



**КОВАЛЕНКО**

**Наталія Петрівна,**

канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб.,

старш. наук. співроб. відділу

економіки

ННЦ «Інститут землеробства НААН»

(м. Київ)

## **ІСТОРІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ҐРУНТОЗАХИСНИХ СІВОЗМІН У ДРУГІЙ ПОЛОВИНІ ХХ – ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТТЯ НА ОСНОВІ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

*У статті розглянуто окремі історичні аспекти щодо оптимізації ґрунтозахисних сівозмін на основі економіко-математичного моделювання другої половини ХХ – ХХІ століття.*

*В статье рассмотрены отдельные исторические аспекты относительно оптимизации почвозащитных севооборотов на основе экономико-математического моделирования второй половины ХХ – ХХІ века.*

*In the article separate historical aspects are considered in relation to optimization of crop rotations that protect soil on the basis of economic and mathematical design of the second half of ХХ – ХХІ of century.*

*Постановка проблеми у загальному вигляді. Ерозія займає найболючіше місце серед ґрунтових деградаційних процесів. Вона перетворилась на небезпечне явище сьогодення, яке безпосередньо загрожує життєзабезпеченню народу. Прискорено зменшується родючість ґрунтового покриву, практично зникли малі річки, сучасні агроландшафти поступово перетворюються в «бедленди», середньорічний повний збиток від ерозії в Україні сягає \$ 10–15 млрд.*

Український народ свої сподівання про вихід із сучасної глибокої еколого-енергетичної кризи пов'язує, перш за все, з використанням багатющого біокліматичного потенціалу земель країни і, насамперед, родючості ґрунтового покриву, що так щедро дарувала їй природа. Саме для цього потрібно докорінно змінити виробничі відносини у агропромисловому комплексі

України. Але не потрібно ігнорувати ґрунтово-екологічні аспекти, які повинні бути провідними при плануванні будь-яких аграрних змін у сільському господарстві, бо ґрунт (земля) для нього є основним засобом виробництва, предметом і продуктом (землеробство – роблю землю) праці.

Центральною проблемою, безумовно, є ерозія ґрунтів, вирішення якої має два рівні: загальнодержавний (стратегічний) і безпосередньо територіальний (тактичний). На жаль, у вирішенні більшості завдань щодо надійного захисту ґрунтового покриву від ерозії доводиться починати все спочатку. Але в Україні є науковці та спеціалісти, які мають достатні знання і досвід, щоб сподіватись на успіх у справі припинення еродованості ґрунтів. Перш за все, необхідна довгострокова Національна програма охорони ґрунтів, яка б мала силу Закону і була б обов'язковою за будь-яких змін земельних відносин для кожного землекористувача. Такі документи мають епохальний характер, виконання яких проводять за етапами. Особливо важливим для нашої Держави є перший етап, коли необхідно зупинити найнебезпечнішу тенденцію прискорення ерозійних процесів, яка цілком імовірно може «спалахнути» на тлі стихійного номенклатурно-клерківського проведення докорінних змін виробничих відносин у агропромисловому комплексі України. Досвід розвинених країн свідчить, що стратегічне планування протиерозійного захисту і безпосереднє протиерозійне упорядкування сучасних агроландшафтів може зробити тільки єдина Служба охорони ґрунтів, яка повинна бути створена на базі існуючих установ і відомств.

Нагромадження великого обсягу дослідних матеріалів, одержаних у процесі проведення сільськогосподарських досліджень з ерозії ґрунтів та побудови ґрунтозахисних сівозмін, вже у середині ХХ ст. зумовило потребу створення таких методів, які б ефективно використовували і узагальнювали одержану експериментальну інформацію.

На сьогодні, з розвитком науково-технічного прогресу, серед комплексу актуальних науково-теоретичних та прикладних проблем, великого значення набуває вирішення завдання побудови економіко-математичних моделей

протиерозійних заходів та ґрунтозахисних сівозмін як розрахункової кількісної бази розроблення стратегічних напрямів охорони ґрунтів і процесу проектування систем протиерозійного захисту сільськогосподарських територій.

У той же час, деякі економіко-математичні моделі характеризуються недостатнім рівнем опрацювання. Тому завдання удосконалення існуючих та побудова і обґрунтування нових моделей оптимізації ґрунтозахисних сівозмін є актуальним у теперішній час, при постановці та розв'язанні якого необхідне врахування множини зв'язків, чинників, умов, які потребують взаємного узгодження при плануванні їхнього розвитку. В економіко-математичному моделюванні систем ґрунтозахисних сівозмін великого значення набуває удосконалення постійного об'єктивного вибору чинників, які включені до моделі, та їхній правильний кількісний вираз, що можливо здійснити на основі розгляду історії їхнього розвитку.

Актуальність дослідження зумовлена також тим, що у вітчизняній історіографії проблема впровадження економіко-математичного моделювання для вирішення наукових і практичних завдань ґрунтозахисного сільськогосподарського виробництва не достатньо відображена. Внаслідок цього виникла необхідність проведення системного дослідження надбань минулого на основі залучення доступного методологічного інструментарію, виявлення нових та переосмислення відомих джерельних матеріалів і друкованих праць.

*Мета статті.* Проведення науково-історичного аналізу становлення та розвитку економіко-математичного моделювання протиерозійних процесів та ґрунтозахисних сівозмін другої половини ХХ – ХХІ ст. для вирішення наукових проблем раціонального використання земельних ресурсів в ерозійно небезпечних агроландшафтах України.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Вирішення проблеми застосування економіко-математичного моделювання на сьогодні набуває все більшого поширення в сільськогосподарських дослідженнях і є одним із

ефективних методів знаходження оптимальних розв'язків задач. Починаючи з 60-х років ХХ ст., поряд із широким використанням комп'ютерної техніки, економіко-математичному моделюванню присвячено значну кількість наукових публікацій, серед яких найбільшій увазі заслуговують наукові надбання вчених: М. Є. Браславця [1], А. М. Гатауліна [2], А. А. Горелова [3], Дж. Джефферса [4], Ю. А. Дубова [5], Р. Г. Кравченка [6], М. І. Лукачева [7], К. Д. Льюїса [8], Я. Г. Неуйміна [9], Л. І. Поліщука [10], В. В. Розена [11], Б. К. Скирти [12], Дж. Франса, Дж. Торнлі [13] та багатьох ін. Значну цінність при дослідженні історії економіко-математичного моделювання мають праці вітчизняних та зарубіжних вчених з оптимізації сівозмін: Г. А. Булаткіна [14], І. М. Вергунової [15], В. М. Дудкіна [16], Х. А. Ельмета [17], Н. П. Коваленко [18], Е. Хеді, У. Кандлера [19] та багатьох ін., в яких наведено найпоширеніші економіко-математичні методи задач класу лінійного програмування, що забезпечують оптимальний розв'язок. У більшості праць для вирішення задач лінійного програмування найчастіше використовують метод послідовного покращання розв'язку задачі – симплексний метод [1, с. 21; 6, с. 23; 15, с. 115; 16, с. 8; 17, с. 62; 20, с. 245; 21, с. 197].

Набувають актуальності програми, за допомогою яких можна отримати інформацію про оптимізацію системи сівозмін, що створені на основі великої кількості даних. Наприклад, програма «ЮРЕКОЛ» еколого-економічної оцінки ґрунтоохоронної ролі сівозмін (розробник Луганський інститут АПВ НААН), програма «АСОТ» (блок сівозмін) автоматизованої системи оптимізації технології (розробник УкрНДПТІ «Агроресурси»), програма «АГРО» визначення радикальних заходів, спрямованих на виробництво екологічно чистої продукції (розробник Український НДІ сільськогосподарської радіології) та ін. Застосування таких комп'ютерних програм дозволяє істотно скоротити витрати часу, прискорити отримання якісних кінцевих результатів та зекономити матеріальні кошти [21, с. 196].

Із побудовою таких програм відкривається можливість вирішення основного завдання сільськогосподарської науки – дослідження основ

структури та функціонування природних і створених людиною агроєкосистем, тобто раціональних сівозмін, запобігання процесам їхнього руйнування та побудові принципів їхнього ефективного використання без деградації життєвого середовища, що базується на системі законів, правил і принципів природокористування [14, с. 17; 22, с. 23; 23, с. 27; 24, с. 78]. За принципом формування агроєкосистеми, тривале існування живих організмів в них можливе лише у рамках цих систем сівозмін, де їхні компоненти та елементи доповнюють один одного та взаємно пристосовані [4, с. 76; 21, с. 199; 25, с. 9].

Особливої уваги заслуговують праці, в яких встановлено, що високопродуктивне стале землеробство на еродованих схилах можливе лише на основі збереження рівня родючості ґрунту і попередження ерозійних процесів за допомогою контурно-ландшафтної організації території, розміщення сільськогосподарських культур в ґрунтозахисних сівозмінах і протиерозійних способів обробітку ґрунту, а також раціонального застосування органічних та мінеральних добрив [26, с. 12; 27, с. 111; 28, с. 12].

