

ЕКОНОМІКА ЯК НАУКА. ТЕОРІЯ, ПОЛІТИКА І ПРАКТИКА

DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/ves.2021.61.0.6101>

УДК 65:502/504(075.8)

JEL Classification: E60

ФІЗИЧНА (ПРОСТОРОВА) МАКРОЕКОНОМІКА У СИСТЕМІ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ НАУКИ

Лідія Гринів

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
79008, м. Львів, просп. Свободи, 18*

e-mail: lidiya.hryniv@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7720-6504>

Анотація. *Мета статті – розкрити зміст нового, обґрунтованого нами, напряму досліджень у системі фундаментальної економічної науки – фізичної (просторової) макроекономіки для екологічно сталого розвитку світу.*

Досліджено основи формування (становлення) фізичної макроекономіки сталого розвитку, яка розширює систему координат досліджень в економічній науці, оскільки враховує параметри фізики наземного простору біосфери в економічному розвитку. Об'єктом дослідження фізичної макроекономіки є складні просторові екологосоціогосподарські системи (ЕСГС), в ядрі яких – наземні екологічні системи, що характеризуються певним обсягом біофізичної продуктивності поверхні Землі. Фізична макроекономіка досліджує моделі сумірності біофізичних і вартісних оцінок на шляху до формування економіки сталого розвитку.

Запропоновано фізико-економічну парадигму формування економіки сталого розвитку, яка, на відміну від існуючих, враховує природні джерела початкового циклу збагачення в економіці. Це дає підстави для методологічних змін у теорії вартості та побудови якісно нової моделі монетарної економіки для вирішення проблем Sustainability.

Фізична (просторова) макроекономіка – інтегральна (синтезуюча) наука, що застосовує трансдисциплінарні підходи до дослідження причинно-наслідкових зв'язків у складних стаціонарних екологосоціогосподарських системах різного ієрархічного рівня. Нові евристичні моделі в ній базуються на синтезі законів фізики, біології, геоботаніки, геохімії, ландшафтознавства, біофізики та економіки. Обґрунтовано фізико-економічну модель сталого розвитку, яка побудована на методі функції екологічної пропозиції Землі та націлена на збереження півки життя. Ця функція фіксує оптимальний обсяг продуктивності капіталу Землі, який можна отримати за його заданого обсягу і площі наземної екологічної системи. Це дало змогу обґрунтувати та визначити нові фізико-економічні моделі екологічно сталого розвитку ЕСГС держави.

Ключові слова: *фізична (просторова) макроекономіка, функція екологічної пропозиції Землі, капітал Землі, фізико-економічне моделювання, екологічно сталий розвиток, стійкість біосфери Землі, нові фізико-економічні знання, плівка життя та її збереження, природний ринок екологічних благ.*

Постановка проблеми. Сьогодні виникли якісно нові процеси та явища, які змінили «обличчя» світової економіки. Окрім пандемії Covid-19 та кліматичних змін, що розгортаються, спостерігається проблема суттєвого зниження обсягу наземної продукції фотосинтезу, що є свідченням втрати відновлювальних функцій простору біосфери Землі, зокрема її плівки життя. З огляду на це потребують вирішення ті питання, які ще недавно трактувались як суто зовнішні ефекти та такі, що не варті уваги.

Донедавна діяльність дослідників економічного розвитку світу була націлена лише на інноваційні зміни. Вони вважали науково-технічний прогрес його пріоритетним чинником. Починаючи від А. Сміта і включно до Р.Солоу, в економічній теорії значну увагу приділяли визначенню нових технологічних змін як головної передумови економічного прогресу та вдосконалення фінансових відносин у державі.

Однак з початку ХХІ ст., що принесло з собою потужні природні та зокрема кліматичні зміни, які, як виявилось, також мають суттєвий вплив на розвиток економіки та встановлення нового світового порядку, стало очевидним, що циклічний характер економічного розвитку зумовлений не лише ендегенними впливами на виробництво інноваційних змін, а й такими ж впливами природних (кліматичних) змін.

Сьогодні стандартні курси з неокласичної макроекономіки досліджують економіку як систему так, якби вона функціонувала в природному вакуумі. Насправді ж економіка є компонентою складної живої системи – плівки життя (за В. Вернадським) і перебуває у функціональній залежності від параметрів фізики простору біосфери, який створює ресурсопотоки енергії, сировини, матеріалів, нестача яких зумовлює в ній інфляційні процеси. Все це підтверджує те, що економіка екологічно сталого розвитку, на відміну від економіки зростання, має базуватись на синергетичній парадигмі, оскільки має характеризуватися синергетичною ефективністю.

Отже, сучасна криза в світовій економіці зумовлена:

- світоглядною кризою сучасної економічної науки, яка базується на філософії редуccionізму;
- недостатністю знань неокласичної та неокейнсіанської економічної науки щодо вирішення проблем *sustainability* та запобігання кліматичним змінам;
- виникненням нового біосоціального колообігу в біосфері, що пов'язаний зі зростанням потужності (тиску) світової економіки на поверхню Землі.

У зв'язку з цим, на нашу думку, економіка, крім виробничих функцій, має виконувати функцію перетворення біоінформації, що надходить з Космосу до поверхні Землі, в ефективну роботу. Отже, набуває значення розвиток системно-синергетичної методології вивчення економіки як складної системи – де господарські підсистеми функціонально залежні від стану відтворення природи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо, філософія редуccionізму є методологічною настановою, що полягає у зведенні складного до простого. Тобто,

це філософія спрощеного трактування світу, втім числі – економічного. Можна узагальнити, що редукціонізм у неокласичній і неокейнсіанській економічній науці:

- спрощує дослідження та сприяє новим методологічним помилкам в економічній науці;
- звужує координати досліджень в теорії економіки природного капіталу;
- не враховує реалії XXI ст., кліматичні зміни, нові сценарії тощо;
- нав'язує модель цифрової економіки як якісно нову модель (насправді, лише за формою, а не за змістом) так як комп'ютерна графіка (графічний дизайн) в архітектурі, з якого випадає матеріальна основа економіки. Наслідок – віртуальний капітал забезпечує більші прибутки, ніж реальний;
- ігнорує той факт, що між парадигмами економічного зростання та економіки екологічно сталого розвитку є суттєві цільові та методологічні відмінності: якщо в основі першої – є закон зростання людських потреб та суб'єктивний вибір споживача, то друга має враховувати обмеження в масштабах господарювання, що базуються на законах природи. Це наводить на думку, що настав час для суттєвих змін у фундаментальній економічній науці. Про це наголошувалось на відомих міжнародних форумах, утім числі і у Ювілейній звітній доповіді Римського клубу та Економічному форумі в Давосі [18; 20].

Про це говорив і лауреат Нобелівської премії Ф. Содді. Він слушно зауважив, що фундаментальною помилкою класичної економічної науки є переплутування багатства (величини, яка має скінченний фізичний розмір) з боргом (суто математичною величиною). Панівною пристрастю цієї науки, як вважав учений, є перетворення багатства на борг для отримання від нього постійного доходу – перетворення багатства, яке зникає, на борг, який продовжує існувати, борг, який приносить вічні відсотки [6]. Він, зокрема вважав, що «принципи та етика людських законів і традицій не повинні йти проти принципів та етики термодинаміки» [7]. Вчений слушно наголошував: якщо до XIX ст. людство і його економіка жили за рахунок енергетичних надходжень (сонячного світла, захопленого рослинами – «початковими капіталістами»), то сучасне людство змінює ці надходження через споживання енергетичного капіталу (наприклад, вугілля, нафти, тобто «сонячного світла, накопиченого впродовж багатьох палеозойських літ») [7].

