

УДК 338.123

О. С. Бондар,

к. е. н., доцент, доцент кафедри інформаційних систем і технологій,  
Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква  
ORCID ID: 0000-0002-2593-2301

М. І. Трофимчук,

к. е. н., доцент, доцент кафедри інформаційних систем і технологій,  
Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква  
ORCID ID: 0000-0002-3125-8392

DOI: 10.32702/2306-6792.2020.2.38

## МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ І РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО СТАНУ РЕГІОНУ З УРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

O. Bondar,

PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of Information Systems and Technologies Department Belotserkov National Agrarian University, Bila Tserkva  
M. Trofymchuk,

PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of Information Systems and Technologies Department Belotserkov National Agrarian University, Bila Tserkva

### MODELING OF FUNCTIONING AND DEVELOPMENT OF SOCIO-ECONOMIC STATUS OF THE REGION TAKING INTO ACCOUNT ECOLOGICAL FACTORS

Розглянуто еколого-соціально-економічний стан регіону з позицій системної динаміки. Проаналізовано вплив розвитку виробництва на економіку регіону та модель стійкого еколого-економічного функціонування території. Досліджено динаміку природного приросту населення, валового регіонального продукту, обсягу реалізованої продукції, фінансових результатів діяльності підприємств та швидкість генерації забруднення і швидкість споживання ресурсів.

У статті обґрунтовано, що еколого-економічну систему регіону можливо розглядати як модель динамічного об'єкту із безперервним простором і безперервним часом. Для моделювання таких об'єктів доцільно використовувати чисельні методи імітаційного моделювання безперервних систем, які описуються за допомогою систем диференціальних (інтегрально диференціальних) рівнянь.

Матеріали здійсненого дослідження дозволяють встановити зв'язок між зростанням населення та станом навколишнього середовища: по-перше, приріст населення несе відповідальність за екологічні проблеми та, по-друге, збільшення кількості людей означає розвиток нових технологій для подолання будь-яких екологічних проблем.

Зростання економічного добробуту населення Київської області залежить від валового регіонального продукту, обсягу реалізованої продукції, фінансових результатів діяльності підприємств. Також у результаті відбувається збільшення кількості загального обсягу відходів. Основною рушійною силою довготривалого економічного зростання є вдосконалення технологій та підвищення продуктивності. Із збільшенням продуктивності ми можемо побачити більш високий обсяг виробництва з меншою кількістю використовуваної сировини. Доведено, що на еколого-соціально-економічний розвиток регіону впливає забруднення навколишнього середовища. Вказано пропозиції щодо сталого еколого-економічного функціонування та розвитку регіону.

The article considers environmental, social and economic situation of the region in terms of system dynamics. We analyzed the impact of production development on the economy of the region and the model of sustainable ecological and economic functioning of the territory.

The social economic-ecological model of the region is a theoretical and mathematical framework that takes into account the multifactorial and interactive effects of the influence of social and environmental factors that determine the behavior of the system, take into account the points of influence, direct and indirect, in order to improve the conditions for stable development of the region.

To model the social ecological and economic system, we use the principles of system dynamics, a classic example of the concept of which is the work of J. Forrester.

We investigated the dynamics of natural population growth, gross regional product sales, financial performance of companies and the rate of formation of pollution and resource consumption rate.

The article substantiates that the model of a dynamic object with continuous space and continuous time can represent the ecological and economic system of the region.

To simulate such objects, it is advisable to use numerical simulation methods for continuous systems, which described by means of systems of differential (integral) differential equations.

The findings of the study allow us to establish a link between population growth and the state of the environment: first, population growth is responsible for environmental problems and, second, increasing the number of people means developing new technologies to overcome any environmental problems.

We propose to use indicators that characterize the region's economic growth rate to simulate the functioning and development of the region's socio-economic status, taking into account environmental factors. The following components of the structure of the territorial economic system, which influence the development of the region progressively or negatively, are distinguished: social, which is reflected in the dynamics of disposable income per person; financial — the growth of gross regional product, and environmental — the level of pollution.

The growth of economic well-being of the population of the Kyiv region depends on the gross regional product, the volume of sales, the financial results of the enterprises. Increasing the amount of total waste is the result. The main driver of long-term economic growth is technology improvement and productivity gains. As productivity increases, we can see higher production with less raw materials used.

*Ключові слова: регіон, екологія, тенденції, динаміка, модель системної динаміки, еколого-економічна система регіону.*

*Key words: region, ecology, tendencies, dynamics, model of system dynamics, ecological and economic system of the region.*

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Київська область належить до п'ятірки економічно розвинутих регіонів України (після м. Києва, Донецької, Дніпропетровської та Харківської областей) за обсягами валового регіонального продукту (ВРП), який у 2017 році становив 157,0 млрд грн (у 2014 році — 79,6 млрд гривень). Структура валової доданої вартості Київської області у 2018 році складалася таким чином: сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство (14,3%), промисловість (21,6%) (добувна промисловість і розроблення кар'єрів, переробна промисловість, постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря, водопостачання, каналізація, поводження з відходами), будівництво (4,2%) та сфера послуг (59,9%) (оптова та роздрібна торгівля; ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів, транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність, операції з нерухомим майном, державне управління й оборона; обов'язкове соціальне страхування, освіта, охорона здоров'я та інші види послуг).

Аграрне виробництво є сировиною для харчової, легкої, фармацевтичної та хімічної промисловості. Але водночас воно здійснює вплив на навколишнє середовище: земельні ресурси, а саме поверхневий родючий шар землі, який здатний давати значні врожаї. Сільське господарство більше ніж будь-яка інша галузь народного господарства впливає на природне середовище. В Європі аграрний ландшафт витіснив широколистяні ліси, в Україні поля замінили степи.

Екологія регіону полягає в тому, що діяльність людей впливає на навколишнє середовище, так само як і сама стан навколишнього середовища впливає на природні процеси і життєдіяльність самих людей. Екологічний стан регіону знаходиться під постійним негативним впливом інтенсивного сільського і промислового господарства.

