

УДК 633:63 631.52

КАРПУК Л.М., д-р с.-г. наук

Білоцерківський національний аграрний університет

ПРИСЯЖНЮК О.І., канд. с.-г. наук

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

СТАСІЄВ Г., д-р біол. наук

Молдавський державний університет

ПОЛЩУК В.В., д-р с.-г. наук

Уманський національний університет садівництва

МИКОЛАЙКО В.П., д-р с.-г. наук

Уманський державний педагогічний університет ім. Павла Тичини

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ЯК ІНСТРУМЕНТУ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В БУРЯКІВНИЦТВІ

У ракурсі моделювання рослинних систем основною матрицею даних для побудови обчислювальних алгоритмів механізмів та закономірностей функціонування посівів бурякової сівозміни є числове вираження показників біологічних процесів, які є функцією адитивної дії абіотичних, біотичних та антропогенних факторів.

Математичні моделі інтегрують інформацію про досліджувану систему, а саме посіви буряків цукрових, і поєднують в єдине ціле результати окремих досліджень.

Дослідження взаємозв'язків, що впливають на ознаки які формуються у процесі росту та розвитку буряків цукрових подані у вигляді кореляційних плеяд. Кожна точка плеяди показує силу конкретного кореляційного зв'язку між досліджуваними ознаками та іншими чинниками, що на неї впливають або пов'язані з нею.

Між досліджуваними ознаками біологічних форм буряків цукрових та іншими чинниками, що на них впливають встановлені достовірні кореляційні зв'язки, які демонструють ефективність проходження біологічних процесів у культурі, і є функцією адитивної дії абіотичних і антропогенних факторів. Це у свою чергу дозволяє спрогнозувати параметри даних показників рослин буряків цукрових з високим рівнем точності.

Тісний кореляційний зв'язок встановлено між польовою схожістю та густиною рослин після появи повних сходів ($r=0,42$), між польовою схожістю та масою листків на 01 липня ($r=0,37$), та зворотний зв'язок між польовою схожістю і урожайністю – $r = -0,37$. Між збором цукру, урожайністю, густиною рослин перед збиранням врожаю і цукристістю коренеплодів виявлено сильні позитивні кореляційні зв'язки, відповідно ($r=0,95$), ($r=0,68$) і ($r=0,60$).

Ключові слова: буряки цукрові, системний аналіз, імітаційне моделювання, дескриптивні моделі, кореляційні плеяди, біопродуктивність.

Постановка проблеми. Найбільш характерні особливості посівів, зокрема бурякового поля – це наявність великої кількості систематизованих різнорідних елементів із складними функціональними взаємозв'язками, що об'єднані у агровиробничий процес, спрямований на отримання високоякісної сільськогосподарської продукції. Повномірною реалізацією цього процесу забезпечується рішенням сукупності задач окремими елементами *системного процесу*, які є ключовими для досягнення поставленої мети.

Таким чином, за І. М. Вергуною [1–5] алгоритм послідовності вивчення та аналізу систем з використанням системно-процесуального підходу полягає у:

визначенні складових частин $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ і взаємопов'язаних з ними елементів (факторів) навколишнього середовища $V_1, V_2, V_3, \dots, V_m$;

вивченні структури внутрішніх зв'язків, а також зв'язків між елементами системи і зовнішніми чинниками;

пошуку закономірностей функціонування системи $F = \{ F1, F1, F1, \dots, Fp \}$, що визначають характер зміни основних компонентів системи під дією зовнішніх об'єктів (елементів навколишнього середовища).

Системний підхід передбачає використання трьох основних груп методів: польові спостереження; проведення польових досліджень в натурних умовах; лабораторні експерименти; власне моделювання та проведення імітаційного експерименту. Польові спостереження передбачають невтручання дослідника у процеси, що відбуваються у природних умовах. На противагу, лабораторний експеримент об'єднує методи, в яких дослідник свідомо провокує зміни в системі. Використання цих двох прийомів виявляється найбільш ефективним тоді, коли вони задумані та здійснюються на основі наукової теорії. Формою вираження

теоретичних уявлень можуть бути моделі. Звідси, до третьої групи використовуваних методів належить моделювання, тобто побудова, перевірка (верифікація) та удосконалення (оптимізація) моделей, а також інтерпретація отриманих з їх допомогою результатів [1–8].

Отже, під системною розуміють модель, яка відображає найважливіші риси системи у їх взаємозв'язку та дозволяє розв'язувати задачі, які були передбачені при створенні загальної моделі. Такі моделі отримують методами *імітаційного моделювання*.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ракурсі моделювання рослинних систем основною матрицею даних для побудови обчислювальних алгоритмів механізмів та закономірностей функціонування посівів бурякової сівозміни є числове вираження показників біологічних процесів, які є функцією адитивної дії абіотичних, біотичних та антропогенних факторів. Залежно від мети досліджень та практичних задач, Г. Ю. Ризніченком та А. Б. Рубіним [9] була запропонована наступна класифікація математичних моделей:

- описові моделі;
- якісні моделі (що з'ясовують динамічний механізм досліджуваного та здатні відтворити динамічні ефекти в поведінці системи);
- імітаційні моделі конкретних складних систем, що враховують всю інформацію про об'єкт (і дозволяють прогнозувати поведінку систем або вирішувати оптимізаційні задачі їх експлуатації).