Зараз, коли триває нескінчений конфлікт між економічним зростанням і збереженням біорозмаїття (життя), ця проблема може бути вирішена, на нашу думку, лише за допомогою адекватного оцінювання вартості. Отже можна стверджувати, що це зростання є загрозою не лише для збереження біорозмаїття (а отже, життя). Це також є загрозою тривалому функціонуванню економіки. Тому першочерговим завданням на шляху вирішення проблем екологічного сталого розвитку світу є розширення системи координат методологічного підґрунтя фундаментальної економічної науки та розвиток фізики маржиналізму. Парадокс полягає в тому, що прикладна економіка в цьому напрямі розвивається швидше, без належного теоретико-методологічного підґрунтя.

Отже, мають змінюватися філософські основи наукових пошуків у новітній фундаментальній економічній науці – гносеологія все ширше має бути доповнена інструментарієм онтології. Завдяки застосуванню інструментарію онтології людина не

лише є пасивним спостерігачем реальності та споживачем економічних благ, а й стає «геологічною силою» за В. Вернадським, що своєю діяльністю суттєво змінює дійсність. Це має знайти відображення в наукових дослідженнях у системі фундаментальної економічної науки. На жаль, в Україні економіку сталого розвитку розвивають поодинокі вчені і торкаються здебільшого тих аспектів, що стосуються вирішення її прикладних проблем [9; 11; 15]. Не виконується також рішення колегії МОН України №10/5-4 від 27.11.2015 «Про екологізацію вищої освіти України з метою підготовки фахівців для сталого розвитку». Заклади вищої освіти України ще дуже мляво запроваджують в освітній процес такі навчальні дисципліни: «Економіка сталого розвитку», «Еколого-економічні теорії», «Економіка кліматичних змін», «Фізична економія», «Економіка збереження біорозмаїття», «Економіка природокористування» тощо.

Водночас у наукових дослідженнях зарубіжних вчених еколога-економістів ці питання розглядаються здебільшого в ізольованих одна від одної наукових дисциплінах. Дискурс про просторову стійкість поверхні Землі (Кіссенджер і Різ, 2011) [23] зосереджується на обліку потоків природних ресурсів з використанням екологічних слідів (Вайнцеттель та інші, 2014) [30] або щодо привласнення людьми чистої структури первинного виробника в живій природі (Ерб та інші, 2009) [19]. Політичні екологи зосереджені на соціальних наслідках змін в землеволодінні (Рулли та інші, 2013) [27]. Міжнародні інституції (ЮНЕП тощо) зацікавлені в оцінці екосистем планети [19]. Однак більшість підходів до таких оцінок базуються або на антропоцентризмі, а отже, ігнорують обмінні потоки, які існують у живій природі біосфери Землі (Паскуаль та інші 2017; Шретер 2016) [25]. Варто зазначити, що з часу прийняття необхідності економічної оцінки екосистем тисячоліття (2005) в наукових школах світу визнана суттєва відмінність між соціальними системами та природними екосистемами в контексті застосування ціннісних орієнтирів щодо корисності їхніх активів. Деякі дослідники обґрунтували різні масштаби вивчення економіки екосистемних послуг та їх класифікацію (Костанза) [17]. Проте наведені вище підходи дотримуються антропоцентричної світоглядної філософії та ігнорують міждисциплінарні наукові дослідження та вчення про плівку життя В. Вернадського [2; 3; 4].

Також є цікаві підходи стосовно побудови якісно нових моделей економіки екологічно сталого розвитку, та, зокрема, економіки запобігання кліматичним змінам. Особливо цінною, на нашу думку, є, запропонована всесвітньо відомим американським вченим Г. Дейлі, парадигма стаціонарної економіки. Як слушно вважає Г. Дейлі, «Прийняття стаціонарної економіки на макрорівні (хоча, звичайно, дозволяючи при цьому покращити розподіл на мікрорівні), допомагає нам уникнути поштовху за межі екологічного ліміту».

Г. Дейлі вважає, що «переважаюча одержимість економічним зростанням ставить нас на шлях екологічного колапсу, жертвуючи самою підтримкою нашого добробуту та виживання. Щоб змінити цю зловісну траєкторію, ми повинні перейти до стабільної стаціонарної економіки, орієнтованої на якісний розвиток, на противагу кількісному зростанню та враховувати взаємозалежності людської економіки та глобальної екосфери» [24].

Постановка завдання. Мета статті – розкрити зміст нового, обґрунтованого нами, напряму досліджень в системі фундаментальної економічної науки – фізичної (просторової) макроекономіки для екологічно сталого розвитку світу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ми підтримуємо і долучаємось до цієї ідеї з деяким доповненням – новітньою фізико-економічною методологією, яку свого часу започаткував український вчений С. Подолинський [6]. Вважаємо, що, розвиваючи цю методологію зараз та враховуючи новітні досягнення в природничих науках, можна підійти до створення системи ефективного, превентивного за своїм змістом, менеджменту запобігання кліматичним змінам, що передбачає уникнення нових природних змін у наземних екологічних системах і збереження їхньої природної продуктивності, а отже, забезпечення стійкого функціонування півки життя, тобто, і життєпідтримувальної економіки. Цього можна досягнути, на нашу думку, лише шляхом інтеграції розвитку різних природничих і соціальних наук, що стосуються природо-господарських відносин, та імплементації в систему вартісних параметрів реальної та монетарної економіки об'єктивних біофізичних критеріїв збереження біомаси живої речовини, що дасть змогу підвести до спільного знаменника біофізичні та вартісні оцінки стійкості екосоціогосподарського простору (ЕСГП) півки життя.

Отже, усунути цю антропоцентричну помилку можна, якщо розширити систему координат дослідження теорії макроекономіки. Як ми вже зазначали, першим кроком на шляху до цього має бути парадигма вбудови економіки в простір біосфери [6]. Ця парадигма базується на врахуванні параметрів фізики її наземного простору, оскільки надзвичайно важливим завданням новітньої економічної науки є оцінка стану збереження енергетичного забезпечення біогеоценозів та імплементації в макроекономічний аналіз індикаторів біофізичної продуктивності екосистем ландшафтів.

Адже темпи втрат від природних, зокрема кліматичних змін, значно вищі за темпи зростання світової економіки. За середньорічного зростання світового валового продукту на 5% щорічні втрати від природних змін зростають майже на 30%. Водночас знижується обсяг наземної продукції фотосинтезу через високу просторову природомісткість світового господарства. Економіка конкурує з природою, бо дедалі більше займає ті ніші, які мають належати природним популяціям.

Отже, виникає питання: як у процесі господарської діяльності підтримувати структуру кожної наземної екосистеми, щоб вона продовжувала бути стійким джерелом ресурсів для економіки і не втратила здатності продукувати екологічні блага? Адже сьогодні вона не залучена у вартісні відносини, бо немає механізму ціноутворення на такі послуги. Проте треба врахувати, що особливостями її функціонування є рівень трофічної ефективності, фізичні характеристики природовідтворювальних функцій (екологічних послуг), які залежать від обсягу біомаси живої речовини. Тому для неї властиві біофізична та геохімічна «продуктивні» функції. Ці функції мають стати об'єктом фізико-економічного моделювання, тому що, на відміну від виробничої функції в неокласичній науці, ці функції є просторовими функціями, бо враховують детермінанти фізики простору наземної біосфери [6; 7].

