

УДК 519.86:631.95  
© 2015

**В.Ф. ЧИСТЯКОВА,**  
кандидат економічних наук

**І.Г. ГЕРАСИМОВА,**  
старший викладач

Дніпропетровський державний  
аграрно-економічний університет,  
Україна  
E-mail: chist\_chvg60@mail.ru,  
irina57602011@mail.ru

ВИКОРИСТАННЯ  
ЛОКАЛЬНИХ  
ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИХ  
МОДЕЛЕЙ В АГРОЕКОЛОГІЇ

*Стверджується, що одним з основних шляхів подолання екологічної кризи в нашій країні має стати інтеграція інтересів екології і економіки в усіх секторах аграрного виробництва, а також в аграрній освіті. Процес безперервної екологічної освіти стає надзвичайно важливим. Еколого-освітня складова має бути присутньою в усіх навчальних програмах. Єдиальною дисципліною може виступити системологія. Математичне моделювання, один з інструментів системного аналізу, дозволить уряді випадків уникнути трудомістких і дорогих натурних експериментів. Пропонується розробка комп'ютерної технології планування землеробства на зрошуваних землях у середовищі електронної таблиці Excel.*

**Ключові слова:** агроекологія, екологічний професіоналізм аграрія, екологізація освіти, системний підхід, системний аналіз, математичне моделювання, локальні моделі оптимального землекористування.

Кінець ХХ ст. ознаменувався екологічною кризою в біосфері. Інтенсивна урбанізація, її шкідлива техногенна дія на агросистеми, посилені згубною дією Чорнобильською АЕС, військовими конфліктами, а також антиекологічний розвиток аграрного сектору країни призвели до краю екологічної катастрофи усе середовище існування України. Разом з промисловістю і атомною енергетикою свою частку до чаші екологічних проблем внесла і криза в аграрному секторі [1, 2]. Екологічна неспроможність існуючих технологій стала поштовхом для зародження агроекології. Дослідження агроекологічних систем потребують, крім величезних обсягів достовірної інформації, сучасних апаратних і програмних засобів, ще й високопрофесійних фахівців аграріїв-екологів зі знанням математичного апарата.

Тому надзвичайно важливим стає процес безперервної екологічної освіти, який

забезпечує підготовку майбутнього фахівця аграрної сфери відповідно до вимог сьогодення. Саме це й стало **метою наших досліджень.**

Природничо-науковий фундамент екологічної освіти був закладений ще наприкінці ХІХ–початку ХХ ст. видатними вченими А.Н. Бекетовим, Н.І. Вавиловим, К.А. Тимирязевим. Особливого звучання екологічна освіта набула в 90-ті роки минулого століття. В Україні був ухвалений Закон “Про охорону природного довкілля”. У ст. 7 “Освіта і виховання в області охорони довкілля” звертається увага на той факт, що “...екологічні знання є обов'язковою кваліфікаційною вимогою для всіх посадовців, діяльність яких пов'язана з використанням природних ресурсів...” [3]. Колективами учених були розроблені принципи екологічної освіти, які спрямовані на формування еко-

логічного професіоналізму [4]. Сучасний аграрій повинен постійно вдосконалювати і поповнювати свої знання, впроваджувати новітні технології – все те, що підвищує його професійну компетентність. В основі екологічного професіоналізму лежать оволодіння особистою освітою і формування професійно значимих якостей, єдність теоретичної і практичної підготовленості до результативної, екологічно відповідної професійної діяльності. Поняття “екологічний професіоналізм аграрія” [5] визначає його як головну мету і результат аграрної освіти, забезпечує здатність в професійній діяльності виділяти, усвідомлювати, оцінювати сучасні екологічні процеси, спрямовані на забезпечення екологічної рівноваги і раціонального природокористування.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Останнім часом і в популярній, і в спеціальній літературі отримали поширення такі поняття, як “екологізація світогляду”, “екологізація виробництва”, “екологізація наук”, “екологізація свідомості”, “екологізація мислення”, “екологізація освіти”. На наш погляд, в усіх цих випадках під екологізацією розуміють процеси, пов’язані з оптимізацією і гармонізацією стосунків між суспільством і природою. Еколого-освітній компонент має бути присутнім в усіх навчальних дисциплінах. Єднальною дисципліною може виступити системологія. Наголосимо в цьому напрямі на важливості системного аналізу як основного інструменту дослідження складних агроекологічних систем різного рівня. Принцип, що підкреслює значення комплексності, широти охоплення, чіткої організації і взаємозв’язку в дослідженнях, плануванні й проектуванні, дістав назви “системний підхід”, тобто такий метод дослідження, за якого враховується велика кількість чинників, що визначають роботу того або іншого технічного пристрою, діяльність живого організму, хід суспільного явища або виробничого процесу [6]. Системний підхід припускає, що разом з техніко-експлуатаційними параметрами функціонування виробничої системи враховуються економічні, соціально-політичні, екологічні, морально-етичні та інші чинники.