Особлива увага приділяється саме останньому класу моделей, оскільки з практичного погляду, вони є найбільш придатними для вирішення управлінських задач на основі прогностичної оцінки розвитку процесів та явищ, що мають місце в агроєкосистемі. Коротко можна виділити наступні основні етапи побудови імітаційної моделі [8]:

1. Формулювання основних проблем функціонування складної системи, задавання вектору її стану та системного часу.
2. Декомпозиція системи на окремі блоки, пов'язані, але відносно незалежні; визначення компонент вектора стану кожного блоку, які мають перетворитися в процесі функціонування.
3. Формулювання закономірностей та гіпотез, що визначають поведінку окремих блоків та їх взаємозв'язок; розробка програм, що відповідають окремим блокам.
4. Верифікація кожного блоку при «заморожених» або лінеаризованих інформаційних зв'язках з іншими блоками.
5. Об'єднання розроблених блоків, при цьому досліджуються різні схеми їх взаємодії.
6. Верифікація імітаційної моделі в цілому та перевірка її адекватності.
7. Планування та проведення експериментів з моделлю, статистична обробка результатів та поповнення інформаційного фонду для подальшої роботи з моделлю.

Однак практика показала, що спроби детального опису багатокомпонентних систем, таких як посіви призводить до проблеми, коли практично не можлива коректна побудова та ідентифікація математичної моделі через використання надмірно великої кількості не точно визначених параметрів порівняно з експериментальними даними [9]. У такій ситуації необхідно спрощувати моделі, наприклад, за рахунок відкидання блоків або функціональних зв'язків з другорядним значенням, виділення найбільш важливих складових, визначення швидких і повільних змінних та заміни частини з них постійними змінними або параметричними залежними.

Застосування комплексних імітаційних моделей покликано підвищити адекватність агроєкологічних прогнозів, за рахунок якісно більш повного використання емпіричних даних. Імітаційні моделі дозволяють формалізувати за допомогою ЕОМ будь-які емпіричні відомості про об'єкт. Причинно-наслідкові зв'язки в імітаційних моделях прослідковуються не до кінця. Це дозволяє аналізувати взаємозв'язки в умовах великої розмірності та неповної інформації про їх структуру, більш результативно використовувати знання предметної області. Структура імітаційних систем, як правило, включає аналітичний опис об'єкта, блоки експертних оцінок, імітацію та обробку результатів обчислювального експерименту [6–33].

Мета дослідження – прогнозування біопродуктивності посівів бурякової сівозміни за допомогою методів системного аналізу як інструменту математичного моделювання.

Матеріал і методика дослідження. Функціональний опис системи, як і морфологічний опис ієрархічний. Для кожного елемента, окремої підсистеми і усієї системи в цілому функціональність задається набором параметрів морфологічного опису X (включаючи вплив ззовні), числовим функціоналом Y , що оцінює якість системи, і деяким математичним

оператором детермінованого чи стохастичного перетворення Ψ , що визначає залежність між станом входу X і станом виходу Y :

$$Y = \Psi(X). \quad (1.1)$$

Як видно з наведеної вище схеми принципів поведінки, що ускладнюється, функція відгуку Y підсистеми верхнього рівня залежить від функцій, що описують внутрішні процеси підлеглих підсистем.

Із загальної теорії моделювання фізичних систем прийнято виділяти п'ять груп параметрів з погляду способу їх використання в моделях:

1. Вхідні параметри – $V = (v_1, v_2, \dots, v_k)$, – значення яких можуть бути вимірні, але можливість впливу на них відсутня (це стосується моделей екосистем, до таких можна віднести сонячну активність, глобальні кліматичні явища, некеровану господарську діяльність людини і так далі).

2. Керуючі параметри, що управляють, – $U = (u_1, u_2, \dots, u_r)$, – за допомогою яких можна здійснювати прямий вплив відповідно до тих або інших вимог, що дозволяє керувати системою (до них можна віднести ряд цілеспрямованих заходів по охороні і відновленню природного середовища).

3. Параметри збурення (стохастичні) дії – $\Psi = (\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_r)$, – значення яких випадковим чином змінюються протягом часу і які неможливо виміряти, створюючи дисперсію неврахованих умов чи шум.

4. Параметри стану – $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – множина внутрішніх параметрів, миттєві значення яких визначаються поточним режимом функціонування екосистеми і, зрештою, є результатом сумарної дії вхідних чинників (керування і збурення), а також взаємного впливу інших внутрішньосистемних компонентів.

5. Вихідні (цільові або результуючі) параметри – $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ – деякі спеціально виділені параметри стану (або деякі функції від них), які є предметом вивчення (моделювання, оптимізації) і які використовуються в якості критерію "благополуччя" усєї екосистеми.

Припускаючи, що параметри системи пов'язані деякими функціональними залежностями, які в синтезованій моделі виражаються набором рівнянь Ψ різної математичної природи (алгебраїчні, логічні, диференціальні, кінцево-різницеві, матричні, статистичні та ін.) вираз (1.1) можна записати як:

$$Y = \Psi(X, U, V) + \Psi. \quad (1.2)$$

Будь-яка екосистема являє собою динамічний об'єкт, тому вищезазначене рівняння статичної моделі має бути доповнено безліччю моментів часу T , для яких виміряні миттєві значення змінних. Оскільки екосистеми належать до об'єктів з розподіленими параметрами, компоненти яких можуть змінюватись не тільки у часі, але і в просторі S , то загальне рівняння моделі екосистеми набуває вигляду:

$$Y = \Psi(X, U, V, T, S) + \Psi. \quad (1.3)$$

На відміну від фізичних систем, де основним завданням є оптимізація вектора результуючих параметрів Y шляхом підбору керівників дій, дослідження екосистем полягає, перш за все, у кількісній параметризації фундаментального в біології поняття "норма" Y_0 і оцінки діапазону допустимих значень вхідних параметрів, при яких відгук екосистеми не виходить за межі гнучких адаптаційних коливань $Y = Y_0 \pm \Delta Y$.

Незважаючи на нескінченну різноманітність можливих систем і їх функцій, характер залежності Ψ в (1.3) буває досить типовим, незалежно від фізичного змісту системи. Наприклад, часто ця залежність включає три області, характерні для логістичної (сигмоїдальної) кривої: слабкого зв'язку (малої чутливості до зовнішніх впливів), сильного зв'язку і області насичення, що свідчить, можливо, про кризові зміни. Ряд прикладів складних багатоконпонентних (багатовидових) екологічних моделей представлено в літературних джерелах [34].