Не менш важливими є праці, присвячені оптимізації ґрунтозахисних сівозмін, як неперервному процесу із вдосконаленням отриманих попередніх розв'язків на основі впровадження нових виробничих технологій, що гарантує раціональне використання землі та пов'язаних з ним інших засобів виробництва на будь-якому проміжку часу. Для розв'язку кожної нової задачі оптимізації проводять контроль і удосконалення раніше використаних обмежень та їхнє доповнення у відповідності з новими виробничими відносинами, що вимагає врахування сучасних досягнень науки [29, с. 58; 30, с. 136; 31, с. 70; 32, с. 236; 33, с. 13].

*Виклад основного матеріалу.* В історіографії вирішення проблеми застосування економіко-математичного моделювання у сільському господарстві взагалі та землеробстві зокрема можна відмітити такі періоди: найдавніший (до середини ХІХ ст.), середній (друга половина ХІХ ст. – друга половина ХХ ст.) та сучасний (з другої половини ХХ ст. і дотепер).

Розглянемо сучасний (з другої половини ХХ ст. і дотепер) період, оскільки він відрізняється особливою інтенсивністю та різноманітністю застосування економіко-математичних моделей для побудови протиерозійних заходів та ґрунтозахисних сівозмін. Адже одним із найважливіших завдань сільськогосподарської науки і практики у зазначений період було і залишається подолання кризових явищ у землеробстві [34, с. 171, 35, с. 187; 36, с. 199]. Тому проблему усунення наслідків нераціонального землекористування та шкоди від використання ерозійно небезпечних агроландшафтів за допомогою побудови економіко-математичних моделей оптимізації ґрунтозахисних сівозмін почали широко використовувати вже у другій половині ХХ ст.

Оскільки для застосування економіко-математичного моделювання для визначення раціональних сівозмін в районах розповсюдження водної ерозії ґрунту необхідне багатоваріантне опрацювання з використанням обчислювальної техніки, задача була віднесена до числа оптимізаційних і належала до класу лінійного програмування. У 70-х роках ХХ ст. цей метод був досить апробований, а його ефективність залежала від кількості та якості вхідної інформації.

Значну цінність при дослідженні історії економіко-математичного моделювання сільськогосподарського виробництва у зазначений період мали праці, в яких застосовували метод лінійного програмування для оптимізації структури посівних площ і раціональних сівозмін. До них відносяться праці М. Є. Браславця [1, с. 127], Х. А. Ельмета [17, с. 57], Р. Г. Кравченка [6, с. 23] та ін. У таких моделях врожайність окремих сільськогосподарських культур використовували без врахування їхньої залежності від розміщення і частки культур у сівозміні. Але, наприклад, пшениця озима в степовій та лісостеповій зонах переважала за продуктивністю ячмінь ярий тільки за розміщення її після кращих попередників. Тому відмічений недолік частково виключався чітким фіксуванням площ під окремими сільськогосподарськими культурами, їхніми групами або чистим паром.

У 1984 р. у праці Г. Д. Шашкової [37, с. 129] було визначено ряд важливих аспектів стосовно оптимізації посівних площ і раціональних сівозмін: використання логічно-інформаційного співставлення блоку розрахунку із заданим об'ємом виробництва продукції і сівозмінними вимогами (зведеними в основному до залежності урожайності від попередників) дозволило виявити істотні резерви для отримання додаткової продукції рослинництва.

Слід зазначити, що не менш важливими досягненнями у 80-х роках ХХ ст. у розвитку економіко-математичного моделювання раціональних сівозмін були праці В. І. Овсяннікова [38, с. 51], А. І. Южакова і А. І. Сотнікової [39, с. 36], в яких автори науково обґрунтували взаємозв'язок між структурою посівних площ і сівозмінами, застосовуючи запропонований у 1965 р. Е. Хеді і У. Кандлером [19, с. 138] метод «блоку сівозмін». За змінну величину автори брали площу ріллі, яку займали різні види сівозмін за визначеної агротехніки або урожайності сільськогосподарських культур у різних сівозмінах та неоднакового рівня внесення добрив. Такий підхід отримав широке практичне застосування в регіонах з невеликим набором сільськогосподарських культур і незначними відмінностями в їхній біології та агротехніці за спокійного рельєфу місцевості й відносній рівномірності ґрунтової родючості, але, із врахуванням технологічних, організаційно-економічних та інших вимог.

Більшість же районів території нашої країни характеризується широким набором польових культур, які істотно відрізняються за потенційною продуктивністю, біологією, агротехнікою та вимогами до місця розміщення в раціональних сівозмінах. Відповідно, значно розширюється кількість можливих чергувань культур у сівозмінах одного виду, які, в свою чергу, також відрізняються за загальною продуктивністю та виходом окремих видів продукції. Ці відмінності посилюються в залежності від особливостей рельєфу, від якого залежить формування рівновеликих полів та їхня кількість у сівозмінах. Отже, для умов різних регіонів відмічено неможливість застосування в якості незалежних змінних оптимізаційної задачі приблизних

схем сівозмін та їхніх видів, а тим більше продуктивності сільськогосподарських культур у різних сівозмінах [40, с. 34].

Для подолання вищенаведених недоліків оптимізації структури посівних площ і раціональних сівозмін В. М. Дудкін у 1989 р. встановив, що за розрахунку науково обґрунтованої структури посівних площ і раціональних сівозмін в сільськогосподарських підприємствах необхідно виходити із сучасних концепцій систем землеробства, які розглядають ґрунт як єдине ціле, а процеси відтворювання та втрати родючості ґрунту – у нерозривній єдності з урожаєм сільськогосподарських культур [41, с. 60]. Тому заслуговує на увагу наступна за складністю економіко-математична модель, яка дає можливість отримувати оптимальну структуру використання ріллі господарства, що дозволяє формувати найраціональніші схеми сівозмін за окремими категоріями орних земель із рекомендацією значень коефіцієнтів ерозійної безпечності сільськогосподарських культур. Різні сільськогосподарські культури за вирощування на таких землях забезпечують збереження існуючого рівня родючості ґрунту і досягнення максимального (за наведених умов) економічного ефекту.

У цій праці автор приділяє увагу відмінності сільськогосподарських культур за потенційною продуктивністю, неоднаковою реакцією на попередники, дією та післядією добрив, вмістом та доступністю у ґрунті елементів мінерального живлення, її кислотністю, ступенем еродованості та рельєфними умовами, що мають неоднакове ґрунтозахисне, меліоративне значення і т. ін. У свою чергу, навіть поряд розміщені господарства відрізняються за спеціалізацією, рівнем родючості ґрунту, рельєфом, організаційною структурою, економічним положенням, можливостями подальшої інтенсифікації виробництва. Тому із всіх наявних варіантів структури посівних площ, які забезпечують високу продуктивність ріллі, оптимальною може бути та, яка дозволить найповніше й найефективніше використати природно-економічні ресурси, зберегти і підвищити рівень родючості ґрунту.



У 1991 р. В. М. Дудкін розробив наступну економіко-математичну модель раціонального використання земельних ресурсів для ерозійно небезпечних агроландшафтів [16, с. 7–10]. Постановка задачі була сформульована таким чином: виходячи із наявних у розпорядженні господарства виробничих ресурсів (земельних, трудових, матеріально-грошових та ін.), потрібно визначити оптимальну структуру ріллі, що дозволить у певних природно-економічних умовах на основі дотримання сівозмінних вимог і збереження існуючого рівня родючості ґрунту забезпечити найефективніше виробництво необхідної кількості рослинницької продукції.

Критерієм оптимальності було встановлено максимум чистого прибутку ( $Z_{\max}$ ), який найповніше відповідає завданню певного господарства, тому що одночасно стимулює ріст виробництва продукції і економію поточних витрат:

$$Z_{\max} = \sum_{i \in I} \sum_{g \in Q} C_{gi} Y_{gi} - \sum_{l \in L} \sum_{i \in L} P_{ri}^l X_i^l - \sum_{i \in I} \sum_{g \in Q} P_{rgi} Y_{gi},$$

де  $X_i^l$  - посівна площа  $i$ -ї культури на  $l$ -й категорії ріллі;  $Y_{gi}$  - посівна площа  $i$ -ї культури  $g$ -го виду використання;  $C_{gi}$  - вартість валової продукції  $g$ -го виду з 1 га посівної площі  $i$ -ї культури;  $P_{ri}^l$  - витрати ресурсів  $r$ -го виду для вирощування  $i$ -ї культури на 1 га  $l$ -ї категорії ріллі;  $P_{rgi}$  - витрати ресурсів  $r$ -го виду для збирання (заготівлі)  $g$ -го виду продукції з 1 га посівної площі  $i$ -ї культури;  $I, Q, L$  – множини: сільськогосподарських культур, видів виробленої продукції, масивів орних угідь з різною інтенсивністю використання. Досягнення мети можливе за виконання визначених умов.

