

**Є. К. Мержинський**, асистент  
Запорізька державна інженерна академія

## **ПОБУДОВА СППР ФОРМУВАННЯ ЗБАЛАНСОВАНОГО ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ЗАПОРІЗЬКОГО РЕГІОНУ**

*АНОТАЦІЯ. У статті розроблено СППР регіонального еколого-економічного розвитку на базі створення економіко-математичного апарату управління, що забезпечує одержання якісного прогнозу валового регіонального продукту з урахуванням оптимального співвідношення основного капіталу регіону до якісного стану навколишнього середовища.*

*THE SUMMARY. In the article developed system of support decision making of regional ecology-economy development on the base of creation economy mathematical modelling of management which provides the receipt of high-quality prognosis of gross regional product taking into account optimum correlation of the fixed assets of region to the high-quality state of environment.*

*КЛЮЧОВІ СЛОВА. СППР, еколого-економічне моделювання, нейронна мережа, прогнозування, ОПР, валовий регіональний продукт.*

На сучасному етапі економічних відносин в Україні є значні протиріччя між розвитком економіки та станом довкілля, що спонукає до пошуку стратегічних змін у питаннях управління соціально-економічним розвитком країни з урахуванням екологічного фактору [5].

Національна екологічна стратегія здійснюється в контексті реалізації національної стратегії переходу до сталого розвитку відповідно до рішень Всесвітнього саміту у Йоганнесбурзі та політичних орієнтирів європейського процесу «Довкілля для Європи» [1—3]. Відповідно до декларації ООН «Цілі в області розвитку тисячоріччя», прийнятої у вересні 2000 р., 191 держава, що є членами ООН (у тому числі й Україна), взяли на себе зобов'язання досягти забезпечення екологічної стійкості до 2015 р. Незважаючи на визнання принципів сталого розвитку, в Україні до цього часу законодавчо не затверджено концепцію та перелік критеріїв і індикаторів для оцінки еколого-економічних та соціальних систем з метою оптимізації процесів сталого розвитку.

За оцінкою науковців Міжнародного інституту менеджменту навколишнього середовища (Швейцарія) щорічні втрати України від погіршення її екологічного стану становлять близько 15—20 % внутрішнього національного доходу і є одними з найбільших у світі. Головною причиною цього є неналежна увага до проблем довкілля.

Аналіз наукових праць у сфері охорони довкілля, розробки СППР з питань екологічної безпеки та раціонального викорис-

тання природних ресурсів, зокрема, О. Балацького, Л. Б'яна, Д. Бента, І. Вельбицького, В. Гесця, В. Гурмана, Д. Лама, І. Ляшенко, Т. Мар'яновича, А. Матвеева, В. Рвачева та інших присвячено розв'язанню головних завдань сталого розвитку з використанням сучасних інформаційних систем на регіональному та державному рівні [5—8]. Однак низка питань, пов'язаних із реалізацією концепції побудови СППР збалансованого розвитку та вибором методів та інструментів підвищення якості навколишнього середовища регіону, залишаються недостатньо вирішеними. На сьогодні практично відсутні приклади завершених розробок систем підтримки прийняття рішень пов'язаних з оптимізацією параметрів джерел забруднення навколишнього середовища в умовах економічного розвитку регіону з урахуванням екологічних норм, що відповідають сучасному рівню розвитку техніки і технології.

Тому розробка СППР щодо збалансованого еколого-економічного розвитку регіону з використанням динамічних оптимізаційних моделей та моделей штучної нейронної мережі є актуальною науковою задачею.

Дослідження особливостей функціонування Запорізького регіону як еколого-економічної системи, аналіз основних підходів щодо управління сталого розвитку регіону із застосуванням геоінформаційних систем і принципів сучасної теорії збалансованого еколого-економічного розвитку [6], дозволило розробити концепцію формування СППР збалансованого розвитку Запорізького регіону (рис. 1).

Структура концепції побудови СППР збалансованого розвитку розроблена із застосуванням методів системного аналізу та багатокритеріального підходу в управлінні еколого-економічною системою. Іншими важливими принципами, використовуваними при розробці СППР збалансованого розвитку, стали: принцип комплексності, концептуальної єдності, цільової структуризації, орієнтації на кінцевого користувача й повноти системи.

