

УДК 519.866: 332.2

## ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ РЕГІОНУ

*І. Щербата, к. е. н., доцент*

*Львівський національний аграрний університет,*

*М. Щербатий, к. ф.-м. н., доцент*

*Львівський національний університет імені Івана Франка*

---

**Щербата І., Щербатий В. Економіко-математичне моделювання раціонального землекористування регіону**

*Розглянуто використання агроекологічних принципів у сільському господарстві. Окреслено шляхи довготермінового використання агроекосистем та зростання їх прибутковості на основі застосування методів економіко-математичного моделювання.*

**Ключові слова:** економіко-математичне моделювання, агроекосистема, раціональне землекористування, регіон.

**Shcherbata I., Shcherbatyy M. Economical-mathematical modeling of rational land use of region**

*Agro-ecological principles application in agriculture is considered. Directions of agro-ecosystem long-term use and its profitability enhancing on the base of economical-mathematical methods of modeling implementation.*

**Key words:** economical-mathematical modeling, agro-ecosystem, rational land use, region.

**Щербата И., Щербатый М. Экономико-математическое моделирование рационального землепользования региона**

*Рассмотрено использование агроэкологических принципов в сельском хозяйстве. Намечены пути долгосрочного использования агроэкосистем и увеличения их прибыльности на основании применения методов экономико-математического моделирования.*

**Ключевые слова:** экономико-математическое моделирование, агроэкосистема, рациональное землепользование, регион.

---

**Постановка проблеми.** Важливими чинниками забезпечення високопродуктивного, конкурентоспроможного сільськогосподарського виробництва та гарантування екологічної і продовольчої безпеки населення є відтворення й підвищення родючості ґрунтів, запобігання розвитку деградаційних процесів, охорона земель. Екологічно збалансований розвиток агросфери передбачає зростання обсягів виробництва сільськогосподарської продукції за умови збереження екосистеми. Використання принципів агроекологічного виробництва супроводжується додатковими витратами, пов'язаними зі стабілізацією агроекосистеми, забезпеченням умов для її реновації. Додаткові витрати повертаються підвищенням продуктивності сільськогосподарського виробництва через зростання урожайності сільськогосподарських культур. Економічна ефективність агроекологічної політики

проявляється у підвищенні якості природного середовища, зниженні рівня забруднення і зростанні прибутку на одиницю витраченого капіталу, що зумовлюється зростанням природної віддачі агроекосистеми і додаткового ефекту від раціонального розміщення виробництва. Зміни природоохоронної політики зумовлюють технологічні зміни у виробництві продукції всього агропромислового циклу і зачіпають економічні інтереси всіх його учасників.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичні і практичні аспекти екологобезпечного сільськогосподарського землекористування знайшли своє відображення у працях В. Борисової, В. Горлачука, Г. Гуцуляка, В. Трегобчука та ін. Водночас з урахуванням сучасних умов розвитку земельних відносин виникає необхідність ґрунтовнішого дослідження екологічного стану сільськогосподарських

земель й визначення напрямів їх екологізації. Питанням розробки механізму раціонального землекористування присвячені роботи О. Варламова, Д. Гнатковича, Б. Данилишина, Д. Добряка, Л. Новаковського, А. Сохнича, М. Федорова, М. Хвесика та ін. Їхні дослідження свідчать, що становлення й розвиток ринкового землекористування є тривалим і складним процесом. Проте залишаються багато нерозв'язаних проблем щодо формування механізму раціонального використання й охорони земель на регіональному рівні, який спрямований на збалансований розвиток агропромислового виробництва.

**Постановка завдання.** Завдання дослідження – визначити доцільні межі трансфор-мації структури землекористування з метою забезпечення ефективного використання та охорони земель на основі застосування методів економіко-математичного моделювання.