Для розмірів орних угідь різної інтенсивності використання:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S_i} Z_{ijs}^l \leq B_l \quad (l \in L),$$

де  $Z_{ijs}^l$  – розміри сівозмін на  $l$ -й категорії ріллі, в яких  $i$ -а сільськогосподарська культура,  $j$ -й попередник,  $s$ -й передпопередник;  $B_l$  - площа  $l$ -ї категорії ріллі.

Для формування чергування сільськогосподарських культур у сівозмінах:

$$\sum_{s \in S_i} z_{ijs}^l \geq \sum_{i \in I} z_{ijs}^l \quad (i \in I; j \in J; s \in S; l \in L),$$

де –  $i, j, s$  - індекси сільськогосподарських культур, які вирощують, та їхніх груп, попередників, передпопередників;  $J, S_i$  - множини: попередників для  $i$ -ї культури або групи культур, передпопередників  $j$ -ї культури або групи культур.

Для визначення розмірів посівних площ наявних сільськогосподарських культур:

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{s \in S_j} a_{ijs} z_{ijs}^l \leq \sum_{i \in I_k} x_i^l \quad (l \in L; i \in I),$$

де  $a_{ijs}$  – коефіцієнт зміни урожайності  $i$ -ї культури для розміщення її після  $j$ -го попередника та  $s$ -го передпопередника;  $I_k$  – підмножина культур ( $I_k \in I$ ).

Для ерозійної безпечності складу наявних сільськогосподарських культур:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} f_i z_{ijs}^l \leq F_l \quad (l \in L),$$

де  $f_i$  – коефіцієнт ерозійної безпечності вирощування  $i$ -ї культури;  $F_l$  - розрахункова величина:  $F_l = f_i B_l$  ( $f_i$  – допустимий коефіцієнт ерозійної безпечності для ріллі  $l$ -ї категорії).

Для бездефіцитного балансу гумусу:

$$\sum_{i \in I} h_i^l x_i^l + \Delta H_l \geq H_l \quad (l \in L),$$

де  $h_i^l$  – показник, який характеризує вплив  $i$ -ї культури на вміст гумусу в ґрунті  $l$ -ї категорії ріллі;  $\Delta H_l$  - величина компенсційного дефіциту гумусу ріллі  $l$ -ї категорії;  $H_l$  - нижній рівень вмісту гумусу ріллі  $l$ -ї категорії.

Розподіл посівних площ сільськогосподарських культур за видами використання продукції:

$$\sum_{i \in I} b_i^l x_i^l \geq \sum_{g \in Q} Y_{gi} \quad (i \in I),$$

де  $b_i^l$  – коефіцієнт зниження урожайності  $i$ -ї культури за вирощування її на ріллі  $l$ -ї категорії.

Для гарантованого виробництва продукції рослинництва:

$$\sum_{i \in I} v_{gi} Y_{gi} \geq V_g \quad (g \in Q),$$

де  $v_{gi}$  – вихід продукції  $g$ -го виду з 1 га посівної площі  $i$ -ї культури;  $V_g$  – заданий об'єм виробництва  $g$ -го виду продукції.

Для використання виробничих ресурсів:

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} p_{ri}^l x_i^l + \sum_{i \in I} \sum_{g \in Q} p_{rgi} Y_{gi} \leq P_r \quad (r \in R),$$

де  $P_r$  – наявність  $r$ -го виду ресурсів;  $R$  – множина виробничих ресурсів, які використовують.

Однією з основних вимог для розрахунку оптимальної структури посівних площ та ґрунтозахисних сівозмін за допомогою цієї моделі було дотримання принципу диференційного використання ріллі, який передбачає облік ґрунтозахисної здатності культур і залежності їхньої урожайності від ступеня еродованості ґрунту. Автором рекомендовано виділення трьох категорій ріллі за інтенсивністю її використання: інтенсивного (схили 0-3<sup>0</sup> з перевагою слабозмитих і незмитих ґрунтів; сівозміни з чистим паром, просапними, зерновими і зернобобовими культурами, багаторічними травами), помірного (схили 3-5<sup>0</sup> з перевагою слабозмитих і середньозмитих ґрунтів; сівозміни з зерновими і зернобобовими культурами, багаторічними травами), обмеженого (схили більше 5<sup>0</sup> з перевагою середньозмитих і сильнозмитих ґрунтів; сівозміни з багаторічними травами і зерновими культурами високої ґрунтозахисної ефективності) [16, с. 11].

Новим поступом у вирішенні проблеми економіко-математичного моделювання ґрунтозахисних сівозмін у 1991 р. була розроблена методика і програма еколого-економічної оптимізації використання еродованих земель «ЮРЕКОЛ» Луганського Інституту охорони ґрунтів від ерозії НААН, яку можна застосувати для вибору оптимального складу ґрунтозахисної сівозміни, оптимізації використання мінеральних добрив на еродованих землях, визначення оптимальної структури посівів за контурно-меліоративної організації території.

У цій праці науковцями визначене різноманіття особливостей сільськогосподарських культур на схилах, специфічні умови їхнього вирощування, необхідність диференційного підходу до розміщення посівів із урахуванням рельєфу, властивостей ґрунту, схильності до ерозії (тобто наявність альтернативи), що утворюють передумови для економіко-математичного моделювання оптимального складу ґрунтозахисних сівозмін з обов'язковим виконанням вимоги до охорони ґрунтів і підвищення їхньої родючості.

Автори визначили постановку задачі, яка полягала в наступному: у відповідності до наявних виробничих ресурсів (земельних, трудових, матеріально-грошових) і параметрів виробництва (вихід кормів, протеїну, ціни, собівартості та ін.), екологічних можливостей (змит ґрунту, фіксація біологічного азоту з атмосфери) визначити оптимальний (найраціональніший) склад ґрунтозахисної сівозміни, яка забезпечить максимум еколого-економічного ефекту [42, с. 11]. Вибір оптимального складу ґрунтозахисної сівозміни проведено за обов'язкової умови охорони ґрунтів і підвищення їхньої родючості та екологічних можливостей розміщення сільськогосподарських культур на схилах.

Заслуговує на розгляд не менш важлива задача, присвячена оптимізації використання мінеральних добрив на еродованих ґрунтах [42, с. 23]. За внесення мінеральних добрив на схилах враховують такі чинники, як попередники, сільськогосподарські культури, агрохімічний стан та ступінь змитості ґрунту. У той же час, не завжди приймається до уваги можливість надходження частки елементів живлення з органічних добрив та біологічна фіксація азоту бобовими культурами. Точне визначення оптимального рівня доз, правильне співвідношення азоту з фосфором і калієм дозволяє усунути втрати добрив на схилах і тим самим уникнути забруднення навколишнього середовища.

Заслуговує на увагу праця В. Л. Дмитренка (1992 р.), в якій змістовно обґрунтовано диференційний рівень продуктивності ґрунтозахисних сівозмін із

виращуванням певних сільськогосподарських культур у будь-якому господарстві на основі використання характеристик виділених категорій ріллі за змитістю, а також коефіцієнтів зниження урожайності сільськогосподарських культур на ґрунтах різного ступеня еродованості [43].

Для того, щоб виключити можливість формування двопільних сівозмін та інших нераціональних чергувань сільськогосподарських культур, а також беручи до уваги необхідність обліку в деяких випадках впливу на урожайність наявних сільськогосподарських культур не тільки попередника, але й передпопередника, в моделі використані сівозмінні ланки, які складаються з трьох культур. Варіанти ланок встановлені на основі даних багаторічних стаціонарних дослідів із сівозмін і впливу попередників на урожайність сільськогосподарських культур.

Слід зазначити, що не менш важливим досягненням у розвитку економіко-математичного моделювання ґрунтозахисних сівозмін була праця В. Л. Дмитренка за 1995 р., де оптимізаційну задачу автор розрахував за допомогою економіко-математичної моделі, користуючись якою можна з наявних альтернативних варіантів ґрунтозахисних сівозмін вибрати оптимальну схему (склад і співвідношення культур) на підставі натуральних і вартісних економічних показників (вихід кормів і протеїну, вартість валової продукції, витрати на її виробництво) із врахуванням екологічної складової (змитв ґрунту, фіксація біологічного азоту, витрати на відновлення ґрунту) [44, с. 95–96].