Таким чином, математичне моделювання слугує для інтеграції інформації про досліджувану систему, оскільки поєднує в єдине ціле результати окремих локальних досліджень.

Основні результати дослідження. Дослідження взаємозв'язків, що впливають на ознаки які формуються у процесі росту та розвитку буряків цукрових подані у вигляді кореляційних плеяд. Кожна точка плеяди показує силу конкретного кореляційного зв'язку між досліджуваними ознаками та іншими чинниками, що на неї впливають або пов'язані з нею [35–37].

Тісний кореляційний зв'язок встановлено між польовою схожістю та густрою рослин після появи повних сходів ($r=0,42$), між польовою схожістю та масою листків на 01 липня ($r=0,37$), та зворотний зв'язок між польовою схожістю і урожайністю – $r = -0,37$ (рис. 1).

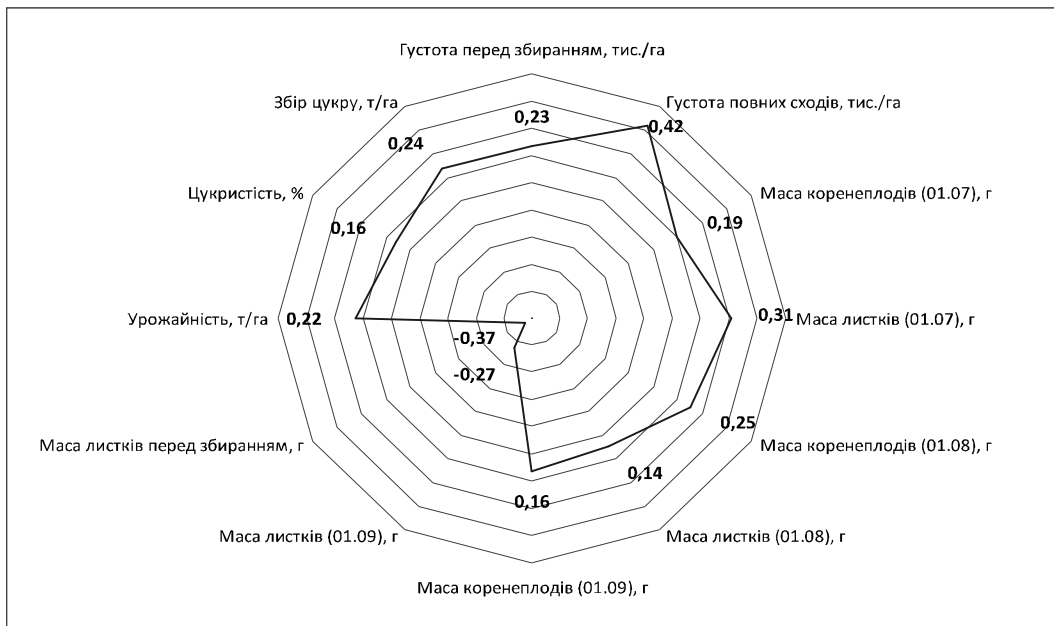


Рис. 1. Кореляційні зв'язки між польовою схожістю буряків цукрових та чинниками, що на неї впливають (середнє за 2016–2017 рр.).

Між урожайністю коренеплодів буряків цукрових та густрою стояння рослин перед збиранням урожаю виявлено тісний кореляційний зв'язок ($r=0,69$); такі чинники як маса листків ($r=0,41-0,42$), сума активних температур ($r= 0,34$), опади ($r= -0,33$), особливо обліковані на 01серпня і 01 вересня, теж впливали на формування урожайності, між ними виявлено середній кореляційний зв'язок у межах (рис. 2).

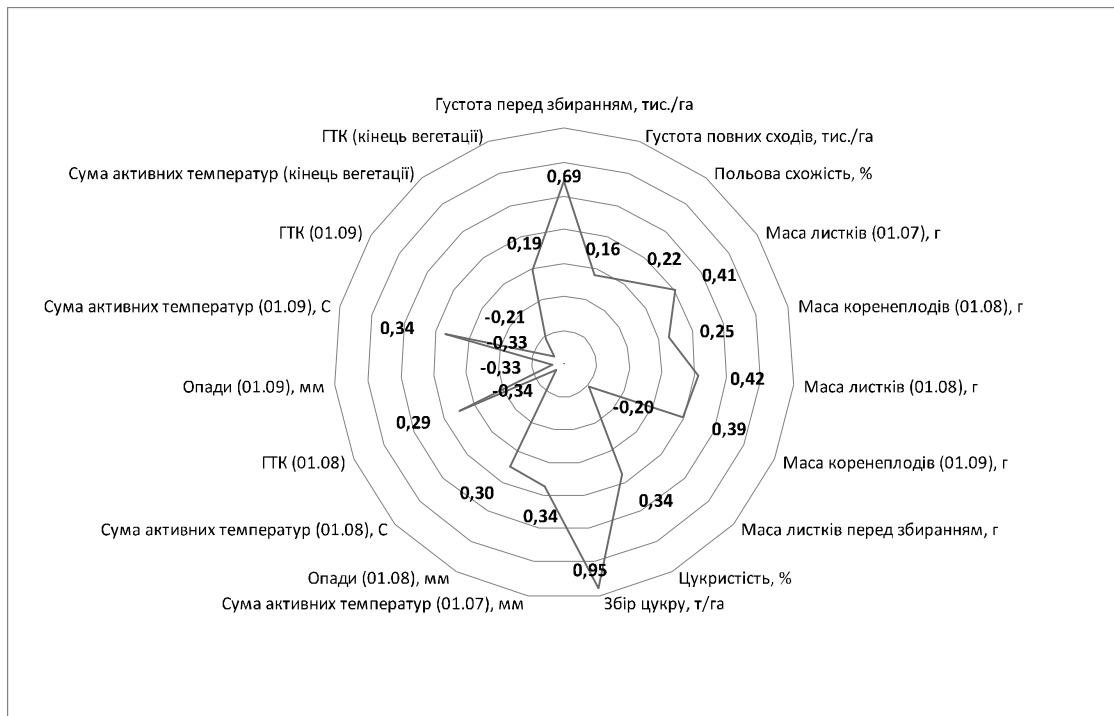


Рис. 2. Кореляційні зв'язки між урожайністю коренеплодів буряків цукрових та чинниками, що на неї впливають (середнє за 2016–2017 рр.).

