

ЕКОЛОГІЧНИЙ СЛІД ЯК ІНДИКАТОР ПРИРОДНОГО КАПІТАЛУ ЕКОСИСТЕМ

Барабаш О.В., Вознюк Я.Ю.

Національний транспортний університет
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, 01010, м. Київ
el_barabash@ukr.net
yarik-voznyuk@ukr.net

У статті досліджено загальний екологічний слід на душу населення Дніпропетровської області. На підставі інформаційно-аналітичних матеріалів балансу ресурсів і використання найважливіших видів продукції обчислено значення шести елементів екологічного сліду області. За допомогою отриманих даних визначено екологічний дефіцит області. *Ключові слова:* екосистема, біологічна ємність, екологічний слід, середньосвітова продуктивність, внутрішнє споживання.

Экологический след как индикатор природного капитала экосистем. Барабаш Е.В., Вознюк Я.Ю. В статье исследован общий экологический след на душу населения Днепропетровской области. На основании информационно-аналитических материалов баланса ресурсов и использования важнейших видов продукции вычислено значение шести элементов экологического следа области. С помощью полученных данных определён экологический дефицит области. *Ключевые слова:* экосистема, биологическая ёмкость, экологический след, среднемировая производительность, внутреннее потребление.

Ecological footprint as an ecosystem natural capital indicator. Barabash O., Vozniuk Ya. For many years, humanity's demand for natural resources – the environmental footprint – exceeded the Earth's ability to recover or its biological capacity. Ukraine is among the few countries where a large amount of biological capacity allows not only to satisfy the demand of the country's population, but also to provide trade partners with it. If our country succeeds in maintaining this advantage, the economic situation in the face of a global shortage of resources and ecosystem services will be quite profitable for us. Nevertheless, even a sufficient amount of biological capacity in Ukraine can be threatened. Therefore, the account of the ecological footprint is an issue of relevance and requires not only a typical calculation of each element, but also the application of a real actions complex based on the results of calculations. In spite of the large number of studies on the environmental footprint record, they are related mainly to the criteria of human needs in the ecosystems of the planet, to a lesser extent – a certain city, but very rarely one can find the study of the ecological footprint for a particular region. Therefore, the definition of the ecological footprint for the consumption of the Dnipropetrovsk region is the goal of our study. To do this, the values of six elements of the ecological footprint: vegetable cultivation (Cl), pasture (Gl), fishery (Fg), forestry (F), energy (E) and infrastructure footprint (I) was calculated based on the information and analytical materials of the resources balance and the use of the most important types of products of industrial and technical purpose and consumer goods of the studied area. It was established that the overall ecological footprint per capita for the Dnipropetrovsk region is 4.446 ha/person, while food consumption is a significant driver of the ecological deficit in the region, where the demand for renewable resources and ecosystem services exceeds the ability of these ecosystems to provide them. Regarding the ecological deficit of energy resources, it is clear that Dnipropetrovsk region relies on the capacity of other regions or foreign countries to meet the demand of the population for energy. *Key words:* ecosystem, biological capacity, ecological footprint, average world productivity, internal consumption.

Постановка завдання. Економіка України і засоби існування, рівень життя і добробут обумовлені такими екологічними факторами, як здорова їжа, чиста вода, стабільний клімат і чисте повітря. Протягом багатьох років попит людства на природні ресурси – екологічний слід – перевищував здатність Землі до відновлення її біологічної ємності. Біологічна ємність – здатність екосистем відтворювати природний капітал – зростає в ціні, якщо перебуває під збільшеним антропогенним тиском. Багато країн уже відчувають дефіцит біологічної ємності. Щоб його поповнити, вони вдаються до імпорту, надмірно використовують власні ресурси або виснажують загальні ресурси Землі.