Автор доступно і лаконічно встановив основні поняття про ґрунтозахисні сівозміни, як важливий організаційно-господарський ланцюг у комплексі заходів із захисту ґрунтів від ерозії. Відмічено, що багаторічні трави, які входять до складу ґрунтозахисної сівозміни, озимі та ярі культури мають неоднакові біологічні можливості і по-різному реагують на ступінь еродованості ґрунту. Визначено, що надійно охороняють ґрунт від ерозії багаторічні трави (показник ерозійної безпечності 0,08), добре – озимі (0,30), меншою мірою – ярі колосові (0,40) і однорічні трави (0,50). Серед усіх культур ґрунтозахисної сівозміни тільки бобові культури (багаторічні та однорічні

трави, горох, соя) можуть асимілювати азот із атмосфери, переводити його у внутрішній ґрунтовий і тим самим збагачувати ґрунт на гумус. Розрізняють також вищенаведені культури за виходом кормових одиниць, вмістом протеїну в кормовій одиниці, витратам праці та засобів у розрахунку на одиницю площі [44, с. 97].

Наведено постановку задачі, яка полягає в наступному: у відповідності з існуючими виробничими ресурсами (земельними, трудовими, матеріально-грошовими) і параметрами виробництва (вихід кормів, протеїну, ціни, собівартості та ін.), екологічними можливостями (змив ґрунту, фіксація біологічного азоту із атмосфери) визначити оптимальний склад ґрунтозахисної сівозміни, яка забезпечить максимум еколого-економічного ефекту [44, с. 96–98].

Вирішення цієї задачі залежить від оптимальної структури ґрунтозахисної сівозміни, яке складається із декількох схем (варіантів), що рекомендовані для певної зони України. Для запису структурної економіко-математичної моделі задачі вибору оптимального складу ґрунтозахисної сівозміни 1 встановлено наступні позначення:

$X_{jl}$  – шукана площа посіву  $j$ -ї культури в 1-сівозміні, га;  $j$  – порядковий номер культури, змінної ( $j=1,2, \dots, n$ );  $i$  – порядковий номер ресурсу, ( $i=1,2, \dots, m$ );  $I$  – множина культур, які вирощують;  $L$  – множина варіантів сівозмін;  $\phi_{jl}$  – питома вага  $j$ -ї культури в 1-й сівозміні (в частках одиниці), за чого:

$$\sum_{j \in I} \phi_{j1} = 1 ;$$

$K_{ijl}$  – вихід кормових одиниць з 1 га  $l$ -ї сівозміни для  $j$ -ї культури  $i$ -го обмеження, ц;  $p_{ijl}$  – вихід протеїну з 1 га  $l$ -ї сівозміни для  $j$ -ї культури  $i$ -го обмеження, ц;  $a_{ijl}$  – вартість продукції з 1 га  $l$ -ї сівозміни для  $j$ -ї культури  $i$ -го обмеження, грн.;  $b_{ijl}$  – наведені витрати з 1 га  $l$ -ї сівозміни для  $j$ -ї культури  $i$ -го обмеження, грн.;  $f_{ijl}$  – залишковий змив ґрунту з 1 га  $l$ -ї сівозміни для  $j$ -ї культури  $i$ -го обмеження, т;  $V_{ijl}$  – витрати на відновлення 1 га змитого ґрунту  $l$ -ї сівозміни для  $j$ -ї культури  $i$ -го обмеження, грн.;  $d_{ijl}$  – вартість симбіотичного

азоту з 1 га  $l$ -ї сівозміни для  $j$ -ї культури  $i$ -го обмеження, грн.;  $S_l$  – загальна площа  $l$ -ї сівозміни, га;  $S_{il}$  – допустимий розмір площі зазначеної культури у  $l$ -й сівозміні, га, за чого:

$$S_{il} = \varphi_{il} S_l;$$

$F_l$  – можливо допустимий змив ґрунту в  $l$ -й сівозміні, т;  $x_{il}^k, x_{il}^p, x_{il}^a, x_{il}^b, x_{il}^v, x_{il}^d$  – шуканий об’єм ресурсу  $i$ -го виду для  $l$ -ї сівозміни (відображена змінна).

Виходячи з прийнятих позначень, задача вибору оптимального складу ґрунтозахисної сівозміни інтерпретована наступними лінійними співвідношеннями.

Оптимізується лінійна функція:

$$Z(\max) = \sum_{j \in L} \sum_{i \in I} (a_{ij1} x_{j1} - b_{ij1} x_{j1} - v_{ij1} x_{j1} + d_{ij1} x_{j1});$$

за умов:

обмеження загальної площі  $l$ -ї сівозміни:

$$\sum_{j \in I} x_{j1} \leq S^1;$$

обмеження посіву окремих культур у  $l$ -й сівозміні:

$$x_{j1} \leq S_{il};$$

рівняння загального виходу кормових одиниць:

$$\sum_{j \in I} K_{ij1} x_{j1} - x_{i1}^k = 0;$$

рівняння загального виходу протеїну:

$$\sum_{j \in I} P_{ij1} x_{j1} - x_{i1}^p = 0;$$

рівняння загального виробництва продукції у грошовому виразі:

$$\sum_{j \in I} a_{ij1} x_{j1} - x_{i1}^a = 0$$

рівняння наведених витрат для виробництва продукції:

$$\sum_{j \in I} b_{ij1} x_{j1} - x_{i1}^b = 0;$$

вимога допустимого змиву ґрунту:

$$\sum_{j \in I} f_{il} x_{j1} \leq F_l;$$

рівняння витрат для відновлення ґрунту:

$$\sum_{j \in I} V_{ij1} x_{j1} - x_{i1}^V = 0 ;$$

рівняння вартості азоту, який фіксується з атмосфери:

$$\sum_{j \in I} d_{ij1} x_{j1} - x_{i1}^d = 0 ;$$

вимога невід'ємності змінних:

$$x_{j1} \geq 0 .$$

У розширену модель (матрицю) задачі записані основні змінні, які виражають шукані площі посіву культур за кожним варіантом (схемою) сівозміни і додаткові змінні, необхідні для отримання допоміжної інформації за розмірами ресурсів відповідних видів. У якості обмежень прийняті: площі сівозмін, допустимі площі посіву культур і всі види ресурсів (вихід кормів, протеїну, вартість продукції, витрати та ін.) за варіантами сівозмін [44, с. 97].

І. В. Веселовський, С. В. Бегей наводять не менш важливу постановку задачі: виходячи з наявності в господарстві фондів мінеральних добрив (азотних, фосфорних, калійних), можливості внесення органічних добрив, наявності посівів сільськогосподарських культур та їх урожайності, потрібно визначити оптимальне використання мінеральних добрив на еродованих землях, щоб забезпечити найбільший еколого-економічний ефект (чистий прибуток і вартість запобігання втрати ґрунту та симбіотичного азоту) [45, с. 278].

У праці І. Д. Примака, В. Г. Рошка, Г. І. Демидася визначено різноманітність особливостей сільськогосподарських культур, які вирощують на схилах, специфічні умови їхнього виробництва, необхідність диференційного підходу до розміщення посівів з врахуванням рельєфу, властивостей ґрунту, їхньої схильності до ерозії (тобто наявності альтернативи), що створює передумови для економіко-математичного моделювання задачі вибору оптимального складу ґрунтозахисної сівозміни [36, с. 369]. Велику увагу також приділено виконанню вимог охорони ґрунтів для підвищення рівня їхньої родючості.



Новим поступом у з'ясування теоретичних питань економіко-математичного моделювання сільськогосподарського виробництва по праву вважається фундаментальна праця вчених Курської сільськогосподарської академії (1996 р.), в якій запропоновано включення до економіко-математичної моделі оптимізації ґрунтозахисних сівозмін обмеження з ерозійної безпечності складу культур за допомогою відповідних коефіцієнтів ( $K_e$ ): для ріллі інтенсивного використання  $K_e > 0,50$ ; помірного  $K_e = 0,25-0,50$ ; обмеженого  $K_e < 0,25$  [46, с. 117].

Для обліку балансу гумусу в моделі оптимізації структури посівних площ і раціональних сівозмін розроблені рівняння взаємозв'язку кількості рослинних решток і урожайності сільськогосподарських культур з використанням середніх коефіцієнтів гуміфікації рослинних решток. В умовах задачі враховують також такі реальні виробничі обмеження, як забезпечення посівів основних сільськогосподарських культур кращими попередниками, наявність природних кормових угідь та надходження кормів з них, вимоги до організації зеленого конвеєра в пасовищний період та ін. [46, с. 120].

