



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412313>
Article received 2023.09.28
Article accepted 2023.11.23

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author

Oksana Pelyukh

pelyukh.o@nltu.edu.ua

103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 504.75.05

Слід біорізноманіття продукту: теорія і методологія розрахунку

О. Р. Пелюх¹, І. П. Соловій², О. А. Кійко³, М. М. Ільків⁴, Т. О. Челепіс⁵, В. В. Лавний⁶

Досліджено теоретичні положення та сутність поняття «слід біорізноманіття», встановлено ключові аспекти методології його розрахунку. Зокрема, розглянуто визначення терміну «слід біорізноманіття» у вітчизняній та зарубіжній науковій літературі. Запропоновано визначати слід біорізноманіття як вплив товару, компанії, людини чи спільноти на глобальне біорізноманіття, виміряний у термінах зміни біологічного різноманіття в результаті виробництва та споживання певних товарів і послуг. Виокремлено та проаналізовано основні підходи та інструменти розрахунку сліду біорізноманіття. Розглянуто шість основних груп інструментів розрахунку сліду біорізноманіття і встановлено ключові відмінності між ними.

Загалом розрахунку сліду біорізноманіття із використанням вищевказаних інструментів базуються на інформації компанії чи підприємства (фінансових даних або/і даних ланцюжка створення вартості), враховуючи географічний, екосистемний контексти або узагальнені (проксі) зв'язки та дотримуються трьохетапної послідовності. Доцільним є застосування сліду біорізноманіття як індикатора для різних секторів і рівнів управління, їх видів діяльності чи ланцюгів постачання, а також для окремого продукту чи споживача. Слід біорізноманіття, як індикатор, може допомогти бізнесу в обґрунтуванні стратегічних підходів, управлінських і технологічних рішень у контексті забезпечення належної екологічної та соціальної відповідальності. Розрахунок сліду біорізноманіття є важливим інструментом збереження екосистем і природних ландшафтів, забезпечення сталого використання ресурсів внаслідок прийняття екологічно відповідальних рішень.

Ключові слова: слід продукту; навантаження на довкілля; вплив на біорізноманіття; стале виробництво і споживання.

¹ Пелюх Оксана Романівна – кандидат економічних наук, асистент кафедри екологічної економіки та бізнесу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-096-748-82-70. E-mail: pelyukh.o@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1889-3623>

² Соловій Ігор Павлович – академік Лісівничої академії наук України, віце-президент ЛАН України, доктор економічних наук, професор кафедри екологічної економіки та бізнесу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-287-03-88, +38-097-284-08-81. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5885-6264>

³ Кійко Орест Антонович – академік Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-067-989-80-88. E-mail: orest.kiyko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5504-0278>

⁴ Ільків Михайло Миколайович – асистент кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-855-25-03. E-mail: mykhailo.ilkiv@nltu.edu.ua

⁵ Челепіс Тарас Олегович – аспірант кафедри екологічної економіки та бізнесу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-093-348-89-72. E-mail: taras.chelepiss@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3845-4211>

⁶ Лавний Василь Володимирович – академік Лісівничої академії наук України, віце-президент ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з наукової роботи. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-098-859-72-07. E-mail: lavnyu@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-9026>

Вступ (Introduction). Збільшення чисельності населення та його потреб вимагає все більше ресурсів для їх задоволення, що призводить до виснаження природного капіталу біосфери, зміни клімату, забруднення планети та безпрецедентного скорочення біорізноманіття (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015). Біорізноманіття забезпечує широкий спектр цінностей для людей і суспільства, будучи одночасно невід’ємним компонентом природного капіталу (запасів природних ресурсів, які об’єднуються, щоб забезпечити потоки послуг екосистем), а також індикатором стійкості запасів природного капіталу, таких як ґрунт і вода. Міжнародні ініціативи, серед яких Цілі сталого розвитку (Про цілі сталого розвитку України на період до 2030 р., 2019), Планетарні межі (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015), а також Огляд Дасгупти (Dasgupta, 2021) висвітлюють біорізноманіття як важливу компоненту стійкості природних і соціально-економічних систем.

Tittensor et al. (2014) зазначають, що без впровадження ефективних політичних рішень біорізноманіття продовжуватиме скорочуватися. Особливо в економічно бідних країнах з багатим біорізноманіттям (Newbold et al., 2015; Butchart et al., 2010) дійшли висновку, що на глобальному рівні зусилля лідерів зупинити чи уповільнити скорочення біорізноманіття були недостатніми, а цілі Конвенції з біологічного різноманіття (Convention on Biological Diversity, 2006) не були досягнуті. Як і не були досягнуті 20 цілей Айчі, які було включено у Стратегічний план зі збереження біорізноманіття на 2011-2020 рр. та погоджені 196 країнами-учасниками (зокрема й Україною [WWF, 2016]).

Зусилля щодо збереження біорізноманіття історично були спрямовані на захист середовищ існування та самих видів. Однак попри те, що природоохоронні території є ключовими для реалізації заходів (Butchart et al., 2012) і потенційно здатні надавати більше послуг з регулювання екосистем (Maes et al., 2012), природоохоронних територій може бути недостатньо для зниження ризику вимирання видів, враховуючи висхідне перманентне антропогенне навантаження на планету. Wilting & Oorshot (2017) вказують, що найбільше скорочення біорізноманіття пов’язане саме з ланцюгами постачання товарів, зокрема у земле- та енергоємних секторах.