В агроекології проведення широкомасштабних натурних досліджень і експериментів дуже часто буває складним, і навіть неможливим. Ідея моделювання полягає в заміщенні досліджуваного об’єкта його аналогом. Інформаційні моделі представляють характеристики об’єкта у вигляді даних певної системи, математичні ж моделі формалізують закономірності динаміки об’єкта у вигляді числових співвідношень. Математичне моделювання є одним з інструментів системного аналізу, що дозволяє в ряді випадків уникнути трудомістких і дорогих натурних експериментів. Специфікою моделювання агроекологічних проблем є і той факт, що ці завдання пов’язані з тривалістю періоду дослідження. Поєднання різних елементів моделі утворюють різні класи завдань математичного моделювання, що вимагають і різних методів розв’язку. У роботах Л.В. Канторовича, наприклад, детально розглянуто методи розв’язання задач. Широко застосовуються оптимізаційні моделі, стохастичні, балансові, імітаційні, причому з високою мірою деталізації і повноти відображення екологічних чинників.

Конструювання математичної моделі агроекологічної системи здебільшого для теперішніх вищих навчальних закладів є досить складною проблемою, оскільки потребує використання одночасно великої кількості ресурсів інформаційних, технічних, програмних, трудових. Наприклад, якщо проектується математична модель функціонування тваринницького комплексу, то необхідно враховувати обмеження, що пов’язані з втручанням людини в природне середовище: відчуження території під тваринницьке підприємство і складування гною; забруднення атмосфери викидами газів, що утворюються в результаті життєдіяльності тварин, покидьками обслуговуючих підрозділів (котельної та ін.), від мікробіологічного розкладання гною і підстилки; забруднення водоймищ і ґрунтових вод стічними водами, що утворюються в результаті функціонування комплексу; погіршення умов існування тварин; шумове забруднення; погіршення якості життя населення тощо.

Розробка таких моделей – це результат використання чималої кількості різноманітних ресурсів. На наш погляд, на передній

план наразі виступають задачі конструювання локальних моделей розробки й ухвалення управлінських рішень, що забезпечують мінімізацію використання ресурсів з максимальним виходом продукції. До моделей цього типу можна віднести, наприклад, такі:

- оптимальна програма роботи очисних систем, за якої економічний ефект від реалізації вторинної продукції з відходів буде максимальним;
- визначення мінімальної потужності промислових комбінатів за умови, щоб усі відходи міст і промислових підприємств перероблялися і сумарний об'єм перевезень був мінімальним.

Досить продуктивно можна розробляти й накопичувати локальні моделі оптимального використання земельних ресурсів для різних регіонів України. Саме оптимальне використання земельних ресурсів є суттєвим фактором досягнення збалансованості агросистеми. Фактично основу землекористування в Україні становлять землі сільськогосподарського призначення. Безперечно, інтенсивні методи ведення сільського господарства сприяли підвищенню врожайності сільгоспкультур і, як наслідок, зростанню добробуту суспільства. Але одночасно і відбувалося руйнування родючого шару ґрунту, його ерозія, забруднення навколишнього середовища. Досягти умов балансу природних та регульованих людиною екосистем, тобто екологічної рівноваги, можна шляхом співвідношення екстенсивно та інтенсивно експлуатованих ділянок і природних середовищевірних комплексів.

Саме тому нині важливого значення набувають інформаційні технології і математичне моделювання в задачах природокористування, що дозволить збільшити в декілька разів вихід продукції і при цьому скоротити площі ріллі у виробництві [7, 8]. Це дасть змогу поліпшити екологічну ситуацію в країні на шляху переходу до принципів сталого розвитку. Конкретними інструментами цього напрямку можна назвати створення локальних моделей оптимального землекористування з метою забезпечення екологічно безпечної, економічно збалансованої взаємодії аграрного виробництва та навколишнього сере-

довища. До таких моделей передусім можна віднести:

- оптимальне використання наявних земельних ресурсів;
- розміщення та структуру посівів;
- поєднання галузей в аграрному підприємстві;
- співвідношення угідь;
- оптимізацію ландшафтів;
- розподіл добрив та визначення потреби в них;
- оптимальне землеробство на зрошуваних і інших.

Перші три моделі належать до класичних, оскільки вони детально описані в підручниках з математичного моделювання економічних процесів у сільському господарстві [9, 10].

У задачах співвідношення угідь досліджуються проблеми стійкості агроландшафту. Агроландшафт вважається стійким, коли відношення екологічно небезпечних угідь (передусім ріллі) до екологічно стабілізувальних (ліси, природні кормові угіддя тощо) становить хоча би 1:1 [7]. За такого співвідношення стан агроландшафту називають критичним. Діапазону значень вище і нижче критично відповідає задовільний та кризовий екологічний стан території [8].