Всі ці проблеми, що потребують свого вирішення, зумовлюють необхідність перегляду та розвитку деяких постулатів теорії макроекономіки як галузі фундаментальної економічної науки (ФЕН).

По-перше, об'єктом дослідження макроекономічного аналізу вже не можуть бути лише господарські (економічні) системи, оскільки існує тісна взаємозалежність між природними (кліматичними) змінами та економічними коливаннями. Сьогодні особливо актуально навчитися попередити негативні природні зміни, які пов'язані з антропогенною діяльністю. Для цього потрібно знайти методи сумірності біофізичних і вартісних оцінок.

По-друге, функціонування економіки в межах глобальної екосистеми, що характеризується обмеженими можливостями виробництва чистої води та продукції наземного фотосинтезу, має потребу переглянути побудову макроекономічних моделей, які мають ґрунтуватися на закономірностях розвитку природничих процесів кожної локальної території.

По-третє, в сучасних умовах зниження біологічної продуктивності екосистем півки життя, економіка не може обмежуватися виконанням лише виробничої функції. Для неї найважливішим стає виконання функції – функції збереження просторового, за своєю сутністю, капіталу Землі, у межах кожної ЄСГС.

На жаль, світ переживає не лише фінансово-економічну й екологічну, а й системну світоглядно-духовну кризу, бо не може забезпечити розв'язання тих проблем, які виникають і турбують людство. В цих умовах, очевидно, виникла потреба в зміні світоглядних засад економічної науки та розвитку її новітньої філософії. Реалізація цього завдання потребує формування якісно нової культури та філософії економіки, яка б базувалась на постулатах християнської етики в людському суспільстві та господарстві, опираючись на світоглядну основу природоцентризму. Тому аналіз економічної науки як традиції та діяльності, що направлені на продукування нового знання, потребує врахування їх мінливості в часі і просторі. Тобто, досліджуючи закономірності розвитку новітнього економічного наукового знання, треба опиратися на нові уявлення про світ і досягнення не лише суспільних, але й природничих наук.

Неефективність неоліберальної моделі світової економіки підтверджують також невдачі світової фінансової системи та маркетингових стратегій, що дедалі частіше блокуються квазіраціональною поведінкою споживачів на ринку товарів і послуг. Все це у підсумку приводить до поглиблення соціальної та економічної нерівності, виснаження природних ресурсів, нарощування обсягу природних катаклізмів, стихій і катастроф як наслідку деградації навколишнього природного середовища (НПС).

Примітивність ортодоксального ринкового фундаменталізму полягає ще і в тому, що ринки реагують на споживчі потреби населення лише тоді, коли вони підтримуються його купівельною спроможністю (силою). Якщо ж така сила знижується (наприклад, під час пандемії), то ринки не є чутливими до їхніх потреб, а отже, ігнорується критерій соціальної та економічної оптимальності. Водночас антропоцентрична світоглядна основа теорії ринкової економіки є причиною повного ігнорування критеріїв екологічної оптимальності.

Як відомо, теорія макроекономіки виникла після Великої депресії, а отже, є досить молодою наукою [10]. Очевидно, що в процесі розвитку змінювалися орієнтири та функції, бо змінювався світ. До Дж. Кейнса основним завданням держави в економіці було створення умов для розвитку ринку. Водночас кейнсіанська наукова школа внесла деякі корективи: держава має виходити на ринок і брати на ньому активну участь – купувати, продавати тощо. Закономірно виникає питання: як мають змінитися орієнтири та функції теорії макроекономіки в умовах перманентно існуючих світової фінансово-економічної та екологічної криз, які є атрибутами XXI століття? Чи в цих умовах достатніми є визначені неокласичною та некейнсіанською науковими школами традиційні функції макроекономіки?

Згідно з постулатами некейнсіанської школи основними функціями теорії є ті, що виявляють принципи та шляхи, якими держава має керуватися в економіці щодо вирішення таких проблем [1]:

- 1) спад виробництва;
- 2) безробіття (проблема неповного використання ресурсів, що їх має суспільство);
- 3) ціни на блага – інфляція, дефляція тощо;
- 4) ціни на ресурси (заробітна плата, %);
- 5) взаємовідносини національної економіки та зовнішнього економічного середовища, а саме:
 - а) закрита економіка – експорт, імпорт;
 - б) відкрита економіка – валютний курс, торговельний баланс;
 - в) фактори виробництва (праця, капітал, технологія).

Саме ці показники описують стан національної економіки загалом. Макроекономічний аналіз допомагає з'ясувати, як вийти з незадовільного стану національної економіки, які «ліки» потрібні їй в умовах нестабільності [1; 10; 12].

Сучасні підручники пов'язують предмет неокласичної макроекономіки не стільки з багатством, скільки з вибором (економіка – це наука про вибір) [1; 13]. Головне, мовляв, це розподілення економічних ресурсів так, щоб вийти на максимум виробництва ВВП. Оскільки ресурси обмежені, то виникає проблема вибору, і це надає ресурсу економічний сенс, бо ціна необмеженого ресурсу = 0. Що більше ресурс обмежений, то вища його ціна. Водночас існуюча сьогодні системна криза світової економіки є свідченням того, що виникли певні якісно нові умови, які зумовлюють у ній циклоутворення, а отже, впливають на стан її відтворення. Що можна зачислити до цих якісно нових чинників розвитку економіки у XXI столітті?

Це передусім дедалі більша дефіцитність не лише ресурсів природного середовища, а й відновлювальних функцій всієї наземної біосфери, через втрату нею біомаси живої речовини екосистем як капіталу Землі. Отже, об'єктивний сучасний світ потребує відновлення реальності в теорії макроекономічного аналізу, через врахування в ньому нового чинника – капіталу Землі та його продуктивності в наземній біосфері. Адже економічна теорія використання простору (*spatial economies*) зосереджує свою увагу лише на таких величинах економічного життя: відстані, площі та функції транспортних

витрат. Як влучно висловився з цього приводу У. Ізард, вся класична та неокласична економічна теорія обмежилася вивченням країни чудес, абстрагованої від будь-яких природно-просторових характеристик [7]. Проте саме через дослідження просторової функції природної продуктивності поверхні Землі в економіці, можна підійти, на нашу думку, до збалансування різновекторних «інтересів» природи та економіки. У цьому контексті йдеться про обґрунтування якісно нової просторової парадигми формування економіки сталого розвитку, яка за своєю сутністю є фізико-економічною парадигмою.

Розглянемо ці питання детальніше.

Враховуючи вчення В. Вернадського про біосферу та її наземну оболонку – плівку життя, стійке співіснування її та економіки можливе лише за умови збереження біофізичної продуктивності плівки життя. Це її «виробнича» функція – виконання реакції фотосинтезу та створення нової біомаси (фітомаси) живої речовини.

Енергія фотосинтезу, яку М. Руденко назвав енергією прогресу, є первинним джерелом створення доданої вартості природного походження [6]. Тут формується початковий цикл збагачення економіки.

