

ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 330.15

DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/157-12>**Горбченко Д. В.**кандидат економічних наук,
Сумський державний університет**Вороненко В. И.**кандидат економічних наук, доцент,
Сумський державний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0301-5924>**Horobchenko Denys, Voronenko Viacheslav**
Sumy State University

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АНАЛИЗА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Цель статьи – анализ влияния эффектов экономического развития на окружающую среду, разработка комплексной модели эколого-экономического развития, основанной на обобщении уже изученных подходов и более широком представлении информации о параметрах устойчивого развития. Определены пути достижения Экологической кривой Кузнецца как условия устойчивого развития. Установлено, что достаточным условием обеспечения отсутствия ухудшения устойчивого развития является переход через точку максимального уровня загрязнения окружающей среды. Эта точка описывает выбросы загрязнений, учитывая эффект накопления загрязнения среды, который проявляется после превышения ассимиляционных возможностей природы. При этом во время экономического подъема влияние убытков от эмиссии диоксида углерода не так заметны, как во времена спадов. Поэтому преодоление постоянного увеличения концентрации загрязнения требует повышения экологической эффективности экономики и согласования действий между странами в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: эколого-экономическое состояние, Экологическая кривая Кузнецца (ЭКК), парниковые газы, загрязнение, диоксид углерода (CO₂), экономический рост, эколого-экономический ущерб.

THEORETICAL MODELS OF ANALYSIS OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT

The article deals with the currently important problem of the influence of the effects of economic development on the environment. The purpose of the article is to analyze the impact of these effects, to develop an integrated model of ecological and economic development, which is based on the generalization of the already studied approaches and a broader presentation of information on the parameters of sustainable development. The object of research is the processes that help to achieve sustainable development. For the methodological support of the research, the created theoretical model of the analysis of ecological and economic development was used. The model allows determining the possibilities of achieving the Environmental Kuznets Curve (EKC). In order to take into account the processes of accumulation and absorption of various greenhouse gases in the atmosphere, an approach to estimation the accumulated amount of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere was proposed in the form of an integrated model. This model takes into account oceanic and biospheric absorption of hydrocarbon emissions from human activities. The article defines the ways to achieve the Environmental Kuznets Curve (EKC) as a condition for achieving sustainable development. It was found that a sufficient condition, which should ensure the absence of deterioration of sustainable development, is the transition through the point of maximum level of environmental pollution. This point describes emissions of pollution, taking into account the effect of accumulation of environmental pollution, which begins to manifest itself after exceeding the assimilation capabilities of nature. At the same time, during economic recovery, the impact of losses from carbon dioxide (CO₂) emissions is not as noticeable as during economic recessions. Therefore, overcoming the constant increase in pollution concentration will require a significant increase in the environmental efficiency of the economy and coordination of actions between countries in the long term. Based on this, the practical significance of the article lies in finding new ways to achieve sustainable development.

Keywords: ecological and economic state, Ecological Kuznets Curve (EKC), greenhouse gases, pollution, carbon dioxide (CO₂), economic growth, ecological and economic damage.

JEL classification: Q50, Q53, Q56.

Постановка проблеми. Новая волна исследований теории экономического развития, направленных на выявление новых детерминант роста, не позволяет сделать однозначный вывод о достаточном интересе к

экологическим факторам. Большинство исследований направлено на поиск этих детерминант в показателе, известном под названием «Остаток Солоу». Однако результаты эмпирических исследований, направ-

ленных на выявление влияния экономического роста на показатели устойчивого развития относительно экологической составляющей, в которых широкое распространение получила зависимость с названием «Экологическая кривая Кузнецца (ЭКК)», не подтверждают выводы, которые основаны на анализе исключительно теоретических моделей. Как показал анализ работ, направленных на выявление и изучение ЭКК, множество предложенных подходов расходятся в результатах и не предоставляют комплексную информацию о динамике влияния факторов экономического развития на качество компонентов окружающей природной среды.

