

Лекція № 3

Особливості екологічних систем та їх моделей

План

1. Складні еколого-техногенні системи та їх властивості
2. Особливості динаміки складних систем та їх формалізації
3. Моделі глобального розвитку

1. Складні еколого-техногенні системи та їх властивості

Досі ми вели мову про перспективи застосування методів математичного моделювання для екосистем. В дійсності поняття об'єкта моделювання та прогнозування стану довкілля на сьогодні є суттєво складнішим. Воно враховує не лише структуру елементарної екосистеми (еком та екотоп), але й участь людини та людського суспільства у формуванні сучасних екосистем. Тобто об'єктом моделювання та прогнозування стану довкілля є природно-техногенні системи. В сучасній науці вживається багато синонімів цього поняття: природно-антропогенні системи, природно-антропогенні територіальні системи, нообіогеоценози, біотехноценози, територіально-виробничі комплекси, природно-промислові комплекси. Уживання того чи іншого терміну визначається специфікою конкретної галузі науки. Надалі для позначення даних систем ми вживатимемо термін техноекосистеми (ТЕС).

В розумінні сутності техноекосистем ми поділяємо погляди Б.А. Іванова та І.І. Медведєва (1989), які у свій час стали одними із засновників нової галузі екологічної науки – *інженерної екології*. Саме цей напрям екології, на нашу думку, найбільш адекватно підходить для розробки теоретичних та методичних підвалин моделювання та прогнозування стану довкілля. *Інженерна екологія* – це нова наукова дисципліна, яка займається вивченням взаємодії людського суспільства з природним середовищем у процесі суспільного виробництва. *Об'єктом дослідження* в інженерній екології є системи, що утворились і тривалий функціонують в результаті взаємодії конкретного виду суспільного виробництва з оточуючим його природним середовищем, тобто *техноекосистеми*. *Предметом дослідження* в інженерній екології є структура й функціонування даних природно-промислових систем (техноекосистем) [Іванов].

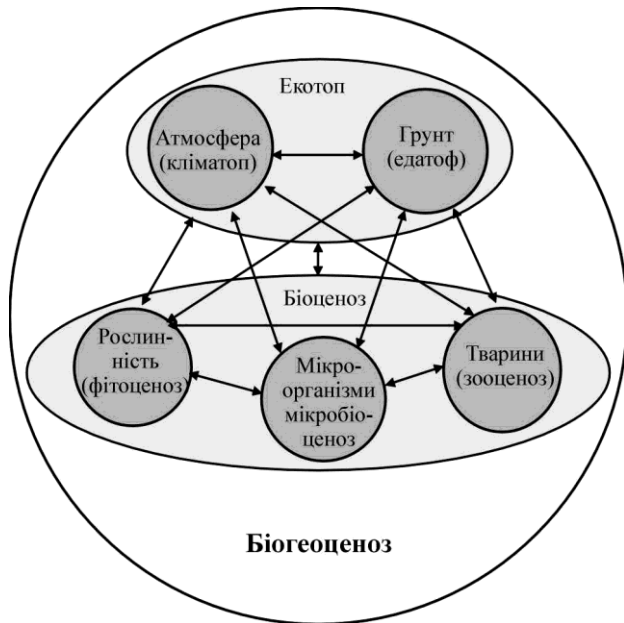
Будучи об'єктивною реальністю, техноекосистеми виділяються з метою використання цілісного (холістичного) комплексного системного підходу при вивченні взаємодії виробництва з природним середовищем. Основні принципи такої взаємодії були сформульовані С.С. Шварцем (1974):

- свій вплив на біосферу, на природу людина виявляє у формі взаємодії між людськими спільнотами та оточуючою живою та неживою (косною, за визначенням В.І. Вернадського) природою;
- характер взаємодії визначається рівнем розвитку продуктивних сил і

виробничих відносин, а також особливостями самого природного середовища;

- розвиток системи “суспільство-природа” полягає в неминучості прогресуючих антропогенних змін природного середовища.

А.



Б.