Отримана за допомогою економіко-математичної моделі структура використання ріллі за окремими її категоріями дає можливість сформувати найраціональніші схеми сівозмін з врахуванням особливостей біології сільськогосподарських культур і розподілом ґрунту за ступенем еродованості на схилах. На еродованих землях істотно зростає частка багаторічних трав, які характеризуються високими ґрунтозахисними властивостями. Всі посіви просапних культур і чистий пар розміщені тільки на землях крутизною до  $3^0$ , тобто чітко витримується принцип диференційного використання ріллі. За цього для підтримки бездефіцитного балансу гумусу за оптимальним розв'язком потрібно кожен рік вносити 15,5 тис. тонн гною для ріллі інтенсивного використання і 2,2 тис. тонн – для ріллі помірного використання. В оптимальному варіанті коефіцієнти ерозійної безпечності, розміщених у всіх категоріях ріллі культур, знаходяться в заданих межах [46, с. 121].

Особливої уваги заслуговує праця, в якій для обчислення процесів ерозії та седиментації ґрунту найбільшу перспективу має модель WEPP, а для проведення розрахунків еколого-економічних збитків від ерозії – модель EPIC, які створені американськими науковцями і реалізовані у вигляді прикладних програм [47, с. 4]. Але для практичного застосування таких моделей після їхнього розроблення необхідно провести значний обсяг науково-дослідних робіт. Ключем до успіху тут може бути кількісне теоретичне обчислення і формалізація ґрунтового чинника ерозії, тобто розроблення теоретичних залежностей параметрів ерозійної стійкості ґрунтів від їхніх загальновідомих якостей. При цьому слід завжди пам'ятати про надзвичайну динамічність у часі та варіабельність у просторі ерозійної стійкості навіть генетично одного й того ж ґрунту, що вимагає тільки імовірного підходу для вирішення цієї проблеми.

У моделі WEPP ерозійна стійкість ґрунтів характеризується параметром міжструмкової ерозійної стійкості ( $K_i$ ), параметром струмкової ерозійної стійкості ( $K_r$ ) і значенням критичного дотикового зсуву ( $r_o$ ). Регресійні рівняння визначення цих параметрів і методики польового визначення, що рекомендовані для використання американськими науковцями, по-перше, не зовсім відповідають ідеології теоретичної моделі, а по-друге, ведуть до істотних помилок, які можуть звести нанівець всі розрахунки проекту протиерозійного упорядкування агроландшафту.

Особливої уваги заслуговує опрацювання алгоритму польового визначення і теоретичних рівнянь визначення параметра  $r_o$  та напрямів теоретичного визначення параметрів  $K_i$  і  $K_r$ . Поглиблені дослідження гармонійних коливань у просторі й часі властивостей ґрунтів, що визначають чи можуть визначати їхню ерозійну стійкість, показали, що її величина упродовж року може змінюватись майже на порядок. За чого амплітуда і період цих гармонійних коливань – функція клімату, генетичних особливостей ґрунту і рівня екологічності його господарського використання. Зроблені успішні спроби обчислення стоково-аккумулятивних і ерозійно-аккумулятивних процесів з використанням моделі WEPP, що дозволило окреслити коло основних

наукових програмних завдань для опрацювання алгоритму автоматичного комп'ютерного проектування протиерозійного захисту, який розрахований на певну ступінь ерозійної безпеки і відповідний ступінь його надійності.

Важливою, з точки зору дослідження історичного розвитку теоретичних і практичних основ економіко-математичного моделювання ґрунтозахисних сівозмін, є модель, розроблена Ю. А. Махортовим, яка передбачає крім економічних (вихід кормових одиниць, виробничі витрати, чистий прибуток), використання екологічних показників (змив ґрунту, зміна кількості гумусу, нагромадження симбіотичного азоту), а також сумарного еколого-економічного ефекту [48, с. 56].

Ця праця дає уявлення про еколого-економічний підхід до оцінки системи сівозмін, що базується на обліку ґрунтозахисної ролі наявних сільськогосподарських культур, їхньої реакції на ступінь еродованості ґрунту. За порівняльної оцінки різних варіантів (схем) сівозмін попередньо розраховують: середній коефіцієнт ерозійної безпечності та середні втрати ґрунту, показники зміни кількості гумусу і нагромадження симбіотичного азоту.

Середній коефіцієнт ерозійної безпечності у сівозміні ( $K_{cp}$ ):

$$K_{cp} = \sum K_i d_i ;$$

Середні втрати ґрунту у сівозміні ( $\Pi_{cp}$ , т/га):

$$\Pi_{cp} = \sum \Pi_i d_i ;$$

де  $K_i$  – коефіцієнти ерозійної безпечності для  $i$ -ї культури ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $\Pi_i$  – показник втрати ґрунту для  $i$ -ї культури, т/га ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $d_i$  – частка  $i$ -ї культури в сівозміні. У свою чергу:

$$\Pi_i = \frac{OK_i}{\sum K_i d_i} ;$$

де  $O$  – загальний змив ґрунту для визначеного ступеня еродованості, т/га.

Із зменшенням середніх коефіцієнтів ерозійної безпечності й втрати ґрунту схема сівозміни стає оптимальнішою (ефективнішою). Баланс гумусу ( $B_z$ , т/га) у сівозміні вираховується за формулою:

$$B_z = \sum (Y_i B_i \Gamma_i - M_i) d_i ;$$

де  $Y_i$  – урожайність  $i$ -ї культури, т/га;  $B_i$  – коефіцієнти виходу післяжнивних і корневих решток (від урожайності  $i$ -ї культури);  $\Gamma_i$  – коефіцієнти гуміфікації рослинних решток  $i$ -ї культури;  $M_i$  – мінералізація гумусу  $i$ -ї культури, т/га;  $i$  – порядковий номер культури ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Нагромадження біологічного азоту ( $B_a$ , кг/га), який фіксується бобовими культурами із атмосфери, у сівозміні розраховують:

$$B_a = \sum Y_i C_i b_i d_i ;$$

де  $C_i$  – коефіцієнти вмісту сухої речовини в урожаї  $i$ -ї культури;  $b_i$  – нормативи виходу симбіотичного азоту, кг/т сухої речовини.

Економічний ефект варіантів сівозмін:

$$Ч_{доо} = B_{co} - З_{co};$$

де  $Ч_{доо}$  – чистий прибуток сівозміни, грн./га;  $B_{co}$  – вартість валової продукції сівозміни в закупівельних цінах, грн./га;  $З_{co}$  – прямі виробничі витрати, грн./га.

$$B_{co} = \sum Ц(Y_i K_i d_i) ;$$

де  $Ц$  – закупівельна ціна 1 т кормових одиниць, грн./га;  $Y_i$  – урожайність  $i$ -ї культури, т/га;  $K_i$  – вміст кормових одиниць в 1 т натуральної ваги  $i$ -ї культури.

Еколого-економічний ефект варіантів сівозмін ( $Э_{co}$ , грн./га):

$$Э_{co} = B_{co} + C_{co} \pm Э_{ксо};$$

де  $B_{co}$  – вартість валової продукції, грн./га;  $C_{co}$  – приведені виробничі витрати, грн./га;  $Э_{ксо}$  – екологічний ефект у приведених витратах у сівозміні, грн./га.

$$Э_{ксо} = -Э_n \pm Э_z + Э_a;$$

де  $Э_n$ ,  $Э_z$ ,  $Э_a$  – відповідно вартість втрати ґрунту, кількості гумусу і симбіотичного азоту у приведених витратах, грн./га.

Автор пропонує включити в модель показники порівняльної ефективності: окупність чистим прибутком прямих виробничих витрат, окупність еколого-економічним ефектом приведених витрат (грн./га).

Ряд важливих аспектів стосовно бездефіцитного балансу гумусу наведено у праці С. Ю. Булигіна (1999 р.), які сформовані на основі спеціально проведених балансових розрахунків за кожною культурою для всіх категорій ріллі: втрату його (-) або нагромадження (+) знаходили відніманням від кількості гумусу, який нагромаджено за рахунок рослинних решток, мінералізованого і який знаходиться в дрібноземі, що змивається [49, с. 118]. Визначено також величину компенсованого дефіциту гумусу за попитом у органічних добривах (гній), які є в господарствах за кожною категорією ріллі.

Систему моделей такого складного об'єкту потрібно будувати як алгебраїчне різноманіття локальних моделей, а для опису різних функцій, потрібно використовувати моделі різної складності, погоджені між собою [50, с. 148].

