

УДК 338:504.03

**А. В. Неверов, А. И. Каврус,
К. А. Михалькевич, Е. Н. Мисюк**

Белорусский государственный технологический университет

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

В статье сделана попытка обосновать методический подход к экономической оценке экологической динамики устойчивого развития. В качестве оценочного показателя предлагается изменение количественных характеристик экологического капитала во времени. Разработанный подход к оценке определяет алгоритм и методическое обеспечение расчета основных структурных элементов предлагаемой в работе формулы: экологического капитала, экосистемных услуг, экологического ущерба, трансграничных переносов. Показана целесообразность использования в системе расчетов нормативных документов по оценкам природного капитала и экосистемных услуг, разработанных в Республике Беларусь под научным руководством ученых Белорусского государственного технологического университета: «Порядок проведения экономической оценки природно-ресурсного потенциала административно-территориальной единицы (района)», «Порядок проведения стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия».

Динамику экологических изменений определяет процесс приращения (сокращения) экологического капитала, обусловленный уровнем продуцирования экосистем, размером экологического ущерба, наносимого природным территориям, в том числе трансграничными переносами. Оценка экологической динамики устойчивого развития рассматривается в контексте необходимости обоснования порогового значения потери экологического капитала во времени. Предлагается данное пороговое значение исследовать на основе принципа сохранения экологического равновесия конкретной территории с учетом соблюдения закона Ле Шателье – Брауна и правила 10%. В качестве порогового значения потери экологического капитала для многих регионов мира может быть принято значение 1–2%.

Ключевые слова: экологическая динамика, экологический капитал, экосистемные услуги, экологический ущерб, трансграничные переносы.

**A. V. Neverov, A. I. Kavrus,
K. A. Mikhal'kevich, E. N. Misjuk**
Belarusian State Technological University

ECONOMIC ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL DYNAMICS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The article attempts to substantiate a methodological approach to the economic assessment of the environmental dynamics of sustainable development. As an estimated indicator, a change in the quantitative characteristics of environmental capital over time is proposed. The developed approach to assessment determines the algorithm and methodological support for calculating the basic structural elements of the formula (environmental capital, ecosystem services, environmental damage, transboundary transfers) proposed in the work. The expediency of using normative documents in the calculation system for assessing natural capital and ecosystem services developed in the Republic of Belarus under the scientific supervision of scientists of the Belarusian State Technological University such as “Procedure for conducting an economic assessment of the natural resource potential of an administrative-territorial unit (district)”, “Procedure for conducting valuing ecosystem services and determining the value of biological diversity” is shown.

The dynamics of environmental changes is determined by the process of increment (reduction) of environmental capital, due to the level of ecosystem production, the amount of environmental damage caused to natural territories, including cross-border transfers. Assessment of the environmental dynamics of sustainable development is considered in the context of the need to justify the threshold value of environmental capital loss over time. It is proposed to study this threshold value on the basis of the principle of maintaining the ecological balance of a particular territory, taking into account compliance with the Le Chatelier – Brown law and the rule of 10%. As a threshold value for the loss of environmental capital for many regions of the world, a value of 1–2% can be taken.

Key words: environmental dynamics, environmental capital, ecosystem services, environmental damage, transboundary transfers.

Введение. Одной из составляющих устойчивого развития является экологическая динамика, которую выражает качественное состояние окружающей среды. В настоящее время отсутствует методический и практический опыт стоимостной оценки экологической динамики, которая бы наравне с экономической и социальной динамикой раскрывала временной аспект устойчивого развития.

Основная часть. Экологическую динамику устойчивого развития определяют изменения качественных и количественных характеристик окружающей среды. В конечном счете эту динамику в интегральном виде выражает стоимостная (экономическая) оценка экологического капитала, представленного во времени. В рамках исследований «Разработка методов экономического оценивания изменений экологических характеристик окружающей среды, их влияния на устойчивое экономическое и социальное развитие», выполняемых международным научным коллективом из Беларуси, России, Монголии и Вьетнама при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта Ф18ЕА-011 «Дистанционный спутниковый и наземный мониторинг земной поверхности и трансграничного переноса атмосферных примесей на евразийском континенте: формирование научно-технической, методической и информационной основы регулярных наблюдений», была разработана принципиальная схема оценки экологической динамики, основанная на экономической оценке экологического капитала с учетом прогнозирования экологических рисков.

Экономическую оценку изменения экологических характеристик окружающей среды определяет порядок расчета стоимостных показателей, выражающих конкретный аспект оценки экологического капитала и его изменение во времени.