Рис. 1. Порівняльні структурні схеми матеріально-енергетичної одиниці біосфери – біогеоценозу (А) та ноосфери – нообіогеоценозу (Б)

На рис. 1 наведено структурні схеми біогеоценозу (екосистеми) та нообіогеоценозу (техноекосистеми). Як видно з цих схем, нообіогеоценоз відрізняється наявністю блоку нооценозу, який представлений людським суспільством, засобами та продуктами праці, тобто продуктивними силами та середовищем споживання. В основі функціонування техноекосистеми лежить 3 види зв'язків між її компонентами:

- обмін речовиною;
- обмін енергією;
- обмін інформацією.

Обмін речовин між компонентами ТЕС відбувається шляхом залучення певних технологічних і природних ресурсів у матеріальне виробництво, у процесі якого створюється продукт праці (продукція ТЕС). Ресурси, які не ввійшли до продукту праці повертаються в природне середовище. Сумарна кількість речовин, що втягуються у виробництво й продуктів праці в межах окремої ТЕС, залишається приблизно постійним. Це дає можливість скласти матеріальний баланс усього виробничого процесу, на його основі оцінити кількісні і якісні перетворення речовин і визначити місця їхнього виходу з технологічного процесу. Це дає стає можливість визначити шляхи подальшого поширення (розсіювання) викидів і відходів виробництва в екологічній системі, виявити їх роль у загальному кругообігу речовин і оцінити якісні й кількісні

зміни, що відбуваються в основних природних об'єктах у межах зони дії підприємства.

Обмін енергією між компонентами ТЕС відбувається шляхом перетворення природних джерел енергії в енергетичні ресурси виробництва, а також шляхом виділення в навколишнє середовище невикористаної у виробництві частки енергії.

Обмін інформацією дозволяє судити про стан окремих компонентів, коректувати процеси обміну речовиною й енергією. Інформація природного характеру виражається через властивості природних компонентів, а виробнича інформація отримується за допомогою використання автоматизованих систем контролю, прогнозу і керування процесами виробництва й станом природних об'єктів. Таким чином процеси обміну речовиною й енергією в ТЕС можуть контролюватися і цілеспрямовано керуватися за допомогою визначених інженерних заходів. Цим ТЕС відрізняються від природних систем. Можливість контролю й керування процесами обміну речовини й енергії між навколишнім природним середовищем і промисловим виробництвом є основою для підвищення ефективності використання й охорони природних ресурсів при будівництві й експлуатації промислових підприємств, а також для забезпечення заданого рівня якості природного середовища в зоні дії промислових, сільськогосподарських, комунальних, транспортних та інших підприємств.

З цих позицій ТЕС – це відносно стійка і самостійна структурна одиниця ноосфери, що включає в себе природні, промислові, сільськогосподарські й комунально-побутові об'єкти, що функціонують як єдине ціле на основі певного типу обміну речовиною, енергією та інформацією.

У загальному випадку під **структурою ТЕС** розуміють склад та взаємне розташування її компонентів і елементів, що визначають характер і напрямок функціонування системи. У залежності від призначення й цілей використання можна виділити наступні типи структури ТЕС: компонентна, ієрархічна, функціональна, морфологічна.

Під **компонентною структурою** ТЕС розуміють її однорідні за складом частини (рис. 2), що наділені певними функціональними властивостями. Вона розкриває склад і властивості ТЕС як ноосфери. структурної частини

Ієрархічна структура ТЕС з методологічної точки зору розкриває чотири ієрархії: ієрархію простору, часу, організації та наукових досліджень (табл. 1). Найвище положення у ієрархії систем займає надсистема, до якої входять системи, що складаються з елементів різних порядків. З цих ієрархій з позиції геоєкології найбільш важлива – **просторова структура**, або як її ще називають **територіальна структура**. Територіальна структура демонструє просторовий розподіл компонентів ТЕС, а також просторові межі їх впливу. Саме цим питанням присвячено один з найновіших розділ моделювання й прогнозування стану довкілля – геоінформаційне моделювання (так звані “ГІС-технології”). На рис. 3 зображено типовий приклад територіальної структури ТЕС, взятий з роботи [Іванов].

Таблиця 1. Ієрархічна структура ТЕС (за [Іванов]).