Втрата біорізноманіття впливає на суспільство загалом, включаючи окремі групи, які вважаються вразливими, а також корінні народи та місцеві громади. Піддаються впливу і залежать від біорізноманіття також підприємства. Вплив на бізнес може бути негативним або позитивним, що призводить як до витрат і вигід для суспільства, так і до зміни ризиків і можливостей самого бізнесу. У міру зростання обізнаності про ризики та можливості, що пов’язані з втратою біорізноманіття, з’являється все більше мотивації для бізнесу вимірювати та звітувати про свій вплив і залежність від біорізноманіття поряд із ширшим природним капіталом, кліматом і соціальною відповідальністю. Хоча наразі вимірювання та звітність щодо природного капіталу загалом і біо-

різноманіття зокрема є надзвичайно обмеженими. Якість оприлюдненої інформації про біорізноманіття є низькою, дає слабе розуміння бізнес-ризиків, можливостей досягнення певної ефективності, зосереджуючись на управлінських наративах з незначною наявністю кількісної негрошової інформації. Поза тим, все більше компаній розуміють необхідність надійних і послідовних вимірювань впливу на біорізноманіття та залежностей, включаючи вимірювання позитивних впливів. Також зростає попит на кількісні показники з боку інвесторів та аудиторів у рамках розвитку звітності та системи розкриття інформації. У контексті оцінки природного капіталу та підходів до обліку були розроблені методології вимірювання біорізноманіття, щоб задовольнити цей попит. Однак їх використання залишається обмеженим низкою компаній-лідерів.

Оскільки, потреби людства у природних ресурсах стрімко зростають (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015), а здатність біосфери відновлюватись та нормально функціонувати стає дедалі меншою, існує потреба у кращому розумінні інструментів емпіричного вимірювання впливу на довкілля та біорізноманіття зокрема, які можна використовувати в різних контекстах (наприклад, екологічний, вуглецевий, водний слід чи слід біорізноманіття). Використання цих та інших інструментів можуть виявити ранні попереджувальні ознаки та прогнозувати наслідки навантаження на довкілля, відтак сповільнити критичний перехід планетарних меж.

Об’єкти та методика дослідження (Objects and methods). *Об’єкт дослідження* – слід біорізноманіття продукту. *Предмет досліджень* – теоретичні і прикладні аспекти розрахунку сліду біорізноманіття.

Мета роботи полягає в дослідженні теоретичних положень і сутності поняття «слід біорізноманіття», у встановленні ключових аспектів методології його розрахунку.

У дослідженні використано методи аналізу, синтезу та логічного узагальнення. Інформаційною базою дослідження слугували ресурси Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського і мережі Science Direct.

Результати (Results). У контексті збереження довкілля «слід» (*footprint*) – це вимірювання прямого чи опосередкованого впливу суспільства на біосферу (у кількісних величинах). Кембриджський словник (Cambridge Dictionary, 2023) визначає слід як: «вплив особи, компанії, діяльність на довкілля, наприклад, кількість природних ресурсів, які вони використовують, і кількість шкідливих газів, які вони виробляють». Критична необхідність вимірювання впливу суспільства на довкілля та розроблення управлінських рішень щодо зменшення, адаптації, пристосування, пом’якшення та попередження цього негативного впливу спровокувала розроблення численних методів розрахунку слідів, які відрізняються за фокусом, одиницями вимірювання, масштабом (Dudley, 2021) (рис. 1). Розміщення сліду біорізноманіття в центрі підкреслює, що на біорізноманіття мають вплив усі інші сліди.



Рис. 1. Різновиди слідів для вимірювання впливу суспільства на довкілля (складено за Dudley, 2021)

Fig. 1. Types of traces for measuring the impact of society on the environment (compiled from Dudley, 2021)

Vanham et al. (2019) розглядають, яким чином різні типи слідів пов'язані з дев'ятьма критичними процесами, що регулюють функціонування системи Землі (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015) (рис. 2). Для кожного з цих критичних процесів автори запропонували основну керуючу змінну та визначили межі, які не можна перевищувати, щоб зберегти функціонування Землі у безпечному робочо-

му просторі. За попередньою оцінкою Steffen et al. (2015) встановили, що внаслідок діяльності людства вже порушено чотири з цих критичних процесів: зміна клімату, цілісність біосфери, біогеохімічні потоки (азот і фосфор) та зміни у наземній екосистемі, в результаті чого виникли збурення біогеохімічних потоків і генетичного різноманіття. Деякі із зображених на рисунку слідів мають вже визначені тлумачення (табл.), а дискусія щодо тлумачення інших все ще триває (наприклад, «слід біорізноманіття»). Так, в українській науковій літературі ще не сформувалось визначення терміну «слід біорізноманіття» (*biodiversity footprint*). Відповідно, жодних досліджень на цю тематику не проведено. Проте, визначено термін «екологічний слід» (*ecological footprint*) (Барабаш, Вознюк, 2018; Крусіг, Яшкіна, Кіріак, 2012), «вуглецевий слід» (*carbon footprint*) (Івашура, Борисенко, Толмачова, 2021) та «водний слід» (*water footprint*) (Скрипчук, Судук, 2013; Гальчинський, Вишневецька, 2016; Івашура та ін., 2021). Чимало досліджень здійснено із застосуванням методики розрахунку екологічного сліду. Зокрема, Я. Ю. Богомазюк (2013) використав його, щоб проаналізувати антропогенний вплив у Волинській, Дніпропетровській, Донецькій та Сумській областях. О. В. Барабаш, Я. Ю. Вознюк (2018) дослідили екологічний слід на одну особу Дніпропетровської області та визначили екологічний дефіцит області.