Анализ последних исследований и публикаций. Впервые зависимость уровня доходов и качества окружающей природной среды была рассмотрена в работе Руттана [1]. Было выявлено, что эластичность спроса по доходу на материальное потребление и услуги тем ниже, чем выше уровень благосостояния. Эластичность спроса на экологически качественные условия жизни, наоборот, тем выше, чем выше уровень благосостояния. Исследования Энтла и др. [2] показали, что спрос на «чистый воздух» начинает расти, когда уровень доходов достигает определенного значения.

С 1991 года, когда ученые впервые эмпирическим путем установили систематическую зависимость между доходом на душу населения и качеством окружающей природной среды, названной Экологической кривой Кузнецца, данный метод стал фактически стандартом определения уровня экологического развития государства. Исследования Гроссмана и Крюгера [3] показали, что значения некоторых важных индикаторов качества компонентов окружающей среды улучшаются вместе с ростом доходов населения и уровнем потребления. В докладе Всемирного Банка [4] особое внимание было уделено такому факту, что вместе с ростом доходов спрос на повышение качества природной среды в форме инвестиций будет расти. В работе Стоки [5] выдвинуто предположение, что создание обратной U-образной закономерности между доходами и качеством природной среды должна генерировать сама экономическая система с помощью изменений в структуре спроса и предложения невидимой рукой Адама Смита.

В исследованиях ученых Дасгупта и др. [6] показана возможность снижения траектории ЭКК в развивающихся странах: статистика показывает, что траектория ЭКК идет ниже в развивающихся странах для тех же видов экодеструктивного воздействия, чем в развитых странах. Это может быть связано с тем, что развивающиеся страны теперь более осведомлены о возможных негативных последствиях экодеструктивной деятельности, тогда как у развитых стран не было этой информации. Но остается невыясненным вопрос, связанный с определением возможности достижения ЭКК.

Цель статьи заключается в анализе влияния факторов экономического развития на состояние окружающей природной среды, построении комплексной модели эколого-экономического развития, основанной на интеграции уже известных подходов и более комплексном представлении информации о параметрах устойчивого развития.

Изложение основного материала. По концепции ЭКК для различных видов экологически деструктивной

деятельности в работе [7] был проведен комплексный анализ исследований. В результате исследователи определили следующие формы взаимосвязи между состоянием окружающей природной среды и уровнем экономического развития (в скобках – количество доказанных зависимостей): монотонный рост (22), монотонный спад (20), обратная U-образная кривая (333), U-образная кривая (25), N-образная кривая (27), слабая корреляция (124), отсутствие связи (37). Итого, только 57% исследований подтверждают существование ЭКК в классическом виде, а в 21% исследований связь очень слабая. Исследователи Де Брюйн и др. [8] указывают, что кривая зависимости между загрязнением и экономическим ростом имеет волновой характер. Логично предположить, что полученные в работе [7] формы зависимости могут быть частями волновой траектории и обусловлены недостаточным количеством информации об исследуемых явлениях. Но данное исследование направлено не на доказательство объективности существования ЭКК. Вместо этого мы считаем, что существование ЭКК является необходимым условием улучшения устойчивого развития. Таким образом, возникает необходимость определения возможности ее достижения. Для этого разработана комплексная модель эколого-экономического развития, основанная на интеграции известных подходов и более комплексном представлении информации о параметрах устойчивого развития.

Учет фактора времени в разработанной модели обеспечивается за счет определения показателей уровня загрязнения и экономического развития в виде соответствующих динамических функций. Для упрощения модели эколого-экономического развития под уровнем экономического развития понимается уровень выпуска в экономике. Для расчетов в качестве этого показателя подходит внутренний валовый продукт. Связь между уровнем загрязнения и экономическим развитием в модели определяется декомпозицией данных показателей:

$$E(t) = \frac{E}{Q}(t) \cdot Q(t), \tag{1}$$

где $E(t)$ – уровень загрязнения, $Q(t)$ – уровень выпуска в экономике, $E/Q(t)$ – удельное загрязнение (экологическая деструктивность) производства.