Продуктивність сільського господарства залежить від родючості ґрунту, його обробляють різними засобами, застосовують всілякі аграрні технології, що призводить до деградації ґрунту, а саме — ерозії ґрунту, спустошенню, засоленню, токсикації, втраті земельних площ

через розвиток інфраструктури, забруднюється навколишнє середовище пестицидами, гербіцидами та іншими агрохімікатами. Оскільки в аграрній промисловості використовуються різні меліоративні системи і осушення земель, то порушується режим всіх прилеглих водойм. Також знищуються звичні місця проживання багатьох живих організмів, і змінюється екосистема загалом. Постає проблема кількісної оцінки впливу розвитку агропромислового виробництва на економічний розвиток регіону та вироблення рекомендацій щодо запобігання негативних наслідків для соціально-економічного функціонування територій. Тому дослідження впливу розвитку аграрного виробництва на економіку регіону та модель стійкого еколого-економічного функціонування території є актуальною.

### АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ ОСТАННІХ РОКІВ

Наукові дослідження останніх років довели, що екологічні проблеми впливають на розвиток економічних систем. Використання методів математичного, статистичного, економетричного, імітаційного та аналітичного моделювання, сценарні підходи в економіці та екології дозволяють встановити закономірності такого впливу. Першими роботами з моделювання екології населення були праці Альфреда Лотки [1, с. 96—102] та Віто Вольтерра [2, с. 216—218].

В академічних дослідженнях останніх років вчені все більше приділяють увагу математичним моделям, які поєднують знання міждисциплінарного моделювання. Була здійснена низка спроб, спрямованих на вдосконалення існуючих моделей. У 1960-х роках почали публікуватися дослідження з екологічної та ресурсної економіки (Barnett and Morse [3, с. 5—7]).

Особливу увагу взаємозв'язку між економічним зростанням та екологічними обмеженнями та його наслідками надали Барклі та Seckler [4, с. 76—79].

Розробкою математичних моделей та сценаріїв розвитку зазвичай займалися в природничих науках. У соціальних науках, за винятком економіки, існує обмежений науковий інтерес до математичних моделей та розробки сценаріїв розвитку подій. Це пояснюється тим, що соціальні процеси є надто складними, вони знаходяться під впливом величезної кількості факторів, і складно гарантувати, що загальні закони розвитку будуть корисні для прогнозування майбутніх подій.

Визначення впливу господарської діяльності на глобальні біосферні процеси присвя-

чені також роботи Д.М. Гвішиані [6, с. 76—79], В.Г. Горшкова [7, с. 802—806] та ін. В.М. Вишневіський запропонував використовувати для моделювання стійкого економічного розвитку економічних систем 5-ти фактору виробничу функцію, яка поряд з традиційними факторами вміщувала б освітні, науково-технічні та природні [8, с. 312—331].

В.Г. Горшков висунув гіпотезу, що стабілізаційну функцію біосфера здатна виконувати тільки в тому випадку, якщо середньорічний споживаний обсяг первинної продукції не перевищуватиме 1% сумарного обсягу. Ця величина називається господарської ємністю біосфери. Землі, позбавлені природної рослинності (в тому числі і зайняті штучними біологічними екосистемами) мають меншу потужність фотосинтезу, і, таким чином, скорочують стабілізаційний потенціал біосфери. Автор гіпотези вважає, що головним завданням сучасної науки є визначення площ, які в глобальному масштабі повинні бути вилючені з господарської діяльності для відновлення природних екосистем [9, с. 414—419].

На основі аналізу існуючих основних світових і вітчизняних методологічних підходів до трактування сталого розвитку територій виділені два основних підходи: ресурсний, який є типовим для неокласичної школи, і широко використовується в сучасних економічних дослідженнях та біосферо-екологічний.

Перспективність реалізації біосферо-екологічного підходу полягає в тому, що він дозволяє здійснювати господарську діяльність людини в межах ємності природної системи. На цій базі обґрунтовано формування соціальної еколого-економічної системи, що дозволяє гармонійно поєднувати соціальні та економічні складові розвитку суспільства з процесами біосферного розвитку і екологічними обмеженнями [9, с. 414—419].

### МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження — виявлення сутностей та закономірностей розвитку соціальної еколого-економічної системи регіону та розробка динамічної економіко-математичної моделі сталого розвитку регіону з урахуванням впливу екологічних факторів. Відповідно до цього потрібно проаналізувати проблеми впливу екологічного фактору на економічний розвиток регіону. Встановити параметри математичної моделі, описати зв'язок між рівнем добробуту населення та проблемою накопичення та утилізації відходів та з'ясувати характер впливу.

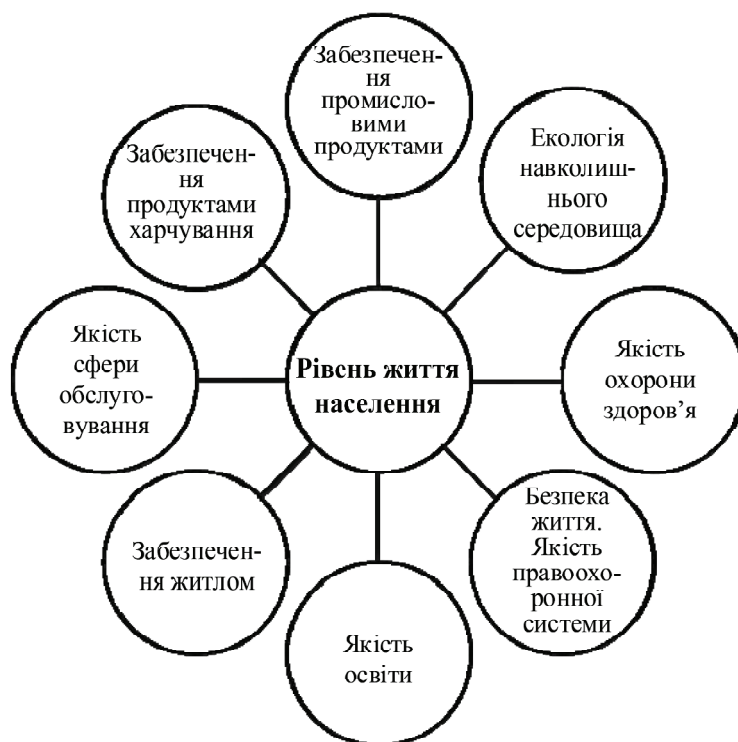


Рис. 1. Фактори, які формують рівень життя населення

### МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Нині з великої кількості розроблених математичних моделей важко підібрати таку, яка дозволяє прогнозувати розвиток еколого-економічної системи із задовільною надійністю. Посилення економічної свободи учасників відтворювального процесу на регіональному рівні спричиняє ймовірнісний характер економічних процесів, що відбуваються в різних секторах, і змушує застосовувати сценарний підхід та багатоваріантні альтернативні шляхи пошуку рішень. Для розв'язання цієї проблеми пропонується використовувати методи економіко-математичного моделювання та багатовимірною статистичного аналізу. Зміни, що відбуваються в сучасній економіці, призводять до складання нових та вдосконалення існуючих систем економіко-математичного моделювання, що дозволить проаналізувати динаміку розвитку регіональної організації та скористатися великим обсягом фактичної інформації.