На основі багаторічних досліджень у другій половині ХХ ст. вченими України було визначено загальну схему протиерозійного упорядкування територій із обов'язковим включенням основних етапів [47, с. 4]:

- передпроектне обстеження території, яку потрібно протиерозійно упорядкувати. На цьому етапі одержують весь необхідний фактичний матеріал для розрахунків майбутньої побудови протиерозійного захисту. Розроблення відповідної методики, у т. ч. методики ґрунтово-ерозійного обстеження з використанням теоретичного розрахункового аналогу (контролю) нееродованого повнопрофільного ґрунту;

- проектування побудови протиерозійного захисту і опрацювання генерального і робочих проектів. Розроблення відповідних методик для водної та вітрової ерозії, але ці процеси взаємопов'язані й необхідна відповідна методика проектування, яка б враховувала сумісне проявлення обох типів ерозії. Цю роботу на достатньому рівні та з необхідною швидкістю виконують

спеціалізовані дослідно-конструкторські установи, які можуть існувати на госпрозрахункових умовах;

- натуральне винесення і реалізація проекту потребує також спеціалізованих ґрунтово-геодезичних партій, агролісомеліоративних станцій та механізованих загонів. Опрацювання проекту та його реалізацію потрібно виконувати за державні кошти. Після виконання завдань цього етапу, роботу здають землекористувачу «під ключ» з укладанням державного акту, де повинні бути строго визначені умови експлуатації ґрунтів і елементів протиерозійного захисту. Це один із найважливіших аспектів державної ґрунтоохоронної політики;

- експлуатація, технічні угоди і ремонти побудованої системи протиерозійного захисту певної території. Роботу виконують за кошти землекористувача з допомогою і пільгами Держави. Весь комплекс робіт у сучасних умовах неможливо виконати без застосування нових технологій і засобів. Тобто широке застосування методів неконтактного діагностування ґрунтів і у цілому ландшафтів з використанням наземних та аерокосмічних засобів.

На основі загальної схеми протиерозійного упорядкування територій, для моделювання структури посівних площ і ґрунтозахисних сівозмін в районах поширення водної ерозії ґрунту стало доцільним застосування адаптивного (диференційного) підходу до використання природних і антропогенних чинників інтенсифікації рослинництва, який успішно використовують і дотепер [23, с. 125].

Слід зазначити, що не менш важливим досягненням у розвитку економіко-математичного моделювання ґрунтозахисних сівозмін другої половини ХХ ст. є праці з врахуванням у економіко-математичних моделях впливу погодних умов. Ще у 1982 р. В. А. Жуков вперше зробив спробу розподілити математичну постановку задачі на ряд певних підзадач з послідовним проведенням їхнього розв'язку, визначаючи оцінку метеорологічної ситуації періоду вегетації сільськогосподарських культур,

використовуючи розрахунок чистих норм ризику появи несприятливих ситуацій та застосовуючи розрахунок вірогідних втрат урожаю сільськогосподарських культур через несприятливі погодні умови [51, с. 101].

Особливої уваги заслуговує праця І. М. Стребкова (1983 р.), в якій при моделюванні агроекологічних систем були застосовані коефіцієнти парної кореляції урожаю з сумою опадів та сумою активних температур за декадний, дводекадний і тридекадний періоди зі зрушенням на одну декаду за весь період вегетації за багаторічними дослідженнями [52, с. 38]. Аналогічні виміри також були проведені з гідротермічним коефіцієнтом (ГТК).

У 1988 р. Б. К. Скірта пропонує поділити зовнішні чинники, які впливають на урожайність сільськогосподарських культур, на певні типи [12, с. 19]. До першого типу належать ґрунтово-кліматичні особливості господарства (якість землі, рельєф місцевості, близькість водойм та ін.). Тут також в межах одного господарства у різних полях сівозміни урожайність сільськогосподарських культур може бути різною. До другого типу зовнішніх чинників віднесено вплив погодних умов певного року в цілому та у певні періоди року (кількість опадів і температура повітря). Третій тип зовнішніх чинників включає вплив на врожайність сільськогосподарських культур стихійного лиха (град, посуха, злива, вимерзання, вимокання та ін.). Вченими з Росії підтверджено, що ці чинники можуть призвести не тільки до зниження врожаю, а й до повної його втрати [46, с. 19].

Оскільки погодні умови є основним дестабілізуючим чинником у сільському господарстві, заслуговує на особливу увагу розроблена у 1989 р. методика оцінки агрокліматичних ресурсів, в якій неодмінною умовою для оптимізації структури посівних площ і раціональних сівозмін постає облік кліматичних особливостей території [53, с. 3]. У цій праці зазначено, що використання вхідної інформації без обліку можливих коливань та змін клімату, може призвести до зниження ефективності рекомендованих моделей в екстремальні роки. Тому оцінку ґрунтово-кліматичних умов запропоновано

здійснювати на основі фітофізичної моделі із застосуванням статистичного «залишкового методу» графічних регресій.

У багатьох економіко-математичних моделях другої половини ХХ ст. використовували принцип мінімізації середніх втрат. Але цей принцип має певну обмеженість і не враховує можливості значних втрат, які можуть призвести до непередбачених наслідків. Для подолання зазначених недоліків у 1999 р. Ю. В. Житорчук запропонував у економіко-математичних моделях із загальноекономічної точки зору використовувати принцип мінімізації повторення значних втрат [54, с. 105].

Вирішенням проблеми науково обґрунтованих сівозмін з оптимальним насиченням сільськогосподарськими культурами та їхнім чергуванням без додаткових вкладень, що сприяє високопродуктивному використанню ріллі зі створенням умов для ефективного застосування добрив, засобів боротьби з бур'янами, хворобами та шкідниками, енергозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій, присвячено багато наукових праць другої половини ХХ ст. [16, 17, 22, 24, 30, 35, 37, 39, 40, 44]. В них встановлено основне правило при побудові ефективної структури посівних площ – забезпечення оптимального розміщення сільськогосподарських культур після попередників з наявністю науково обґрунтованої високої частки найпродуктивніших із них.

У працях П. І. Бойка, Н. П. Коваленко [55, 56] визначено необхідність врахування впливу насичення сівозмін окремими сільськогосподарськими культурами або їхніми групами на баланс органічних сполук у ґрунті, можливість компенсації його дефіциту за рахунок наявності органічних добрив, доцільності використання побічної продукції та сидератів, а також ґрунтозахисну здатність культур, особливості рельєфу, ступінь розвитку ерозії та багато інших природних умов. Виявлена необхідність старанного опрацювання організаційно-економічних завдань, пов'язаних із розміщенням виробничих об'єктів та витратами на перевезення продукції [55, с. 17; 56, с. 16].



Наведені вимоги підтверджують положення про те, що у кожному господарстві повинна бути система раціонально побудованих і взаємопов'язаних сівозмін з урахуванням певних природно-економічних умов господарства [57, с. 10].

Вже на початку XXI ст. були проведені підсумки стосовно обліку різних чинників для забезпечення раціонального чергування культур у сівозмінах на еродованих ґрунтах. Така задача є досить складною і може бути вирішена тільки на основі моделювання і оптимізації доз їхнього внесення за досягнення максимуму еколого-економічного ефекту [58, с. 299].

Для запису економіко-математичних моделей задачі оптимізації застосовували наступні позначення: індекси, множини, умовні позначення, обмеження, змінні [59, с. 76; 31, с. 71; 60, с. 137]. Техніко-економічні коефіцієнти втрат гумусу від змиву розраховували, виходячи з нормативів і структури посівів на ґрунтах різного ступеня змитості, а довідкові матеріали використовували для визначення балансу гумусу та основних поживних речовин.

На основі багаторічних досліджень вченими були визначені вимоги до систем ґрунтозахисних сівозмін для господарств з ерозійно небезпечними агроландшафтами: забезпечення виконання планів виробництва та продажу сільськогосподарської продукції; максимального врахування біологічних особливостей сільськогосподарських культур та технологій їхнього вирощування; використання кожної ділянки ріллі з урахуванням рельєфу, властивостей ґрунту, впливу ерозійних процесів та інших чинників; застосування ріллі у відповідності до спеціалізації господарства на короткострокову та довгострокову перспективу; врахування ресурсного забезпечення господарства на короткострокову та довгострокову перспективу; відповідність наміченій на короткострокову та довгострокову перспективу структурі управління та організації виробництва; розміщення сільськогосподарських культур після рекомендованих попередників; дотримання періодів повернення сільськогосподарських культур на попередне

місце вирощування у ґрунтозахисних сівозмінах; врахування післядії надмірного насичення ґрунтозахисних сівозмін сільськогосподарськими культурами одного виду; забезпечення умов масового освоєння інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур, що сприятиме зростанню їхньої урожайності та зниженню виробничих витрат; поновлення рівня родючості ґрунту, підвищення продуктивності сільськогосподарських культур та запобігання ерозійним процесам; сприяння ефективному використанню техніки, впровадженню прогресивних форм організації праці; гнучкості, що дозволить вносити корективи без порушення сівозмінних принципів [61, с. 200; 62, с. 121; 20, с. 246; 36, с. 375].

Для ефективнішого функціонування моделей раціонального використання земельних ресурсів у ерозійно небезпечних агроландшафтах України на основі зазначених вимог встановлене необхідне використання загальносистемної бази даних та підключення до інших моделей (моделі прогнозування очікуваного врожаю, моделі прогнозування ринкових цін та ін.) [50, с. 152; 21, с. 197].