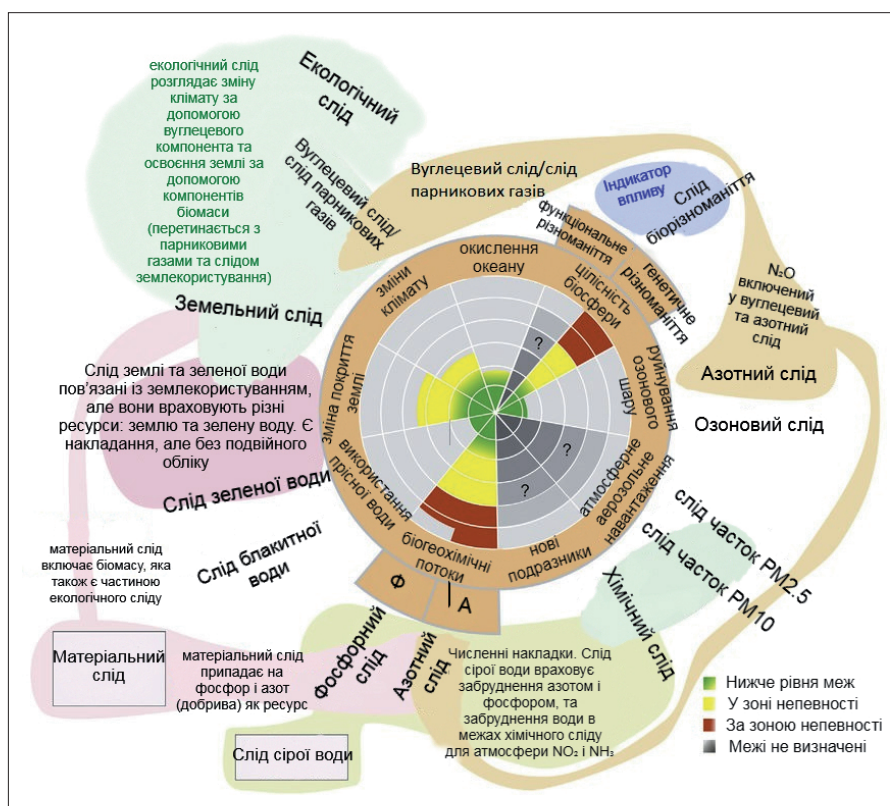


Рис. 2. Відповідність основних індикаторів слідів дев'яти планетним межам із візуалізацією перекриття між різними слідами (джерело: Vanham та ін., 2019)

Fig. 2. Correspondence of the main trace indicators to the nine planetary boundaries with a visualization of the overlap between the different traces (source: Vanham et al., 2019)

Таблиця. Визначення термінів «екологічний слід», «вуглецевий слід», «водний слід» та ін. у науковій літературі
Table. Definition of the terms “ecological footprint”, “carbon footprint”, “water footprint”, etc. in scientific literature

Автор, рік	Тлумачення
1	2
Екологічний слід	
Крусірг та ін., 2012	<i>Екологічний слід</i> – це сума шести складових (рослинний, тваринний, лісовий, рибний, енергетичний та будівельний)
Borucke et al., 2013	<i>Екологічний слід</i> вимірює привласнення землі як для виробництва відновлюваних ресурсів біомаси, так і для поглинання відходів шляхом секвестрації CO ₂
Водний слід	
Скрипчук, Судук, 2013	<i>Водний слід</i> – обсяг води, необхідний для виробництва товарів і послуг (враховує джерело спожитої води, а також час/інтенсивність споживання)
Івашура та ін., 2021	<i>Водний слід</i> – загальний обсяг прісної води, що використовується для виробництва товарів і послуг
Гальчинський, Вишневецька, 2016	<i>Водний слід</i> – показник використання прісної води, з урахуванням як прямих, так і непрямих витрат води для споживача або виробника
Hoekstra & Mekonnen, 2012	<i>Водний слід</i> вимірює як споживання прісної води як ресурсу, так і використання прісної води для асиміляції відходів, де останній компонент називають сірим водним слідом
Вуглецевий слід	
Івашура та ін., 2021	<i>Вуглецевий слід</i> – міра загальної кількості викидів вуглекислого газу, яке прямо або побічно викликано будь-якою діяльністю або нагромаджується на всіх етапах життєвого циклу продукту
Čuček et al., 2015	<i>Вуглецевий слід</i> (або слід парникових газів) – це слід викидів, який вимірює викиди парникових газів, таких як вуглекислий газ (CO ₂), метан (CH ₄) та оксид азоту (N ₂ O) в атмосферу
Земельний слід	
MacDonald et al., 2015; Kastner et al., 2014	<i>Земельний слід</i> вимірює кількість землі, необхідної для постачання продуктів харчування, матеріалів, енергії та інфраструктури, виражену у фізичних гектарах
Wackernagel et al., 2002; Weinzettel et al., 2013	<i>Земельний слід</i> – глобальні гектари Землі (у км ²), необхідні для забезпечення сировиною суб'єктів господарювання
Азотний слід	
Vanham et al., 2019	<i>Азотний слід</i> вимірює викиди реактивного азоту в атмосферу та водойми
Peñuelas et al., 2013; Pelletier & Leip, 2014	<i>Азотний слід</i> – викиди N ₂ , які не створюють додаткового навантаження на довкілля та не залежать від дефіцитних ресурсів, але дають вимірювання для антропогенної мобілізації азоту
Фосфорний слід	
Vanham et al., 2019	<i>Фосфорний слід</i> вимірює як використання фосфору як ресурсу, так і втрати фосфору у водоймах
Хімічний слід	
Hitchcock et al., 2012; Sala & Goralczyk, 2013	<i>Хімічний слід</i> – враховує всі хімічні речовини, викинуті у навколишнє середовище, які в кінцевому підсумку можуть призвести до екотоксичності і токсичного впливу на людину
Moran et al., 2013; Yang et al., 2018	<i>Хімічний слід</i> – це сума відбитків PM2.5 і PM10, які вимірюють забруднення атмосфери твердими частинками

Озоновий слід	
Meyer & Newman, 2018	Озоновий слід – викиди газів, які контролюються або мають контролюватися відповідно до Монреальського протоколу, у зважених кілограмах потенціалу озонowego руйнування
Матеріальний слід	
Wiedmann et al., 2015; Giljum et al., 2015	Матеріальний слід – використання матеріалів з погляду споживання, розподіляючи всю глобально видобуту та використану сировину на внутрішній кінцевий попит
Енергетичний слід	
Mancini et al., 2016; Wiedmann, 2009	Енергетичний слід виражається вуглецевим компонентом екологічного сліду
Onat et al., 2015	Енергетичний слід – кількість енергії, спожитої вздовж ланцюга постачання
Слід біорізноманіття	
Vanham et al., 2019	Слід біорізноманіття – вимірювання втрати біорізноманіття у результаті різних навантажень, таких як використання землі та води або хімічне забруднення
Wilting et al., 2017	Слід біорізноманіття – показник відносної недоторканості біорізноманіття в результаті виробництва продукції чи надання послуг
Moran & Kanemoto, 2017	Слід біорізноманіття – вплив господарської діяльності на цінні види (наприклад, види, внесені до Червоної книги України)
BD Protocol, 2020	Слід біорізноманіття – позитивний та негативний вплив організації та ланцюжка створення вартості на біорізноманіття