Середовище	Елементи					Підсистеми		Системи	Надсистеми		
	I	II	III	IV	V	Компоненти	Угруповання				
Біотичне	Гени	Клітини	Органи	Організми	Популяції	Фіто- Зооценоз Мікробіоценоз	Біоценоз	Біогеоценоз	Нообіогеоценоз	Природно-промисловий	Територіально-виробничий (ТВК)
Абіотичне	Ізотопи	Елементи	Речовини	Сполуки	Утворення (субстрати)	Літо- Гідро- Атмосфера	Екотоп				
Виробниче (соціальне)	Матеріали	Машини та механізми	Техмайданчики	Ділянки	Виробництва	Засоби праці	Нооценоз	Антропоген (техноген)	Нообіогеоценоз	Природно-промисловий	Територіально-виробничий (ТВК)
	Особи	Шари	Категорії	Групи	Класи	Суспільство					
	Сировина	Напівфабрикати	Продукція	Вироби	Предмети споживання	Продукти праці					

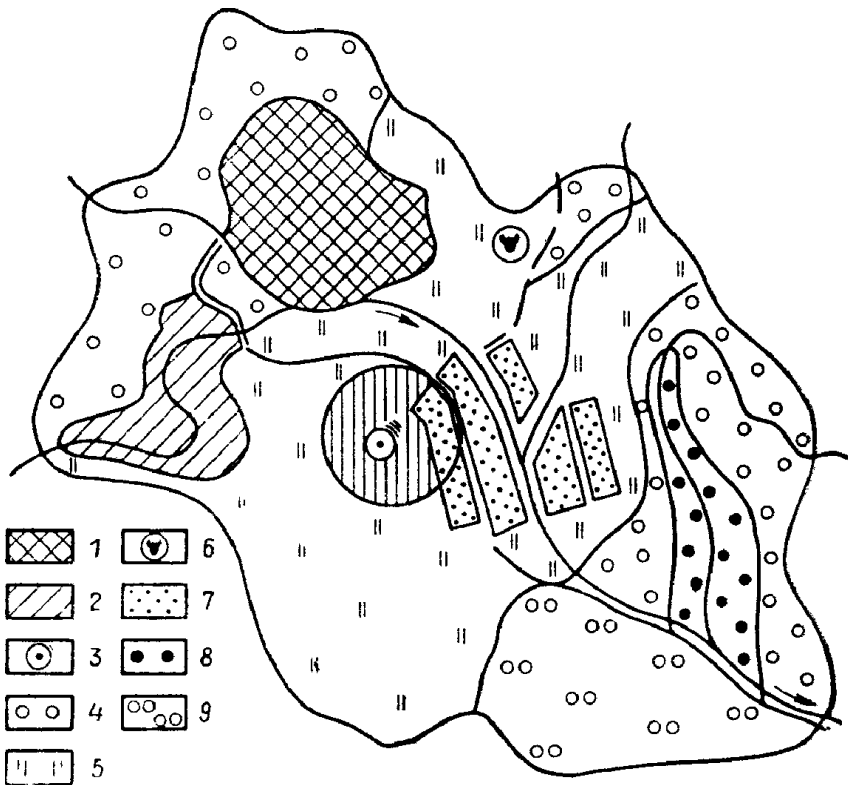
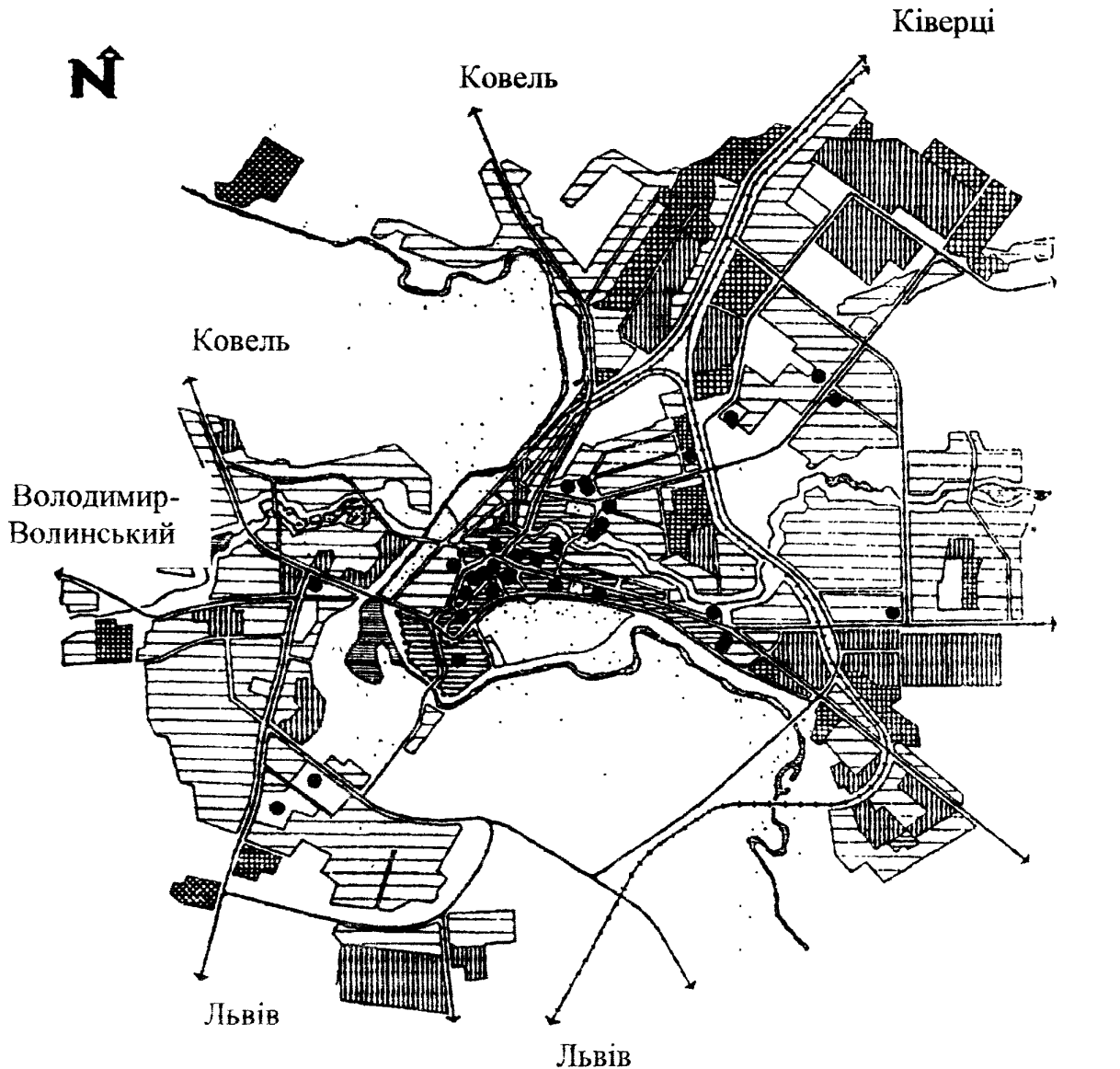