Структура СППР формування збалансованого розвитку включає системи формування цілей, обробки інформації, оперативних баз даних, багатомірних баз даних, підсистему підвищення якості навколишнього середовища та еколого-економічного моніторингу, модулі оцінки еколого-економічного потенціалу Запорізького регіону та управління еколого-економічною системою.

Державне управління екології та природних ресурсів у Запорізькій області виступає в якості ОПР основними задачами якого є контроль за дотриманням природоохоронного законодавства з боку юридичних та фізичних осіб, суб'єктів економічної діяльності та споживачів природних ресурсів.

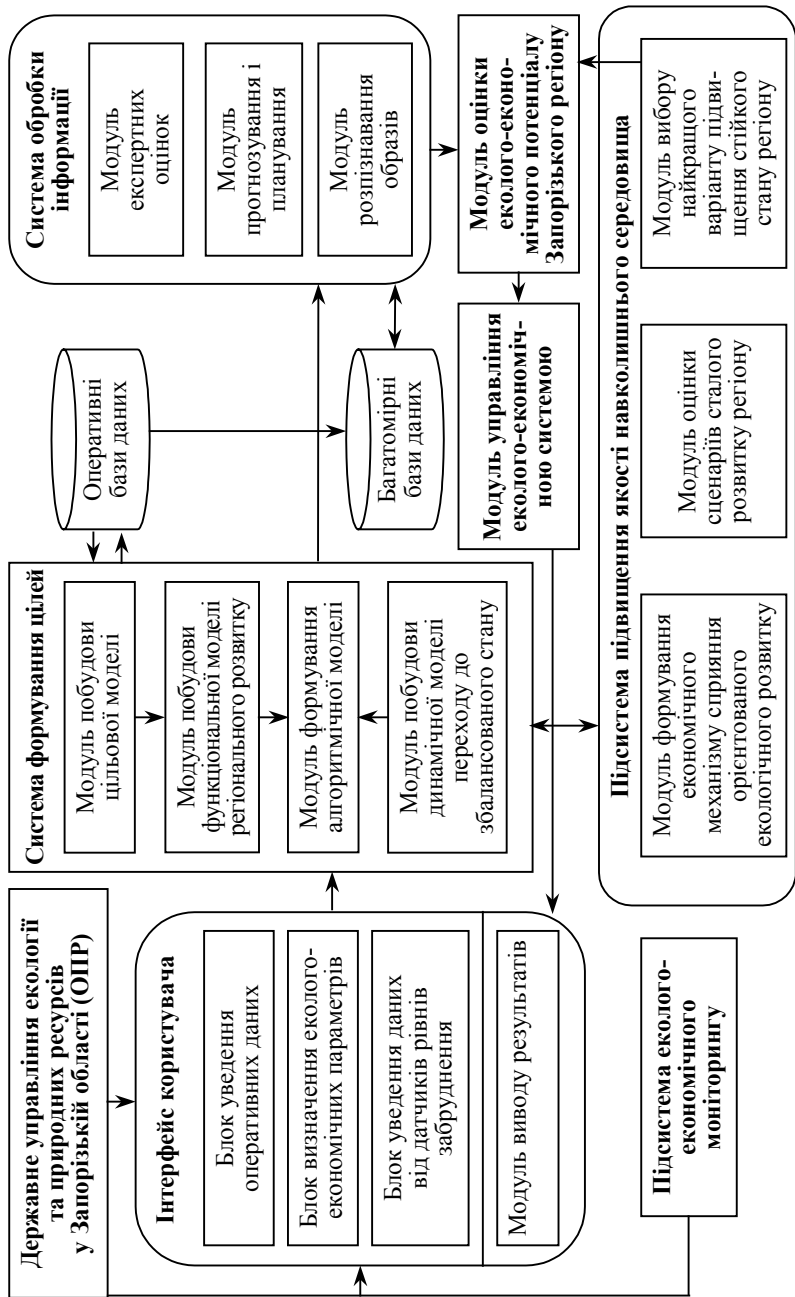


Рис. 1. Структура концепції побудови СПДР формування збалансованого розвитку Запорізького регіону

Також на місцевому рівні держуправління встановлює ліміти по використанню природних ресурсів та здійснює державний моніторинг стану навколишнього середовища. За допомогою інтерфейсу користувача ОПР здійснює уведення оперативних даних і визначає набір еколого-економічних параметрів.