**Виклад основного матеріалу.** У процесі реформування земельних відносин, роздержавлення і приватизації земельного фонду виникли проблеми з його охороною, оскільки було порушено сівозміни, подрібнено земельні масиви сільськогосподарських угідь, втрачено рубежі й елементи контурно-меліоративної організації території. Принцип короткострокової оренди земель призвів до виснаження ґрунтів і погіршення якісного стану земель [1, с. 88]. Метою переходу до еколо-гічно збалансованого сільськогосподарського виробництва є довготермінове використання агроєкосистем поряд із зростанням їх прибутковості [2]. Збалансований розвиток сільського господарства передбачає не тільки продуктивне використання агроєкосистеми, а й повернення їй функцій природної екосистеми, тобто здатності до самовідтворення [3].

Під екологізацією сільськогосподарських земель слід розуміти цілеспрямований процес впровадження комплексу взаємоузгоджених економічних, технологічних, організаційних та інших заходів, а також управлінських рішень, що запобігають порушенню екологічної рівноваги в природному середовищі, спрямовані на попередження погіршення

екологічного стану земель, мінімізацію негативного впливу на довкілля й забезпечують збереження ландшафтного і біоло-гічного різноманіття, відтворення та підвищення родючості ґрунтів, гарантують екологічно безпечне середовище для життя і здоров'я людини [4, с. 23]. Використання агроєкологічних принципів у сільському господарстві передбачає використання науково обґрунтованих сівозміни, оптимальне внесення органічних і мінеральних добрив, використання екологічно безпечних технологій з метою попередження забруднення, регенерації і збереження природних ресурсів, а також їх біологічної консервації.

Збільшення антропогенного навантаження на довкілля призводить до зниження якості аграрного ресурсного потенціалу, який визначається здатністю сукупності трудових і матеріальних ресурсів забезпечити в процесі їх використання виробництво певного об'єму продукції і формується на основі загальної забезпеченості відповідних територіальних підрозділів ресурсами, їх якості і збалансованості. Універсальним критерієм визначення якісних характеристик кінцевих результатів природоохоронної діяльності є фактичний рівень стійкості природних систем до антропогенного навантаження.

За даними “Центрдержродючість” та Держземагенства України, протягом останніх 20 років середньозважений вміст гумусу в ґрунтах зменшився на 0,5%, щорічні його втрати становлять 0,5-0,6 т/га, вміст у ґрунтах фосфору зменшився на 6,1, а калію – на 6,3 мг/кг. Щорічний винос поживних речовин з ґрунту на формування врожаю у 5 разів перевищує обсяги їх надходжень. В Україні водної ерозії зазнають понад 13 млн гектарів сільськогосподарських угідь, із них майже 11 млн га – орні землі, вітрової ерозії (дефляції) – 1,7 млн га та 1,5 млн га відпо-відно.

Продуктивність ріллі залежить від природного та техногенного ресурсного забезпечення. До природних факторів слід віднести потенційну (природну) родючість ґрунту. Техногенне ресурсне забезпечення харак-теризується внесенням мінеральних та органічних добрив, що є вкрай незадовільним. Внесення мінеральних добрив за роки незалежності України

скоротилося втричі, органічних – у 14 разів: звідси продуктивність ріллі знизилась майже в 1,5 раза, що є екстремально низьким рівнем щодо адекватності біокліматичному потенціалу (недобір урожаю становить 4,4 т/га к.о.) [5]. За даними Львівського управління земельних ресурсів, за останні 7 років в області зменшилося внесення пестицидів у 4 рази, міңдобрив – у 2,8 раза, органічних добрив – у 2,5 раза, площа вапнування ґрунтів – у 30 разів, що призводить до виснаження ґрунтів [6].

Управління землекористуванням повинно функціонувати у вигляді єдиної системи, яка була б озброєна механізмом її втілення в реальне життя, оскільки системний підхід допомагає дослідити сферу землекористування як цілісний організм і визначити закономірності її розвитку [7]. Основною складовою раціонального землекористування є охорона земель та забезпечення їх відтворення в процесі використання. Основна мета охорони земель – це впровадження правових, організаційних та економічних заходів, спрямованих на відтворення й підвищення родючості земель, запобігання необґрунтованому вилученню земель із сільськогосподарського обороту, захист від антропогенного впливу.