Рис. 3. Приклад територіальної структури ТЕС (за іванов)

Функціональна структура – розкриває специфіку утворення ТЕС та сукупність взаємодіючих структурних одиниць. Компоненти у функціональній структурі виділяються за призначенням та взаємовпливом. Прикладом може бути картосхема функціонального використання території м. Луцька (рис. 4)



Умовні позначення:

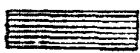






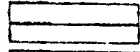
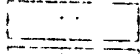
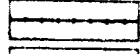


- | | | | |
|---|---|---|------------------------------------|
|  | - загальноміський центр |  | - території промисл. підприємств |
|  | - громадські об'єкти загальноміського призначення |  | - території складів, баз |
|  | - територія істор.-архітект. запов. |  | - території комунальн. підприємств |
|  | - селищні території |  | - автошляхи |
|  | - парки, рекреаційна зона |  | - залізниця |
|  | - водні простори |  | - інші території |

Рис. 4. Функціональна організація території м. Луцька (за В.І. Павловим, 1998)

Морфологічна структура ТЕС – це просторове розміщення всіх компонентів нооценозу, біоценозу, екотопу у тісному взаємозв'язку та з врахуванням наслідків взаємодії. Вона являє собою, по-суті, структурне оформлення просторових і функціональних зв'язків та відношень між джерелами впливу й об'єктами, що зазнають впливу і змінюються внаслідок цього. Морфологічна структура відображає зафіксований на конкретний момент часу стан, який визначається шляхом виявлення й опису екологічних змін, що відбулись внаслідок впливу виробництва на природне середовище.

Підсумовуючи, слід відмітити, що надалі ми розглядатимемо в якості об'єкта моделювання й прогнозування стану довкілля саме ТЕС. Адекватність ТЕС в даній якості не викликає на сьогодні жодних сумнівів, особливо чітко це видно, наприклад, при аналізі екологічного стану урбоекосистем.