На цукристість коренеплодів буряків цукрових впливали такі чинники як густина стояння рослин перед збиранням урожаю ($r=0,42$), маса коренеплодів перед збиранням урожаю ($r=0,33$), урожайність ($r=0,34$), опади на 01 липня ($r=0,46$), ГТК на 01 липня ($r=0,44$), тобто між цими досліджуваними ознаками встановлено середня позитивна кореляційна залежність.

Між збором цукру, урожайністю, густотою рослин перед збиранням урожаю і цукристістю коренеплодів виявлено сильні позитивні кореляційні зв'язки, відповідно ($r=0,95$), ($r=0,68$) і ($r=0,60$) (рис. 3).

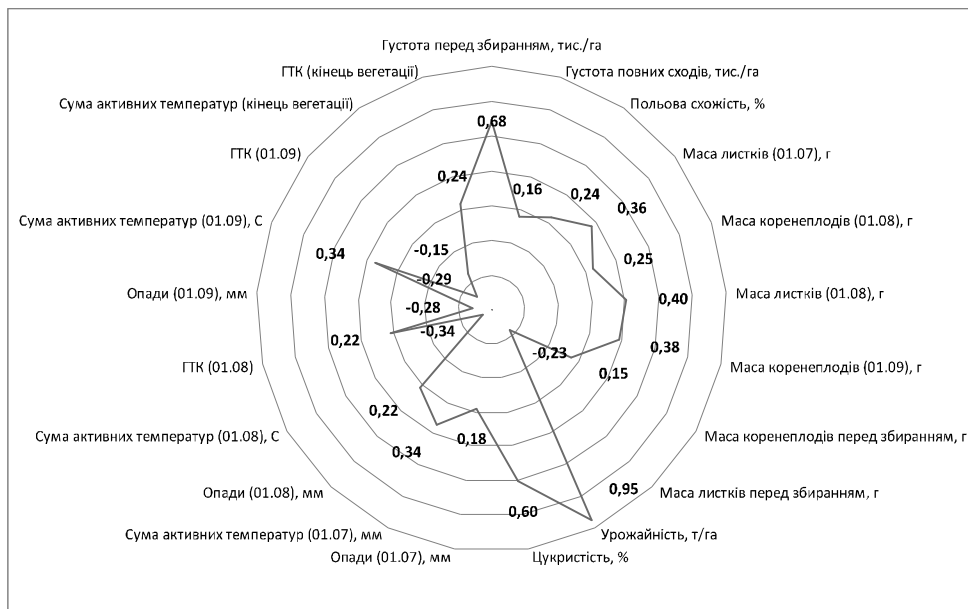


Рис. 3. Кореляційні зв'язки між збором цукру та чинниками, що на нього впливають (середнє за 2016–2017 рр.).

Висновки. Математичні моделі інтегрують інформацію про досліджувану систему, а саме посіви буряків цукрових, і поєднують в єдине ціле результати окремих досліджень.

Між досліджуваними ознаками біологічних форм буряків цукрових та іншими чинниками, що на них впливають встановлені достовірні кореляційні зв'язки, які демонструють ефективність проходження біологічних процесів у культурі, і є функцією адитивної дії абіотичних і антропогенних факторів. Це у свою чергу дозволяє спрогнозувати параметри даних показників рослин буряків цукрових з високим рівнем точності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вергунова І. М. Математичні моделі поверхневого забруднення у ґрунтах: навч. посіб. Київ: ННЦ «ІАЕ», 2018. 148 с.
2. Балюк С. А., Медведєв В. В. Екологічний стан ґрунтів України. Український географічний журнал. № 2, 2012. С. 38–42.
3. Гончарук В. Є., Лянце Г. Т., Чапля Є. Я, Чернуха О. Ю. Математичні моделі та експериментальні дані про поширення радіонуклідів у ґрунтах. Львів: Растр-7, 2014. 244 с.
4. Виноградська В. Д. Прогнозування забруднення сільськогосподарської продукції ^{137}Cs з використанням моделі поведінки радіонукліду в системі «ґрунт-рослина». Вісник ЖНАЕУ. Загальна екологія та радіоекологія. № 2 (42), 2014. Т. 1. С. 13–20.
5. Наземцева О. Я., Лазаренко Д. О. Моделювання міграції пестицидів у ґрунтах від джерел постійного забруднення. Восточно-Європейський журнал передових технологій. № 10 (64), 2013. Т. 4. С. 12–16.
6. Лакин Г. Ф. Биометрия. Москва: Высшая школа. 1990. 352 с.
7. Тюрин Ю. П., Макаров А. А. Анализ данных на компьютере. Москва: ИНФРА-М, Финансы и статистика. 1995. 384 с.
8. Федоров В. Д., Гильманов Т. Г. Экология. Москва: МГУ, 1980. 464 с.
9. Ризниченко Г. Ю., Рубин А. Б. Математические модели биологических продукционных процессов. Москва: Изд. МГУ, 1993. 301 с.
10. Грязнов В. П. Гришин Н. Н. Разработка компьютерной системы "Экотерра" для учета экологического фактора при выработке решений. Экол. основы оптимизации урбан. и рекреацион. среды: Тез. докл. междунар. совещ. Тольятти, 1992. С. 33–36.