Державна політика в галузі охорони й збереження сільськогосподарських земель підпорядкована вирішенню одночасно трьох суперечливих завдань: максимальному зменшенню забруднення навколишнього природного середовища і шкоди, яка завдається йому сільськогосподарською діяльністю; збереженню високої продуктивності земель для нинішнього і майбутніх поколінь; максимізації доходів виробників шляхом надання субсидій на розвиток виробництва і стимулювання охоронної діяльності за рахунок виплат рентних платежів [1].

Враховуючи викладене, побудуємо економіко-математичну модель раціонального землекористування певного регіону. Землі території регіону доцільно згрупувати в певну кількість груп за різними якісними характеристиками земель. Залежно від характеристик земель різними для кожної із груп будуть питомі затрати на вирощування сільськогосподарської продукції та природоохоронну діяльність.

Нехай у результаті екологічного районування територія розглядуваного регіону поділена на  $m$  різних груп. Позначимо через  $x = (x_{1,1}, \dots, x_{1,29}, x_{2,1}, \dots, x_{m,29})^T$  – вектор усіх змінних моделі.

Розглянемо такі функції:

- сумарні затрати на виробництво сільськогосподарської продукції

$$Q_1(x) = \sum_{r=1}^m x_{r,25};$$

- сумарні затрати на боротьбу з ерозією ґрунтів

$$Q_2(x) = \sum_{r=1}^m x_{r,26};$$

- сумарну оцінку земель

$$Q_3(x) = \sum_{r=1}^m \sum_{i=1, i \neq 2}^5 b_{ri} x_{ri},$$

де  $b_{ri}$  – оцінка землі  $i$ -го виду в  $r$ -ій групі.

У табл. 1 подано основні блоки змінних, які входять до моделі.

Постановка задачі була сформована таким чином: визначити доцільні межі перетворення агроландшафтів (трансформація угідь, комплексна охорона територій) з метою мінімізації збитків від зниження якісних характеристик земель при забезпеченні досягнутого рівня виробництва сільськогосподарської продукції і ефективного використання продуктивних земель з урахуванням їх цінності. Багатокритеріальна задача оптимізації зводиться до однокритеріальної: знайти такий розподіл земель регіону за видами земель та групами угідь  $x_*$ , за якого досягається мінімальне значення критерію мети:

$$f(x_*) = \min_x (\alpha_1 Q_1(x) + \alpha_2 Q_2(x) - \alpha_3 Q_3(x)),$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – вагові коефіцієнти, які характеризують пріоритетність критеріїв ефективності,  $\alpha_i \geq 0, i = 1, 2, 3,$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1.$$

На змінні  $x$  накладаються такі обмеження:

1. Співвідношення між лісом  $i$

## ЗЕМЕЛЬНІ ВІДНОСИНИ В АГРАРНОМУ БІЗНЕСІ

сільськогосподарськими угіддями:  
 $d_{1r}x_{r6} - x_{r7} \leq 0, d_{2r}x_{r6} - x_{r7} \geq 0, r = \overline{1, m},$   
 де  $d_{1r}, d_{2r}$  – нижній і оптимальний рівень в  $r$ -ій групі.

2. Баланс земель за категоріями:

$$\sum_{i=6}^{12} x_{ri} = p_r, r = \overline{1, m},$$

де  $p_r$  – територія  $r$ -ої групи.