Отже, плівка життя – шар живої речовини, сукупність наземних і поверхнево-водних біоценозів, що, продукуючи щорічну продукцію живої речовини, є першоосновою для створення нових природних ресурсопотоків для економіки, які можна вважати природними інвестиціями в її розвиток. Зростання попиту на ці інвестиції зумовлює сучасну економіку розглядати в тривимірному просторі плівки життя, тобто в екологосоціогосподарському просторі, в ядрі якого функціонують наземні екологічні системи (НЕС).

Ця цілісна динамічна планетарна система, що складається з природних і соціоекономічних підсистем, які є її територіальними компонентами, має стати, на нашу думку, об'єктом дослідження новітньої макроекономічної науки. Така необхідність зумовлена тим, що зниження рівня організованості біосфери має деякі граничні значення, які не можна переступати, провадячи економічну діяльність. Цими граничними значеннями, що мають стати об'єктом моделювання просторово-економічних процесів, є енергетичні критерії стійкості біосфери, які, згідно з постулатами нерівноважної термодинаміки, стають параметрами збереження її природної впорядкованості, тобто негентропії [6]. Це дало нам змогу обґрунтувати поняття «екологічна пропозиція Землі» як функцію обмінних природних процесів, що відбуваються в ландшафтах [7].

З погляду термодинаміки кожен ландшафт – це відкрита, нерівноважна, стаціонарна система з механізмом зворотного зв'язку. Очевидно, що в ландшафтах, які мають багато вільної (біогеохімічної за В. Вернадським) енергії, тобто там, де розщеплюється велика кількість органічної живої речовини, спостерігається значне біорізноманіття і складність природних систем [8]. Таке розмаїття природи характеризується значною диференціацією, геохімічною контрастністю, інтенсивністю міграції хімічних елементів, що є джерелом нарощування потенціалу працездатності ландшафту. Усе це свідчить про те, що жива речовина має властивість зменшувати ентропію природного ландшафту, тобто підвищувати негентропію. Як основна передумова (джерело) для здійснення «роботи» природи в ландшафтах, саме жива речовина відіграє роль капіталу в конкретному ландшафті, а отже, – і в цілому, у біосфері.

Кількісною мірою живої речовини є біомаса та її щорічна продукція. Біомасою є кількість живої речовини, що припадає на одиницю площі чи обсягу місцезнаходження (г/м: кг/га, г/м тощо). Щорічна продукція живої речовини, як відомо, це фактичний приріст біомаси на одиницю території за одиницю часу (наприклад, т/га за добу чи рік). Тобто, це той обсяг додаткової вартості, джерелом якої є природа наземного простору біосфери. Ці індикатори мають знайти відображення в моделях новітньої макроекономіки, щоб запобігти ризикам втрати новоствореної додаткової вартості через відсутність відповідного обліку й оцінки. Неврахування вартості новоствореної продукції живої речовини, як капіталу Землі, є причиною «кривого віддзеркалення» подальших процесів, що відбуваються в економіці. Це у підсумку призводить до виникнення нових спіралей інфляції та кризових явищ у ній, які не можна подолати за допомогою позик із міжнародних фінансових інституцій.

Водночас жива речовина ландшафтів бере безпосередню участь у формуванні природних ресурсів (вапняки, крейда, газ, нафта), які є сировиною для економіки. Отже, саме живу речовину ландшафтів, яка є запасом (фондом), що формує ресурсопотоки для біосфери й економіки, а не їхні природні ресурси, на нашу думку, треба трактувати як капітал Землі K_n в економіці. Його збереження потребує введення в макроекономічний аналіз просторової координати, бо особливо важливо в цих умовах оцінити корисність збереження біофізичної працездатності цього капіталу в просторі півки життя. У цьому контексті актуальним є, на нашу думку, дослідження взаємозалежностей між енергетичним та матеріальним еквівалентом капіталу Землі і допустимим обсягом економічної діяльності в просторі.

З погляду термодинаміки цей капітал кожної ландшафтної системи можна трактувати як запас (акції) вільної енергії F , яка, залежно від стану нагромадженої природної впорядкованості σ і неупорядкованості S , формує потенціал працездатності такої системи. Отже, екологічну пропозицію Y_n можна розглядати як функцію енергетичного еквівалента капіталу Землі

$$Y_n = f(K_n) = f(F) = f(E + T_\sigma - TS_R), \quad (1)$$

де E – внутрішня енергія ЕСГС; T – температура; σ – негентропія в ЕСГС; S_R – ентропія в ЕСГС, зумовлена виконанням біофізичної та економічної роботи.

Тоді умовами екологічно збалансованого розвитку просторової ЕСГС будуть

$$T_\sigma \geq TS_R. \quad (2)$$

Негентропійна функція капіталу Землі запобігає розсіюванню екосистемної організації, і отже, є просторово та часово локалізованим критерієм для стійкого використання природних ресурсів. Негентропійна функція може бути кількісно виражена як потенціал біофізичної впорядкованості системи, визначений як різниця між наявним рівнем ентропії у нерівноважній термодинамічній системі та кінцевим потенціальним рівнем її ентропії у стаціонарному стані. Отже, умова стійкої

продуктивності капіталу Землі може визначатися як умова збереження або зростання біофізичної впорядкованості. З економічного погляду це означає, що через зниження обсягу споживання, необхідного для компенсації виробництва ентропії в системі, цьому відповідає наявність позитивної енергетичної ціни

$$\sigma - e_n = P_o > 0, \quad (3)$$

де P_o – ціна біофізичної впорядкованості (у енергетичному вираженні).

Стационарний стан кожної ЕСГС визначається подібно до визначення стійкого стану у моделі зростання Солоу (1956), як точка конвергенції у накопиченні капіталу Землі для екзогенно визначеного коефіцієнта заощаджень, що може бути записано як умова

$$dY_n/dP = 0. \quad (4)$$

За сталої кількості внутрішньої енергії системи, функція екологічної пропозиції може переформулюватись як $Y_n = f(P_o)$. Тоді рівень виробництва ентропії, що визначається термодинамічною роботою у системі, залежить від енергетичної ціни біофізичної впорядкованості. Виробництво ентропії знижує вільну енергію системи, еквівалентно до знецінення капіталу в моделі Солоу

$$dP_o = d\sigma - de_n, \quad (5)$$

$e_n = h * P_o$, де h – коефіцієнт знецінення капіталу Землі;
 $Y_n = C_n + S_n$, де S_n – коефіцієнт його заощадження у ЕСГС.

Отже, потік негентропійних «інвестицій» у системі визначається як її коефіцієнт заощадження та наявною екологічною пропозицією Землі.

Для умови стаціонарного стану

$$dP_o = \sigma - h * P_o = 0 \quad (6)$$

$$P_o^* = \sigma / h. \quad (7)$$

Подібно до моделі Солоу, стационарний стан досягається за рівня енергетичної ціни біофізичної впорядкованості P_o^* . Це потребує збалансованості між продуктивністю капіталу Землі та коефіцієнтом його знецінення, тобто $MPC = h$.