11. Ляпко А. В., Крохов С. В., Ченцов С. И., Фельдман Л. А. Обучающиеся системы обработки информации и принятия решений. Новосибирск: Наука, 1996. 284 с.
12. Пегов С. А., Хомяков П. М. Моделирование развития экологических систем. Ленинград: Гидрометеоздат, 1991. 217 с.
13. Zhang W., Zhang L., Mao S., Qiu R. Migration and Stabilization of Multiple Heavy Metals in an Aged Contaminated Soil under a Constant Voltage Electric Field. *Soil and Sediment Contamination*. 2014. Vol. 23, Issue 5. P. 540-556.
14. Волоха М. П. Моделивання технологічних процесів підготовки ґрунту і насіння до сівби цукрових буряків. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2013. Вип. 43 (I). С. 246-252.
15. Neela Patel, Manish Thaker, Chandrika Chaudhary. Study of Some Agricultural Crop Production Planning Condition through Fuzzy Multi-Objective Linear Programming Mathematical Model. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 2016. Vol. 5. Issue 4. P. 1329-1332.
16. Lavanya Kumari P., Krishna Reddy G., Giridhara Krishna T. Optimum Allocation of Agricultural Land to the Vegetable Crops under Uncertain Profits using Fuzzy Multiobjective Linear Programming IOSR. *Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)* e-ISSN: 2319-2380, p-ISSN: 2319-2372. 2014. Vol. 7, Issue 12. Ver. I. P. 19-28.
17. Ion Raluca Andreea, TurekRahoveanu Adrian. Linear Programming in Agriculture: Case Study in Region of Development South-Mountenia. *International Journal of Sustainable Economics Management*. 2012, No 1. P. 51-60.
18. Lavanya Kumari P., Vijaya Kumar K. Some aspects of Operations Research using Solver. *International Journal of Advanced Science, Engineering and Technology*. ISSN.2319-5924. 2012. Vol. 1. Issue 1. P. 8-16. URL: www.bipublication.com
19. Nordin Hj. Mohamad, Fatimah Said. A mathematical programming approach to crop mix problem. *African Journal of Agricultural Research*. 2011. Vol. 6, No 1. P. 191-197.
20. Kadhivel. K, Balamurugan. K. Method for solving Unbalanced Assignment Problems using Triangular Fuzzy Numbers. 2013. Vol. 3. Issue 5. P. 359-363.
21. Sangeetha K., Haseena Begum H., Pavithra M. Ranking of triangular fuzzy number method to solve an unbalanced assignment problem. *Journal of Global Research in Mathematical Archives*. 2014. Vol. 2. No. 8. P. 6-11.
22. Olga Grigorenko. Involving Fuzzy Orders for Multi-Objective Linear Programming Mathematical Modelling and Analysis. 2012. Vol. 17. Issue 3. P. 366-382.
23. Bharati S.K., Nishad A.K., Singh S.R. Solution of Multi-Objective Linear Programming Problems in Intuitionistic Fuzzy Environment Proceedings of the Second International Conference on Soft Computing for Problem Solving. 2012. P. 61-171.
24. Ivokhin E. V., Almodars Barraq Subhi Kaml. Single-objective linear programming problems with fuzzy coefficients and resources. *Journal of Computational & Applied Mathematics*. 2013. No 1(111). P. 117-125.
25. Ziaee Saman, Kavand Hadis, Kalbali Elham, Soltanii Samira. The Determination of Optimal Cropping Pattern Using Mathematical Programming with an Emphasis on Sustainable Agriculture (Case Study: Boroujerd City) *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 4(3s). 2014. P. 21-25.
26. Salah R. Agha, Latifa G. Nofal, Hana A. Nassar. Multi-criteria governmental crop planning problem based on an integrated AHP-PROMETHEE approach *International Journal of Applied Management Science*. 2012. Vol. 4, Issue 4. URL: DOI: 10.1504/IJAMS.2012.049926
27. Bharati S. K., Singh S. R. Intuitionistic Fuzzy Optimization Technique in Agricultural Production Planning: A Small Farm Holder Perspective *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*. 2014. Vol. 89. No 6. P. 17-23.
28. Bharati S. K., Singh S.R. Solving Multi-Objective Linear Programming Problems Using Intuitionistic Fuzzy Environment Optimization Method: a Comparative Study. *International Journal of Modeling and Optimization*. 2014. URL: DOI: 10.7763/IJMO.2014.V4.339.
29. Dubey Dipti, Chandra Suresh, Mehra Aparna. Fuzzy linear programming under interval uncertainty based on IFS representation. *Fuzzy Sets and Systems*. 2012. Vol. 188. No 1. P. 68-87.
30. Nachammai, A. L., Thangaraj, P. Solving intuitionistic fuzzy linear programming problem by using similarity measures. *European Journal of Scientific Research*. 2012. Vol. 72. No 2. P. 204-210.
31. Nagoorgani, P.K. A new approach on solving intuitionistic fuzzy linear programming problem. *Applied Mathematical Sciences*. 2012. Vol. 6. No 70. P. 3467-3474.
32. Sinha P. Analysis of optimal crop combination under limited resource allocation: Goal programming approach to smallholder farmers in North Bihar. Ph. D. Thesis, Banasthali University India. 2013.
33. Савченко В. В., Синявский А. Ю. Изменение биопотенциала и урожайности сельскохозяйственных культур при предпосевной обработке семян в магнитном поле. *Вестник ВИЭСХ*. 2013. №2(11). С. 33–37.
34. Хомяков Д. М., Хомяков П. М. Основы системного анализа. Москва: Изд-во мех.-мат. ф-та. МГУ, 1996. 107 с.
35. Карпук Л. М., Присяжнюк О.І. Математичні моделі росту та розвитку рослин цукрових буряків залежно від кліматичних факторів. *Цукрові буряки*. 2014. № 6. С. 13–15.
36. Карпук Л.М., Крикунова О.В., Присяжнюк О.І., Поліщук В.В. Моделивання процесів росту та розвитку буряків цукрових залежно від комплексного впливу кліматичних факторів. *Збірник наукових праць “Агробіологія”*. 2014. Вип. 2 (113). Біла Церква. С. 26-29.
37. Карпук Л. Prysiazhnyuk O. Construction of multiple regressive models of sugar beet growth and development. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. Вип. 2. Харків, 2014. С. 74–82.