3. Баланс сільськогосподарських угідь за видами використання (групами угідь):

$$x_{r1} + x_{r3} + x_{r4} + x_{r5} - x_{r6} = 0, r = \overline{1, m}.$$

4. Баланс ріллі за посівними площами:

$$\sum_{i=13}^{17} x_{ri} - x_{r1} = 0, r = \overline{1, m}.$$

Таблиця 1

**Змінні моделі раціонального землекористування для кожної  $r$ -ої групи,  $r = \overline{1, m}$ \***

Змінні моделі	Позначення
Змінні, які характеризують розподіл земель за категоріями та видами використання і посівними площами під основними сільськогосподарськими культурами, га	$x_{r1}$ – рілля $x_{r2}$ – рілля, яка піддається ерозії $x_{r3}, x_{r4}, x_{r5}$ – сінокоси, пасовища та багаторічні насадження відповідно $x_{r6}$ – сільськогосподарські угіддя $x_{r7}$ – ліс і лісовкриті площі $x_{r8}$ – порушені землі $x_{r9}$ – землі несільськогосподарського призначення $x_{r10}$ – землі населених пунктів $x_{r11}$ – землі під водою $x_{r12}$ – невикористовувані землі $x_{r13}, x_{r14}, x_{r15}, x_{r16}, x_{r17}$ – посівні площі під зерновими, цукровими буряками, картоплею, ріпаком, кормовими культурами відповідно
Змінні, які характеризують площі трансформації земель з однієї категорії в іншу, га	$x_{r18}, x_{r19}, x_{r20}$ – площа еродованої ріллі, яка залужується або переводиться в багаторічні насадження чи порушені землі відповідно $x_{r21}, x_{r22}, x_{r23}, x_{r24}$ – площі порушених земель, які переводяться в рілля, сінокоси, багаторічні насадження і лісовий фонд відповідно
Змінні, які характеризують затрати, грн	$x_{r25}$ – сумарні затрати на виробництво сільськогосподарської продукції $x_{r26}$ – сумарні затрати на боротьбу з ерозією ґрунтів $x_{r27}, x_{r28}, x_{r29}$ – затрати на трансформацію земель у рілля, сінокоси/пасовища та ліс відповідно

\* Джерело: власна розробка авторів.

5. Оптимальне співвідношення головних компонентів ландшафту:

$$p_{1ri} \leq x_{ri} \leq p_{2ri}, r = \overline{1, m}, i \in I, \\ I = \{1, 3, 4, 5, 7, \dots, 12\},$$

де  $p_{1ri}, p_{2ri}$  – нижній і верхній рівень  $i$ -го компонента ландшафту в  $r$ -ій групі.

6. Рекомендовані площі земель, що використовуються під посіви основних сільськогосподарських культур:

$$b_{1ri} \leq x_{ri} \leq b_{2ri}, \quad r = \overline{1, m}, \quad i = \overline{13, 17},$$

де  $b_{1ri}, b_{2ri}$  – максимально і мінімально можливі розміри площ під посівами  $i$ -ої сільськогосподарської культури в  $r$ -ій групі.

7. Обмеження на рівень еродованості земель:

$$x_{r2} - k_r x_{r1} \leq 0, \quad r = \overline{1, m},$$

де  $k_r$  – максимально можливий рівень еродованості земель в  $r$ -ій групі.

8. Розрахунок ефективної трансформації угідь і категорій земель:

- ріллі

$$x_{r1} + x_{r18} + x_{r19} + x_{r20} - x_{r21} = \tilde{x}_{r1}, \quad r = \overline{1, m};$$

- ріллі, яка піддається ерозії

$$x_{r2} + x_{r18} + x_{r19} + x_{r20} = \tilde{x}_{r2}, \quad r = \overline{1, m};$$

- сінокосів і пасовищ

$$x_{r3} + x_{r4} - x_{r18} - x_{r22} = \tilde{x}_{r3} + \tilde{x}_{r4}, \quad r = \overline{1, m};$$

- багаторічних насаджень

$$x_{r5} - x_{r19} - x_{r23} = \tilde{x}_{r5}, \quad r = \overline{1, m};$$

- лісу

$$x_{r7} - x_{r24} = \tilde{x}_{r7}, \quad r = \overline{1, m};$$

;

- порушених земель

$$x_{r8} + \sum_{i=21}^{24} x_{ri} - x_{r20} + x_{r8} = \tilde{x}_{r8}, \quad r = \overline{1, m},$$

де  $\tilde{x}_{ri}$  – фактичні площі  $i$ -го виду угідь і категорій земель,  $i = 1, 2, 4, 5, 7, 8$ .