Загальноприйнятого визначення «слід біорізноманіття» не має і в зарубіжній науковій літературі. Часто цей термін сприймають як еквівалент втрати біорізноманіття (Vanham et al., 2019), як відносну недоторканість біорізноманіття (напр., зміна середньої чисельності видів) (Wilting та ін., 2017) або втрату «пріоритетних» видів (напр., видів, внесених до Червоного списку ЄС) (Moran, & Kanemoto, 2017). У Протоколі біологічного різноманіття (BD Protocol, 2020) «слід біорізноманіття» визначено як суму позитивних і негативних впливів організації та ланцюжка створення вартості. Відповідно до цього визначення та зважаючи на результати досліджень UNEP-WCMC, Capitals Coalition, Arcadis, ICF, WCMC Europe (2022), «загальний слід біорізноманіття» можна розрахувати за формулою:

$$TBF = PBF + NBF \quad (1)$$

де, *TBF* – загальний слід біорізноманіття як сума площ усіх екосистем в межах інвентаризації активів, отримана з окремих звітів про екосистеми;

PBF – позитивний слід біорізноманіття як сума площ поверхні всіх екосистем, визначених у реєстрі активів або інвентаризації, скоригована відповідно до їх відповідного стану чи цілісності;

NBF – негативний слід біорізноманіття, що розраховується на основі різниці між загальним і позитивним слідом на біорізноманіття бізнесу, загалом або для окремих активів біорізноманіття.

Проаналізувавши результати попередніх досліджень, представлених у табл., пропонуємо розглядати термін «слід біорізноманіття» як вплив то-

вару, компанії, людини чи спільноти на глобальне біорізноманіття, виміряний у термінах зміни біологічного різноманіття в результаті виробництва та споживання певних товарів і послуг.

Розрахунок сліду біорізноманіття можна здійснити на основі одного із трьох підходів (рис. 3), що ґрунтуються на: а) споживанні (*consumption-based*), б) виробництві (*production-based*), в) торгівлі (*trade-based*) (Fang et al., 2016; Dudley, 2021); на різному певному рівні управління – глобальному, регіональному та місцевому; на рівні організації, виду діяльності, окремого ланцюгу постачання, продукції чи споживачу.

Dudley (2021) поділяє інструменти розрахунку сліду біорізноманіття на шість основних груп. Перші дві групи пов'язані з основними даними про біорізноманіття та інструментами, які підтримують вимірювання слідів біорізноманіття, і їх можна розділити на:

1. *Інструменти для синтезу та аналізу даних з метою встановлення ризику для біорізноманіття та можливостей для пом'якшення*: використання глобальних наборів даних для визначення рівнів ризику для біорізноманіття, можливостей для пом'якшення, відновлення та впливу альтернативних сценаріїв розвитку, наприклад, *IBAT*, *InVEST*, *OPAL*, *STAR*, *PREDICTS* та інші. Це не методології розрахунку сліду, але вони можуть відігравати важливу роль, допомагаючи ідентифікувати загрози та навантаження, які можуть виникнути.

2. *Методології, що надають дані та моделі для представлення зв'язку навантаження на біорізноманіття*

маніття з потенційним впливом на біорізноманіття: використання глобальних і регіональних наборів даних щодо ключових навантажень на біорізноманіття, глобальних і регіональних наборів даних щодо біорізноманіття та широкого спектра даних з досліджень для визначення зв'язків між навантаженням і впливом на біорізноманіття. Ці методи та моделі можна застосовувати для розрахунку слідів на основі виробництва, споживання і торгівлі. Сюди можна віднести методи *Life cycle impact assessment* (напр., *ReCiPe*, *LC-IMPACT*, *Impactworld+*), які використовують інвентаризацію життєвого циклу та можуть бути застосовані до різних масштабів (від глобального до продукту), а також такі методи, як *GLOBIO*, які застосовувалися до *EEMRIO* для розрахунку на основі споживання слідів в глобальному і регіональному масштабах.

Решта груп є інструментами, які підтримують застосування інформації про вплив на біорізноманіття в процесі прийняття рішень, і їх можна розділити на:

3. Інструменти, що застосовують аналіз глобальних і регіональних даних для розрахунку слідів: поєднують глобальні набори даних для розрахунку загального сліду для продукту чи регіону (наприклад, *CoSting Nature*, *Bioscope*). Перевага цих мето-

дів полягає в тому, що вони швидкі, доступні, досить прості у використанні та забезпечують широкий огляд, але неминуче спираються на обмежений діапазон індикаторів (і часто не віддають особливого пріоритету біорізноманіттю).

4. Детальні методології для окремих секторів: надають детальні вказівки щодо індикаторів (іноді також щодо джерел інформації) для побудови сліду (напр., індекси агробіорізноманіття та садівництва – *Hortifootprint*). Деякі націлені на певні сектори, такі як садівництво або виробництво цементу, інші – на певні екосистемні послуги або цінності, такі як якість води та агробіорізноманіття.

5. Швидкі системи самооцінювання: на відміну від загалом низхідних підходів багатьох методів, що спираються на глобальні бази даних, розроблено невелику кількість інструментів розрахунку слідів *знизу-вгору*, які в основному спрямовані на послуги екосистем, а не на біорізноманіття, і використовують специфічні дані ділянки для розрахунку впливів (напр., *TESSA* і *PA-BAT*).

6. Інструменти, що окреслюють загальні рамки розрахунку сліду: описують діапазон необхідної інформації, яку потрібно зібрати для розрахунку сліду (напр., *Biological Diversity Protocol*, *Kering's Environmental Profit and Loss Account*).