Отже, максимально корисна «робота» природних підсистем півки життя завжди пов'язана з термодинамічними функціями вільної енергії F , обсяг якої просторово детермінований. Виробнича функція кожної локальної ЕСГС похідна від термодинамічних функцій вільної енергії її капіталу Землі. Саме збереження цієї енергії визначає працездатність природної підсистеми, а отже, – й працездатність кожної ЕСГС. На макроекономічному рівні це означатиме, що обсяг ВВП, створеного в національній економіці, зумовлений не лише суто економічними компонентами

$$Y = C + I + G + NX, \quad (8)$$

де C – споживання; I – інвестиції; G – державні закупівлі; NX – чистий експорт, а й біофізичними компонентами агрегованого показника сукупної екологічної пропозиції ЕСГС держави Y_n

$$Y_n = C_n + I_n - S_n. \quad (9)$$

Тут C_n – пропозиція внутрішньої енергії в процесі біофізичної та соціоекономічної роботи в ЕСГС держави; I_n – інвестиції негентропії, що надходить з енергією Сонця; S_n – обсяг ентропії, що утворюється у зв'язку з виконанням в ЕСГС біофізичної та соціоекономічної роботи.

Ця енергетична структура екологічної пропозиції Землі зумовлює її речовинну структуру. Згідно з законом збереження біомаси, $Y_n \max$ при $I_n 1$.

Отже, екологічна пропозиція Землі в кожній ландшафтній системі є тим індикатором, що відображає її біофізичну продуктивність, яка характеризується певною диференційованістю згідно з законом про просторову неоднорідність біосфери. Для кожної екосистеми ландшафту існує нормативний індикатор щорічної продукції живої речовини.

Якщо у вологих широколистяних лісах вона становить 130 ц/га, то у вологих дрібнолистяних лісах – 120 ц/га, у трав'яних луках – 765 ц/га, а в степах – 12,2 ц/га [13].

Водночас індикатором, що відображає відношення логарифмів щорічної продукції живої речовини до її біомаси, є коефіцієнт «фотовіддачі» k , який визначається за допомогою формули

$$k = \lg\Pi / \lg B, \quad (10)$$

де Π – щорічна продукція живої речовини ландшафту; B – біомаса ландшафту.

Тут, на нашу думку, можна провести аналогію з будь-яким суб'єктом виробництва в економіці, адже, що вищий рівень k , то ефективніша «економіка» ландшафтної системи, тобто більша її «фондовіддача». У лісових ландшафтах він становить 0,60, у луках – 0,92, в степах – 0,65, у тундрі – 0,59, а у вологих субтропіках – 0,63 [13]. Отже, будь-які господарські навантаження на природні наземні системи мусять враховувати величину наведених вище індикаторів. Якщо вони зменшуються, то й навантаження також мають симетрично знижуватися. За законом збереження біомаси В. Вернадського фізико-економічне моделювання господарської діяльності в кожній ЕСГС потребує визначення чинників впливу на константу природної впорядкованості, адже, на відміну від економічного ринку, де кожна наступна, скажімо, сорочка менш цінна для споживача, на природному ринку півки життя кожна наступна екологічна послуга цінніша для «біофізичного споживача» – природи. Як відомо, в основу макроекономічного аналізу покладена модель економічного колообігу, яка пояснює як функціонує економіка. Оскільки фізична (просторова) макроекономіка досліджує всі процеси, що відбуваються

в координатах екологосоціогосподарського простору півки життя, то ця модель, очевидно, суттєво зміниться.

Постійне відтворення простору півки життя відбувається зазвичай через посередництво обмінних процесів енергією, живою речовиною та біоінформацією. Цей природний колообіг відбувається між просторово локальними наземними екологічними системами (наземною частиною біосфери, де функціонує економіка) та зовнішньою поверхнею біосфери. Якщо в цьому відбувається збій, то це зумовлює в довготерміновій перспективі зниження природних ресурсопотоків для економіки, а отже, суттєві зміни на ринку ресурсів, що призведе у підсумку до деформації на інших ринках та до структурних змін на національному ринку загалом, та інфляції.

Отже, якщо ми досліджуватимемо економіку як підсистему простору наземної біосфери, тобто як складну ЕСГС, то схема колообігу в ній матиме такий вигляд (рис. 1) [6].

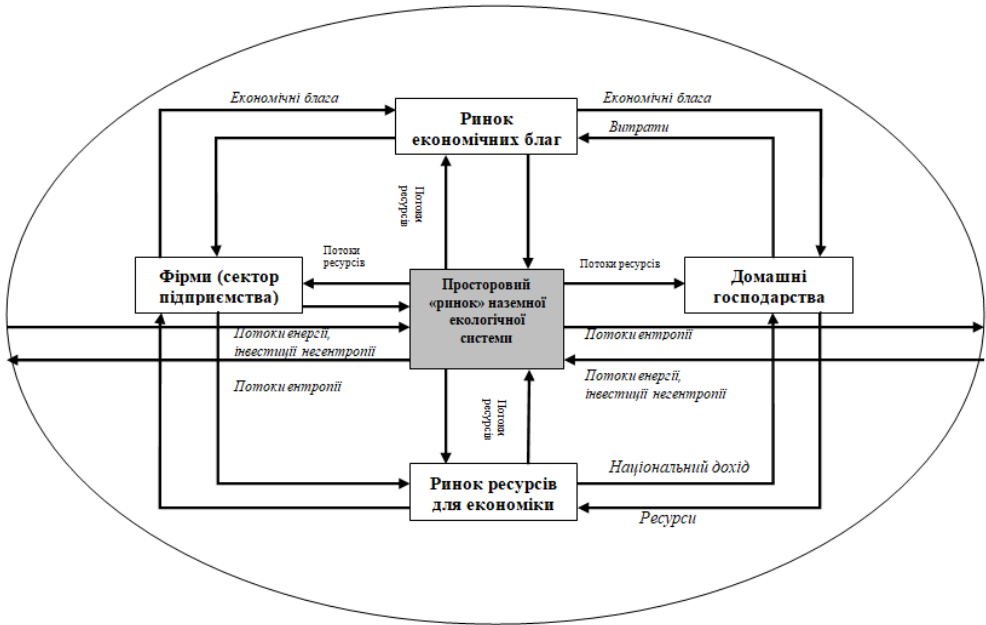


Рис. 1. Економіка як підсистема простору наземної біосфери

Як видно з рис. 1, спрощену модель закритої приватної економіки трансформуємо в модель економіки відкритої до наземного простору біосфери. Зв'язок національної економіки з цим простором відбувається через надходження потоків «інвестицій» нової біомаси ресурсів (енергії, матеріалів тощо).

Негентропійна функція, яку виконує капітал Землі щодо відтворювальних процесів у біосфері, в економіці має інші цілі й критерії, ніж виробнича. Вона спрямована на нарощування не економічних, а екологічних благ через збереження біофізичної

впорядкованості (негентропії) у кожній локальній, регіональній чи державній екосоціогосподарській системі. Це дало нам змогу підійти до обґрунтування теорії збалансованого розвитку ЕСГС [6]. Отже, якщо на підставі виробничої функції економіки сукупну пропозицію економічних благ визначають через ринковий механізм, то за допомогою негентропійної функції капіталу Землі можна визначати сукупну екологічну пропозицію природних (екологічних) благ.

Вважаємо, що метод функції екологічної пропозиції Землі є базовим методом досліджень у фізичній (просторовій) макроекономіці, тому що є два джерела екологічної стійкості ЕСГС:

- пропозиція факторів нарощування екологічних благ;
- зростання біофізичної продуктивності капіталу Землі.

Що ми розуміємо під поняттям «екологічна пропозиція Землі»? Це такий обсяг пропозиції щорічної продукції живої речовини як капіталу Землі, який забезпечує стійкість заданих природою процесів обміну енергією, речовиною та біоінформацією на локальній території ландшафту, створюючи умови для його відтворення.