Методологія організаційно-економічного механізму сталого розвитку регіону базується на інтегрованому та системному підході. Комплексний підхід враховує сукупність екологічних, ринкових та соціальних факторів, які впливають на управління сталим розвитком. У дослідженні застосовується системний підхід як загальна методологічна основа. Він забезпечує об'єктивне відображення системних властиво-

стей функціонуючих суб'єктів регіону та розглядає сукупність взаємопов'язаних елементів, враховуючи особливості місцевого сільського господарства, мінливість зовнішніх та внутрішніх факторів, рівень державної підтримки для задоволення соціальної потреби, що формуються в умовах постійних змін елементів регіональної структури.

Нестабільність зовнішнього середовища, обмежені ресурси, наявність високорентабельного та збиткового аграрного виробництва в господарствах, розташованих в однакових природних та економічних умовах, не дозволяє визначити єдиний найбільш ефективний методологічний підхід.

Загальну теоретико-методологічну основу дослідження формують наукові публікації з проблем розвитку сільськогосподарського виробництва та регіональної економіки. В дослідженні використовувались загальноприйняті методи економічних наук: загальнонаукові (аналіз та синтез, діалектичний метод, порівняння та аналогії); спеціальні (системні, порівняльний аналіз, економіко-статистичні та економіко-математичні).

Інформаційна база дослідження складається з офіційної державної статистики; нормативно-правові акти державного та регіонального рівнів, власні дослідження; дані Інтернету (галузеві портали, веб-сайти виробників сільськогосподарської продукції, статті та огляди).



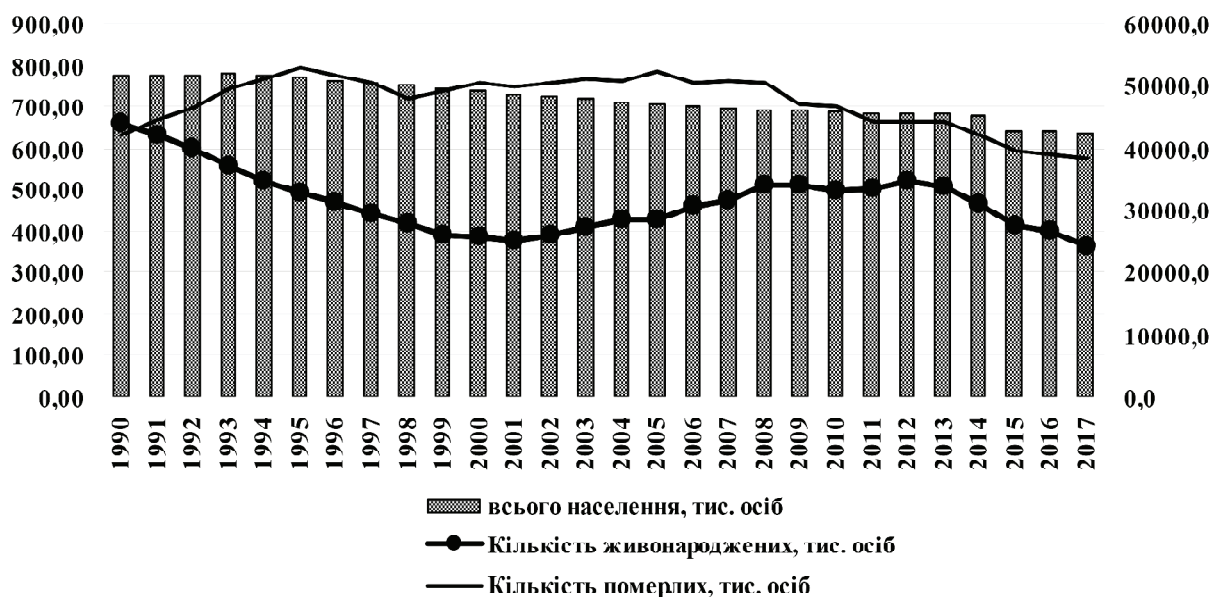


Рис. 2. Кількість населення України у 1990–2018 роках, тис. чол.

### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Соціальна економіко-екологічна модель регіону — це теоретико-математична основа, яка враховує багатофакторні та інтерактивні ефекти впливу соціальних та екологічних факторів, що визначають поведінку системи, враховують точки впливу, прямого та опосередкованого з метою покращення умов стабільного розвитку регіону (рис. 1).

Стійкість — це здатність системи відтворювати певний стабільний стан незалежно від зовнішніх впливів і внутрішніх змін в межах її функціонування і розвитку, тобто задоволення потреб теперішнього часу не зменшує здатність майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби.

Система перебуває в стійкому стані тоді, коли вона здатна повернутися в початковий стан і стати тотожною собі після впливів, що викликають зміни в деяких відношеннях. У математичному вираженні зміна системи представляється траєкторіями змінних станів, які перетинаються у просторі, тобто в двовірному просторі можливого розташування змінних. Водночас можливі три основних випадку поведінки системи:

- 1) асимптотично стійка, якщо усі траєкторії досить близькі до даної траєкторії в області  $t = dt$  (коли  $t \rightarrow \infty$ );
- 2) нейтрально стійка, якщо все траєкторії досить близькі до даної траєкторії в області  $t = 0$ ;
- 3) нестійкий, якщо все траєкторії наближаються до даної траєкторії в області  $t = 0$ , але не зберігають цю тенденцію, коли  $(t \rightarrow \infty)$ .