Дифференцируя и логарифмируя формулу (1) получаем связь между абсолютными и удельными показателями:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta(E/Q)}{(E/Q)}, \tag{2}$$

где $\Delta E/E$, $\Delta(E/Q)/(E/Q)$ – темпы прироста абсолютного и удельного значений загрязнения соответственно; $\Delta Q/Q$ – темп прироста выпуска, определяющий скорость экономического роста.

Устойчивое развитие и кумулятивный эффект не обеспечивают постановку и решение проблем общества. Устойчивое развитие подразумевает общие направления решения проблем без четкой постановки самих проблем. Кумулятивный эффект является индикатором, который характеризует состояние окружающей среды и может использоваться для формулирования проблемы, при этом не предлагая способ ее решения.

В наши дни кумулятивный эффект возникает так часто во времени и плотно в пространстве, что восстановление исходного состояния окружающей среды уже невозможно достичь только за счет ассимиляционного потенциала природной среды. Этот эффект описывается уровнем и направлением изменений состояния системы, при этом состояние системы уже отличается от природного. Для учета процессов аккумуляции и абсорбции парниковых газов в атмосфере используется индекс ответственности, учитывающий данный аспект путем применения предложенного в работе Сигенфалера [9] подхода к оценке аккумулированного объема углекислого газа в атмосфере. Данный подход в виде комплексной модели, учитывающей океанические и биосферные процессы поглощения эмиссии углеводородов, образовавшихся в результате антропогенной деятельности, был упрощен и получен вид формулы для нахождения количества CO₂ в атмосфере. Оценивание удерживаемого в атмосфере CO₂ проводится по формуле:

$$CO_{2,t} = CO_{2,0} \cdot \left(0,3e^{\left(\frac{t}{7}\right)} + 0,34e^{\left(\frac{t}{71}\right)} + 0,36e^{\left(\frac{t}{815}\right)} \right), \quad (3)$$

где CO_{2,t} – удерживаемый объем CO₂ в атмосфере в t-ом году после эмиссии, тыс. т; CO_{2,0} – объем эмиссии в прошлом периоде, тыс. т; t – период времени, лет.

В общем случае, если определение уровня загрязнения требует учета аккумуляции и абсорбции результатов экодеструктивного воздействий, мы предлагаем рассчитывать его по следующей формуле:

$$E(t) = \sum_{t=t_0}^{t_n} f(E_t; t_n - t), \quad (4)$$

где E(t) – уровень загрязнения в периоде t; f – функция, отражающая зависимость уровня загрязнения от эффектов аккумуляции и абсорбции во времени; t_n – текущий период; t₀ – горизонт ретроспекции; t_n – t – период от момента загрязнения до расчетного периода.

На сегодняшний день существуют следующие основные аргументы, объясняющие характер ЭКК: технологическое совершенствование производственных систем, исключая негативные факторы влияния; внедрение менее материалоемких и энергоемких технологий; повышение информированности населения о влиянии загрязнения на благосостояние и здоровье; повышение эластичности спроса на «чистый воздух»; либерализация международных торговых отношений; развитие открытых политических систем.

Среди критических аргументов по поводу ЭКК выделяются следующие пункты: последствия деградации окружающей природной среды не могут нанести значительный ущерб субъектам экономической деятельности, а сама деградация окружающей природной среды не может остановить экономический рост и повлиять на благосостояние людей в будущем; структура экологически деструктивных воздействий меняется в процессе экономического роста, что создает ложную видимость снижения уровня загрязнения; ЭКК является следствием либерализации международной торговли, когда развитые страны получают возможность снижать негативную нагрузку на природную среду и переносить ее в развивающиеся страны.