Рис. 3. Характеристика підходів до розрахунку сліду біорізноманіття продукту (розроблено на основі: Fang et al., 2016; Dudley, 2021)

Fig. 3. Characteristics of approaches to calculating the biodiversity footprint of a product (developed on the basis of: Fang et al., 2016; Dudley, 2021)

Основні відмінності між вищезазначеними інструментами розрахунку сліду біорізноманіття такі (Climate Disclosure Standards Board, 2021; Dudley, 2021):

- специфіка застосування: можуть використовуватись для цільового сектору економіки і/або специфічного підприємства/продукту;
- інтерфейс користувача: можуть включати комп'ютерні моделі або табличний редактор Excel, бази даних, робочі книги, набір структурованих запитань;
- бізнес-застосування: передбачуване використання варіюється від оцінки ризиків і можливостей до порівняння варіантів, кількісної оцінки впливу, встановлення цілей і внутрішньої чи зовнішньої комунікації;
- масштаб: продукт або товар, увесь ланцюжок постачання, фінансовий портфель або конкретна ділянка (наприклад, ферма чи шахта), бізнес-підрозділ, сектор тощо;
- вимоги до введення даних: від інтенсивних вимог до багатьох етапів роботи (обіг, введення ресурсів, виробничі процеси) до загального використання попередньо завантажених баз даних;
- тип аналізу: може містити докладні та зведені звіти, карти, оцінку за вибраним індикатором (біорізноманіття), визначення «гарячих точок» впливу, якісний аналіз ризиків і можливостей;
- додаткові дані: отримані з різних наборів даних, напр., з Червоної чи Зеленої книги України, Червоного списку видів, що перебувають під патронатом Міжнародного союзу охорони природи та ін.;

– методи зв'язку між навантаженням та впливами: напр., оцінка життєвого циклу в порівнянні з оцінкою/обчисленням індексів.

Загалом розрахунок сліду біорізноманіття із використанням вищевказаних інструментів ґрунтується на інформації компанії чи підприємства (фінансових даних або/і даних ланцюжка створення вартості), враховуючи географічний, екосистемний контексти або узагальнені (проксі) зв'язки та дотримуються триетапної послідовності (рис. 4).

Дискусія (Discussion). Збереження біорізноманіття та здоров'я екосистем є складним завданням з багатьма непевностями як з екологічного, так і з економічного погляду. Не існує чіткого консенсусу стосовно найкращого методологічного чи методичного підходу щодо оцінювання різноманітних впливів у сфері виробництва та споживання на стан біорізноманіття. Розрахунок сліду є достатньо перспективним у цьому напрямі. Адже він можливий для різних секторів і на різних рівнях: глобальному, регіональному та місцевому, а також на рівні організації, певного виду діяльності чи ланцюга постачання, окремого продукту чи споживача. Такі розрахунки можуть дати відповіді на питання впливів макроекономічного чи секторального розвитку. Прикладом є дослідження зміни в рушійних силах втрати біорізноманіття, здійснені шляхом поєднання факторів характеристики втрати біорізноманіття із землекористуванням, в якому опиралися на оцінювання загального сліду біорізноманіття країни, сліду біорізноманіття на душу населення та сліду біорізноманіття середнього споживача впродовж періоду часу (Bjelle et al., 2021).

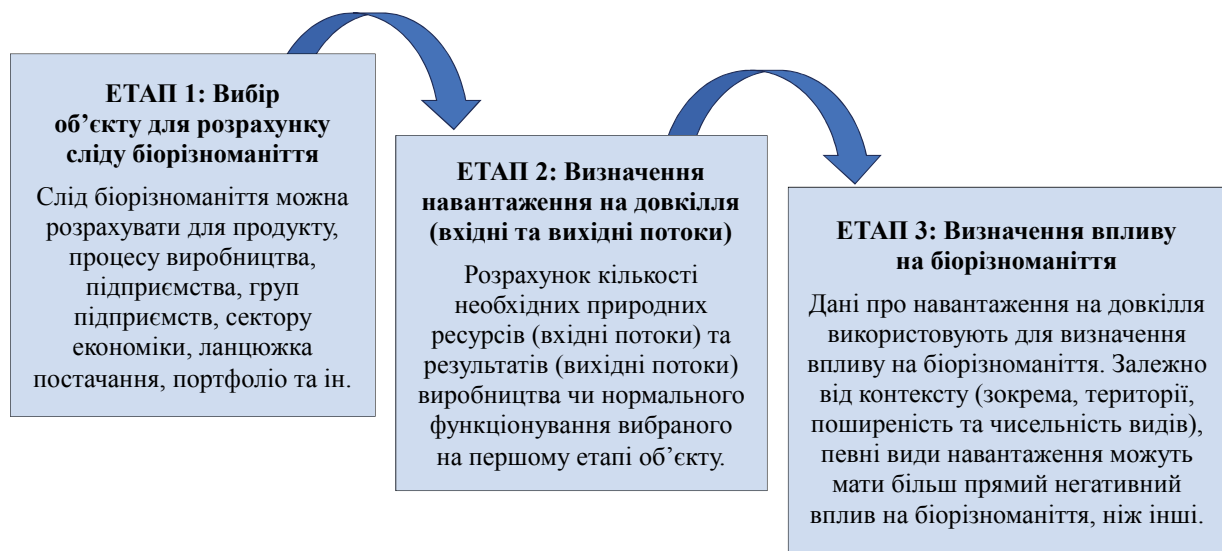


Рис. 4. Послідовність розрахунку сліду біорізноманіття (розроблено на основі: Dudley, 2021)

Fig. 4. Biodiversity Footprint calculation sequence (developed on the basis of: Dudley, 2021)

Лісовий сектор також не є винятком. Як приклад, можна навести здійснений у Німеччині розрахунок «сліду деревини» у контексті розвитку біоекономіки та планетарних меж (Egenolf et al., 2022). Результати дослідження показали, що: а) в мину-

лому гарантувалася безпека постачання круглих лісоматеріалів з власної території; б) на сьогодні Німеччина стала узалежненою від імпорту деревини; в) Німеччина споживає деревину з країн і регіонів, в яких існує висока ймовірність надмірної

експлуатації лісових ресурсів. Тому зростає навантаження на ліси світу – з одного боку через зростання попиту на деревину, з іншого – через збільшення шкоди для довкілля, пов'язаної зі змінами клімату. Дослідження на рівні урбоекосистем – подібні до тих, що проведені для м. Відня (Semenchuk et al., 2023), покращують базу знань про міські потоки біомаси та можуть сприяти розробці критеріїв та інструментів моніторингу для оцінювання впливу на біорізноманіття конкретних продуктів з різних регіонів-постачальників і впливу на біорізноманіття різних ресурсних стратегій.