Еколого-економічну систему регіону можливо розглядати як модель динамічного об'єкту із безперервним простором і безперервним часом. Для моделювання таких об'єктів доцільно використовувати чисельні методи імітаційного моделювання безперервних систем, які описуються за допомогою систем диференціальних (інтегрально диференціальних) рівнянь.

Для моделювання соціальної еколого-економічної системи використаємо принципи системної динаміки, класичним прикладом концепції якої є роботи Дж. Форрестера — "Індустріальна динаміка" (1961) [10, с. 10—15] та "Світова динаміка" (1974) [11, с. 53—56]. У цих роботах Дж. Форрестера застосовує метод системної динаміки (концепцію потокового підходу в імітації функціонування і розвитку динамічної моделі), досліджує динаміку підприємств, територій та проблеми розвитку людської цивілізації на основі запропонованої концепції.

Дж. Форрестер для демонстрації залежності динаміки функціонування складних систем від структури причинно-наслідкових зв'язків застосував принципи зворотного інформаційного зв'язку. Він вважав, що складні виробничі та соціальні системи належать до класу систем з багатоконтурними (дублюючими) нелінійними зворотними зв'язками.

Моделі системної динаміки набули широкого поширення в задачах дослідження складних систем, які поєднують виробництво, економіку, торгівлю, регіональний розвиток з соціальними проблемами, проблемами екології та охорони навколишнього середовища.

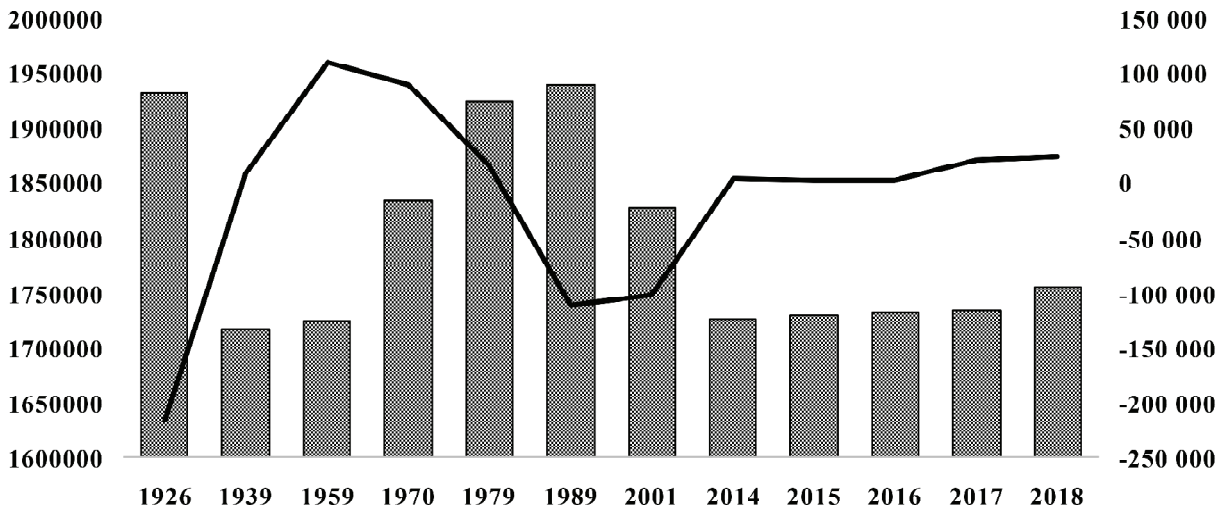


Рис. 3. Динаміка зміни кількості населення Київської області у 1926–2018 роках, тис. осіб

Цей клас моделей системної динаміки направлений на моделювання систем і процесів на високому рівні агрегування, де відображення окремих елементів процесів, тобто їх дискретності, стає непотрібним. В основі математичної соціальної еколого-економічної моделі використовуємо принципи системної динаміки, тобто представити функціонування системи як сукупність потоків інформації, енергії, промислової продукції, грошових коштів і т. п.

Системна динаміка як метод імітаційного моделювання є ефективним інструментом прогнозування та аналізу можливих варіантів

розвитку складних процесів і систем, які характеризуються наявністю великої кількості зворотних зв'язків та їх істотною нелінійністю.

Метод системної динаміки передбачає, що для основних фазових змінних записуються диференціальні рівняння одного і того ж типу:

$$\frac{dy}{dt} = y^+ - y^- \quad (1)$$

де  $y^+$  — позитивний темп швидкості змінної  $y$ , що включає в себе всі фактори, що викликають зростання змінної  $y$ ;  $y^-$  — негативний темп швидкості, що включає в себе всі фактори, що викликають спадання змінної  $y$ .