Безпосереднім об'єктом моделювання щодо цієї функції є процес продукування щорічної продукції живої речовини в реально функціонуючих НЕС як складових півки життя. Цей процес аналізується з погляду перетворення біомаси (фітомаси) у конкретний обсяг цієї продукції. Це дає змогу визначати щорічний обсяг доданої вартості, що створюється у живій природі півки життя.

Отже, функція екологічної пропозиції Землі фіксує оптимальний обсяг продуктивності капіталу Землі (K_n), який можна отримати за його заданого обсягу і площі НЕС (S). Тобто, якщо продуктивність K_n є стійкою або зростає, то можна стверджувати, що ЕСГС держави функціонує в режимі екологічно сталого розвитку. Функцію екологічної пропозиції можна зобразити так:

$$Y_n = F(K_n; S). \quad (11)$$

Якщо ми поділимо обидві частини формули (10) на S , то отримаємо таку тотожність:

$$y_n = F(k_n), \quad (12)$$

де y_n – продуктивність капіталу Землі на одиницю площі НЕС; k_n – обсяг цього капіталу на одиницю площі, яка відображає капіталоозброєність поверхні Землі. Це можна зобразити так (див. рис. 2).

Цей графік ілюструє спадну граничну продуктивність k_n . Це означає, що кожна додаткова одиниця k_n забезпечує менше зростання випуску екологічних товарів і послуг на одиницю площі, ніж попередня. Водночас кут нахилу функції екологічної пропозиції показує відношення приросту продуктивності природного капіталу до приросту капіталоозброєності Землі. Згідно з законом збереження біомаси, це зростання продуктивності k_n відображає рівень його стійкості, який фіксується для кожного значення запасу (фонду) біоінформаційної місткості поверхні Землі (N_{en})

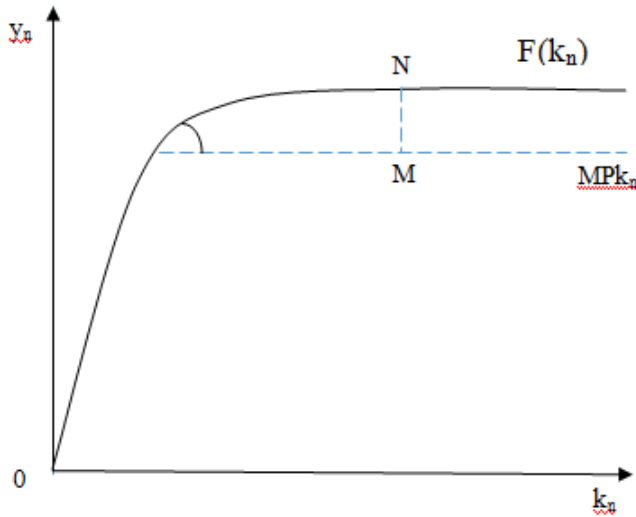


Рис. 2. Функція екологічної пропозиції Землі в півці життя

$$N_{en} = F(k_n + 1) - F(k_n) \quad (13)$$

Індикатор капіталомісткості поверхні Землі (k_m) є також важливим індикатором. У речовинному вираженні він протилежний до індикатора капіталовіддачі Землі (k_e) і становить

$$k_m = \frac{1}{k_e} = \frac{lgB}{lg\Pi} \quad (14)$$

де k_m – індикатор капіталомісткості Землі; k_e – індикатор капіталовіддачі Землі; B – біомаса (фітомаса) капіталу Землі; Π – щорічна продукція живої речовини екосистеми ландшафту.

Водночас попит на споживання фітомаси капіталу Землі в кожній НЕС можна зобразит так:

$$Y_n = C_{\text{оф}} + C_{\text{ек}}, \quad (15)$$

де $C_{\text{оф}}$ – біофізичний попит НЕС на нормативний рівень фітомаси; $C_{\text{ек}}$ – попит економіки на «споживання» фітомаси для її декарбонізації та розвитку.

$C_{\text{ек}}$ водночас треба трактувати як природні інвестиції для економіки (I_n^t)

$$I_n^t = \alpha(B^* - B_t). \quad (16)$$

Тут (I_n^t) – обсяг природних інвестицій в період t ; B^* – оптимальний обсяг біомаси капіталу Землі; B_t – обсяг біомаси на початку періоду t ; α – коефіцієнт пропорційності.

Ця функція природних інвестицій ґрунтується на основній вимозі – збереження стійкості простору півки життя, а отже, її біофізичної продуктивності.

Водночас застосування на практиці господарювання фізичного макроекономічного аналізу допоможе запобігти зниженню обсягу продукування наземними екологічними системами екологічних благ, які є джерелом природних ресурсопотоків для економіки та гарантом збереження стійкості наземного простору біосфери та його відтворення. У цьому контексті значення фізичного макроекономічного аналізу таке:

- 1) є орієнтованим на збереження «півки життя»;
- 2) сприяє зниженню просторової природомісткості економіки;
- 3) протидіє сировинно-рентній моделі розвитку, бо базується на системі просторових екологічних обмежень господарювання;
- 4) дає змогу запобігти втратам родючості землі через впровадження в систему державного менеджменту контролю за станом індикаторів обсягу сукупної екологічної пропозиції землі та фізико-економічної стійкості ВВП;
- 5) сприяє природній капіталізації національної та світової економіки.

Моделювання функцій у системі фізичної макроекономіки сталого розвитку, зокрема, функції екологічної пропозиції Землі, яка має забезпечити самоорганізацію екологічної стійкості економіки в наземному просторі біосфери, дасть змогу сформулювати якісно нову, ноосферну модель сталого розвитку економіки в XXI ст., яка враховуватиме негентропійний феномен розвитку Всесвіту. Це допоможе сформулювати нові інституційні рамки для сталого розвитку світу.

Висновки. Отже, міждисциплінарні дослідження, які ми провели в системі розвитку фундаментальної економічної науки, що стосуються реалізації парадигми екологічно сталої економіки через обґрунтування та застосування фізичного (просторового) макроекономічного аналізу, дають підстави зробити такі узагальнення.

1. Новітня економіка та її макроекономічна стабільність функціонально залежна від стану збереження сталості біосфери Землі, зокрема від стійкості біофізичної продуктивності півки життя.
2. Економіка має трактуватися підсистемою біосфери Землі, що вбудована в її простір.
3. Теорія відтворення економіки має бути доповнена теорією відтворення простору біосфери Землі, що складається з наземних екологічних систем.
4. Оскільки біосфера Землі має енергетичну природу, то закони її відтворення базуються на постулатах нерівноважної термодинаміки, а також біофізики, геохімії ландшафтів тощо.
5. Масштаб економічної діяльності в просторі наземних екологічних систем детермінується нормативною межею насичення їх живою речовиною, тому превентивний менеджмент екологічно сталого господарювання потребує формування відповідної статистики біофізичних і геохімічних параметрів функціонування та збереження різних типів ландшафтів, в межах яких провадиться господарська діяльність.
6. Оскільки саме жива речовина біосфери Землі та її біо(фітомаса) є тим фон-

дом, що формує ресурсопотоки для природи та економіки, то вона має трактуватись капіталом Землі.