На основании проведенных исследований предлагается следующий метод оценки измерения количественных характеристик экологического капитала конкретной территории.

$$\mathcal{EO}_{\text{ЭК}} = \mathcal{E}_k \pm \mathcal{O}_{\text{э.у}} - \mathcal{O}_{\text{э.в}} - \mathcal{O}_{\text{т.ч}}, \quad (1)$$

где $\mathcal{EO}_{\text{ЭК}}$ – экономическая оценка экологического капитала в текущем периоде; $\mathcal{E}_k$ – экономическая оценка экологического капитала в базовом периоде; $\mathcal{O}_{\text{э.у}}$ – стоимостная оценка экосистемных услуг в текущем периоде; $\mathcal{O}_{\text{э.в}}$ – стоимостная оценка экологического ущерба (вреда); $\mathcal{O}_{\text{т.ч}}$ – стоимостная оценка трансграничных переносов.

Представленная формула определяет алгоритм действий и обуславливает методическое

обеспечение расчета следующих основных показателей оценки:

- экологического капитала;
- экосистемных услуг;
- экологического ущерба (вреда);
- трансграничных переносов.

Методической основой расчета экологического капитала и экосистемных услуг являются следующие нормативные документы, разработанные в том числе под нашим научным руководством:

- ТКП 17.02-15-2016 (33140) «Порядок проведения экономической оценки природно-ресурсного потенциала административно-территориальной единицы (района)» [1];
- ТКП 17.02-10-2013 (02120) «Порядок проведения стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия» [2].

Расчет экологического капитала определяет порядок проведения экономической оценки возобновимых (экологических) ресурсов ($\mathcal{O}_{\text{впр}}$, руб.) [1], осуществляемой по формуле

$$\mathcal{O}_{\text{впр}} = \sum \mathcal{O}_{\text{впр}i} \cdot K_i, \quad (2)$$

где $\mathcal{O}_{\text{впр}i}$ – капитальная экономическая оценка i -го возобновляемого природного ресурса, руб.; K_i – коэффициент экономической доступности i -го ресурса.

Коэффициент экономической доступности i -го ресурса K_i определяется:

- для сельскохозяйственных земель по формуле

$$K_i = 1 - d_3, \quad (3)$$

где d_3 – доля эродированных земель в структуре сельскохозяйственных земель [3];

- для лесных ресурсов по формуле

$$K_i = \frac{1 - \Pi_{\text{нпн}}}{\Pi_{\text{лп}}}, \quad (4)$$

где $\Pi_{\text{нпн}}$ – площадь низкопродуктивных лесов основных лесообразующих пород, га; $\Pi_{\text{лп}}$ – площадь покрытых лесом земель под насаждениями основных лесообразующих пород, га (в соответствии с формой «Сведения о средних таксационных показателях и продуктивности лесов» Государственного лесного кадастра Республики Беларусь) [4];

- для водных ресурсов по формуле

$$K_i = 1 - d_{\text{но}}, \quad (5)$$

где $d_{\text{но}}$ – доля сточных вод, требующих очистки (сточных нормативно очищенных на сооружениях очистки вод и сточных недостаточно очищенных вод), в структуре водоотведения в рассматриваемом районе [5];

- для земель под болотами, биоразнообразия и энергии ветра принимается на уровне единицы.

Для земель, находящихся под болотами, такое значение коэффициента при проведении экономической оценки природного ресурса интерпретируется их полной доступностью для предоставления экосистемных услуг (безвозмездно для всего общества). Такое значение призвано подчеркнуть приоритет стоимостной оценки экосистемных услуг, предоставляемых болотами, перед более низким значением экономического эффекта, который можно получить в результате торфодобычи.

Расчет стоимостной оценки экосистемных услуг ($\Pi_{эу}$) осуществляется в интегральном виде [1] по формуле

$$\Pi_{эу} = \sum R_{эки} \cdot S_i, \quad (6)$$

где $R_{эки}$ – текущая (ежегодная) оценка услуг экологической системы i -го типа, руб./га; S_i – площадь территории (акватории) i -го типа экологической системы, га.

Текущая оценка экосистемных услуг ($R_{эки}$) определяется в расчете на 1 га по формуле

$$R_{эки} = \left(R_i \frac{q_э}{q_{эки}} - R_i \right) = R_i \left(\frac{q_э}{q_{эки}} - 1 \right), \quad (7)$$

где R_i – удельная текущая (ежегодная) оценка (дифференциальная рента) для i -го типа экологической системы, руб./га; $q_э$ – капитализатор экономической сферы (принят на уровне 0,05); $q_{эки}$ – капитализатор, или коэффициент дисконтирования, значение которого обратно пропорционально сроку воспроизводства потребляемого природного вещества, составляющего основу естественной экологической системы i -го типа.