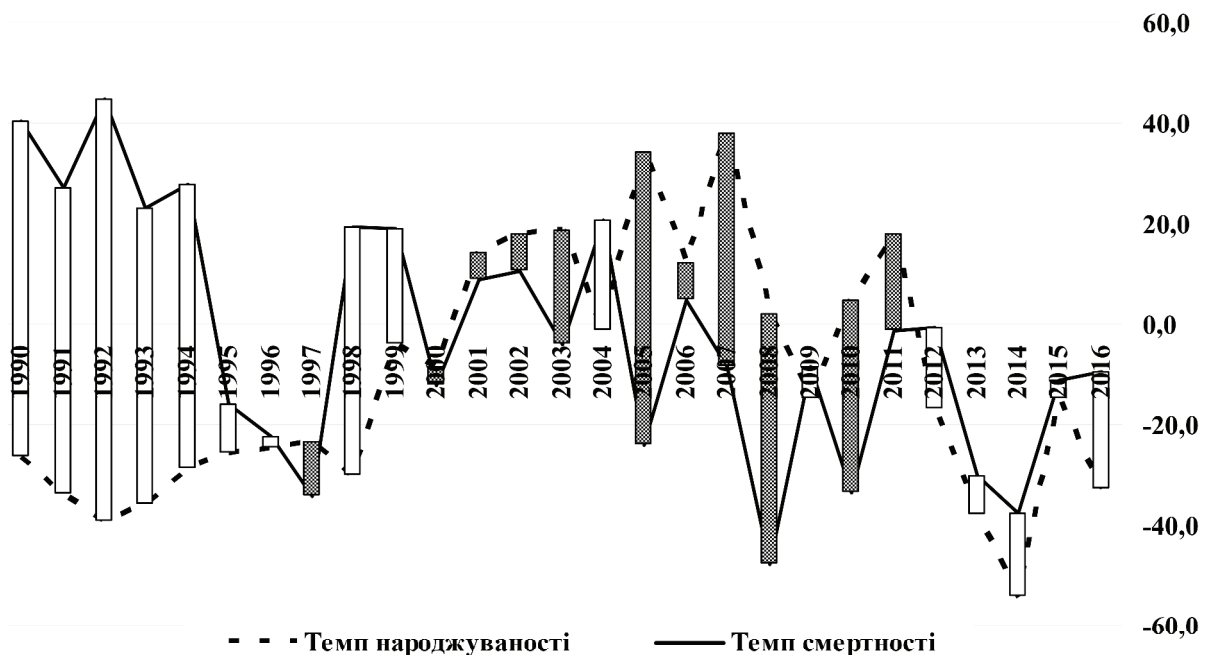
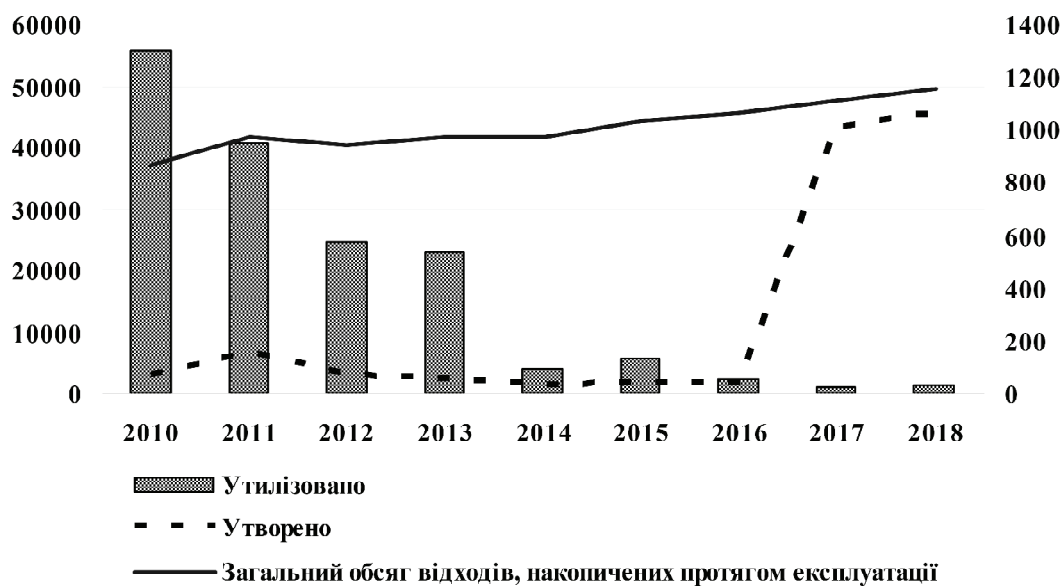


Рис. 4. Темпи народжуваності та смертності населення Київської області у 1990–2018 роках, тис. осіб



**Рис. 5. Утворення та поводження з відходами в Київській області**

Виділимо найбільш істотні регіональні процеси:

- 1) наявний дохід у розрахунку на одну особу, грн;
- 2) розвиток промисловості та аграрного виробництва;
- 3) забезпечення продуктами харчування;
- 4) зростання відходів виробництва;
- 5) нестача ресурсів.

Звідси основні змінні (системні рівняння):

- 1) наявний дохід у розрахунку на одну особу  $D$ ;
- 2) валовий регіональний продукт  $K$ ;
- 3) обсяг реалізованої продукції  $X$ ;
- 4) рівень забруднення  $Z$ ;
- 5) кількість невідновлюваних природних ресурсів  $R$ ;
- 6) середні доходи населення  $C$ ;
- 7) середня вартість утилізації відходів  $U$ .

В Україні у 1990 році населення складало 51 556,5 млн осіб. Кількість населення щорічно зменшується в середньому на 239,3 тис. осіб і у 2018 році складало 42 216,8 млн чоловік (рис. 2).

Народжуваність у середньому зменшується на 10,9 тис. осіб у рік, а природний приріст населення в середньому за рік складає -239,3 тис. осіб.

Розглянемо екологічний стан Київської області, а саме поводження з відходами. Існує Програма поводження з твердими побутовими відходами у Київській області на 2017—2020 роки, затверджена рішенням Київської обласної ради від 19.05.2017 № 301-14-VII.

За даними Головного управління статистики області у середня чисельність населення у

Київській області у 2019 році становить 1 мільйон 757 тисяч жителів, 62% яких проживає у містах та селищах міського типу, а 38% — у селах. У Київській області кількість померлих суттєво перевищує кількість народжених: на 100 померлих — 50 народжених.

У 1926 році в Київській області проживало 1 931 000 тис. осіб. З 1939 по 1959 роки кількість населення зменшилася на 215 000 тис. осіб. За 30 років починаючи з 1959 по 1989 кількість населення збільшувалася в середньому на 7 466 осіб на рік. З 2001 по 2014 населення зменшувалося із середньою швидкістю 16 500 осіб на рік (рис. 3).

У 2018 року чисельність населення в області склала 1,764 млн осіб. Вона почала зростати за рахунок міграційного приросту населення — 19,488 тис. осіб, у той час як було зафіксовано природне скорочення населення на 9,457 тис. осіб (рис. 4).