REFERENCES

1. Vergunova, I. M. (2008). *Matematychni modeli poverhnevogo zabrudnennja u gruntah* [Mathematical models of sub-soil contamination in soil]. Kyiv, NNC «IAE», 148 p.
2. Baljuk, S. A., Medvedjev, V. V. (2012). *Ekologichnyj stan gruntiv Ukrainy* [Ecological state of Ukrainian soil]. *Ukrain's'kyj geografichnyj zhurnal* [Ukrainian Geographical Journal], no. 2, pp. 38–42.

3. Goncharuk, V. Je., Ljance, G. T., Chaplja, Je. Ja, Chernuha, O. Ju. (2014). Matematychni modeli ta eksperymental'ni dani pro posherennja radionuklidiv u gruntah [Mathematical models and experimental data on the entrainment of radionuclides in soils]. L'viv, Rastr-7, 244 p.
4. Vynograd'ska, V. D. (2014). Prognozuvannja zabrudnennja sil'skogospodars'koi' produkcii' 137Cs z vykorystannjam modeli povedinky radionuklidu v systemi «grunt-roslyna» [Prediction of contamination of agricultural products 137Cs using the model of behavior of radionuclide in the system "soil-plant"]. Bulletin ZHNAEU. Zagal'na ekologija ta radioekologija [General ecology and radioecology], no. 2 (42), Vol. 1, pp. 13-20.
5. Nazemceva, O. Ja., Lazarenko, D. O. (2013). Modeljuvannja migracii' pestycydiv u gruntah vid dzherel postijnogo zabrudnennja [Simulation of migration of pesticides in soils from sources of constant pollution]. Vostochno-Evropejskij zhurnalпередовyh tehnologij [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], no. 10 (64), Vol. 4, pp. 12-16.
6. Lakin, G. F. (1990). Biometrija [Biometrics]. Moscow, High school. 352 p.
7. Tjurin, Ju. P., Makarov, A. A. (1995). Analiz dannyh na komp'jutere [Analysis of data on the computer]. Moscow, INFRA-M, Finances and statistics, 384 p.
8. Fedorov, V. D., Gil'manov, T. G. (1980). Jekologija [Ecology]. Moscow, MSU, 464 p.
9. Riznichenko, G. Ju., Rubin, A. B. (1993). Matematicheskie modeli biologicheskikh produkcijnyh processov [Mathematical models of biogeochemical protective protozoa]. Moscow, Moscow State University Publishing House, 301 p.
10. Grjaznov, V. P., Grishin, N. N. (1992). Razrabotka komp'juternoj sistemy "Jekoterra" dlja ucheta jekologicheskogo faktora pri vyrabotke reshenij [The development of the "Ekoterra" system for the calculation of the eco-logical factor in the production of solutions]. Jekol. osnovy optimizacii urban. i rekreac. sredy: Tez. dokl. mezhd. rab. Soveshh [Ecological basics optimization of urban and recreational environment: Theses of the reports of the international working partnership]. Tolyatti, pp. 33-36.
11. Lapko, A. V., Krohov, C. V., Chencov, C. I., Fel'dman, L. A. (1996). Obuchajushhiecja sistemy obrabotki informacii i prinjatija reshenij [Influencing systems of information and decision making]. *Novosibirsk*, Science, 284 p.
12. Pegov, C. A., Homjakov, P. M. (1991). Modelirovanie razvitiija jekologicheskikh sistem [Modulation of the development of eco-logical systems]. Leningrad, *Gidrometeoizdat*, 217 p.
13. Zhang, W., Zhang, L., Mao, S., Qiu, R. Migration and Stabilization of Multiple Heavy Metals in an Aged Contaminated Soil under a Constant Voltage Electric Field. *Soil and Sediment Contamination*. 2014, Vol. 23, Issue 5, pp. 540-556.
14. Voloha, M. P. (2013). Modeljuvannja tehnologichnyh procesiv pidgotovky g'runtu i nasinnja do sivby cukrovyh burjakiv [Modeling of technological processes of preparation of soil and seeds for the sowing of sugar beets]. Konstrujuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil'skogospodars'kyh mashyn [Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines]. Issue 43 (I), pp. 246-252.
15. Neela, Patel, Manish, Thaker, Chandrika, Chaudhary. Study of Some Agricultural Crop Production Planning Condition through Fuzzy Multi-Objective Linear Programming Mathematical Model. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 2016, Vol. 5, Issue 4, pp. 1329-1332.
16. P. Lavanya, Kumari, G. Krishna, Reddy, T. Giridhara, Krishna. Optimum Allocation of Agricultural Land to the Vegetable Crops under Uncertain Profits using Fuzzy Multiobjective Linear Programming IOSR. *Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)* e-ISSN: 2319-2380, p-ISSN: 2319-2372. 2014, Vol. 7, Issue 12, Ver. I, pp. 19-28.
17. Ion Raluca, Andreea, TurekRahoveanu, Adrian. Linear Programming in Agriculture: Case Study in Region of Development South-Mountenia. *International Journal of Sustainable Economies Management*. 2012, Vol. 1, No 1, pp. 51-60.
18. Lavanya, Kumari. P, Vijaya, Kumar.K. Some aspects of Operations Research using Solver. *International Journal of Advanced Science, Engineering and Technology*. ISSN.2319-5924. 2012, Vol. 1, Issue 1, pp. 8-16. Retrieved from: www.bipublication.com
19. NordinHj. Mohamad, Fatimah Said (2011). A mathematical programming approach to crop mix problem. *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 6, No 1, pp. 191-197.
20. Kadhivel, K, Balamurugan, K. Method for solving Unbalanced Assignment Problems using Triangular Fuzzy Numbers. 2013, Vol. 3, Issue 5, pp. 359-363.
21. K. Sangeetha, H. Haseena, Begum, M. Pavithra. Ranking of triangular fuzzy number method to solve an unbalanced assignment problem. *Journal of Global Research in Mathematical Archives*. 2014, Vol. 2, no. 8, pp. 6-11.
22. Olga Grigorenko. Involving Fuzzy Orders for Multi-Objective Linear Programming Mathematical Modelling and Analysis. 2012, Vol. 17, Issue 3, pp. 366-382.
23. S. K. Bharati, A. K. Nishad, S. R. Singh. Solution of Multi-Objective Linear Programming Problems in Intuitionistic Fuzzy Environment Proceedings of the Second International Conference on Soft Computing for Problem Solving. 2012, pp. 61-171.
24. E. V. Ivokhin, Almodars Barraq Subhi Kaml. Single-objective linear programming problems with fuzzy coefficients and resources. *Journal of Computational & Applied Mathematics*. 2013, no. 1(111), pp. 117-125.
25. Ziaee, Saman, Kavand, Hadis, Kalbali, Elham, Soltanii, Samira. The Determination of Optimal Cropping Pattern Using Mathematical Programming with an Emphasis on Sustainable Agriculture (Case Study: Boroujerd City) *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 4(3s). 2014, pp. 21-25.
26. Salah R., Agha, Latifa G., Nofal, Hana A., Nassar. Multi-criteria governmental crop planning problem based on an integrated AHP-PROMETHEE approach *International Journal of Applied Management Science*. 2012, Vol. 4, Issue 4. Retrieved from: DOI: 10.1504/IJAMS.2012.049926
27. Bharati, S. K., Singh, S. R. Intuitionistic Fuzzy Optimization Technique in Agricultural Production Planning: A Small Farm Holder Perspective *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*. 2014, Vol. 89, no. 6, pp. 17-23.
28. Bharati, S. K., Singh, S.R. Solving Multi-Objective Linear Programming Problems Using Intuitionistic Fuzzy Environment Optimization Method: a Comparative Study, *International Journal of Modeling and Optimization*. 2014. Retrieved from: DOI: 10.7763/IJMO.2014.V4.339.