Расчет стоимостной оценки экологического ущерба (вреда) осуществляется на основании пособия «Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды» (1986 г.) [6].

Удельная величина ущерба рассчитывается на одну условную (приведенную) тонну воздействующего вещества и определяется суммой затрат на предупреждение и компенсацию воздействия [7].

В общем виде экономическая оценка ущерба, наносимого окружающей природной среде, рассчитывается для выбросов в воздушную среду и сбросов в водную среду по следующей формуле

$$Y = \gamma \cdot \sigma \cdot M, \quad (8)$$

где Y – удельная величина ущерба, руб./т; γ – удельный базовый стоимостной норматив ущерба; σ – коэффициент, учитывающий региональные особенности (социально-экологичес-

кую значимость территории природных сред); M – приведенная масса годового выброса (сброса), усл. т/г, рассчитываемая по формуле

$$M = \sum_{i=1}^n m_i \cdot A_i, \quad (9)$$

где n – общее число воздействующего вещества; m_i – масса выброса (сброса) i -го вещества, т; A_i – коэффициент приведения (опасности i -го вещества).

Данные формулы свидетельствуют о том, что на величину экономической оценки, кроме приведенной массы вещества воздействия и исходной стоимостной ставки ущерба, в определенной степени может повлиять социально-экологическая значимость территории (акватории).

В типовой методике приводятся значения показателей σ относительно опасности загрязнения атмосферного воздуха над территориями различных типов, а также для различных водохозяйственных участков (таблица).

**Значение показателя σ ,
учитывающее социально-экономическую
значимость территории (акватории)**

Тип загрязняемой территории	Значение σ
Курорты, санатории, заповедники, заказники	10
Пригородные зоны отдыха, садовые и дачные кооперативы и товарищества	8
Населенные места с плотностью населения n , чел./га	0,1 га/чел. · n
Территории промышленных предприятий (включая защитные зоны) и промышленных узлов	4
Защитные леса	0,20
Защитно-эксплуатационные	0,10
Эксплуатационные леса	0,025
Пашни	0,15
Сады, виноградники	0,50
Пастбища, сенокосы	0,05

Как видно из приведенной таблицы, стоимостная величина ущерба в зависимости от социально-экономической характеристики объекта воздействия может колебаться в значительных пределах (например, при сравнении атмосферного загрязнения курортных зон и сенокосов различие составит 200 раз).

Удельный базовый стоимостной норматив ущерба для воздушной среды в ценах 1986 г. составил 2,4 руб./усл.т, в ценах 2019 г. – 5,14 руб./усл.т.

Удельный базовый стоимостной норматив ущерба для водной среды в ценах 1986 г. составил 400 руб./усл.т, в ценах 2019 г. – 856,0 руб./усл.т.

Расчет трансграничного фактора осуществляется по разнице стоимости экосистемных

услуг и экологического ущерба, обусловленных трансграничными переносами, по соответствующим формулам.

С позиции оценки динамики экономического капитала особую актуальность имеет вероятность его потери во времени. В данном аспекте самым важным является обоснование порогового значения потери экологического капитала. Данное пороговое значение целесообразно исследовать на основе принципа сохранения экологического равновесия территории (природного пространства).

Природные системы не относятся к абсолютно замкнутым. Процессы в них относительно обратимы, поэтому их энтропия может бесконечно долго оставаться равной нулю.

«Нулевая энтропия» поддерживается «даровой» энергией Солнца. Для поддержания негэнтропии (величины, обратной энтропии; мере удаленности от состояния энергетического (физического) равновесия) природная система может развиваться не иначе как за счет окружающей ее среды, получая извне необходимое вещество и энергию, т. е. непрерывно поддерживая «упорядоченность организации», и именно живые организмы противостоят энтропии за счет образования сложноорганизованных упорядоченных молекулярных структур.

Функционирование живых систем всегда негэнтропийно, пока действует принцип (закон) Ле Шателье – Брауна: при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, это равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется [8].

Соблюдение принципа Ле Шателье – Брауна является основным регулятором общеземных процессов.