Зростання та розподіл населення мають важливу роль у забезпеченні стійкості світових природних ресурсів. На навколишнє середовище впливає не тільки кількість людей, а також їх спосіб життя, структури споживання та регіони, які люди населяють та використовують. Зв'язок між зростанням населення та деградацією довкілля може здатися досить простим. Більше людей вимагають більше ресурсів і генерують більше відходів. Очевидно, що одна з проблем зростаючого населення полягає в тому, що сама присутність такої кількості людей, що діляться обмеженою кількістю ресурсів, напружує навколишнє середовище. Ситуація з викори-

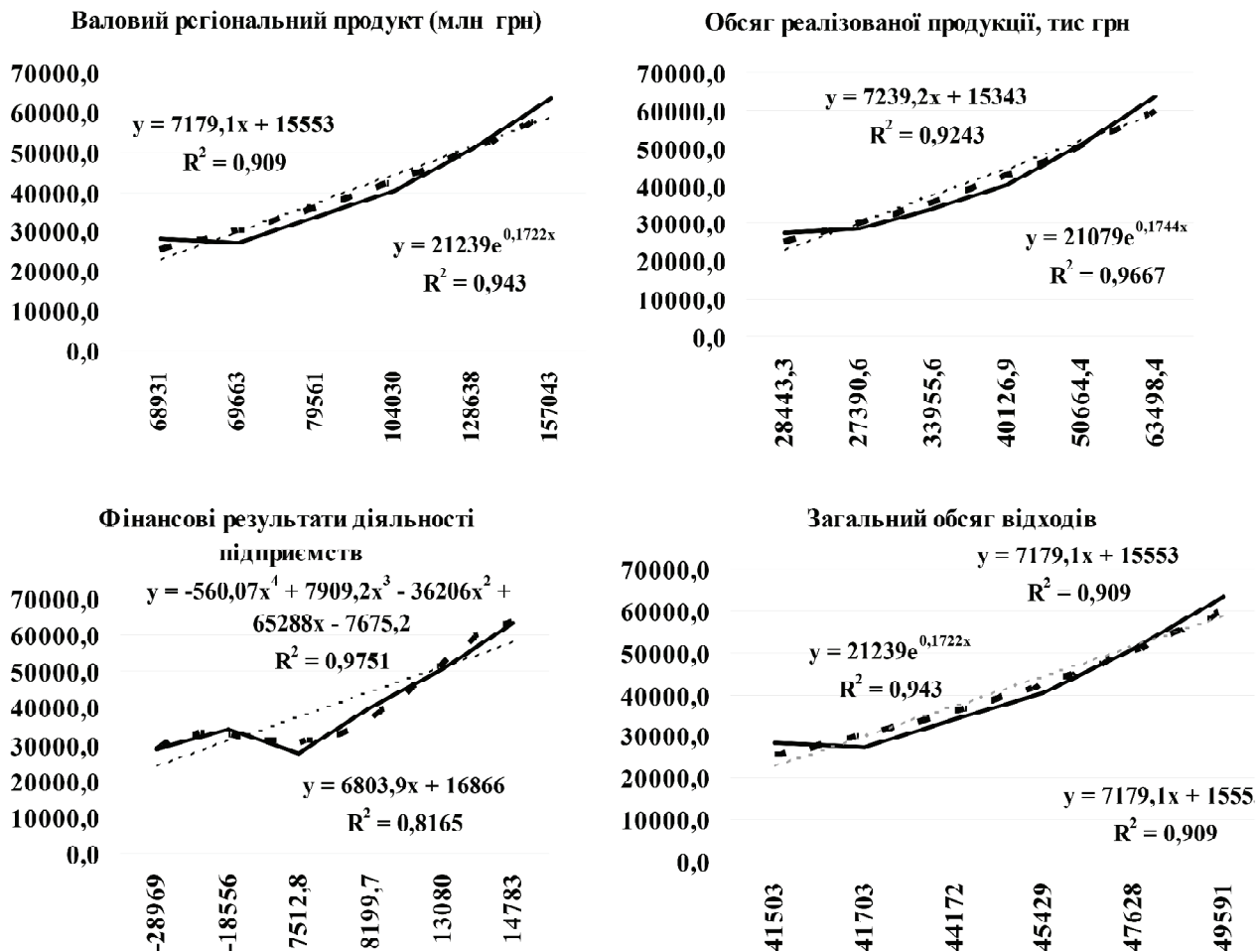


Рис. 6. Залежність наявного доходу жителів Київської області від факторів впливу

станням природних ресурсів стає більш складною через велику різноманітність урядових політик, технологій та моделей споживання у всьому світі.

Зв'язок між зростанням населення та станом навколишнього середовища можна розглядати з двох позицій: по-перше, що приріст населення несе відповідальність за екологічні проблеми та, по-друге, що збільшення кількості людей означає розвиток нових технологій для

подолання будь-яких екологічних проблем. Більшість екологів сходяться на думці, що приріст населення є лише одним із декількох взаємодіючих факторів, що чинять тиск на довкілля. Високий рівень споживання та індустріалізація, нерівність у розподілі багатства та землі, невідповідна урядова політика, бідність та неефективні технології сприяють зниженню навколишнього середовища. Насправді, чисельність населення може бути не першопри-

Таблиця 1. Кореляційна матриця зв'язку між наявним доходом у розрахунку на одну особу і факторами впливу

	Наявний дохід у розрахунку на одну особу, грн	Валовий регіональний продукт (млн грн)	Обсяг реалізованої продукції, тис. грн	Загальний обсяг відходів, тис. т	Фінансові результати діяльності підприємств
Наявний дохід у розрахунку на одну особу, грн	1	0,9958	0,9627	0,9819	0,6500
Валовий регіональний продукт (млн грн)	0,9958	1	0,9602	0,9602	0,7017
Обсяг реалізованої продукції, тис. грн	0,9627	0,9602	1	0,9801	0,5935
Загальний обсяг відходів	0,9819	0,9801	0,9840	1	0,6663
Фінансові результати діяльності підприємств	0,6500	0,7017	0,5935	0,6663	1



чиною зниження екологічної ситуації, а лише одним із факторів, що посилюють чи примножують негативний вплив інших соціальних, економічних та політичних факторів.

У Київській області в 2010 році було утворено 2932,1 тис. т відходів I—IV класів небезпеки, а утилізовано 1296,9 тис. т (на рис. 5 графік утилізації представлено за допомогою допоміжної осі), тобто 1635,2 тис. т було відправлено у місці спеціального зберігання. Відбувається накопичення відходів у Київській області із середньою швидкістю 5320,875 тис. т на рік і у 2018 році їх кількість вже становить 49590,83 тис. т.