Загальна група обмежень у межах регіону задається такими умовами:

9. Врахування поточних затрат:

- на виробництво

сільськогосподарської продукції

$$\sum_{r=1}^m \sum_{i \in I} c_{ri} x_{ri} - x_{25} = 0, \quad I = \{3, 4, 5, 13, \dots, 17\},$$

де  $c_{ri}$  – нормативи прямих затрат на виробництво 1 ц  $i$ -ї сільськогосподарської культури в  $r$ -ій групі;

- на боротьбу з ерозією ґрунтів

$$\sum_{r=1}^m q_{r2} x_{r2} - x_{26} = 0,$$

де  $q_{ri}$  – питомі нормативи затрат на боротьбу з ерозією ґрунтів в  $r$ -ій групі;

- на трансформацію угідь

$$\sum_{r=1}^m \tilde{c}_{ri} x_{r,i+20} - x_{i+26} = 0, \quad i = 1, 2, 3,$$

де  $\tilde{c}_{ri}$  – питомі затрати на переведення в ріллю, сінокоси та пасовища і ліс в  $r$ -ій групі.

10. Гарантований обсяг виробництва сільськогосподарської продукції:

$$\sum_{r=1}^m z_{ri} x_{r,i+12} \geq z_i, \quad i = 1, 2, 3, 4,$$

де  $z_{ri}$  – урожайність  $i$ -ої сільськогоспо-

дарської культури в  $r$ -ій групі,  $z_i$  – гарантований обсяг виробництва  $i$ -ої культури загалом у регіоні.

11. Баланс кормовиробництва та використання кормів:

$$\sum_{r=1}^m \sum_{i \in I} y_{ri} x_{ri} \geq Y, \quad I = \{3, 4, 13, \dots, 17\},$$

де  $y_{ri}$ ,  $Y$  – відповідно питомі нормативи виходу кормових одиниць з 1 га посівних площ  $i$ -ої культури в  $r$ -ій групі і потреба в кормах загалом у регіоні.

12. Баланс капіталовкладень на охорону і рекультивацию земель:

$$\sum_{i=26}^{29} x_i \leq A,$$

де  $A$  – ліміт капіталовкладень на охорону і рекультивуацію земель загалом у регіоні.

На змінні задачі накладаються умови невід’ємності:

$$x_{ri} \geq 0, r = \overline{1, m}, i = \overline{1, 29}.$$

Описана задача раціонального землекористування є задачею лінійного програмування. Для апробації моделі на прикладі Львівської області було проведено екологічне районування. Важливим параметром екологічного районування є якісна характеристика земель, яка свідчить про стійкість агроландшафтів та впливає на

родючість ґрунту. Для проведення районування Львівської області були обрані такі ознаки: кислотність, перезволоженість, заболоченість, дефляція, водна ерозія. Саме ці ознаки є основними екологодеструктивними чинниками, які визначають якісну характеристику земель області і є основою для обґрунтування оптимальної агроланд-шафтної структури. Результати районування, яке проведено методом кластерного аналізу, подано в табл. 2.

*Таблиця 2*

**Групування районів Львівської області за екологодеструктивними чинниками\***

Номер групи	Адміністративні райони
1	Бродівський, Буський, Городоцький, Жовківський, Золочівський, Кам’янка-Бузький, Пустомитівський, Радехівський, Сокальський
2	Дрогобицький, Жидачівський, Миколаївський, Самбірський, Стрийський, Яворівський
3	Мостиський, Перемишлянський
4	Сколівський, Старосамбірський, Турківський

\*Джерело: згруповано авторами на основі [6].