У міру того, як нестача ресурсів буде ставати більш відчутною, процвітання держави буде залежати від доступності екосистемних послуг. Україна є в числі небагатьох країн, у яких є переваги в біоемності. Великий обсяг біоемності дає змогу не лише задо-

вільнити попит населення країни, але й забезпечити торгових партнерів. Якщо нашій державі вдасться зберегти цю перевагу, економічне положення в умовах глобального дефіциту ресурсів та екосистемних послуг стане досить вигідним. А втім, навіть достатньому запасу біоемності України може загрожувати небезпека. Експорт такого ресурсу, як лісоматеріали (заготівля яких відбувається як легально, так і нелегально), ставить під удар як біорізноманіття екосистем, так і їхню біоемність. Наша країна зараз стоїть перед вибором: вона може продовжити знищувати свої природні багатства (праліси, квазіпраліси та інше) заради негайної вигоди або вибрати інший шлях – розпоряджатися своїми активами, почати ретельно аналізувати потреби у відновлювальних ресурсах і проводити суворий облік їхніх запасів, зберігаючи природний капітал на довгі роки. Тому облік екологічного сліду є питанням надзвичайно актуальним і потребує не лише типового розрахунку

кожного елемента, але й застосування комплексу реальних дій за результатами обчислень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями дефіциту біомасності займаються вчені різних країн, зокрема, багато досліджень екологічного сліду проводиться для країн Середземноморського регіону [3; 5; 7; 10]. Методологією оцінки екологічної ефективності, яка базується на модифікованій версії обліку екологічного сліду, займалися Blasi E. та інші дослідники [4; 8]. Методологія кількісної оцінки, її точність, характеристики спостережуваних потоків, забезпечення продовольчої безпеки, корисність екологічного сліду для суспільства загалом досліджено у праці Kitzes J. [9]. Визначенням у межах методології екологічного сліду компонента вуглецевого сліду займався ряд науковців, зокрема Mancini M., Galli A., Niccolucci V., Lin D., Bastianoni S., Wackernagel M., Marchettini N. [11].

Незважаючи на велику кількість досліджень з обліку екологічного сліду, всі вони здебільшого стосуються критеріїв потреб людини в екосистемах планети, меншою мірою – певного міста, але досить рідко можна зустріти вивчення екологічного сліду певного регіону. Тому визначення екологічного сліду споживання як індикатора сталого розвитку Дніпропетровської області є метою дослідження.

Матеріал і методика досліджень. Методика розрахунку екологічного сліду розроблена міжнародною організацією Global Footprint Network [6]. Стандартний екологічний слід кожного елемента визначається за формулою:

$$E_{ki} = C_i/Y_i \times f \times E_f, \quad (1)$$

де E_{ki} – екологічний слід кожного елемента, C_i – річне споживання елемента, Y_i – продуктивність землі або вихід кожного її елемента за призначенням, наприклад, пасовище, сінокіс та інше, f – фактор врожайності (Yield Factor), E_f – еквівалентний фактор (Equivalent Factor).

Загальний екологічний слід (EC) визначається як сума екологічних слідів усіх обчислених елементів певної популяції:

$$EC = \sum_{i=1}^n E_{ki}, \quad (2)$$

Для визначення екологічного сліду необхідно розрахувати значення шести його елементів: рослинницького (Cl), пасовищного (Gl), рибогосподарського (Fg), лісгосподарського (F), енергетичного (E) та сліду інфраструктури (I). Для кожного із цих критеріїв характерний єдиний принцип розрахунку: обсяги внутрішнього споживання переводять в еквівалентну площу із середньосвітовою продуктивністю, виражену в глобальних гектарах (гга), і ця площа ділиться на кількість населення вибраної території [1]. Потім шість показників додаються і визначається «екологічний слід» у розрахунку на душу населення, який є більш наочним показником, оскільки враховує кількість населення, яке безпосередньо здійснює внутрішнє споживання.

Обсяг внутрішнього споживання (DC) обчислюється за формулою:

$$DC = DP + SI + Im - Ex - S_2, \quad (3)$$

де DP – виробництво всередині країни, SI – запаси на початок року, Im – імпорт, Ex – експорт, S_2 – запаси на кінець року.

Результати досліджень та їх обговорення. Рослинницький слід (Cl) визначає, яка площа території із середньосвітовою продуктивністю необхідна для задоволення внутрішнього споживання продуктів рослинництва. Загальна формула рослинницького сліду має вигляд:

$$Cl = \sum_{i=1}^n C_i^d / P_i^w, \quad (4)$$

де n – число статей внутрішнього споживання продуктів рослинництва, C_i^d – обсяг внутрішнього споживання i -го продукту рослинництва, P_i^w – середньосвітова продуктивність i -го продукту рослинництва.