Не менш важливими є включення до моделей раціонального використання земельних ресурсів у ерозійно небезпечних агроландшафтах коефіцієнтів ерозійної безпечності сільськогосподарських культур: для чорного пару – 1,0; цукрових буряків, кукурудзи – 0,85; картоплі, соняшника – 0,75; ярих зернових – 0,50; сумішки кукурудзи з горохом, вико-вівса – 0,35; багаторічних трав 1-го року використання – 0,08; багаторічних трав 2-го року використання – 0,03; багаторічних трав 3-го року використання – 0,01. Для ґрунтозахисної сівозміни зазначений коефіцієнт не повинен перевищувати величини 0,30-0,35 [63, с. 115; 24, с. 278].

Застосування вищенаведених доповнень в економіко-математичних моделях із застосуванням ЕОМ дозволяє не тільки здійснити об'єктивний вибір найдоцільнішої схеми ґрунтозахисних сівозмін, але й прискорити розрахунки оцінки виробничих та екологічних можливостей розміщення сільськогосподарських культур на схилах [64, с. 10; 65, с. 33].

Оскільки оптимізація сільськогосподарського виробництва повинна бути неперервним процесом, з обов'язковим вдосконаленням отриманих попередніх розв'язків на основі впровадження нових виробничих технологій, що гарантує раціональне використання землі та пов'язаних з цим інших засобів виробництва на будь-якому проміжку часу. Тому, для розв'язку кожної нової задачі оптимізації набуває актуальності необхідність проведення контролю і удосконалення застосованих раніше обмежень та їхнє доповнення у відповідності з новими виробничими відносинами [60, с. 145].

*Висновки.* На основі проведення науково-історичного аналізу становлення та розвитку економіко-математичного моделювання протиерозійних процесів та ґрунтозахисних сівозмін другої половини ХХ – ХХІ ст. були узагальнені основні положення їхнього удосконалення в Україні.

Загальна схема протиерозійного упорядкування певної території повинна включати такі основні етапи: передпроектне обстеження території, яку потрібно протиерозійно упорядкувати; проектування побудови протиерозійного захисту і опрацювання генерального і робочих проектів; натуральне винесення і реалізація проекту потребує спеціалізованих ґрунтово-геодезичних партій, агролісомеліоративних станцій та механізованих загонів; експлуатація, технічні угоди і ремонт побудованої системи протиерозійного захисту певної території. Весь комплекс робіт у сучасних умовах неможливо виконати без застосування нових технологій та засобів із широким використанням методів неконтактного діагностування ґрунтів і у цілому агроландшафтів з впровадженням наземних і аерокосмічних засобів.

Можна зробити висновок, що оптимізація ґрунтозахисних сівозмін тісно пов'язана із завданням раціонального використання земельного потенціалу держави, відновлення екологічної рівноваги сільськогосподарських ландшафтів, організації землекористування та вирішення проблем навколишнього середовища і має проводитись на основі природоохоронного системного підходу з врахуванням багатьох можливих комплексних показників

і параметрів, класифікацію та узагальнення яких наведено вище і які становлять основу при побудові економіко-математичних моделей.

Застосування запропонованих економіко-математичних моделей гарантує підвищення та стабільність урожайності сільськогосподарських культур на основі ресурсозбереження та енергозбереження за умови раціонального використання земельних ресурсів. Для їхнього розроблення доцільно використовувати сучасні економіко-математичні методи із застосуванням комп'ютерної техніки, що сприяє прискоренню отримання достовірних якісних кінцевих результатів та дозволяє зекономити кошти на проведення експериментальних дослідів.

Для ефективного функціонування моделей раціонального використання земельних ресурсів у ерозійно небезпечних агроландшафтах України необхідно використовувати загальносистемну базу даних та підключення до інших моделей (моделі прогнозування очікуваного врожаю, моделі прогнозування ринкових цін та ін.).

Оптимізація повинна бути неперервним процесом, тому що вдосконалення отриманих попередніх розв'язків, у зв'язку із впровадженням нових виробничих технологій, гарантує раціональне використання землі та пов'язаних з цим інших засобів виробництва на будь-якому проміжку часу. Отже, для розв'язку кожної нової задачі оптимізації повинні проводити контроль і удосконалення застосованих раніше обмежень та їхнє доповнення у відповідності з новими виробничими відносинами.

### ***Список використаної літератури***

1. *Браславец М. Е.* Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве / М. Е. Браславец, Р. Г. Кравченко. – М. : Колос, 1972. – 589 с.
2. *Гатаулин А. М.* Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве / А. М. Гатаулин, Г. В. Гаврилов, Т. М. Сорокина. – М. : Агропромиздат, 1990. – 432 с.
3. *Горелов А. А.* Экология – наука – моделирование / А. А. Горелов. – М. : Наука, 1985. – 206 с.
4. *Джефферс Дж.* Введение в системный анализ: применение в экологии : пер. с англ. / Дж. Джефферс. – М. : Мир, 1981. – 256 с.

5. *Дубов Ю. А.* Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем / Ю. А. Дубов, С. И. Травкин, В. Н. Якимец. – М. : Наука, 1986. – 296 с.
6. *Кравченко Р. Г.* Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве / Р. Г. Кравченко. – М. : Колос, 1978. – 423 с.
7. *Лукачев М. И.* Исследование моделей аграрного производства / М. И. Лукачев. – М. : Из-во Моск. ун-та, 1985. – 136 с.
8. *Льюис К. Д.* Методы прогнозирования экономических показателей : пер. с англ. / К. Д. Льюис. – М. : Фин. и стат., 1986. – 133 с.
9. *Неуймин Я. Г.* Модели в науке и технике: история, теория, практика / Я. Г. Неуймин. – Л. : Наука, 1984. – 188 с.
10. *Полищук Л. И.* Анализ многокритериальных экономико-математических моделей / Л. И. Полищук. – Новосибирск : Наука, 1989. – 352 с.
11. *Розен В. В.* Цель – оптимальность – решение (математические модели принятия оптимальных решений) / В. В. Розен. – М. : Радио и связь, 1982. – 168 с.
12. *Скирта Б. К.* АСУ програмує врожай / Б. К. Скирта. – К. : Урожай, 1988. – 95 с.
13. *Франс Дж.* Математические модели в сельском хозяйстве : пер. с англ. / Дж. Франс, Дж. Торнли. – М. : Агропромиздат, 1987. – 400 с.
14. *Булаткин Г. А.* Эколого-энергетические проблемы оптимизации продуктивности агроэкосистем / Г. А. Булаткин. – Пушино, 1991. – 43 с.
15. *Вергунова І. М.* Основи математичного моделювання для аналізу та прогнозу агрономічних процесів / І. М. Вергунова. – К. : Нора-Прінт, 2000. – 146 с.
16. *Дудкин В. М.* Методика математического моделирования структуры посевных площадей и севооборотов / В. М. Дудкин. – М., 1991. – 24 с.
17. *Эльмет Х. А.* Методика оптимизации структуры посевных площадей и размещения севооборотов / Х. А. Эльмет. – М. : Наука, 1978. – 128 с.
18. *Коваленко Н. П.* Оптимізація розміщення зернових культур в сівозмінах підзони нестійкого зволоження Лісостепу / Н. П. Коваленко // Вісн. аграр. науки. – К. – 2000. – № 5. – С. 84.
19. *Хеди Э.* Методы линейного программирования / Э. Хеди, У. Кандлер. – М. : Колос, 1965. – 447 с.
20. *Коваленко Н. П.* Оптимізація структури посівних площ і спеціалізованих сівозмін методом економіко-математичного моделювання / Н. П. Коваленко // Методика, механізація, автоматизація та комп'ютеризація досліджень у землеробстві, рослинництві, садівництві та овочівництві. – К., 2007. – вип. 9. – С. 245–251.
21. *Юркевич Є. О.* Агробіологічні основи сівозмін Степу України : монографія / Є. О. Юркевич, Н. П. Коваленко, А. В. Бакума. – Одеса : Одеське вид-во «ВМВ», 2011. – 240 с.
22. *Черников В. А.* Агроэкология / В. А. Черников, А. И. Черкес. – М. : Колос, 2000. – 536 с.