З урахуванням групування розмірність задачі становить 126 невідомих і 232 обмеження. Запропонована модель дає змогу визначити різні варіанти використання земель і структури посівних площ. У табл. 3 наведено варіанти трансформації сільськогосподарських угідь, які отримані для різних задач оп-

тимізації: оптимізація при комплексному критерії ( $\alpha_i = 1/3, i = \overline{1,3}$ ); максимізація оцінки земель ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 0, \alpha_3 = 1$ ); мінімізація збитків від ерозії ґрунтів ( $\alpha_1 = \alpha_3 = 0, \alpha_2 = 1$ ); мінімізація витрат на виробництво продукції ( $\alpha_2 = \alpha_3 = 0, \alpha_1 = 1$ ).

*Таблиця 3*

**Варіанти трансформації сільськогосподарських угідь Львівської області, тис. га\***

Варіанти оптимізації / варіанти трансформації	Комплексний критерій	Максимізація оцінки земель	Мінімізація збитків від ерозії ґрунтів	Мінімізація витрат на виробництво продукції
Залуження малопродуктивних і деградованих земель	15,1	0	21,8	21,8
Переведення ріллі в багаторічні насадження	1,8	0,4	1,2	1,2
Заліснення малопродуктивних і деградованих земель	14,3	0	16,2	14,8
Переведення порушених земель				
у ріллю	0	1,9	0	0
у сінокоси і пасовища	0	0	0,1	0

## ЗЕМЕЛЬНІ ВІДНОСИНИ В АГРАРНОМУ БІЗНЕСІ

у багаторічні насадження	0,1	1,3	0	0,1
Площа ріллі, що піддається ерозії, %	22,4	23,5	21,6	21,7

\*Джерело: розраховано авторами на основі даних Львівського управління земельних ресурсів [6] та числових експериментів з економіко-математичною моделлю.

Порівняння одержаних результатів використання сільськогосподарських угідь і посівних площ з існуючими показує, що найбільш близьке до оптимального (за комплексним критерієм) використання земель у другій і четвертій групі районів області.

**Висновки.** Шлях зрівноваженого розвитку регіону передбачає поєднання політики економічної стабілізації і зростання з відповідними екологічними заходами.

Зростання ефективності сільськогосподарського виробництва залежить від якості довкілля і ста- ну аграрно-ресурсного потенціалу. Запропо- нована економіко-математична модель може бути використана в управлінні землеко- ристуванням та слугувати інформаційною базою під час побудови моделей комплексної охорони земельних ресурсів (захист від ерозії, рекультивація порушених земель, удосконалення системи природоохоронних та урбанізованих територій тощо).

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ярова В. В. Соціальна відповідальність у вирішенні проблем сучасного землекористування / В. В. Ярова // *Економіка АПК*. – 2013. – № 1. – С. 83-89.
2. Runge C. F. Trade Protectionism and environmental Regulations: The New Nontariff Barriers / C. F. Runge // *North western Journal of International Law and Business*. – 2004. – № 11/1. – Р. 47-61.
3. Gliessmann S. Agroecosystem sustainability: Developing Practical Strategies / S. Gliessmann. – Bosc Raton, Florida. – 2001. – 130 p.
4. Ходаківська О. В. Екологізація сільськогосподарських земель: сучасний вимір та перспективи розвитку / О. В. Ходаківська // *Економіка АПК*. – 2011. – № 10. – С. 23-29.
5. Танчик С. Чи можливо отримати в Україні 80 млн. т зерна / С. Танчик // *Пропозиція*. – 2012. – № 1. – С. 58-60.
6. Земельні ресурси Львівської області [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.ekology.lviv.ua/index.php?option=com\\_content&task=view&id=46&Itemid=118](http://www.ekology.lviv.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=46&Itemid=118).
7. Лазарева О. В. Методичні аспекти формування еколого-економічного механізму управління землекористуванням / О. В. Лазарева // *Економіка АПК*. – 2006. – № 12. – С. 62-65.
8. Вишневецька О. М. Ресурсний потенціал аграрного сектора економіки України: соціально-економічні та екологічні аспекти : [монографія] / О. М. Вишневецька. – Миколаїв, 2011. – 487 с.