Рослинницький слід на душу населення:

$$\bar{Cl} = Cl / N_b, \quad (5)$$

де N_b – чисельність населення.

До складу рослинницького сліду входить площа, необхідна для виробництва всієї споживаної сільськогосподарської продукції рослинництва, включно із злаками, плодами, овочами, коренеплодами, горіхами, чаєм, кавою, цукром, маргарином, маслом, тютюном, а також кормами, необхідними для вирощування свійської птиці та свиней, які надалі перетворюються у м'ясо і споживаються людиною.

На основі інформаційно-аналітичних матеріалів балансу ресурсів і використання найважливіших видів продукції виробничо-технічного призначення і споживчих товарів у Дніпропетровській області визначено рослинницький слід (табл. 1).

Пасовищний слід (Gl) відображає кількість гектарів пасовищ із середньосвітовою продуктивністю, необхідних для задоволення внутрішнього споживання продуктів тваринництва. Загальна формула для визначення пасовищного сліду має вигляд:

$$Gl = \sum_{i=1}^n G_i^d / P_i^w, \quad (6)$$

де n – число статей внутрішнього споживання продуктів тваринництва, G_i^d – обсяг внутрішнього споживання i -го продукту тваринництва, P_i^w – середньосвітова продуктивність i -го продукту тваринництва.

Пасовищний слід на душу населення:

$$\bar{Gl} = Gl / N_b, \quad (7)$$

де N_b – чисельність населення.

Розрахунок пасовищного сліду Дніпропетровської області наведено в табл. 2.

Пасовищний, або тваринницький, слід – площа, необхідна для випасу й утримання сільськогосподарських тварин, продукція яких надалі споживається людиною, тобто мається на увазі м'ясна і молочна продукція великої рогатої худоби, овець і кіз [2, с. 86].

Таблиця 1

Рослинницький слід Дніпропетровської області

№	Основні продукти рослинництва	Внутрішнє споживання, кг	Середньосвітова продуктивність, кг/гга	Загальнообласний рослинний слід, гга
1	Пшениця	835 125 840	3211,45	260 046,35
2	Ячмінь	365 143 670	2964,94	123 153,81
3	Кукурудза	744 975 360	5421,68	137 406,68
4	Жито	48 450 060	2821,06	17 174,42
5	Рис	8 250 150	4418,48	1 867,48
6	Гречка	13 500 470	971,74	13 893,09
7	Овес	34 125 390	2438,59	13 993,90
8	Картопля	406 282 160	19386,73	20 956,71
9	Овочі	477 068 760	15330,81	31 118,81
10	Фрукти	174 497 200	7886,45	22 126,20
11	Цукор	137 951 560	49735,51	2 773,70
12	Рослинна олія	56 629 280	1379,40	41 053,56
13	Чай	1 810 820	1443,86	1 254,15
14	Кава та кавові продукти	3 950 880	825,44	4 786,39
15	Тютюн	7 078 660	1797,18	3 938,76
Загальний рослинницький слід: $Cl = \sum_{i=1}^n \frac{c_i^d}{p_i^w} = 693\,676,76$.				
Рослинницький слід на душу населення: $\bar{cl} = \frac{Cl}{N_b} = 0,21$ гга/люд.				

Отож рослинницький слід населення Дніпропетровської області визначено на основі даних споживчого кошика, у який входить 15 продуктів, і загальний обсяг яких становить 693 676,76 гга, а на душу населення – 0,211 гга/люд.

Таблиця 2

Пасовищний слід Дніпропетровської області

№	Основні продукти тваринництва	Внутрішнє споживання, кг	Середньосвітова продуктивність, кг/гга	Загальнообласний пасовищний слід, гга
1	Свинина	74 566 270	858,0	86 907,08
2	Телятина	29 434 060	1100,0	26 758,23
3	М'ясо птиці	90 264 440	508,2	177 615,98
4	Інші види м'яса	48 450 060	821,7	5 896,32
5	Молоко	924 505 920	24107,6	38 349,15
6	Яйця, шт.	908 373 160	262,57	3 459 546,64
Загальний пасовищний слід: $Cl = \sum_{i=1}^n \frac{c_i^d}{p_i^w} = 3795073,4$.				
Пасовищний слід на душу населення: $\bar{cl} = \frac{Cl}{N_b} = 1,15$ гга/люд.				