Підсистема еколого-економічного моніторингу забезпечує ОПР оперативною, актуальною й достовірною інформацією про поточний стан регіону. Завдяки інтеграції процесів спостереження і контролю за навколишнім середовищем з СППР, можливо автоматизувати за допомогою існуючих технологій оперативне отримання інформації від датчиків рівнів забруднення що дозволить своєчасно приймати рішення щодо поточного стану навколишнього середовища.

Система формування цілей забезпечує вибір побудови цільової моделі і формування алгоритмічної моделі — послідовності виконання процедури обробки інформації. Модуль побудови функціональної моделі в СППР показує, яким чином вихідні дані обчислюються за вхідними даними, не розглядаючи порядок і спосіб реалізації обчислень.

Основною метою побудови структури СППР є забезпечення збалансованого розвитку регіону, яке здійснюється завдяки оптимальному співвідношенню капіталу до якісного стану навколишнього середовища вираженого у якості суспільного блага.

Виходячи з мети побудови СППР була розроблена динамічна модель переходу до збалансованого стану регіону:

$$\max_{c_t} \int_0^{\infty} e^{-pt} N[a \ln(c_t) + (1-a) \ln(E_t)] dt, \quad (1)$$

де  $E_t$  якість навколишнього середовища у період  $t$ ,  $c_t$  — споживання приватного блага у період  $t$ ,  $N$  населення регіону,  $p$  — облікова ставка,  $a$  — вага в приватному споживанні комунальних послуг, перебуває між нулем і одиницею.

Відношення капіталу до якості навколишнього середовища в процесі переходу до збалансованого стану становитиме:

$$\frac{K_t}{E_t} = \frac{K_0 e^{(A-\delta-p)t}}{-\frac{P}{(A-\delta-p)} K_0 e^{(A-\delta-p)t} + \left[ E_0 + \frac{PK_0}{(A-\delta-p)} \right]}, \quad (2)$$

де  $\delta$  — норма амортизації,  $K_t$  — сукупна величина капіталу у період  $t$ ,  $A$  лінійна технологія виробництва капіталом,  $PK_0$  — обсяг забруднення у початковий період ( $t = 0$ ).

СППР формування збалансованого розвитку Запорізького регіону використовує: оперативні бази даних — реляційні СУБД для зберігання поточних показників; багатомірні бази даних — для обробки поточних даних і створення історичних шарів. Ця технологія дозволяє створювати багатомірні куби, у яких зберігаються дані й здійснюються розрахунки необхідних показників по алгоритмічній моделі. За допомогою побудови багатомірних запитів (зрізів куба) вибираються історичні шари даних, тобто значення даних за певні періоди, обрані на основі цільової й функціональної моделі, що дозволяє вирішувати завдання прогнозування на певні періоди часу.

У модулі формування алгоритмічної моделі формуються масиви даних навчання нейронної мережі. Методика прогнозування за допомогою нейронної мережі формалізується через завдання розпізнавання образів. Данні щодо прогнозних еколого-економічних показників за деякий проміжок часу формують образи, клас яких визначається значеннями прогнозovаних показників. У запропонованій методиці розмірність багатомірного масиву буде визначати як інтервал прогнозування, так і кількість прогнозованих показників. Кожний наступний рядок масиву формується в результаті зрушення на один інтервал, що дорівнює інтервалу прогнозування. Нейронна мережа навчається на сформованому навчальному масиві еколого-економічних показників і відповідно налаштовує свої вагові коефіцієнти.

В системі обробки інформації використовують модулі: експертних оцінок, прогнозування і планування та розпізнавання образів. Модуль експертної оцінки дозволяє провести аналіз і оцінку поточної екологічної ситуації окремо по кожному із забруднень. Особливістю системи є використання не абсолютних, а відносних

рівнів забруднення  $C_i = \frac{k_i}{\text{ГПК}}$  (у частках гранично припустимої концентрації), де  $k_i$  — концентрація  $i$ -го забруднювача ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ). Екологічна ситуація є небезпечною при умові перевищення заданого граничного значення рівня забруднення  $C_i < P_{in}$ , де  $P_{in}$  — відносний рівень забруднення по  $i$ -му забруднювачу,  $n$  — ступінь небезпеки екологічної ситуації ( $n = 1$  — безпечна,  $n = 2$  — підвищена,  $n = 3$  — небезпечна), на підставі швидкого росту рівня забруднення  $\frac{dk_i}{dt} < Z_{in}$ , де  $Z_{in}$  — рівень швидкості росту концентрації  $i$ -го забруднювача, або при підвищенні рівня забруднення по декількох забруднювачах, кожний з яких не перевищує граничних значень  $\sum d_i C_i < S_n$ , де  $d_i$  — вагові коефіцієнти.