7. Продуктивність капіталу Землі має енергетично-речовинну природу та є базовим індикатором при фізико-економічному моделюванні функції екологічної пропозиції Землі.
8. Метод функції екологічної пропозиції Землі доповнює теорію відтворення економіки в частині відтворення екологічних благ та є підґрунтям для формування фізико-економічної моделі економіки сталого розвитку в XXI ст.

Фізична (просторова) макроекономіка сталого розвитку розширює систему координат досліджень в економічній науці, тому що враховує параметри фізики наземного простору біосфери.

Природовідтворювальні функції біосфери є передумовою формування наземного простору та ресурсопотоків для економіки. Якщо цей простір, через руйнування, не зможе забезпечити життєпідтримувальних функцій природи, то економіка потерпає від інфляційних процесів через постійне зниження обсягів ресурсопотоків, що до неї надходять. Тому без забезпечення умов збереження стійкості півки життя як оболонки біосфери, не варто сподіватися на збереження стійкості фінансово-економічної підсистеми світового господарства. Якщо обсяг наземної продукції фотосинтезу з кожним роком знижується, то очевидним є те, що знижуватиметься на планеті сукупна пропозиція різних видів природних ресурсів, зокрема й життєпідтримувальних (вода, кисень тощо).

З огляду на це сучасний етап розвитку людської цивілізації потребує перегляду деяких постулатів неокласичної теорії макроекономіки та розвитку фізичної (просторової) макроекономіки для сталого розвитку світу.

Об'єктом дослідження фізичного (просторового) макроекономічного аналізу є складні ЕСГС, бо існує тісна взаємозалежність між природними змінами та економічними коливаннями. Сьогодні особливо актуально навчитися попередити негативні природні зміни, пов'язані з антропогенною діяльністю. Просторова макроекономіка досліджує моделі сумірності біофізичних і вартісних оцінок на шляху до формування економіки сталого розвитку.

Отже, фізична макроекономіка сталого розвитку доповнена новою метою – збереженням стійкості природних обмінних процесів на поверхні Землі, що є просторово детермінованою функцією. Ця функція зумовлює створення якісно нової системи критеріїв визначення макроекономічних пропорцій в ЕСГС держави та зміни в теорії вартості.

Список використаних джерел

1. Базилевич В., Базилевич К., Баластрик Л. Макроекономіка / за ред. В. Базилевича. Київ : Знання, 2008. 871 с.
2. Вернадский В. И. Размышления натуралиста. Научная мысль как планетное явление. Кн. 2. Москва : Наука, 1977. 191 с.
3. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. Москва : Наука, 1965. 324 с.

4. Вернадский В. И. Живое вещество / В.И. Вернадский. Москва: Наука, 1978. 15 357 с.
5. Гринів Л.С. Розвиток ідей В. Вернадського в новітній економічній науці Л.С. Гринів// Вісник НАН України / Національна академія наук України. 2013. №17. С. 44–52
6. Гринів Л. С. Фізична економія: нові моделі сталого розвитку: монографія. Львів: Ліга-прес, 2016. 425 с.
7. Гринів Л. С. Концептуальні засади фізичної макроекономіки для сталого розвитку: проблеми та перспективи. Проблеми економіки. №3 (45), 2020. С. 139–147.
8. Екологічна Конституція Землі. Методологічні засади. Ч. 2 / за ред. Ю.Ю. Туниці. Львів: РВВНЛТУ України, 2011. 112 с.
9. Гальчинський А. Принципи ноогенези в контексті вчення В.Вернадського/ А.Гальчинський // Економіка України. 2010. №5 (582). С. 16–29.
10. Манків Т. Макроекономіка / пер. з англ. С. Панчишина та ін. Київ: Основи, 2000. 588 с.
11. Мельник Л. Г. «Зелена» економіка (Досвід ЄС і практика України у світлі III і IV промислових революцій). Підручник. Суми: Університетська книга, 2018. 463 с.
12. Панчишин С. М. Макроекономіка: навч. посібник. Київ: Либідь, 2001. 616 с.
13. Перельман А.И. Геохимия биосферы. Москва: Наука, 1973. 166 с.
14. Рубин А.Б. Термодинамика биологических процессов. Москва: Изд-во МГУ, 1984. С. 90–95.
15. Туниця Ю. Ю. Екологічна економіка і ринок: подолання суперечностей. Київ: Знання, 2006. 314 с.
16. «COME ON!». ЮВІЛЕЙНА ДОПОВІДЬ РИМСЬКОГО КЛУБУ. 2017. URL: <http://vsvittranslate.blogspot.com/2017/12/comeon.html>.
17. Costanza, R. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. 2008. *Biol. Conserv.* 141, 350–352.
18. Davos2020: What mattered. 2020. URL: <https://www.mckinsey.com/about-us/new-at-mckinsey-blog/davos-2020-four-big-themes>
19. Erb, K.-H., Krausmann, F., Lucht, W., Haberl, H., Embodied HANPP: mapping the spatial disconnect between global biomass production and consumption. 2009. *Ecol. Econ.* 69, 328–334.
20. European Commission, Organisation for Economic Co-operation and Development, United Nations, World Bank, 2013. System of Environmental-Economic Accounting 2012, Experimental Ecosystem Accounting.
21. Hryniv L. Physical (Negentropy) Function of Sustainable Economy. Problems of Evaluations // Environmental Accounting – Sustainable Development Indicators. – Prague: EMAN, 2009. 115 p.
22. Hryniv L. Transdisciplinary approach to sustainability: new models and possibilities // Ecological economics and sustainable forest management / ed. by I.P. Soloviy and W.S. Keeton. Lviv: UNFUP, 2009. P. 85–96.
23. Kissinger M., Rees W.E., An interregional ecological approach for modelling sustainability in a globalizing world. Reviewing existing approaches and emerging directions. 2010. *Ecol. Modell.* 221, 2615–2623.
24. Daly, Herman E.; Farley, Joshua. Ecological Economics. Washington, DC: Island Press, 2004. 454 p.
25. Pascual, U., Phelps, J., Garmendia, E., Brown, K., Corbera, E., Martin, A., GomezBaggethun, E., Muradian, R., 2014. Social equity matters in payments for ecosystem services. *Bioscience* 64, 1027–1036.
26. Report of the United Nations Conference on Sustainable Development (Rio de Janeiro, Brazil 20–22 June 2012).

27. Rulli, M.C., Saviori, A., D'Odorico, P., 2013. Global land and water grabbing. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110, 892–897.
28. Schröter, M., Albert, C., Marques, A., Tobon, W., Lavorel, S., Maes, J., Brown, C., Klotz, S., Bonn, A., 2016. National ecosystem assessments in Europe: a review. *Bioscience* 66, 813–828.
29. UNEP, 2010. The Strategic Plan for Biodiversity 2011–2020 and the Aichi Biodiversity Targets. Decision UNEP/CBD/COP/DEC/X/2, adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity.
30. Weinzettel, J., Steen-Olsen, K., Hertwich, E.G., Borucke, M., Galli, A., 2014. Ecological footprint of nations: comparison of process analysis, and standard and hybrid multiregional input–output analysis. *Ecol. Econ.* 101, 115–126.