2. Особливості динаміки складних систем та їх формалізації

Окрім поняття структури, доволі важливим елементом та напрямком моделювання є динаміка ТЕС. З практичної точки зору найбільший інтерес викликають наступні параметри функціонування техногенно-екологічних систем:

- здатність до відтворення біомаси;
- формування запасів прісних вод;
- самоочищення від різноманітних полутантів;
- здатність зберігати й відтворювати попередні властивості в широкому діапазоні зовнішніх впливів.

Вони зумовлюються сукупністю системних властивостей ТЕС, серед найважливішими є []:

- **Гомеостатичність** – здатність систем підтримувати рівень життєвих процесів. Механізм реалізації даної властивості досить складний. Адаптація до мінливих умов середовища відбувається як на рівні окремих організмів і популяцій, так і біоценозів у цілому. Вирішальне значення мають зміни видового складу, структури й режиму функціонування ценозів. Цей процес можна представити у вигляді послідовної зміни станів.
- **Цілісність** – тобто здатність системи, не дивлячись на висоту її ієрархічного рівня та ступінь складності, функціонувати як єдине ціле на основі взаємодії екотопу та біоценозу. Погоджена зміна біотичних та абіотичних елементів ТЕС досягається за рахунок дії системи зворотних зв'язків. З їхньою допомогою регулюються самі різні процеси, що забезпечує функціональну єдність і цілісність системи.
- **Структурність** – просторова неоднорідність і складність внутрішньої будови екосистем, що є наслідком комплексної взаємодії між елементами оточуючого середовища.
- **Складність функціонального середовища** суттєво впливає на

закономірності динаміки природних систем, що має складний і неоднозначний характер. Це зумовлюється різноманіттям факторів, що діють на екосистеми і тісним взаємозв'язком між їх елементами. Відповідні залежності є нелінійними, їхні параметри сильно змінюються при зміні функціональних станів системи.

В розумінні концепції динаміки складних еколого-техногенних систем ми вважаємо найцікавішою та найперспективнішою “геоситуаційну концепцію”, що була висунута А.М. Трофімовим та М.В. Панасюком (1984). Суть її полягає в тому, що екосистема поступово еволюціонує від однієї ситуації (стану) до іншої. У рамках концепції станів, динаміка системи представляється у виді дискретної послідовності режимів її функціонування. Кожний з них однозначно характеризується значеннями інтегральних показників стану елементів системи. Вигляд функції є строго індивідуальним, тому, що елементи системи розглядаються теж індивідуально. Такий підхід є цілком обґрунтованим, якщо врахувати розбіжності в характерних швидкостях процесів в один-три порядків і більш.

Концепція станів характеризує зміну режимів функціонування природних систем (у т.ч. і враховує наслідки антропогенного впливу на них). Тому вона є універсальним засобом для формального опису складних об'єктів, яким властива дискретність зміни функціональних режимів. Також вона дозволяє об'єктивно інтерпретувати найважливіші системоутворюючі фактори з допомогою інтегральних показників. В найбільш загальному випадку формалізацією поведінки складної системи може бути дискретна схема типу []:

критерій → стан → вплив → відклик.

3. Моделі глобального розвитку

В умовах науково-технічної революції вплив людини на оточуюче її середовище набрав масштабів, які можна порівняти з природними процесами. Виникла реальна загроза незворотних негативних наслідків. Сучасні соціально-екологічні процеси взаємодії людини і навколишнього середовища настільки складні і масштабні, що не можна пасивно сподіватися на їхню стихійну адаптацію в бажаному напрямку. Виникає задача – вивчити дію усіх у сукупності факторів, що обумовлюють розвиток людства, знайти шлях свідомого керування цим розвитком.

У цих умовах важливим інструментом аналізу керування розвитком складних систем стають методи математичного моделювання. Методологічною базою комплексного дослідження найбільш важливих сторін розвитку людського суспільства є системний аналіз.

Глобальні моделі Форрестера й Мідоуза. Перша спроба формалізувати опис екологічних процесів була здійснена в 1971 р. американським дослідником Дж. Форрестером. У своїй книзі “Світова динаміка” Дж.Форрестер запропонував варіант моделі економічного розвитку світу, що містить лише два екологічних параметри: чисельність населення й забруднення середовища.