29. Dubey, Dipti, Chandra, Suresh, Mehra, Aparna. Fuzzy linear programming under interval uncertainty based on IFS representation. *Fuzzy Sets and Systems*. 2012, Vol. 188, no. 1, pp. 68-87.
30. Nachammai, A. L., Thangaraj, P. Solving intuitionistic fuzzy linear programming problem by using similarity measures. *European Journal of Scientific Research*. 2012, Vol. 72, no. 2, pp. 204-210.
31. Nagoorgani, P.K. A new approach on solving intuitionistic fuzzy linear programming problem. *Applied Mathematical Sciences*. 2012, Vol. 6, no.70, pp. 3467-3474.
32. Sinha, P. Analysis of optimal crop combination under limited resource allocation: Goal programming approach to smallholder farmers in North Bihar, Ph. D. Thesis, Banasthali University India. 2013.
33. Cavchenko, V. V., Sinjavskij, A. Ju. Izmenenie biopotenciala i urozhajnosti sel'skoho zjajstvennyh kul'tur pri predposevnoj obrabotke semjan v magnitnom pole [The change in the biopotential and yield of agricultural crops during presowing seed treatment in a magnetic field]. *Vestnik VIJeSH [VIESH Institute Herald]*, no. 2(11), pp. 33-37.
34. Homjakov, D. M., Homjakov, P. M. (1996). *Osnovy sistemnogo analiza [The main system analysis]*. Moscow, Publishing house of the Faculty of Mechanics and Mathematics, MSU, 107 p.
35. Karpuk, L. M., Pryczajzhnjuk, O.I. (2014). Matematychni modeli rostu ta rozvytku roslyn cukrovyh burjakiv zalezno vid klimatychnyh faktoriv [The mathematical methods of rooting and the development of rockling of sugar beets are dependent on climatic factors]. *Sugar beet*, no. 6, pp. 13-15.
36. Karpuk, L.M., Krykunova, O.V., Pryczajzhnjuk, O.I., Polishchuk, V.V. (2014). Modeljuvanja procesiv rostu ta rozvytku burjakiv cukrovyh zalezno vid kompleksnogo vplyvu klimatychnyh faktoriv [The modeling of the production of sugar beets and the development of sugar beets is dependent on the influence of climatic factors]. *Zbirnyk naukovykh prac' "Agrobiologija" [Collected works "Agrobiology"]*. Bila Tserkva, Issue 2 (113), pp. 26-29.
37. Karpuk, L. Prysiazhnyuk, O. Construction of multiple regressive models of sugar beet growth and development. *Visnyk Harkiv'kogo nacional'nogo agrarnogo universytetu [Bulletin of Kharkiv National Agrarian University]*. Kharkiv, Issue 2, 2014, pp. 74-82.