У модулі прогнозування і планування відбувається побудова математичної нейромоделі яка забезпечує якісний прогноз за допомогою еколого-економічних показників розвитку Запорізького регіону. Для навчання мережі була взята вибірка з даних за 1996—2008 роки, сформованих на основі статистичної звітності головного управління статистики у Запорізькій області [4]. Побудована нейромодел ь повинна відображати зв'язок між показниками еколого-економічного розвитку регіону  $X_1 - X_9$  і валовим регіональним продуктом  $Y$ .

Приведемо поверхні залежностей  $Y = f(X_4, X_8)$  і  $Y = f(X_1, X_3)$  (рис. 2—3), де  $Y$  — валовий регіональний продукт, млн грн,  $X_1$  — захворюваність населення тис. чол.,  $X_3$  — кількість наявного міського населення, тис. чол.,  $X_4$  — інвестування у природоохоронну діяльність, % до інвестицій в основний капітал,  $X_8$  — викид забруднюючих речовин в атмосферу, тис. т.

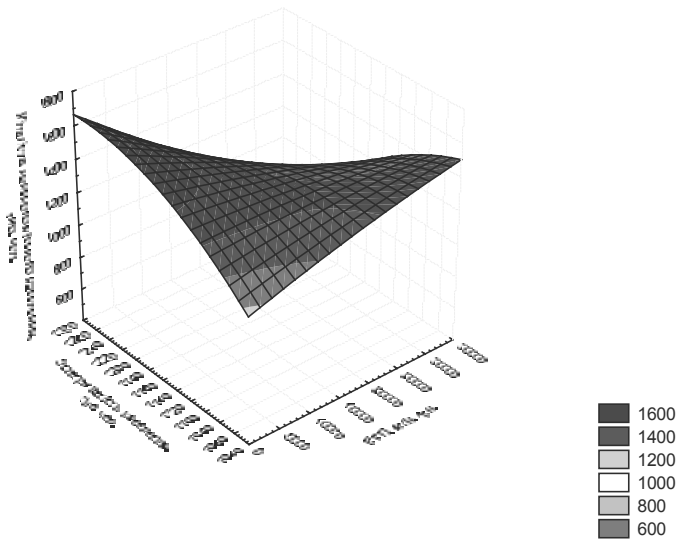


Рис. 2. Графік поверхні  $Y = f(X_1, X_3)$

Факт нелінійності наведених на малюнках не викликає сумніву. По виду поверхонь визначити вид залежностей важко, тим більше, що враховано далеко не всі фактори.

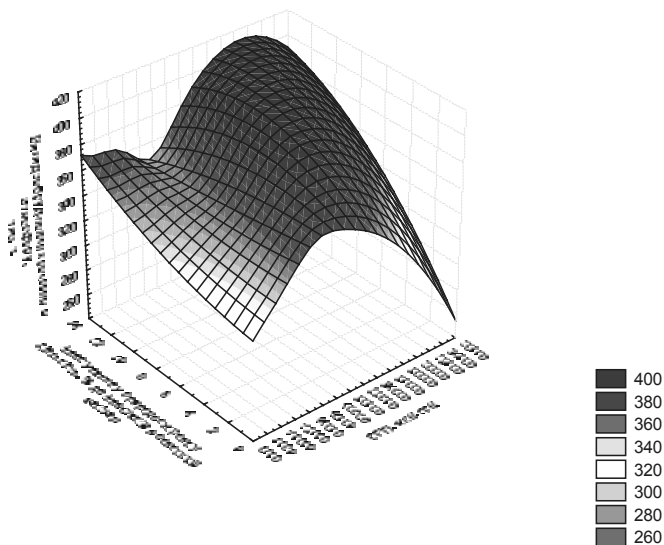


Рис. 3. Графік поверхні  $Y = f(X_4, X_8)$

Побудуємо нейронну мережу яка сама підбере адекватну функцію, найкращім чином апроксимуючи вхідні дані. Для цього необхідно зробити перебір ряду нейромережових конфігурацій і зробити вибір найкращої з погляду мінімуму помилки на виході мережі й максимуму її продуктивності. Результати аналізу вибору нейромережі наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**ВИБІР НАЙКРАЩОЇ МЕРЕЖІ**