23. *Дегодюк Е. Г.* Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва / Е. Г. Дегодюк. – К. : Урожай, 1992. – 317 с.
24. *Городній М. М.* Агроекологія / М. М. Городній, А. Г. Сердюк, М. П. Вовкотруб та ін. – К. : Вища шк., 1993. – 415 с.
25. *Шапиро Я. С.* Агроекосистемы : учеб. пособие / Я. С. Шапиро. – СПб. : ЭЛБИ-СПб, 2005. – 264 с.
26. *Бойко П. І.* Ґрунтозахисна ефективність культур і боротьба з ерозією ґрунтів / П. І. Бойко, Н. П. Коваленко // Агроексперт. – К., 2009. – № 7-8 (12-13). – С. 12–15.
27. *Коваленко Н. П.* Сівозміна – основний біологічний чинник збільшення врожайності зернових та олійних культур / Н. П. Коваленко, Є. О. Юркевич, І. І. Дядько // Бюл. ін-ту сіл. госп-ва степової зони НААН України. – Дніпропетровськ, 2011. – № 1. – С. 111–113.
28. *Листопадов І. Н.* Управление плодородием эродированной пашни / И. Н. Листопадов, М. В. Техина // Вісн. аграр. науки. – 1992. – № 4. – С. 12–15.
29. *Вергунов В. А.* Математичне моделювання в агробіології: започаткування, становлення та розвиток / В. А. Вергунов, І. М. Вергунова // Історія освіти, науки і техніки в Україні : матеріали II конф. молодих учених та спеціалістів. – К, 2004. – С. 58–61.
30. *Вергунова І. М.* Моделювання вирощування зернових культур в інтенсивних сівозмінах зони Лісостепу України / І. М. Вергунова, Н. П. Коваленко // Землеробство ХХІ століття – проблеми та шляхи вирішення : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. – К, 1999. – С. 136.
31. *Вергунова І. М.* Математична модель оптимізації вирощування зернових культур в польових сівозмінах Лісостепу України / І. М. Вергунова, Н. П. Коваленко // Вісн. Полтавського держ. с.-г. ін-ту. – Полтава, 2000. – № 3. – С. 70–71.
32. *Коваленко Н. П.* Оптимізація структури посівних площ і сівозмін методом моделювання та шляхи подальшого їх вдосконалення / Н. П. Коваленко // Організаційно-економічні проблеми розвитку АПК : зб. ін-ту аграр. економіки УААН. – К, 2001. – Ч. 1. – С. 235–239.
33. *Коваленко Н. П.* Моделювання зерно-бурякових сівозмін / Н. П. Коваленко // Цукрові буряки. – К, 2001. – № 6 (24). – С. 13.
34. *Бегей С. В.* Екологічне землеробство : підручник / С. В. Бегей, І. А. Шувар. – Львів : Новий світ – 2000, 2007. – 432 с.
35. *Шувар І. А.* Наукові основи сівозмін інтенсивно-екологічного землеробства / І. А. Шувар. – Львів : Каменяр, 1998. – 224 с.
36. *Примак І. Д.* Раціональні сівозміни в сучасному землеробстві / І. Д. Примак, В. Г. Рошко, Г. І. Демидась. – Біла Церква, 2003. – 384 с.
37. *Шашкова Г. Д.* Моделирование структуры посевных площадей с учетом севооборотных требований / Г. Д. Шашкова, И. Г. Зотова, В. И. Батраков // Вестн. с.-х. науки. – 1984. – № 2. – С. 128–133.
38. *Овсянников В. И.* Моделирование и оптимизация систем земледелия в северной Лесостепи Украины / В. И. Овсянников, А. Н. Сухорукова, С. М. Овсянникова // Вестн. с.-х. науки. – 1983. – № 3. – С. 48–54.

39. Южаков А. И. Оптимизация структуры посевных площадей с помощью ЭВМ / А. И. Южаков, А. Т. Сотникова // Земледелие. – 1982. – № 8. – С. 36–37.
40. Годулян И. С. Рациональные севообороты – основа высокого урожая / И. С. Годулян. – Днепропетровск : Проминь, 1972. – 160 с.
41. Дудкин В. М. Моделирование структуры посевных площадей в районах распространения водной эрозии почв / В. М. Дудкин, А. С. Акименко, В. И. Свиридов // Вестн. с.-х. науки. – 1989. – № 2 (390). – С. 56–63.
42. Математические методы и программы оптимизации использования эродированных земель : метод. рекомендации. – Луганск, 1991. – 39 с.
43. Дмитренко В. Л. Моделирование и оптимизация состава почвозащитных севооборотов / В. Л. Дмитренко, Е. Н. Гайдамака // Вісн. аграр. науки. – 1992. – № 4. – С. 20–23.
44. Дмитренко В. Л. Эколого-экономическая оценка севооборотов / В. Л. Дмитренко // Вісн. аграр. науки. – 1995. – № 7. – С. 94–98.
45. Веселовський І. В. Ґрунтозахисне землеробство / І. В. Веселовський, С. В. Бегей. – К. : Урожай, 1995. – 304 с.
46. Методика разработки систем земледелия на ландшафтной основе. – Курск : КГСХА, 1996. – 132 с.
47. Булигін С. Ю. Стан протиерозійного захисту ґрунтового покриву України / С. Ю. Булигін // Агрохімія і ґрунтознавство. – Х, 1998. – С. 3–5.
48. Махортов Ю. А. Методика еколого-економічної оцінки севооборотов / Ю. А. Махортов // Вісн. аграр. науки. – 1999. – № 9. – С. 56–57.
49. Булыгин С. Ю. Формирование экологически сбалансированных ландшафтов. Проблема эрозии / С. Ю. Булыгин, М. А. Неаринг. – Дергачи : Эней ЛТД, 1999. – 272 с.
50. Дзядик Ю. В. Про побудову математичних моделей сільськогосподарського виробництва / Ю. В. Дзядик, В. П. Денисюк // Інформаційні ресурси та їх використання в агропромисловому виробництві : зб. наук. праць. – К. : ІАЕ, 1999. – №1. – С.147–154.
51. Жуков В. А. К вопросу оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с учетом влияния неблагоприятных погодных условий / В. А. Жуков // Метеорология и гидрология. – 1982. – № 11. – С. 99–107.
52. Стребков И. М. Роль погодных условий в моделях агроэкологических систем / И. М. Стребков // Вестн. с.-х. науки. – 1983. – № 4. – С. 37–39.
53. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. – 195 с.
54. Житорчук Ю. В. Оптимизация структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур с учетом климатологической информации / Ю. В. Житорчук, Л. Е. Страшненко // Меліорація і водне господарство : міжвід. темат. наук. зб. – К. : Аграр. наука, 1999. – № 86. – С. 104–107.
55. Бойко П. І. Основні принципи побудови ґрунтозахисних сівозмін Лісостепу України / П. І. Бойко, Н. П. Коваленко // Агроексперт. – К., 2009. – № 9 (14). – С. 17–19.

56. *Бойко П. І.* Особливості ґрунтозахисних сівозмін Степу, Полісся та гірських районів Карпат / П. І. Бойко, Н. П. Коваленко // *Агроексперт.* – К., 2009. – № 10 (15). – С. 16–19.
57. *Бойко П. І.* Проблеми екологічно врівноважених сівозмін / П. І. Бойко, Н. П. Коваленко // *Вісн. аграр. науки.* – К., 2003. – № 8. – С. 9–13.
58. *Юркевич Є. О.* Шляхи покращання екологічного стану ґрунту / Є. О. Юркевич, Н. П. Коваленко // *Вісн. Житомирського нац. агрокол. ун-ту.* – Житомир, 2011. – № 2, т. 1 (29). – С. 299–306.
59. *Вергунова І. М.* Визначення економіко-енергетичної ефективності сівозмін з подальшою оптимізацією розміщення в них зернових культур / І. М. Вергунова, Н. П. Коваленко // *Економіст.* – К., 2000. – № 2. – С. 75–76.
60. *Коваленко Н. П.* Застосування методів економіко-математичного моделювання у визначенні ефективності сівозмін / Н. П. Коваленко // *Аграрний вісник Причорномор'я: зб. наук. праць Одеського держ. аграр. ун-ту. Сільськогосподарські та біологічні науки.* – Одеса, 2009. – Вип. 50. – С. 136–145.
61. *Адамень Ф. Ф.* Основы математического моделирования агробиоценозов / Ф. Ф. Адамень, В. А. Вергунов, И. Н. Вергунова. – К. : Нора-Принт, 2005. – 372 с.
62. *Вергунов В. А.* Основы математического моделирования для анализа прогноза агрономических процессов / В. А. Вергунов, И. Н. Вергунова, В. С. Шкрабак. – СПб : СПбГАУ, 2003. – 219 с.
63. *Бойко П. І.* Сівозміни у землеробстві України / П. І. Бойко, В. Ф. Сайко. – К. : Аграр. наука, 2002. – 147 с.
64. *Бойко П. І.* Екологічно збалансовані сівозміни – основа біологічного землеробства / П. І. Бойко, Н. П. Коваленко // *Вісн. аграр. науки.* – К., 2005. – № 2. – С. 9–13.
65. *Вергунова І. М.* Історія процесу інформатизації в агрономії України (60-ті рр. ХХ ст. – поч. ХХІ ст.) / І. М. Вергунова, О. В. Мігульов. – К., 2011. – 180 с.