В настоящее время действие принципа Ле Шателье – Брауна в рамках биосферы имеет низкую эффективность: с начала прошлого века в ответ на возрастание концентрации углекислого газа в атмосфере увеличение биологической продуктивности и биомассы не обнаруживается. Биота «не принимает» «лишний» углекислый газ, а ее биомасса снижается. По мнению Н. Ф. Реймерса, единственный способ восстановить действие принципа Ле Шателье – Брауна – сократить площади антропогенно измененных земель.

Принцип Ле Шателье – Брауна реализует действие закона внутреннего динамического равновесия.

Этот закон имеет важные эмпирические следствия.

1. Любое изменение среды (вещества, энергии, информации, динамических качеств экосистем) неизбежно приводит к развитию природ-

ных цепных реакций, идущих в сторону нейтрализации произведенного изменения или формирования новых природных систем, образование которых при значительных изменениях среды может принять необратимый характер.

2. Взаимодействие вещественно-энергетических экологических компонентов (энергии, газов, жидкостей, субстратов, организмов продуцентов, консументов и редуцентов), информации и динамических качеств природных систем количественно не линейно, т. е. слабое воздействие или изменение одного из показателей может вызвать сильное отклонение в других (и во всей системе в целом).

3. Производимые в крупных экосистемах перемены относительно необратимы. Проходя по иерархии снизу вверх – от места воздействия до биосферы в целом, они меняют глобальные процессы и тем самым переводят их на новый эволюционный уровень.

4. Любое местное преобразование природы вызывает в глобальной совокупности биосферы и в ее крупнейших подразделениях ответные реакции, приводящие к относительной неизменности эколого-экономического потенциала, увеличение которого возможно лишь путем значительного возрастания энергетических вложений, подчиняясь действию закона снижения энергетической эффективности природопользования.

В контексте принципа Ле Шателье – Брауна находится правило 1% – изменение энергетики природной системы в пределах 1% выводит последнюю из равновесного (квазистационарного) состояния. Все крупномасштабные природные явления (мощные циклоны, извержения вулканов, процесс глобального фотосинтеза), как правило, имеют суммарную энергию, не превышающую 1% от энергии солнечного излучения, падающего на поверхность Земли. Переход энергетического процесса за это значение обычно приводит к существенным аномалиям – резким климатическим отклонениям.

В аспекте реализации принципа Ле Шателье – Брауна следует также рассматривать правило 10% – переход с одного физического уровня экологической пирамиды на другой (по «лестнице» продуцент – консумент – редуцент) в среднем на 10% (от 7 до 17% энергии или вещества в энергетическом выражении, как правило, не ведет к нарушению равновесия экосистемы).

Ориентируясь на принцип постоянного сбалансированного природопользования и опираясь на устойчивое природопользование лесных экосистем как ведущих в решении климатической проблемы, для многих регионов мира в качестве порогового значения потери экологического капитала территории может быть принято значение 1–2%.

Заключение. В результате проведенных исследований было определено: экологическую динамику устойчивого развития можно выразить через стоимостную оценку экологического капитала, изменяющегося во времени. Фундаментальной основой для расчета динамики является экономическая оценка экологического капитала в текущем периоде, включающая оценку экологического капитала в базовом пе-

риоде, оценку экосистемных услуг, оценку экологического ущерба, оценку трансграничных переносов. Актуальность расчета рассматриваемого показателя подкрепляется также необходимостью обоснования порогового значения потери экологического капитала с целью сохранения экологического равновесия определенной территории. Для многих регионов мира данное значение принимается на уровне 1–2%.

Литература

1. Порядок проведения экономической оценки природно-ресурсного потенциала административно-территориальной единицы (района): ТКП 17.02-15-2016. Введ. 01.08.2017. URL: <http://www.ecoinv.by/ru/standart/tnpainfo.html> (дата обращения: 25.05.2019).
2. Порядок проведения стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия: ТКП 17.02-10-2013. Введ. 01.06.2013. URL: http://tnpa.ecoinv.by/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=142 (дата обращения: 25.05.2019).
3. Агрохимическая и радиологическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Гомельской области / сост.: М. И. Любезный [и др.]. Гомель: Гомельская ОПИСХ, 2009. 438 с.
4. О некоторых вопросах ведения государственного лесного кадастра: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 26 февр. 2010 г., № 8 (с изменениями и дополнениями). URL: <http://levonevski.net/pravo/norm2013/num15/d15446.html> (дата обращения: 30.05.2019).
5. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2016 год). Минск, 2017. URL: http://www.cricuwr.by/static/files/cadastr_2016.pdf (дата обращения: 30.05.2019).
6. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды / А. С. Быстров [и др.]. М.: Экономика, 1986. 96 с.
7. Экономика природопользования / А. В. Неверов [и др.]; под общ. ред. А. В. Неверова. Минск: Колорград, 2016. 400 с.
8. Неверов А. В. Экономика природопользования. Минск: БГТУ, 2009. 554 с.