Висновки (Conclusions). Слід біорізноманіття – індикатор, що може допомогти бізнесу в обґрунтуванні стратегічних підходів, управлінських і технологічних рішень у контексті забезпечення належної екологічної та соціальної відповідальності, зокрема:

- ідентифікувати та оцінити вплив певної діяльності, процесу або продукту на біорізноманіття та зрозуміти, наскільки значним є вплив, і які заходи необхідно впровадити для збереження, відновлення чи мінімізації впливу на біорізноманіття;

- скласти базу інформації, необхідну для планування та прийняття управлінських рішень щодо сталого використання природних ресурсів;

- створити надійну основу для розроблення політики, стратегії та законодавства щодо збереження біорізноманіття. Зокрема, інформація за результатами оцінювання сліду біорізноманіття може бути використана для встановлення меж, стандартів і критеріїв, які регулюватимуть та сприятимуть збереженню біорізноманіття, попереджуватимуть негативний вплив на нього;

- відобразити соціальну відповідальність бізнесу шляхом зменшення негативного впливу та сприяння позитивним екологічним змінам загалом і збереження біорізноманіття зокрема.

Загалом, розрахунок сліду біорізноманіття є важливим інструментом збереження екосистем та природних ландшафтів, забезпечення сталого використання ресурсів внаслідок прийняття екологічно відповідальних рішень.

Подяка (Acknowledgement). Стаття виконана у рамках проекту, що фінансується ЄС – проект «CircHive» (Project 101082081 – CircHive) «Розробка і пілотування слідів біорізноманіття та обліку природного капіталу через “вулик” галузевих центрів для сталого переходу до циркулярної біоекономіки ЄС», що виконується у рамках міжнародної програми «Горизонт Європа» (Horizon Europe. Topic HORIZON-CL6-2022-BIODIV-01-04 (IA). Natural capital accounting: Measuring the biodiversity footprint of products & organisation).

Список літератури (References)

Барабаш, О.В., Вознюк, Я.Ю. (2018). Екологічний слід як індикатор природного капіталу екосистем. *Екологічні науки*, 1(20), 109-113 [Barabash, O., & Vozniuk, Ya. (2018) Ecological footprint as

an ecosystem natural capital indicator. *Ecological science*, 1(20), 109-113. Retrieved from http://eco.j.dea.kiev.ua/archives/2018/1/part_1/22.pdf] (in Ukrainian)

Богомазюк, Я.Ю. (2013). Екологічний слід. Методика оцінки і динаміка в Україні. *Політ. Сучасні проблеми науки: матеріали XIV Міжнарод. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів*, м. Київ, 2-4 квітня 2014 р. Київ: Національний авіаційний університет, Інститут екологічної безпеки, 66 [Bohomazyuk, Ya. (2013). Ecological footprint. Methodology and dynamic in Ukraine. In *Aviation. Modern problems of science Collection of reports of XIV international scientific and practical conference of young scientists and students*, 66. Kyiv: National Aviation University, Institute of Environmental Safety, 66. Retrieved from <https://nau.edu.ua/site/variables/docs/docsmenu/studnauka/polit2013/Збірник%20ІЕБ%202014.pdf#page=66>] (in Ukrainian)

Гальчинський, Л.Ю., Вишневецька, А.О. (2016). Проблеми супутнього використання водного та енергетичного ресурсів в електроенергетиці України. *Інфраструктура ринку*, 2, 221-227 [Galchynskiy, L., & Vishnevskaya, A. (2016). The problems of water and energy resources nexus in power Ukraine. *Market infrastructure*, 2, 221-227. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ifctr_2016_2_46] (in Ukrainian)

Івашура, А.А., Борисенко, О.М., Толмачова, М.В. (2021). Стала харчова поведінка. *Вісник Національного технічного ун-ту «ХПІ»*, 4(10), 88-93 [Ivashura, A., Borysenko, O., & Tolmachova, M. (2021). Sustainable eating behavior. *Bulletin of the National Technical University “KhPI”*, 4(10), 88-93. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2021.04.12>] (in Ukrainian)

Крусир, Г.В., Яшкіна, В.В., Кіріяк, Г.В. (2012). Розрахунок екологічного сліду хлібопекарського підприємства. *Харчова наука та технологія*, 2(19), 91-95 [Krusir, G., Yashkina, V., & Kiriyak, G. (2012). Calculation of the ecological footprint of a bakery enterprise. *Food Science and Technology*, 2(19), 91-95. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnit_2012_2_30] (in Ukrainian)

Про цілі сталого розвитку України на період до 2030 року. Указ Президента України від 30 вересня 2019 р. [About the sustainable development goals of Ukraine for the period until 2030. Decree of the President of Ukraine dated September 30, 2019. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>] (in Ukrainian)

Скрипчук, П.М., Судук, О.Ю. (2013). Водний слід: баланс, збитки, екологічна сертифікація. *Економічні проблеми сталого розвитку: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф., присвяч. пам'яті проф. Балацького О.Ф.* м. Суми, 24-26 квітня 2013 р. Суми: Сумський державний університет, Т. 1, 248-249 [Skrypchuk, P., & Suduk, O. (2013). Water footprint: balance, losses, environmental certification. In *Economic problems of sustainable development: materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Prof. Balatskoho O.F.*, 248-249. Sumy: Sumy State University. Retrieved from <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-down>