Для побудови математичної моделі використано вибірку даних Державної служби статистики України за 15 років [10]. У якості базових змінних розглянуто такі: наявний дохід у розрахунку на одну особу (грн) —  $Y$ , валовий регіональний продукт (млн грн) —  $X_1$ , обсяг реалізованої продукції (тис. грн) —  $X_2$ , фінансові результати діяльності підприємств (млн грн) —  $X_3$  та загальний обсяг накопичених відходів (тис. т) —  $X_4$ . На рисунку 6 показано динаміку залежності наявного доходу жителів Київської області у розрахунку на одну особу від валового регіонального продукту, обсягу реалізованої продукції, загального обсягу накопичених відходів та фінансові результати діяльності підприємств, а також розраховані лінійні та експоненціальні тренди з коефіцієнтами детермінації  $R^2$ .

Зростання економічного добробуту населення Київської області залежить від валового регіонального продукту, обсягу реалізованої продукції, фінансових результатів діяльності підприємств. Також у результаті відбувається збільшення кількості загального обсягу відходів. Основною рушійною силою довготривалого економічного зростання є вдосконалення технології та підвищення продуктивності. Із збільшенням продуктивності ми можемо побачити більш високий обсяг виробництва з меншою кількістю використовуваної сировини (рис. 6).

Багато математичних моделей орієнтовані на дослідження рівня життя, але зв'язок між економічним зростанням та рівнем життя може бути слабким. Збільшення використання товарів та послуг викликає і збільшення відходів виробництва та побутових відходів на одну душу населення. Аналізуючи матрицю кореляції (табл. 1), ми бачимо, що зв'язок між наявними доходами населення та валовим регіональним продуктом, обсягом реалізованої продукції, фінансовими результатами діяльності

підприємств і загальним обсягом накопичення доходів є дуже тісний (коефіцієнт кореляції близький до 1).

Тому для моделювання функціонування і розвитку соціально-економічного стану регіону з урахуванням екологічних факторів пропонується використовувати показники, що характеризують темпи економічного зростання в регіоні. Виокремлено такі складові структури територіальної економічної системи, які впливають на розвиток регіону прогресивно або негативно: соціальну, що відображається у динаміці наявного доходу у розрахунку на одну особу; фінансову — зростання валового регіонального продукту, та екологічну — рівень забруднення.

$$\begin{cases} \frac{dY_1}{dt} = \alpha Y_2 Y_3 - \gamma Y_1; \\ \frac{dY_2}{dt} = \mu Y_2 Y_3 - \beta Y_1 Y_3; \\ \frac{dY_3}{dt} = \delta Y_2 - \gamma Y_3. \end{cases} \quad (2).$$

Залежні змінні такої системи диференціальних рівнянь відповідають виокремленим складовим структури територіальної економічної системи, а саме:

$Y_1 = Y_1(t)$  — наявний дохід у розрахунку на одну особу;

$Y_2 = Y_2(t)$  — валовий регіональний продукт у розрахунку на одну особу;

$Y_3 = Y_3(t)$  — рівень забруднення навколишнього середовища у розрахунку на одну особу;  $t$  — незалежна змінна.

Скалярні величини  $\alpha, \gamma, \mu, \beta, \delta, \lambda$  входять в цю систему як постійні (керуючі) параметри.

Нелінійна диференціальна система (2) описує поведінку територіальної економічної системи в координатах "наявний дохід у розрахунку на одну особу — валовий регіональний продукт у розрахунку на одну особу — рівень забруднення навколишнього середовища у розрахунку на одну особу" з плином часу  $t$ , тобто відтворюється динамічну модель функціонування і розвитку соціально-економічного стану регіону з урахуванням екологічних факторів з плином деякого часу, починаючи з моменту  $t_0$ .

## ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗРОБОК

Сучасні регіональні економічні системи знаходяться під впливом багатьох факторів внутрішнього і зовнішнього середовища. Серед цих факторів особливу роль відіграють екологічні фактори. Їх значення у функціонуванні тери-

торіальних економічних систем є настільки вагомим, що без їх врахування глибоке дослідження будь-якого ринку, в тому числі цінової політики, не може вважатись достатньо обґрунтованим, особливо, коли йдеться про економіку сталого розвитку, яку прагнуть побудувати багато країн та регіонів світу.

Зв'язок між рівнями доходу та деградацією навколишнього середовища досить слабкий. Дослідження показали, що більш високе економічне зростання призводить до збільшення накопичення відходів, але водночас завдяки регулюванню рівень забруднення може бути зменшено. З більш високими темпами економічного зростання люди отримують більше дискреційного доходу після оплати предметів першої необхідності; отже, вони здатні платити більш високі ціни в обмін на кращі екологічні стандарти. Є підстави вважати, що економічне зростання буде сумісним з поліпшенням навколишнього середовища, але воно вимагає обґрунтованої політики та готовності виробляти енергію та товари найбільш екологічно чистим способом.

Запропонована модель узагальнює динамічну модель класичного міжгалузевих еколого-економічного балансу, проведено її дослідження на предмет існування магістральної траєкторії розвитку. Встановлено, що темп зростання нагромадження основних виробничих фондів основного та допоміжного виробництв, випуску кінцевого продукту та об'єму знищених забруднювачів відповідає темпу зростання обсягів валових випусків та знищення забруднювачів.

У більшості країн бізнес з перероблення відходів є прибутковим. Необхідно вживати кардинальних заходів щодо підвищення економічного інтересу до підгалузі перероблення відходів. Необхідно вдосконалювати законодавство щодо поводження з відходами в частині оподаткування виробників товарів. У багатьох країнах виробники платять податок на подальшу утилізацію тари та упакування вироблених ними продуктів, який потім передається підприємствам, які займаються переробкою відходів. Потрібно запроваджувати заходи, які зробили б перероблення відходів у регіоні таким же прибутковим, як і в передових країнах для залучення інвесторів.

#### Література:

1. Lotka A.J. Elements of Physical Biology. Williams & Wilkins, Baltimore 1925. 495 p. <https://archive.org/details/elementsofphysic017-171mbp/page/n5>

2. Volterra V. Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically. Nature. 1926; 118(2972): 558 p. <https://www.nature.com/articles/118558a0>

3. Barnett H.J. and Morse C. (1963). Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resource Availability. Johns Hopkins University Press, Baltimore.

4. Barkley P. W. & Seckler D. W. Economic growth and environmental decay: the solution becomes the problem. New York (N.Y.): Harcourt, Brace and Jovanovich, 1972. 193 p.

5. Печчеи А. Человеческие качества / Перевод с английского О.В. Захаровой с издания The Human Quality "Pergamon Press" Oxford, 1977. М.: "Прогресс", 1980. — 302 с.