References

1. *TKP 17.02-15-2016. Poryadok provedeniya ekonomicheskoy otsenki prirodno-resursnogo potentsiala administrativno-territorial'noy edinitsy (rayona)* [TCP 17.02-15-2016. Procedure for conducting an economic assessment of the natural resource potential of an administrative-territorial unit (district)]. Available at: <http://www.ecoinv.by/ru/standart/tnpainfo.html> (accessed 25.05.2019).
2. *TKP 17.02-10-2013. Poryadok provedeniya stoimostnoy otsenki ekosistemnykh uslug i opredeleniya stoimostnoy tsennosti biologicheskogo raznoobraziya* [TCP 17.02-10-2013. Procedure for conducting a valuation of ecosystem services and determining the value of biological diversity]. Available at: http://tnpa.ecoinv.by/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=142 (accessed 25.05.2019).
3. Lyubeznyy M. I. *Agrokhimicheskaya i radiologicheskaya kharakteristika pochv sel'skokhozyaystvennykh zemel' Gomel'skoy oblasti* [Agrochemical and radiological characteristics of the soils of agricultural lands of the Gomel region]. Gomel', Gomel'skaya OPISKh Publ., 2009. 438 p.
4. *Postanovleniye Ministerstva lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus', 26 fevralya 2010 goda, № 8 "O nekotorykh voprosakh vedeniya gosudarstvennogo lesnogo kadastra" (s izmeneniyami i dopolneni-yami)* [Decree of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus dated February 26, 2010, no. 8 "On some issues of maintaining the state forest cadaster" (with amendments and additions)]. Available at: <http://levonevski.net/pravo/norm2013/num15/d15446.html> (accessed 30.05.2019).
5. *Gosudarstvennyy vodnyy kadastr. Vodnyye resursy, ikh ispol'zovaniye i kachestvo vod (za 2016 god)* [The State Water Cadastre. Water resources, their use and water quality (for the year 2016)]. Minsk, 2017. Available at: http://www.cricuwr.by/static/files/cadastr_2016.pdf (accessed 30.05.2019).
6. Bystrov A. S., Varankin V. V., Vilenskiy M. A., Gofman K. G., Gusev A. A., Khachaturov T. S., Balycheva K. V. *Vremennaya tipovaya metodika opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti osushchestvleniya prirodoohrannykh meropriyatiy i otsenki ekonomicheskogo ushcherba, prichinyayemogo narodnomu khozyaystvu zagryazneniyem okruzhayushchey sredy* [Temporary standard methodology for determining the economic efficiency of environmental protection measures and assessing

the economic damage caused to the economy by environmental pollution]. Moscow, Ekonomika Publ., 1986. 96 p.

7. Neverov A. V., Ravino A. V., Lukashuk N. A., Vodop'yanova T. P. *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [Economics of environmental management]. Minsk, Kolorgrad Publ., 2016. 400 p.

8. Neverov A. V. *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [Economics of environmental management]. Minsk, BGTU Publ., 2009. 554 p.

Информация об авторах

Неверов Александр Васильевич – доктор экономических наук, профессор кафедры менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: neverov@belstu.by

Каврус Анастасия Ивановна – аспирант кафедры менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kavrusai@belstu.by

Михалькевич Кристина Александровна – магистрант кафедры менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kristina.mikhalkevich97@gmail.com

Мисюк Евгений Николаевич – магистрант кафедры менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: zhekamisyuk@gmail.com

Information about the authors

Neverov Aleksandr Vasil'yevich – DSc (Economics), Professor, the Department of Management, Business Technologies and Sustainable Development. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: neverov@belstu.by

Kavrus Anastasiya Ivanovna – PhD student, the Department of Management, Business Technologies and Sustainable Development. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kavrusai@belstu.by

Mikhal'kevich Kristina Aleksandrovna – Master's degree student, the Department of Management, Business Technologies and Sustainable Development. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kristina.mikhalkevich97@gmail.com

Misyuk Evgeniy Nikolayevich – Master's degree student, the Department of Management, Business Technologies and Sustainable Development. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zhekamisyuk@gmail.com

Поступила 26.09.2019