- load/123456789/30907/1/Skrypchuk%20P.M._Vodni%20resursy.pdf] (in Ukrainian)
- Bjelle, E. L., Verones, F., & Wood, R. (2021). Trends in national biodiversity footprints of land use. *Ecological Economics*, 185, 107059. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107059>
- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., ... Galli, A. (2013). Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators*, 24, 518-533. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.08.005>
- Butchart, S. H., Walpole, M., Collen, B., Van Strien, A., Scharlemann, J. P., Almond, R. E., ... Watson, R. (2010). Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science*, 328(5982), 1164-1168. <https://doi.org/10.1126/science.1187512>
- Butchart, S. H., Scharlemann, J. P., Evans, M. I., Quader, S., Arico, S., Arinaitwe, J., ... Woodley, S. (2012). Protecting important sites for biodiversity contributes to meeting global conservation targets. *PLoS one*, 7(3), e32529
- Cambridge Dictionary (2023). Footprint. Retrieved from <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/footprint>
- Climate Disclosure Standards Board (2021). CDSB Framework. Application guidance for biodiversity-related disclosures. Retrieved from https://www.cdsb.net/sites/default/files/biodiversity-application-guidance-single_disclaimer.pdf
- Convention on Biological Diversity (CBD) (2006). *Year in Review 2006*. Montreal, 36 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032529>
- Čuček, L., Klemeš, J. J., Varbanov, P. S., & Kravanja, Z. (2015). Significance of environmental footprints for evaluating sustainability and security of development. *Clean Technologies Environmental Policy*, 17, 2125-2141. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-0972-3>
- Dasgupta, P. (2021). The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review. (London: HM Treasury). Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/962785/The_Economics_of_Biodiversity_The_Dasgupta_Review_Full_Report.pdf
- Dudley, N. (2021). Biodiversity footprints in policy and decision-making. Briefing on the state of play, needs and opportunities, and future directions. Institute for European Environmental Policy. 52 p.
- Egenolf, V., Distelkamp, M., Morland, C., Beck-O'Brien, M., & Bringezu, S. (2022). The timber footprint of German bioeconomy scenarios compared to the planetary boundaries for sustainable roundwood supply. *Sustainable Production and Consumption*, 33, 686-699. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.07.029>
- Fang, K., Song, S., Heijungs, R., de Groot, S., Dong, L., Song, J., & Wiloso, E. I. (2016). The footprint's fingerprint: on the classification of the footprint family. *Current Opinions on Environmental Sustainability* 23, 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.002>
- Giljum, S., Bruckner, M., & Martinez, A. (2015). Material footprint assessment in a global input-output framework. *Journal of Industrial Ecology*, 19, 792-804. <https://doi.org/10.1111/jiec.12214>
- Hitchcock, K., Panko, J., & Scott, P. (2012). Incorporating chemical footprint reporting into social responsibility reporting. *Integrated Environmental Assessment Management*, 8, 386-388. <https://doi.org/10.1002/ieam.1288>
- Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 9(109), 3232-3237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>
- Kastner, Th., Erb, K.-H., and Haberl, H. (2014). Rapid growth in agricultural trade: effects on global area efficiency and the role of management. *Environmental Research Letters*, 9, 034015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034015>
- MacDonald, G. K., Brauman, K. A., Sun, S., Carlson, K. M., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., ... West, P. C. (2015). Rethinking agricultural trade relationships in an era of globalization. *BioScience*, 65, 275-289. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu225>
- Maes, J., Paracchini, M. L., Zulian, G., Dunbar, M. B., & Alkemade, R. (2012). Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe. *Biological conservation*, 155, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.016>
- Mancini, M. S., Galli, A., Niccolucci, V., Lin, D., Bastianoni, S., Wackernagel, M., & Marchettini, N. (2016). Ecological footprint: refining the carbon footprint calculation. *Ecological Indicators*, 61, 390-403. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.040>
- Meyer, K., & Newman, P. (2018). The planetary accounting framework: a novel, quota-based approach to understanding the impacts of any scale of human activity in the context of the planetary boundaries. *Sustain. Earth*, 1, 4. <https://doi.org/10.1186/s42055-018-0004-3>
- Moran, D., & Kanemoto, K. (2017). Identifying species threat hotspots from global supply chains. *Nature Ecology and Evolution*, 1, 0023. <https://doi.org/10.1038/s41559-016-0023>
- Moran, D. D., Lenzen, M., Kanemoto, K., & Geschke, A. (2013). Does ecologically unequal exchange occur? *Ecological Economics*, 89, 177-186. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.02.013>
- Newbold, T., Hudson, L. N., Hill, S. L. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A., ... Purvis, A. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520, 45-50. <https://doi.org/10.1038/nature14324>
- Onat, N. C., Kucukvar, M., & Tatari, O. (2015). Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States. *Applied Energy*, 150, 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.001>