Локальна модель оптимізації ландшафтів відображає один з напрямів екологічної оптимізації, в основі якого лежить інтегрований підхід до проблеми екологічної стабілізації сільського господарства. До їх числа можна віднести агролісомеліорацію, контурно-меліоративну систему. У зв'язку з цим розглядаються функціональні взаємозв'язки між такими елементами екосистеми, як рілля і полезахисні лісосмуги, позитивний вплив лісосмуг на зниження рівня ерозії ґрунтів, розглядаються питання здатності ґрунтів до самовідновлення тощо.

Задача розподілу добрив та визначення потреби в них з реалізацією принципу стабільного співіснування людства і природи набуває також актуальності. Як відомо, інтенсивне аграрне виробництво вимагає використання великої кількості мінеральних добрив і гербіцидів. Передбачається, що деякий середній рівень врожайності забезпечується за рахунок природної родючості

й післядії раніше внесених добрив. Тобто умови внесення добрив до ґрунту повинно компенсувати винесення поживних речовин з надбавкою врожаю. Усі ці вимоги й ще ряд специфічних необхідно описувати за допомогою конкретних обмежень. Ефективність використання добрив може вимірюватися прибавкою врожаю всіх культур.

Моделювання виробництва на зрошуванні має свої істотні особливості. Тут використовується специфічний ресурс – вода для поливу. Для її забору з вододжерела, транспортування і подачі на поля під певні культури в необхідному об'ємі і в потрібний час створюються зрошувальні системи. Собівартість води визначається експлуатаційними витратами. При розробці цієї моделі слід також враховувати той факт, що величини опадів і водності річок мають імовірнісну природу. Отже, додаткові витрати на зрошення і об'єми додаткової продукції від зрошення є випадковими величинами, що потребує застосування стохастичних моделей. Як показник економічної ефективності в задачах такого типу можна прийняти сумарний чистий дохід із загальної площі, на якій можливо зрошувальне землеробство. У подібних моделях необхідно порівнювати ефект від вирощування культур на богарі й при зрошуванні.

Нами пропонується розробка комп'ютерної технології планування землеробства на зрошуваних землях у середовищі електронної таблиці Excel. Реалізація завдання здійснена на прикладі типового господарства й може використовуватися в навчальному процесі.

**Постановка задачі.** Господарство має такі ресурси: рілля – 4875 га, з яких зрошуваних 1728 га; трудові ресурси – 99787 люд.-дн. Тваринницький цех складається зі стада великої рогатої худоби і свиней. Визначена загальна потреба в таких показниках поживності: кормових одиниць – 16732 ц д.р.; протеїну – 1968 ц. За зоотехнічними вимогами необхідно забезпечити структуру кормової бази: 25–40 % концентратів; 3–10 % коренеплодів; 15–30 % грубих; 15–40 % соковитих; 18–35 % зелених кормів. Окрім цього, при розробці моделі необхідно враховувати показники з виробництва: пшениці – 20 000 ц;

кукурудзи – 29 000 ц; соняшнику – 5 500 ц; картоплі – 7 400 ц.

Розв'язування задачі полягає в тому, щоб визначити поєднання галузей господарства з урахуванням зрошеного і незрошеного землеробства за умови максимального виходу товарної продукції.

Як основні змінні використовуються площі під товарними і кормовими культурами на богарі і зрошуванні. Площа під товарними культурами, га:  $X_1$  – озима пшениця на богарі;  $X_2$  – озима пшениця на зрошуванні;  $X_3$  – кукурудза на зрошуванні;  $X_4$  – кукурудза на богарі;  $X_5$  – соняшник на богарі. Площа під кормовими культурами:  $X_6$  – картопля на зрошуванні;  $X_7$  – ячмінь на богарі;  $X_8$  – кукурудза на зерно на богарі;  $X_9$  – кукурудза на зерно на зрошуванні;  $X_{10}$  – багаторічні трави на зелений корм на зрошуванні;  $X_{11}$  – однорічні трави на зелений корм на богарі;  $X_{12}$  – травосуміш ячмінь + горох на зелений корм на богарі;  $X_{13}$  – кукурудза на зелений корм на зрошуванні;  $X_{14}$  – багаторічні трави на сіно на богарі;  $X_{15}$  – багаторічні трави на сіно на зрошуванні;  $X_{16}$  – кукурудза на зелений корм на богарі;  $X_{17}$  – кукурудза на зелений корм на зрошуванні;  $X_{18}$  – кормовий буряк на зрошуванні.