Таблиця 3

Рибогосподарський слід Дніпропетровської області

№	Продукти рибогосподарства	Внутрішнє споживання, кг	Середньосвітова продуктивність, кг/гга	Загальнообласний рибогосподарський слід, гга
1	Риба і морепродукти	58 933 690	83,77	703 521,07
Загальний рибогосподарський слід: $Fg = \sum_{i=1}^n \frac{F_i^d}{p_i^w} = 703\,521,07$.				
Рибогосподарський слід на душу населення: $\bar{Fg} = \frac{Fg}{N_i} = 0,21$ гга/люд.				

Лісогосподарський слід Дніпропетровської області

№	Продукти лісового господарства	Внутрішнє споживання, м ³	Середньосвітова продуктивність, м ³ /гга	Загальнообласний лісогосподарський слід, гга
1	Лісоматеріали (зокрема, ДВП, ДСП, МДФ)	862 500	5,6644	152 266,79
Загальний лісогосподарський слід: $F = \sum_{i=1}^n \frac{F_i^d}{P_i^w} = 152\ 266,79$.				
Лісогосподарський слід на душу населення: $\bar{F} = \frac{F^d}{N_b} = 0,046$ гга/люд.				

Рибогосподарський слід (Fg) визначає площу акваторій, що мають середньосвітову продуктивність, необхідну для виробництва риби і морепродуктів в обсягах, відповідних внутрішньому споживанню країни. Звідси загальний рибогосподарський слід становить:

$$Fg = \sum_{i=1}^d F_i^d / P_i^w, \tag{8}$$

де F_i^d – обсяг внутрішнього споживання риби і рибопродуктів, P_i^w – середньосвітова продуктивність риби і рибопродуктів, а рибогосподарський слід на душу населення визначається:

$$\bar{F}g = Fg / N_b, \tag{9}$$

де N_b – чисельність населення.

Розрахунок рибогосподарського сліду Дніпропетровської області наведено в табл. 3.

Лісогосподарський слід (F) показує, яка площа лісів із середньосвітовою продуктивністю необхідна для задоволення внутрішнього споживання продуктів лісового господарства. Загальна формула для розрахунку лісогосподарського сліду має вигляд:

$$F = \sum_{i=1}^n F_i^d / P_i^w, \tag{10}$$

де n – кількість продуктів лісового господарства, F_i^d – внутрішнє споживання i -го продукту лісового господарства, P_i^w – середньосвітова продуктивність лісу.

Лісогосподарський слід на душу населення визначається:

$$\bar{F} = F / N_b, \tag{11}$$

де N_b – чисельність населення.

Розрахунок лісогосподарського сліду Дніпропетровської області наведено в табл. 4.

Енергетичний слід (E) може обчислюватись за двома методиками. Перша передбачає врахування структури енергетичного балансу. Згідно з другою методикою вся споживана в країні енергія переводиться в обсяг деревини, необхідної для виробництва такої кількості енергії. Визначений обсяг деревини ділиться на середньосвітову продуктивність лісу. Отже, за даною методикою, енергетичний слід показує, яка площа лісу із середньосвітовою про-

дуктивністю знадобилася б для виробництва енергії, достатньої для задоволення внутрішніх потреб області, якби в ролі енергоносія використовувалися тільки дрова. Оскільки дані про структуру енергетичного балансу в Державній службі статистики України визначаються як дані внутрішнього користування, була обрана друга методика. Фахівці відзначають, що при розрахунку енергетичного сліду за обома методиками показники незначно відрізняються один від одного [2, с. 88].

Враховавши внутрішнє споживання енергії Дніпропетровської області, питому теплоємність дерева, масу дров, середню щільність дерева, обсяг деревини, середньосвітову продуктивність лісу, обчислили енергетичний слід на душу населення Дніпропетровської області, який становить – 2,72 гга/люд.

Слід інфраструктури (I) завжди дорівнює екологічній ємності території, яку займають об'єкти інфраструктури, тобто житла, транспорту й виробничих потужностей.

На частку населених пунктів, земель промисловості, транспорту, зв'язку, оборони та інших земель несільськогосподарського призначення доводиться 193,2 тис. га – 6,1 %.