Модель дозволила оцінювати взаємний вплив цих параметрів, з одного боку, і темпів економічного розвитку – з іншого. Хоча, як писав сам Форрестер, основна задача його книги була чисто методична, а модель носила навчальний характер. Та роль його роботи в розвитку досліджень глобального характеру складно переоцінити. Уперше була продемонстрована принципова можливість об'єднати виробничі, соціальні й екологічні процеси однією формальною оцінкою. Через рік після “Світової динаміки” вийшла у світ книга “Межі росту”, написана групою вчених під керівництвом Д. Мідоуза. Модель Д. Мідоуза – “Світ-3” – являє собою систему нелінійних диференціальних рівнянь, що описують динаміку взаємодії таких секторів, як народонаселення, промисловість, сільське господарство, невідновлювані природні ресурси, забруднення середовища й ін. Метою цієї роботи було виявлення загальних якісних тенденцій процесу взаємозалежної зміни основних складових системи, аналіз чутливості результатів стосовно різних закладених у модель припущень.

Роботи Форрестера й Мідоуза викликали широкий відгук у світовій літературі. Принциповим недоліком математичних моделей “Світ-2” і “Світ-3” було те, що моделі не відбивали можливості свідомого впливу людини на процес розвитку. Але слід зазначити позитивне значення даних робіт. Уперше були системно проаналізовані деякі глобальні економічні, демографічні й екологічні процеси.

Проект “Стратегія виживання” Месаровича-Пестеля. Наступним етапом глобального моделювання стала реалізація проекту “Стратегія виживання”, який очолили М. Месарович (США) і Е. Пестель (ФРН). Критикуючи модель “Світ-3” як “механічну”, Месарович і Пестель висували задачу побудови “кібернетичної” моделі світу. Основні принципи її побудови можуть бути сформульовані в трьох тезах:

- модель, що відбиває складні процеси взаємодії людини з навколишнім середовищем, повинна ґрунтуватися на теорії багаторівневих ієрархічних систем;
- модель повинна бути керованою, тобто містити в собі процес прийняття рішень, що дозволяє врахувати можливість свідомого впливу людини на розвиток світової системи, для чого необхідно забезпечити роботу в діалоговому режимі між дослідником й ЕОМ;
- світ варто розглядати не як єдине однорідне ціле, а як систему взаємодіючих регіонів, що розрізняються рівнем розвитку, населеністю і т.д.

У моделі Месаровича-Пестеля (М-П-модель) усі країни світу, відповідно до їхніх соціально-економічних структур і рівнів розвитку, об'єднані в 10 регіонів; кожен регіон описується системою регіональних підмоделей, їхня структура – та сама для всіх регіонів, відмінність – у початкових даних і значеннях параметрів. Зв'язок регіонів здійснюється через міграцію населення, імпорт і експорт продукції.

Латиноамериканська модель глобального розвитку. У 1974 р. група аргентинських учених на чолі з професором А. Еррерою отримали попередні результати роботи над латиноамериканською моделлю глобального розвитку.

Передумовою виконання роботи (на відміну від моделі “Світ-3”) стала теза про те, що основною перешкодою на шляху гармонійного розвитку людства є нерівномірний розподіл багатств між різними країнами.

У моделі Еррери основною метою розвитку людського суспільства є досягнення задовільних умов життя всіма країнами світу, а не просто ріст матеріального споживання. Під задовільними умовами розуміються деякі досить високі рівні медичного обслуговування, освіти, забезпеченості харчуванням, житлом і т.д.

Існують й інші моделі глобального розвитку. Подібною проблематикою вже тривалий час займається Римський Клуб. В СРСР чи не найвідомішою моделлю була “Гея”, розроблена в АН СРСР науковим колективом під керівництвом акад. Н.Н. Моїсеєва. Також доволі відомими у своїх галузях є проекти та дослідження “Проблеми подвоєння населення світу”, проведені групою Х. Ліннемана в Амстердамському університеті; проект японської групи, під керівництвом Я. Кайа; модель “Відновлення міжнародного порядку”, представлена Дж. Тінбергеном і присвячена виробленню рекомендацій зі співробітництва розвинутих країн із країнами, що розвиваються; модель «Майбутнє світової економіки», представлена в ООН групою В. Леонтєва (США).