References

1. Bazylevych, V., Bazylevych, K., and Balastryk, L. *Макроекономіка* [Macroeconomics]. Kyiv: Znannia, 2008. [In Ukrainian]
2. Vernadskiy, V. I. *Razmyshleniya naturalista. Nauchnaya mysl kak planetnoye yavleniye* [Reflections of a Naturalist. Scientific Thought as a Planetary Phenomenon], vol. 2. Moscow: Nauka, 1977.
3. Vernadskiy, V. I. *Khimicheskoye stroyeniye biosfery Zemli i yee okruzheniya* [The Chemical Structure of the Earth's Biosphere and Its Surroundings]. Moscow: Nauka, 1965.
4. Vernadskiy, V. I. *Zhivoye veshchestvo* [Living Substance]. Moscow: Nauka, 1978.
5. Hryniv, L. S. «Rozvytok idei V. Vernadskoho v novitnii ekonomichnii nautsi» [The Development of V. Vernadsky's Ideas in Modern Economics]. *Visnyk NAN Ukrainy*, no. 17 (2013): 44–52.
6. Hryniv, L. S. *Fizychna ekonomia: novi modeli staloho rozvytku* [Physical Economy: New Models of Steel Development]. Lviv: Liha-pres, 2016.
7. Hryniv, L. S. *Konceptualni zasady fizychnoji macroekonomiky dlia staloho rozvytku: problemy ta perspektyvy*. [Conceptual Principles of Physical Macroeconomics for Sustainable Development: Problems and Prospects]. *Problemy ekonomiky* №3 (45), 2020. 139–147.
8. *Ekolohichna Konstytutsiia Zemli. Metodolohichni zasady. Ch. 2* [Ecological Constitution of the Earth. Methodological Principles. Part 2]. Lviv: RVVNTU Ukrainy, 2011.
9. *Halchynskiy A. Prynypy noogenezy v context vchennia V. Veradskoho/ Economica Ukrainy -2010, №5 (582) – 16-29* [Principles of noogenesis in the context of the theory by V. Vernadskiy]. *Economics of Ukraine. 2010, №5*.
10. Mankiv, T. *Макроекономіка* [Macroeconomics]. Kyiv: Osnovy, 2000.
11. Melnyk, L. «Zelena» ekonomika. [Greening Economics] Sumy: Universities book, 2018-463 st.
12. Panchyshyn S. M. *Макроекономіка* [Macroeconomics]. Kyiv: Lybid, 2001. 616 st.
13. Perelman, A. I. *Geokhimiya biosfery* [Geochemistry of the Biosphere]. Moscow: Nauka, 1973.
14. Rubin, A. B. *Termodinamika biologicheskikh protsessov* [Thermodynamics of Biological Processes]. Moscow: Izd-vo MGU, 1984.
15. Tunytsia Yu. Yu. *Erolohichna ekonomika i rynek: podolannia superechnostej* [Ecological Economics and market: overcoming contradictions]. K: Znannia, 2006. 314st.
16. «COME ON!» – ЮВІЛЕЙНА ДОПОВІДЬ РИМСЬКОГО КЛУБУ. 2017. URL: <http://vsvittranslate.blogspot.com/2017/12/comeon.html>

17. Costanza, R., 2008. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. *Biol. Conserv.* 141, 350–352.
18. Davos2020: What mattered. [Електронний ресурс]. 2020. Режим доступу до ресурсу: <https://www.mckinsey.com/about-us/new-at-mckinsey-blog/davos-2020-four-big-themes>
19. Erb, K.-H., Krausmann, F., Lucht, W., Haberl, H., 2009. Embodied HANPP: mapping the spatial disconnect between global biomass production and consumption. *Ecol. Econ.* 69, 328–334.
20. European Commission, Organisation for Economic Co-operation and Development, United Nations, World Bank, 2013. System of Environmental-Economic Accounting 2012, Experimental Ecosystem Accounting.
21. Hryniv L. Physical (Negentropy) Function of Sustainable Economy. Problems of Evaluations // Environmental Accounting – Sustainable Development Indicators. Prague: EMAN, 2009. 115 p.
22. Hryniv L. Transdisciplinary approach to sustainability: new models and possibilities // Ecological economics and sustainable forest management / ed. by I.P. Soloviy and W.S. Keeton. Lviv: UNFUP, 2009. P. 85–96.
23. Kissinger, M., Rees, W.E., 2010. An interregional ecological approach for modelling sustainability in a globalizing world – Reviewing existing approaches and emerging directions. *Ecol. Modell.* 221, 2615–2623.
24. Daly, Herman E.; Farley, Joshua. Ecological Economics. Washington, DC: Island Press, 2004. 454p. – 20
25. Pascual, U., Phelps, J., Garmendia, E., Brown, K., Corbera, E., Martin, A., GomezBaggethun, E., Muradian, R., 2014. Social equity matters in payments for ecosystem services. *Bioscience* 64, 1027–1036.
26. Report of the United Nations Conference on Sustainable Development (Rio de Janeiro, Brazil 20–22 June 2012).
27. Rulli, M.C., Savioli, A., D’Odorico, P., 2013. Global land and water grabbing. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110, 892–897.
28. Schröter, M., Albert, C., Marques, A., Tobon, W., Lavorel, S., Maes, J., Brown, C., Klotz, S., Bonn, A., 2016. National ecosystem assessments in Europe: a review. *Bioscience* 66, 813–828.
29. UNEP, 2010. The Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 and the Aichi Biodiversity Targets. Decision UNEP/CBD/COP/DEC/X/2, adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity.
30. Weinzettel, J., Steen-Olsen, K., Hertwich, E.G., Borucke, M., Galli, A., 2014. Ecological footprint of nations: comparison of process analysis, and standard and hybrid multiregional input – output analysis. *Ecol. Econ.* 101, 115–126.

**PHYSICAL (SPATIAL) MACROECONOMICS
IN THE SYSTEM OF FUNDAMENTAL ECONOMIC SCIENCE****Lidiya Hryniv***Ivan Franko National University of Lviv,
18 Svobody Ave., Lviv, 79008, Ukraine**e-mail: lidiya.hryniv@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7720-6504>*

Abstract. A new concept of physical (spatial) macroeconomics for sustainable development has been suggested, it broadening the system of economic coordinates as it takes into account the physical parameters of terrestrial biosphere in economic development. The object of study in physical macroeconomics is complex ecological-socio-economic systems (ESES) the core of which is made up by terrestrial ecological systems characterized by definite amount of soil productivity. Physical macroeconomics analyzes balance models of biophysical and cost estimates on the way to sustainable ESES economy formation. The article also suggests a physical and economic paradigm of sustainable economy development, which, unlike the current ones, takes into account natural sources of the first enrichment period in economy. It gives grounds for methodological changes in the theory of value and creation of a breakthrough model of monetary economy aimed at solving sustainability problems. Such up-to-date physical economics is an integral (synthesizing) science which uses a transdisciplinary approach to studying cause-and-effect relationship between stationary ecological and socio-economic systems of different hierarchy levels. Its new conceptual models are based on the synthesis of physical, biological, geobotanic, geochemical, landscape science, biophysical and economic laws. The physical and economic sustainable development model has been substantiated, and it is based on the functional method of ecological supply for the Earth. This function determines the best possible natural capital volume of the Earth, which can be obtained provided its targeted volume and the area of a given terrestrial ecological system are known. Due to the above information, the author of the article has managed to substantiate and determine new physical and economic sustainable development indicators of ESES.

Keywords: biosphere stability, function of ecological supply for the Earth, physical and economic modelling, physical macroeconomics, sustainable development, fundamental economic science, pellicle of life.

*Стаття надійшла до редакції 22.11.2021
Прийнята до друку 29.12.2021*