- Peñuelas, J., Poulter, B., Sardans, J., Ciais, P., van der Velde, M., Bopp, L., ... Janssens, I.A. (2013). Human-induced nitrogen-phosphorus imbalances alter natural and managed ecosystems across the globe. *Nature Communications*, 4, 29-34. <https://doi.org/10.1038/ncomms3934>
- Pelletier, N., & Leip, A. (2014). Quantifying anthropogenic mobilization, flows (in product systems) and emissions of fixed nitrogen in process-based environmental life cycle assessment: rationale, methods and application to a life cycle inventory. *The International Journal Life Cycle Assessment*, 19, 166-173. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0622-0>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F.S., Lambin, E.F., ... Jonathan, A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Sala, S., & Goralczyk, M. (2013). Chemical footprint: a methodological framework for bridging life cycle assessment and planetary boundaries for chemical pollution. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 9, 623-632. <https://doi.org/10.1002/ieam.1471>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., ... Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*, 347, 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Semenchuk, Ph., Kalt, G., Kaufmann, L., Kastner, T., Matej, S., Bidoglio, G., ... Krausmann, F. (2023). The global biodiversity footprint of urban consumption: A spatially explicit assessment for the city of Vienna. *The Science of the Total Environment*, 861, 16057. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160576>
- The Biological Diversity Protocol (BD Protocol) (2020). National Biodiversity and Business Network – South Africa, 123 p. Retrieved from https://407264.p3cdn1.secureserver.net/wp-content/uploads/2022/05/bdp_final_080321.pdf
- Tittensor, D.P., Walpole, M., Hill, S.L.L., Boyce, D.G., Britten G.L., Neil D. B. ... Yimin, Y.E. (2014). A mid-term analysis of progress toward international biodiversity targets. *Science*, 346, 241-244. <https://doi.org/10.1126/science.1257484>
- UNEP-WCMC, Capitals Coalition, Arcadis, ICF, WCMC Europe (2022) Recommendations for a standard on corporate biodiversity measurement and valuation, Aligning accounting approaches for nature, 61 p. Retrieved from https://ec.europa.eu/environment/biodiversity/business/assets/pdf/2022/Align_Report_301122.pdf
- Vanham, D., Leip, A., Galli, A., Kastner, T., Bruckner, M., Uwizeye, A., ... & Hoekstra, A.Y. (2019). Environmental footprint family to address local to planetary sustainability and deliver on the SDGs. *Science of the Total Environment*, 693, 133642. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133642>
- Wackernagel, M., Schulz, N.B., Deumling, D., Linares, A.C., Jenkins, M., Kapos, V., ... Randers, J. (2002). Tracking the ecological overshoot of the human economy. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 99(14), 9266-9271. <https://doi.org/10.1073/pnas.142033699>
- Weinzettel, J., Hertwich, E.G., Peters, G.P., Steen-Olsen, K., & Galli, A. (2013). Affluence drives the global displacement of land use. *Global Environmental Change*, 23, 433-438. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.010>
- Wiedmann, T. (2009). A first empirical comparison of energy footprints embodied in trade – MRIO versus PLUM. *Ecological Economics*, 68, 1975-1990. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.023>
- Wiedmann, T.O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J., Kanemoto, K. (2015). The material footprint of nations. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 112, 6271-6276. <https://doi.org/10.1073/pnas.1220362110>
- Wilting, H.C., & van Oorschot, M.M.P. (2017). Quantifying biodiversity footprints of Dutch economic sectors: A global supply-chain analysis. *Journal of Cleaner Production*, 156, 194-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.066>
- Wilting, H.C., Schipper, A.M., Bakkenes, M., Meijer, J.R. & Huijbregts, M.A.J. (2017). Quantifying biodiversity losses due to human consumption: A global-scale footprint analysis. *Environmental Science and Technology*, 51, 3298-3306. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b05296>
- WWF (2016). Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity – what is it and why is it important? Retrieved from https://wwf.panda.org/wwf_news/?288810/cbd%2D2016
- Yang, S., Chen, B., Wakeel, M., Hayat, T., Alsaedi, A., & Ahmad, B. (2018). PM2.5 footprint of household energy consumption. *Applied Energy*, 227, 375-383. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.048>

Product biodiversity footprint: theory and estimation methodology

O. Pelyukh¹, I. Soloviy², O. Kiyko³, M. Ilkiv⁴,
T. Chelepis⁵, V. Lavnyy⁶

As human needs for natural resources are rapidly increasing, and the ability of the biosphere to recover and function normally is becoming less and less, there is a need for a better understanding of tools for empirically measuring the impact on the environment and biodiversity in particular, which can be used in different contexts (e.g. ecological, carbon, water or biodiversity footprint). The use of these and other tools can detect early warning signs and predict the consequences of environmental stress, thus slowing the critical transition of planetary boundaries.

The aim of the article is to study the theoretical provisions and essence of the concept of “biodiversity footprint” and establish the key aspects of its calculation methodology.

The definition of the term “*biodiversity footprint*” in national and foreign scientific literature is considered. Having analyzed previous studies, it is proposed to define the biodiversity footprint as the impact of a product, company, person or community on global biodiversity, measured in terms of changes in biological diversity as a result of the production and consumption of certain goods and services.

The main approaches and instruments for calculating the biodiversity footprint have been identified and analyzed. It has been established that the calculation of the biodiversity footprint can be carried out on the basis of one of three approaches based on: a) consumption-based, b) production-based and c) trade-based, and at a different specific level management and: global, regional and local, as well as at the level of the organization, activity, individual supply chain, product or consumer.

The article examines six main groups of biodiversity footprint calculation tools and identifies key differences between them. It is concluded that, in general, the calculation of the biodiversity footprint using the above tools is based on company or enterprise information (financial data and/or value chain data), taking into account geographic, ecosystem contexts or generalized (proxy) relationships and follows a three-step sequence.

The conclusion is made about the feasibility of applying the biodiversity footprint as an indicator for different sectors and at different levels of management, different activities or supply chains, as well as for an individual product or consumer. It has been also established that the biodiversity footprint as an indicator can help business in justifying strategic approaches, management, and technological decisions in the context of ensuring proper environmental and social responsibility. It is concluded that the calculation of the footprint of biodiversity is an important tool

for preserving ecosystems and natural landscapes, ensuring the sustainable use of resources as a result of making environmentally responsible decisions.

Key words: product footprint; environmental impact; biodiversity impacts; sustainable production and consumption.

- ¹ *Oksana Pelyukh* – PhD, Assistant Lecturer at the Department of Ecological Economics and Business. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-096-748-82-70. E-mail: pelyukh.o@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1889-3623>
- ² *Ihor Soloviy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Vice-president of the FAS of Ukraine, Doctor of Economic Sciences, Professor at the Department of Ecological Economics and Business. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-287-03-88, +38-097-284-08-81. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5885-6264>
- ³ *Orest Kiyko* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-238-45-04, +38-067-989-80-88. E-mail: orest.kiyko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5504-0278>
- ⁴ *Mykhailo Ilkiv* – Assistant Lecturer at the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-097-855-25-03. E-mail: mykhailo.ilkiv@nltu.edu.ua
- ⁵ *Taras Chelepis* – PhD Student at the Department of Ecological Economics and Business. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-093-348-89-72. Email: taras.chelepis@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3845-4211>
- ⁶ *Vasyl Lavnyy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Vice-president of the FAS of Ukraine, Doctor of Agricultural sciences, Vice Rector for Research. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-098-859-72-07. E-mail: lavnyy@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-9026>