Архітектура	Прод-сть навчання	Контрольна прод-сть	Тестова прод-сть	Помилка навчання	Контрольна помилка	Тестова помилка
БП 5:5-7-1:1	0,274448	2,082292	0,940450	0,119533	1,496792	0,050252
Лінійна 7:7-1:1	0,000000	0,570398	4,134480	0,000000	0,612994	0,222567
БП 3:3-5-1:1	0,014820	0,225176	1,510291	0,005840	0,131110	0,175679
РБФ 7:7-1:1	0,998290	0,943804	1,473997	0,000157	0,000520	0,000164
БП 5:5-7-1:1	0,274448	2,082292	0,940450	0,119533	1,496792	0,050252

Аналізуючи показники мереж, побудованих за допомогою процедури Intelligent Problem Solver була вибрана нейромережа: багат шаровий перцептрон (3 шари) з 5-ма нейронами на схованому шарі (рис. 4).

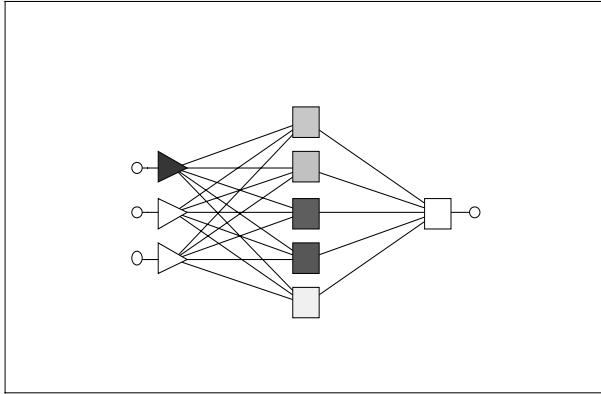


Рис. 4. Ілюстрація мережі

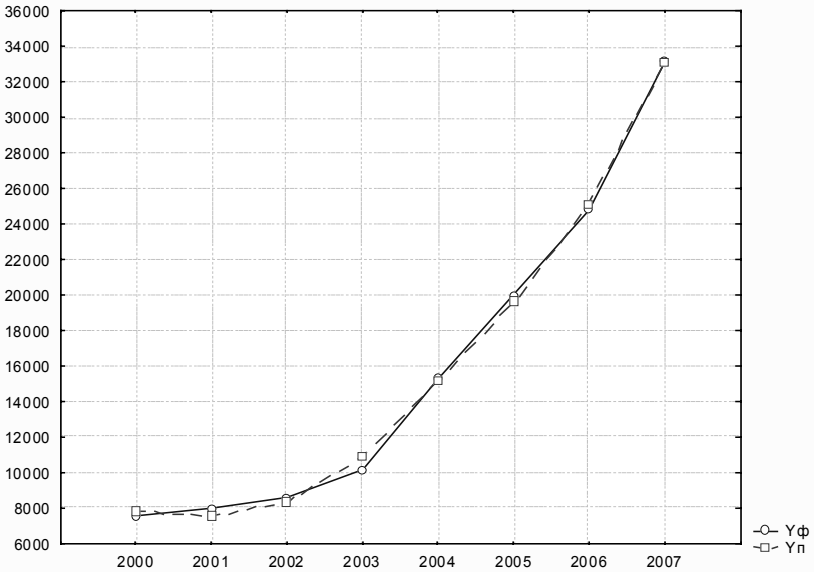


Рис. 5. Порівняння фактичного обсягу валового регіонального продукту з нейропрогнозним значенням



Графічною ілюстрацією якості роботи нейронної мережі є порівняльний графік фактичного обсягу валового регіонального продукту з розрахунковим значенням на основі побудованої нейромоделі.