Система обмежень складається з декількох груп підсистем обмежень: виробничі ресурси господарства (рілля, зрошувані землі, трудові ресурси); забезпечення кормової бази поживними речовинами (кормові одиниці, перетравний протеїн); структура кормової бази (концентрати, грубі, соковиті корми, коренеклубнеплоди, зелений корм); реалізація планових завдань (по пшениці, кукурудзі, соняшнику, картоплі); допоміжні обмеження (враховують агротехнічні вимоги).

Цільова функція – це критерій оптимальності – отримання максимуму товарної продукції.

Завдання вирішували в середовищі електронної таблиці Excel за допомогою процедури “пошук рішення”. Технологія розв'язання задачі полягала в необхідності створення початкової електронної таблиці з виділенням певної інформаційної області: область змінних, область цільового рядка – коефіцієнти, формула пошуку значень цільової функції і критерій оптимальності; область обмежень

– коефіцієнти обмежень, ліві частини обмежень, знаки і праві частини обмежень. Подальші кроки: завантаження процедури “пошук рішення”; у діалозі встановити цільовий осередок; ввести змінювані осередки і обмеження за допомогою команди “додати”; запустити процедуру “пошук рішення” на виконання; згенерувати форму звіту за допомогою діалогового вікна “результати пошуку рішення”.

Аналіз одержаних результатів при розв’язанні конкретної задачі показує, що перевага не завжди віддається виробництву продукції на зрошуваних землях. Приблизно однакові площі відведено на вирощування товарної кукурудзи на богарі (1951 га) і на зрошуваних землях (1401 га). Перевагу

запропонована модель віддає вирощуванню пшениці на богарі (519 га). Це пояснюється тим, що за зрошувальної системи виробництва надто збільшуються трудові витрати порівняно зі збільшенням урожайності.

Серед кормових культур складається ситуація, коли переваги надаються виробництву на зрошуванні:  $X_{14} = 0$ ,  $X_{15} = 82$  га – багаторічні трави на сіно;  $X_{16} = 0$ ,  $X_{17} = 15$  га – кукурудза на силос.

Крім того, ми дійшли висновку, що в господарстві повністю використовуються рілля і трудові ресурси, а от за якісними показниками кормової бази спостерігається деяке перевиробництво, повністю забезпечується структура кормової бази і реалізація продукції.

### Висновки

1. Екологічна освіта виступає мобілізуючим чинником нового взаємовідношення суспільства і природи. Тому разом із формуванням нового світогляду вона повинна нести і функціонально-управлінське навантаження, забезпечуючи єдність, комплексність і системність усього освітнього процесу в руслі стратегії стійкого розвитку.

2. Інформаційні технології, системний аналіз, математичне моделювання виступають дійовими інтеграційними інструментами в дослідженні агроекологічних процесів.

3. Актуальним є створення банку локальних моделей дослідження агроекологічних систем для всіх регіонів України.

### Бібліографія

1. Одум Ю.П. Экология / Ю.П. Одум. – [В 2-х т.] – М.: Мир, 1986. – Т. 1. – 328 с.; т. 2. – 376 с.  
 2. Кант Г. Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем: пер. с нем. / Г. Кант, С.О. Эбель. – М.: Агропромиздат, 1988. – 207 с.  
 3. Закон Украины от 25.06.1991 г. № 1264-ХІІ “Об охране окружающей природной среды” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.kp-limit.kharkov.ua/laws.php?news\\_id=13&loc=ua&lang=2](http://www.kp-limit.kharkov.ua/laws.php?news_id=13&loc=ua&lang=2).  
 4. Стецюк К.В. Экологический профессионализм специалистов аграрной сферы [Електронний ресурс] / К.В. Стецюк. – Режим доступу <http://www.jurnal.org/articles/2013/ped18.html>.  
 5. Моисеев Н.Н. Экологическое образование и экологизация образования / Н.Н. Моисеев // Биология в школе. – 1996. – № 3. – С. 29–32.

6. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высшая школа, 1989. – 240 с.  
 7. Недикова Е.В. Трансформация земель – снижение экологической напряженности в агроландшафтах / Е.В. Недикова // Земледелие. – 2003. – № 2. – С. 2.  
 8. Ракоїд О.О. Оптимізація співвідношення угідь як необхідна умова сталого розвитку агроекосистеми / О.О. Ракоїд // Агроекологічний журнал. – 2005. – № 2 – С. 44–47.  
 9. Гатаулін М.А. Економіко-математичні методи в плануванні сільськогосподарського виробництва / М.А. Гатаулін, Г.В. Гаврилов, Л.А. Харитонова. – К.: Вища школа, 1989. – 260 с.  
 10. Васильєва Н.К. Методи й моделі оптимізації в економіці: навч. посібник / Н.К. Васильєва. – Дніпропетровськ: Вид-во РВВ ДДАУ, 2008. – 144 с.

Рецензент – доктор економічних наук, професор Н.К. Васильєва