До того ж слід інфраструктури на душу населення можна визначити за формулою:

$$I_B = \frac{S_B \times EF(Cl) \times PF(Cl)_B}{N_B}, \tag{12}$$

де I_g – екологічна ємність територій, зайнятих об'єктами інфраструктури, гга/люд, S_g – площа територій, зайнятих об'єктами інфраструктури, га, $EF(Cl)$ – еквівалентний фактор орних земель, $F(Cl)$ – продуктивний фактор орних земель України, N_g – чисельність населення Дніпропетровської області, люд.

Оскільки інфраструктура, як правило, розміщується на біологічно продуктивних територіях, еквівалентний і продуктивний фактори для розрахунку цього показника приймаються рівними відповідним показникам для орних земель.

$$I_B = \frac{193200 \times 2.415 \times 0.7875}{3292400} = 0,11 \text{ гга/люд.}$$

Екологічний слід на душу населення розраховується за формулою:

$$EF = \bar{Cl} + \bar{Gl} + \bar{Fg} + \bar{F} + \bar{E} + \bar{I}$$

$$EF = 0,21+1,15+0,21+0,046+2,72+0,11=4,446 \text{ гга/люд.}$$

Висновки. За результатами дослідження встановлено, що загальний екологічний слід на душу населення Дніпропетровської області становить 4,446 гга/люд., при цьому нестача енергетичних ресурсів і споживання продуктів харчування є значним рушієм екологічного дефіциту області, де попит на віднов-

лювані ресурси й послуги екосистем перевищує здатність цих екосистем їх забезпечити. Визначено, що Дніпропетровська область покладається на потужності інших областей України та зарубіжних країн, щоб задовольнити попит населення на енергоносії.

Подальші дослідження критеріїв екологічного сліду потребують більш ретельного вивчення. Виникає необхідність провести обчислення елементів екологічного сліду для інших областей України, синхронізувати отримані дані з розрахунками щодо екологічної ємності та поєднати їх в єдине ціле для розроблення заходів щодо усунення екологічного дефіциту ресурсів.

Література

1. Головне управління статистики у Дніпропетровській області. 2005. URL: <http://www.dnprstat.gov.ua/statinfo%202015/sg/> (дата звернення: 01.03.2018).
2. Мозговая О.С. Применение концепции «экологический след» для расчета резервов экологической емкости с целью определения рекреационной нагрузки в национальных парках Беларуси. Журнал международного права и международных отношений. 2007. № 2. С. 85–93.
3. Vaabou W., Grunewald N., Ouellet-Plamondon C. The Ecological Footprint of Mediterranean cities: Awareness creation and policy implications. *Environmental Science & Policy*. 2017. № 69. P. 94–104.
4. Blasi E., Passeri N., Franco S. An ecological footprint approach to environmental-economic evaluation of farm results. *Agricultural Systems*. 2016. № 145. P. 76–82.
5. Collins A., Galli A., Patrizi N. Learning and teaching sustainability: The contribution of Ecological Footprint calculators. *Journal of Cleaner Production*. 2017. № 174. P. 1000–1010.
6. Food and Agricultural Organization: the FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2007. URL: <http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0>. (дата звернення: 03.03.2018).
7. Galli A., Giampietro M., Goldfinger S. Questioning the Ecological Footprint. *Ecological Indicators*. 2016. № 69. P. 224–232.
8. Galli A., Iha K., Halle M. Mediterranean countries' food consumption and sourcing patterns: An Ecological Footprint viewpoint. *Science of the Total Environment*. 2017. № 578. P. 383–391.
9. Kitzes J., Berlow E., Conlisk E. Consumption-Based Conservation Targeting: Linking Biodiversity Loss to Upstream Demand through a Global Wildlife Footprint. 2016. *Conservation Letters*. 1-8. Doi:10.1111/con4.12321.
10. Lazarus E., Lin D., Martindill J. Biodiversity Loss and the Ecological Footprint of Trade. *Diversity*. 2015. № 7. P. 170–191.
11. Mancini M., Galli A., Niccolucci V. Ecological Footprint: Refining the carbon Footprint calculation. *Ecological Indicators*. 2016. № 61. P. 390–403.