Отримані дані передаються до підсистеми підвищення якості навколишнього середовища, яка складається з трьох модулів: модуль формування економічного механізму сприяння орієнтованого екологічного розвитку, модуль оцінки сценаріїв сталого розвитку регіону, модуль вибору найкращого варіанту підвищення стійкого стану регіону. Модуль формування економічного механізму сприяння орієнтованого екологічного розвитку базується на застосуванні одного із найважливіших методологічних та методичних підходів — системного підходу, що враховує динамічну функціональну залежність між станом цілого та розвитком і збалансованістю його складових елементів. У відповідності до цілей стратегічного розвитку регіону відбувається формування механізму еколого-економічного розвитку з застосуванням економічних чинників у вигляді впровадження податку на забруднення та споживання, продажу дозволів на викид забруднювачів, припустимих нормам забруднення.

В модулі оцінки сценаріїв сталого розвитку регіону відбувається аналіз можливих сценаріїв розвитку та ймовірність їх появи в еколого-економічній системі регіону з використанням запропонованого еколого-економічного механізму з метою вибору найкращого варіанту сталого розвитку [8]. Останнім етапом підсистеми підвищення якості навколишнього середовища є вибір найкращого варіанту стійкого стану регіону. В цьому модулі відбувається побудова дерева цілей і визначаються всі вершини розгалуження алгоритмів їх досягнення з використанням механізму багатокритеріальної Парето-оптимізації.

Після визначення прогнозних значень розвитку валового регіонального продукту та вибору найкращого варіанту стійкого стану регіону проводиться оцінка еколого-економічного потенціалу регіону де визначаються оптимальні темпи економічного росту регіону з урахуванням екологічної складової. Модуль управління еколого-економічною системою визначає основні напрямки проведення політики ОПР у напрямку здійснення заходів щодо оптимального забезпечення стійкого розвитку регіону. Результати прогнозування та необхідні заходи, які потрібно впровадити Державному управлінню екології та природних ресурсів у Запорізькій області надаються до інтерфейсу користувача. СППР побудована таким чином, що ОПР може аналізувати кожний етап

роботи системи та коректувати параметри динамічної моделі з метою визначення оптимального часу переходу до збалансованого стану регіону за оптимістичним та песимістичним сценарієм розвитку.

У рамках методології прогнозуючого керування нейромережеві моделі дозволяють збільшити ефективність розробленої СППР, особливо для об'єктів зі складною нелінійною динамікою, якою є еколого-економічна система регіону, за рахунок підвищення точності прогнозу, обумовленого універсальними апроксимуючими властивостями штучних нейронних мереж, які доцільно застосовувати в управлінні регіональним розвитком.

### **Література**

1. Андрианов Д.Л. Имитационное моделирование и сценарный поход в системах принятия решений // Проблемы теории и практики управления. — 2002. — № 5. — С. 74—75.
2. Гринченко М.А. Методика настройки имитационной модели для прогнозирования развития макроэкономических систем // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Системний аналіз і управління». — Запоріжжя: ГУ «ЗІДМУ», 2006. — С. 25—27.
3. Григорків В.С. Моделирование оптимальной траектории забруднення при заданому рості капіталу // Крайові задачі для диференціальних рівнянь. — К.: Ін-т мат. НАН України, 1998. — С. 48—54.
4. Голоवेशка В.П. Статистичний щорічник Запорізької області за 2007 рік. — Запоріжжя: Головне управління статистики у Запорізькій області, 2008. — 456 с.
5. Лисицкий В.Л., Гринченко М.А. Мухачев В.Н. Прогнозирование структуры использования валового внутреннего продукта при эволюционном развитии макроэкономических систем // Сборник научных трудов ХГПУ Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. — Харьков: ХГПУ, 1998. — С. 234—238.
6. Ляшенко І.М., Онищенко А.М. Моделирование магистрального розвитку еколого-економічної системи. — Тез. доп. VII Всеукр. наук.-метод. конф. «Проблеми економічної кібернетики», 2002. — С. 105.
7. Матвеев А. В., Котов В. П., Мушкудяни М. И. Применение информационных технологий в управлении средой обитания: Учеб. пособие / ГУАП. СПб., 2005. — 96 с.
8. Олейник А.Г., Смагин А.В. Инструментальные средства предварительного анализа сценариев // Системы информационной поддержки регионального развития. — Апатиты: КНЦ РАН, 1998. — С.74—79.
9. Hunsaker, C. T., Spatial models of ecological systems and processes: The role of GIS, in M. Goodchild, B. Parks, and L. Steyaert (eds.), Ecological Modelling, Volume 159, Number 2, 15 January 2003. pp. 279-296(18).