Разработка комплексной эколого-экономической модели обусловлена выявлением ряда недостат-

ков, присущих существующим моделям. К ним мы отнесли:

1. *Отсутствие комплексного анализа количественных и качественных характеристик исследуемых процессов.* При определении взаимосвязи «загрязнение – экономический рост» могут учитываться как абсолютные (количественные, экстенсивные), так и относительные (качественные, интенсивные) показатели. Часто также используются значения натуральных логарифмов исследуемых показателей. Раздельный анализ абсолютных и относительных величин, во-первых, не позволяет провести комплексный анализ динамики эколого-экономических факторов, во-вторых, не позволяет сравнивать данные различных исследований.

2. *Не учитывается эффект рикошета.* Эффект рикошета проявляется, когда качественное экологическое совершенствование и оптимизация процессов природопользования приводит к увеличению абсолютного масштаба экологически деструктивной деятельности.

3. *Не учитывается аккумуляция и абсорбция природными системами результатов экологически деструктивных действий.* Существует закон цепных антропогенных связей и процессов, согласно которому есть антропогенные потоки, что формируются в рамках природно-технических геосистем, имеющие возможности взаимодействовать так, что их суммирование вызывает кумулятивный эффект, который обуславливает увеличение масштаба распространения антропогенных изменений природной среды. Учет данного фактора позволяет повысить точность расчетов, предвидеть долгосрочные последствия экологически деструктивного воздействий.

4. *Предусматривается лишь бесконечный экономический рост.* Взаимосвязь «загрязнение – экономический рост» не описывает характер изменения экономических показателей, предполагая только их перманентный рост. Экономический спад или стагнация не учитываются.

5. *Отсутствует временная привязка исследуемых показателей.* ЭКК в классическом виде учитывает только показатели экономического роста и факторов влияния, что существенно снижает ценность получаемых результатов.

6. *Не сформулированы необходимые условия существования ЭКК в ее классическом виде.* Обратный U-образный характер зависимости, определенный на основе статистических показателей по многим странам, кроме того, является желательной траекторией развития.

Взаимосвязь исследуемых величин, представленных в формулах (1), (2), и (4), определяет модель эколого-экономического развития, которая графически представлена на рисунке 1. В данной модели представлены три кривые (№ 1, 2, 3), которые определяют зависимость в системе «экономический рост – состояние окружающей природной среды» в рамках концепции ЭКК. Как видно из рис. 1, достижение ЭКК № 1 максимума и снижение траектории не является достаточным условием дальнейшего отсутствия увеличения уровня загрязнения, если темп роста выпуска будет опережать темп снижения удельного загрязнения, то есть при выполнении условия, следующего из формулы (2):