6. Гвишиани Д.М., Велихов Е.П., Лейбин В.М. Моделирование процессов мирового развития и сотрудничества, М. Наука 1991, ISBN 5-02-010521-X — 138 с.

7. Горшков В.Г. (1993). Современные глобальные изменения окружающей среды и возможности их предотвращения. Доклады РАН, 332 (6), С. 802—806.

8. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003. 512 с.

9. Gorshkov V.G., Kondrati'ev K.Ya., Losev K.S. (1992) Global Ecological Prospects. Herald of the Russian Academy of Sciences, 62 (6), P. 414—419.

10. Форрестер Дж. Мировая динамика. — М.: Наука, 1978. 384 с.

11. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. — М.: Прогресс, 1971.

12. Геловани В.А., Егоров В.А., Митрофанов В.Б., Пионтковский А.А. Решение одной задачи управления для глобальной динамической модели Форрестера. — препринт ИПМ АН СССР, 1974, № 56.

13. Егоров В.А., Каллистов Ю.Н., Митрофанов В.Б., Пионтковский А.А. Математические модели глобального развития. — Л.: Гидрометеоиздат, 1980. — С. 59—64.

14. Левашов В.К. Устойчивое развитие общества: парадигма, модели, стратегия. — М.: Academia, 2001. — 455 с.

15. Матросов В.М., Матросов И.В. Глобальное моделирование с учетом динамики биомассы и сценарии устойчивого развития / Новая парадигма развития России (Комплексные исследования проблем устойчивого развития). — М.: Academia, МГУК, 1999. — С. 18—24.

16. Матросова К.В. Устойчивое развитие в модифицированной математической модели "Мировая динамика" / Новая парадигма разви-

тия России (Комплексные исследования проблем устойчивого развития). — М.: Academia, МГУК, 1999. — С. 344—353.

17. Держкомстат України [Електронний ресурс].— Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

18. Робертс Фред С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Фред С. Робертс. — Москва: "Наука", 1986. — 494 с.

19. Челноков И.В., Герасимов Б.И., Быковский В.В. Региональная экономика: организационно-экономический механизм управления ресурсами развития региона / Под науч. ред. д-ра эконом. наук, проф. Б.И. Герасимова. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. — 112 с.

20. Чорней Н.Б. Теорія систем і системний аналіз: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. — К.: МАУП, 2005. — 256 с.

References:

1. Lotka, A. (1925), Elements of Physical Biology, Williams & Wilkins, Baltimore, USA.

2. Volterra, V. (1926), "Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically", Nature, available at: <https://www.nature.com/articles/118558a0> (Accessed 15 Dec 2019).

3. Barnett, H. and Morse, C. (1963), Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resource Availability, Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA.

4. Barkley, P. and Seckler, D. (1972), Economic growth and environmental decay : the solution becomes the problem, Brace and Jovanovich, Harcourt, New York, USA.

5. Pechchei, A. (1980), Chelovecheskie kachestva [The Human Quality], Progress, Moscow, Russia.

6. Gvishiani, D.M. Velihov, E.P. and Lejbin, V.M. (1991), Modelirovanie processov mirovogo razvitija i sotrudnichestva [Modeling the processes of world development and cooperation], Nauka, Moscow, Russia.

7. Gorshkov, V.G. (1993), "Current global environmental changes and their prevention", Doklady RAN, vol. 332 (6), pp. 802—806.

8. Vishnevskij, V.M. (2003), Teoreticheskie osnovy proektirovanija komp'juternyh setej [The theoretical basis for the design of computer networks], Tehnosfera, Moscow, Russia.

9. Gorshkov, V.G. Kondrati'ev, K.Y. and Losev, K.S. (1992), "Global Ecological Prospects", Herald of the Russian Academy of Sciences, vol. 62 (6), pp. 414—419.

10. Forrester, Dzh. (1978), Mirovaja dinamika [World dynamics], Moscow, Russia.

11. Forrester, Dzh. (1978), Osnovy kibernetiki predpriyatija [Fundamentals of cybernetics enterprises], Progress, Moscow, Russia.

12. Gelovani, V.A. Egorov, V.A. and Mitrofanov, V.B. (1974), Reshenie odnoj zadachi upravlenija dlja global'noj dinamicheskoy modeli Forrestera [Solution of one control problem for the Forrester global dynamic model], Moscow, Russia.

13. Egorov, V.A. Kallistov, Ju.N. and Mitrofanov, V.B. (1980), Matematicheskie modeli global'nogo razvitija [Mathematical models of global development], Gidrometeoizdat, Moscow, Russia.

14. Levashov, V.K. (2001), Ustojchivoe razvitie obshhestva: paradigma, modeli, strategija [Sustainable development of a society: paradigm, models, strategy], Academia, Moscow, Russia.

15. Matrosov, V.M. (1999), "Sailors Global modeling taking into account biomass dynamics and sustainable development scenarios", Novaja paradigma razvitija Rossii (Kompleksnye issledovanija problem ustojchivogo razvitija) [The New Paradigm of Russia's Development (Integrated Studies of Sustainable Development Problems)], Academia, Moscow, Russia.

16. Matrosov, K.V. (1999), "Sustainable development in the modified mathematical model "World Dynamics"", Novaja paradigma razvitija Rossii (Kompleksnye issledovanija problem ustojchivogo razvitija) [The New Paradigm of Russia's Development (Integrated Studies of Sustainable Development Problems)], Academia, Moscow, Russia.

17. State Statistics Service of Ukraine (2019), available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (Accessed 10 Dec 2019).

18. Roberts Fred, S. (1986), Diskretnye matematicheskie modeli s prilozhenijami k social'nym, biologicheskim i jekologicheskim zadacham [Discrete mathematical models with applications to social, biological and environmental problems], Nauka, Moscow, Russia.

19. Chelnokov, I.V. Gerasimov, B.I. and Bykovskij V.V. (2002), Regional'naja jekonomika: organizacno-jekonomicheskij mehanizm upravlenija resursami razvitija regiona [Regional economy: organizational and economic mechanism for managing regional development resources], Tambov, Russia.

20. Chornej, N.B. (2005), Teorija system i systemnyj analiz [Systems theory and system analysis], MAUP, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 28.12.2019 р.