188 (на англ.). DOI: 10.17213/2312-6469-2020-5-176-188.
20. Самарина ВП. Зеленая экономика России: некоторые вопросы теории и методологии. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2015;11(2):2–9.
21. Kaldor N. Welfare propositions in economics and interpersonal comparisons of utility. *Economic Journal*. 1939;49(195):549–552. DOI: 10.2307/2224835.
22. Hicks JR. The foundations of welfare economics. *Economic Journal*. 1939;49(196):696–712. DOI: 10.2307/2225023.
23. Carson RT. Contingent valuation: a user's guide. *Environmental Science & Technology*. 2000;34(8):1413–1418. DOI: 10.1021/es990728j.
24. Rosen S. Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy*. 1974;82(1):34–55. DOI: 10.1086/260169.
25. Маликов АН. Возможности метода экспертных оценок в эколого-экономическом прогнозировании. *Поволжский торгово-экономический журнал*. 2010;4:49–58.

References

1. Pigou AC. *The economics of welfare*. London: Macmillan and Co; 1920. 976 p.
2. Samuelson PA. Aspects of public expenditure theories. *Review of Economics and Statistics*. 1958;40(4):332–338. DOI: 10.2307/1926336.
3. Coase RH. The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*. 1960;3:1–44. DOI: 10.1086/466560.
4. Dahlman CJ. The problem of externality. *Journal of Law and Economics*. 1979;22(1):141–162. DOI: 10.1086/466936.
5. Helbling T. What are externalities? *Finance & Development*. 2010;47(4):48–49.
6. Baumol WJ, Oates WE. *The theory of environmental policy*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 1988. 299 p. DOI: 10.1017/CBO9781139173513.
7. Alchian AA. Some economics of property rights. *II Politico*. 1965;30(4):816–829.
8. Bergstrom TC. Regulation of externalities. *Journal of Public Economics*. 1976;5:131–138.
9. Batava NN. Institutional bases and international assessment of the ecological component of sustainable development. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2018;1:4–14. Russian.
10. Didenko MP. Measuring sustainable development: key indicators. *Ekonomicheskie nauki*. 2020;192:18–23. Russian. DOI: 10.14451/1.192.18.
11. Lopatchouk ON. Integral environmental indices as an analytical tool for assessing the performance of actions in the environmental sphere. *Belarusian Economic Journal*. 2021;3:100–112. Russian. DOI: 10.46782/1818-4510-2021-3-100-112.
12. Anikina ID, Anikin AA. *Ekologo-ekonomicheskoe razvitie regionov: sovershenstvovanie metodologii i metodiki otsenki* [Ecological and economic development of regions: improving methodology and assessment techniques]. Anikina ID, editor. Volgograd: Volgograd State University Publishing House; 2019. 196 p. Russian.
13. Wackernagel M, Rees W. *Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth*. Philadelphia: New Society Publishers; 1998. 176 p.
14. Tulupov AS, Mudrezov AF, Vitukhin AD, Avramenko AA. Assessment of damage from the violation of environmental legislation: review and systematization of methodological approaches and methodological support. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6, Ekonomika*. 2021;1:3–25. Russian. DOI: 10.38050/01300105202111.
15. Potravny IM, Novosselov AL, Novosselova IJu. The development of economic assessment methods of damage from environmental pollution and their practical application. *Economics of Contemporary Russia*. 2018;3:35–48. Russian.
16. Ayusheeva SN. A comparative analysis of the economic damage caused by pollution of the natural environment in the model areas of the Russian Federation. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2023;22(8):1460–1473. Russian. DOI: 10.24891/re.18.11.2205.

17. Havlik P, Valin H, Mosnier A, Obersteiner M, Baker JS, Herrero M, et al. Crop productivity and the global livestock sector: implications for land use change and greenhouse gas emissions. *American Journal of Agricultural Economics*. 2013;95(2):442–448. DOI: 10.1093/ajae/aas085.
18. Stokov AS, Ternovsky DS, Potashnikov VYu, Potapova AA. Economical evaluation of externalities using partial equilibrium model. *Journal of the New Economic Association*. 2020;4:113–137. Russian. DOI: 10.31737/2221-2264-2020-48-4-5.
19. Lazareva EI, Dong Y. Socio-ecological-economic evaluation of sustainability in managing regional development based on econometric modeling. *Drukerovskii vestnik*. 2020;5:176–188. DOI: 10.17213/2312-6469-2020-5-176-188.
20. Samarina VP. Green economy of Russia: some issues of theory and methodology. *National Interests: Priorities and Security*. 2015;11(2):2–9. Russian.
21. Kaldor N. Welfare propositions in economics and interpersonal comparisons of utility. *Economic Journal*. 1939;49(195):549–552. DOI: 10.2307/2224835.
22. Hicks JR. The foundations of welfare economics. *Economic Journal*. 1939;49(196):696–712. DOI: 10.2307/2225023.
23. Carson RT. Contingent valuation: a user's guide. *Environmental Science & Technology*. 2000;34(8):1413–1418. DOI: 10.1021/es990728j.
24. Rosen S. Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy*. 1974; 82(1):34–55. DOI: 10.1086/260169.
25. Malikov AN. [Possibilities of the expert assessment method in environmental and economic forecasting]. *Povolzhskii trgovo-ekonomicheskii zhurnal*. 2010;4:49–58. Russian.

Статья поступила в редколлегию 11.04.2024.
Received by editorial board 11.04.2024.