$$\frac{\Delta Q}{Q} > \frac{\Delta(E/Q)}{(E/Q)}. \quad (5)$$

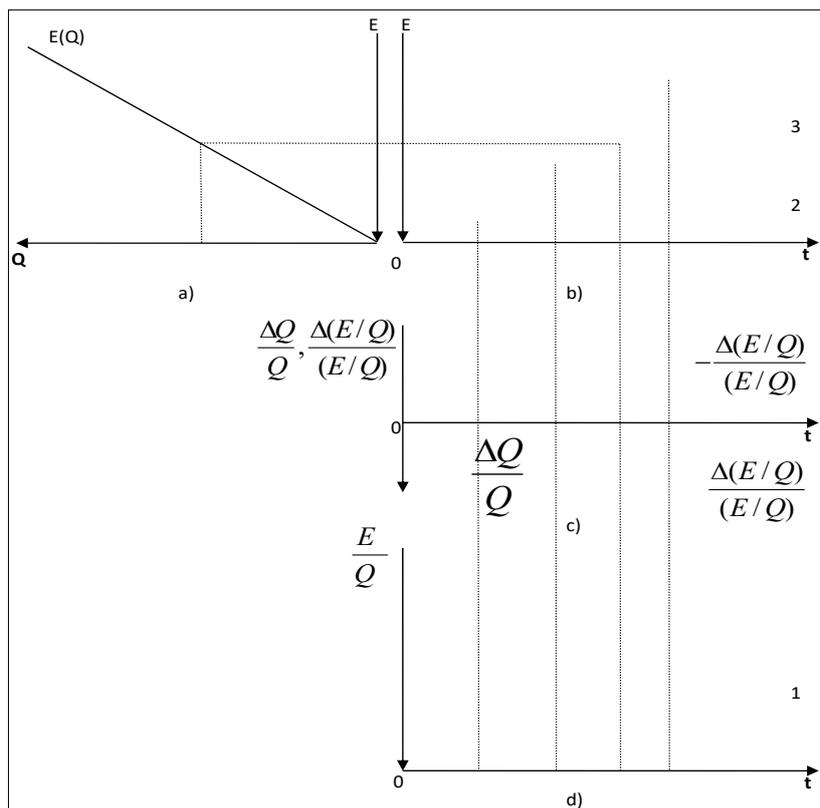


Рис. 1. Теоретическая модель эколого-экономического развития

Соответственно, достижение максимума ЭКК № 2, которая описывает выбросы загрязняющих веществ, также не определяет точку максимального уровня загрязнения, если учитывать эффект аккумуляции загрязнения, который начнет проявляться с момента превышения ассимиляционных возможностей природной системы.

Таким образом, минимальным условием, которое должно гарантировать отсутствие ухудшения устойчивого развития, является преодоление максимума ЭКК № 3, которая описывает выбросы загрязняющих веществ, учитывая эффект аккумуляции загрязнения.

Выводы. Преодоление тенденции увеличения концентрации как CO₂, так и всех остальных парниковых газов, требует значительного увеличения экологической

эффективности экономической деятельности. Но это должно происходить в зависимости от целевого значения такой деятельности. Кроме того, необходима координация действий на мировом уровне, так как невыполнение обязательств относительно сокращения эмиссии парниковых газов определенными государствами может ставить под угрозу общую цель – достижение устойчивого развития.

Перспективы последующих исследований в данном направлении заключаются в изучении изменения характера взаимосвязи между экономическим ростом и эмиссией парниковых газов. По мере развития альтернативной энергетики эта взаимосвязь должна ослабевать, что представляет исследовательский интерес.

References:

1. Ruttan V.W. (1971). Technology and the Environment. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 53, no 5, pp. 707–717.
2. Antle J.M., Heidebrink G. (1995). Environment and Development: Theory and International Evidence. *Economic Development and Cultural Change*, vol. 43, no. 3, pp. 603–625.
3. Grossman G.M., Krueger A.B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *National Bureau of Economic Research*, no. 3914, pp. 1–39.
4. World Bank (1992). World Development Report 1992: Development and the Environment. Oxford University Press, New York.
5. Stokey N.L. (1998). Are There Limits to Growth? *International Economic Review*, vol. 39, no. 1, pp. 1–31.
6. Dasgupta S., Laplante B., Wang H., Wheeler D. (2002). Confronting the Environmental Kuznets Curve. *Journal of Economic Perspectives*, vol. 16, no 1, pp. 147–168.
7. Li H., Berrens R.P., Grijalva Th. (2007). Economic Growth and Environmental Quality: a Meta-analysis of Environmental Kuznets Curve Studies. *Economics Bulletin*, vol. 17, no. 5, pp. 1–11.
8. De Bruyn S.M., Van Den Bergh J.C.J.M., Opschoor J.B. (1995). Empirical Investigations in Environmental-Economic Relationships Reconsidering the Empirical Basis of Environmental Kuznets Curves and the De-linking of Pollution from Economic Growth. Tinbergen Institute Discussion Paper, Amsterdam.
9. Siegenthaler U. (1983). Uptake of Excess CO₂ by an Outcrop-diffusion Model of the Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 88, no. C6, pp. 3599–3608.