**Применение методов системного анализа как инструмента математического моделирования в свекловодстве
Л.М. Карпук, О.И. Присяжнюк, Г.Стасиев, В.В. Полищук, В.П. Мыколайко**

В ракурсе моделирования растительных систем основной матрицей данных для построения вычислительных алгоритмов механизмов и закономерностей функционирования посевов свекловичного севооборота является числовое выражение показателей биологических процессов, которые являются функцией адитивного действия абиотических, биотических и антропогенных факторов.

Математические модели интегрируют информацию об исследовательской системе, а именно посевы сахарной свеклы, и объединяют в единое целое результаты отдельных исследований.

Исследования взаимосвязей, что влияют на признаки, которые формируются в процессе роста и развития сахарной свеклы поданы в виде корреляционных плеяд. Каждая точки плеяды показывает силу конкретной корреляционной связи между исследуемыми признаками и другими факторами, что на нее влияют или связаны с ней.

Между исследуемыми признаками биологических форм сахарной свеклы и другими факторами, что на них влияют установлены достоверные корреляционные связи, которые демонстрируют эффективность прохождения биологических процессов в культуре, и является функцией адитивного действия абиотических и антропогенных факторов. Это в свою очередь разрешает спрогнозировать параметры данных показателей растений сахарной свеклы с высоким уровнем точности.

Тесная корреляционная связь установлена между полевой всхожестью и густотой растений после появления полных всходов ($r = 0,42$), между полевой всхожестью и массой листков на 01 июля ($r = 0,37$), и обратная связь между полевой всхожестью и урожайностью - $r = -0,37$. Между сбором сахара, урожайностью, густотой растений перед сбором урожая и сахаристостью корнеплодов выявлено сильные позитивные корреляционные связи, соответственно ($r = 0,95$), ($r = 0,68$) и ($r = 0,60$).

Ключевые слова: сахарная свекла, системный анализ, имитационное моделирование, дескриптивные модели, корреляционные плеяды, биопродуктивность.

The use of the methods of a system analysis as a tool of mathematic modeling in beet production

L. Karpuk, O. Prysiazhniuk, G. Stasiev, V. Polishchuk, V. Mykolaiko

The most typical peculiarities of the sown areas, in particular sugar beet fields, are the availability of a great number of systematized heterogeneous elements with complicated functional interrelations, which are combined in an agro-production process, aimed at getting high quality agricultural output. A comprehensive implementation of this process is supported by the solution of a set of tasks by separate elements of a system process, which are important for the achievement of the goal.

A system approach envisages the use of the three major groups of methods: field observations; field trials in natural conditions; laboratory experiments; modeling itself and simulation experiment. Field observations consist in a researcher's non-interference in the processes which take place in natural conditions. On the contrary, a laboratory experiment combines the methods in which a researcher deliberately causes changes in the system. The use of these two methods appears to be the most efficient when they are designed and carried out based on a scientific theory. Models can be a form of the expression of theoretical ideas.

Hence, the third group of the used methods includes modeling, i.e., construction, checking (verification) and improvement (optimization) of the models, as well as the interpretation of the results received with their help.

The use of complex simulation approaches is to increase the adequacy of agro-ecological predictions due to much better and more complete application of empirical data. Simulation approaches allow the formalization of any empirical data about the object with help of ECM (electronic-calculating machines - computers). Cause-effect chains in simulation approaches are not followed to the end. This makes it possible to analyze interconnections in the conditions of a large dimension and incomplete information about their structure, to use the knowledge about the subject area effectively. The structure of

simulation approaches, as a rule, includes an analytical description of an object, blocks of expert evaluations, simulation and processing of the results of the computational experiment.

Methods – prediction of bio-productivity of the fields of sugar beet crop rotation using the methods of a system analysis as a tool of mathematical modeling.

Results and discussions – researches of the interconnections which have an effect on the features that are formed during sugar beet growth and development are presented in the form of correlative series. Each point of a series shows the strength of a concrete correlative link between studied features and other factors which either influence or are connected with it.

A close correlation link is recorded between field emergence and plant density after full germination ($r=0.42$), between field emergence and leaf mass on July 1 ($r=0.37$), and reversed connection between field emergence and yield capacity – $r = -0.37$. A close correlation link was recorded between yield capacity of sugar beets and plant density before harvesting ($r=0.69$); such factors as leaf mass ($r=0.41-0.42$), sum of active temperatures ($r= 0.34$), precipitation ($r= -0.33$), particularly recorded on August 1 and September 1, also had an impact on yield capacity formation, an average correlation link was found between them.

The following factors influenced sugar content in sugar beets: plant density before harvesting ($r=0.42$), root crop mass before harvesting ($r=0.33$), yield capacity ($r=0.34$), precipitation on July 1 ($r=0.46$), НТС (hydro-thermal coefficient) on July ($r=0.44$), i.e., an average positive correlation was recorded between these studied features. Strong positive correlation links were found between sugar yield, yield capacity, plant density before harvesting and sugar content of root crops, ($r=0.95$), ($r=0.68$) and ($r=0.60$), respectively.

Key words: sugar beets, system analysis, simulation approach, descriptive models, correlative series, bio-productivity.

Надійшла 10.04.2018 р.

УДК 633.34:632.954:631.811.98

КАРПЕНКО В.П., д-р с.-г. наук

ІВАСЮК Ю.І., ПРИТУЛЯК Р.М., ЧЕРНЕГА А.О., кандидати с.-г. наук

Уманський національний університет садівництва

ФОРМУВАННЯ ЛИСТКОВОЇ ПОВЕРХНІ РОСЛИН СОЇ І СУМИ ХЛОРОФІЛІВ ЗА ІНТЕГРОВАНОЇ ДІЇ ГЕРБІЦИДУ ТА БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ

Підвищення врожайності сільськогосподарських культур відбувається за рахунок поліпшення умов інтенсивності та ефективності фотосинтезу, в якому першочергове значення відіграє наростання площі листкової поверхні та забезпеченість її продуктами фотосинтезу, які є основним джерелом для повноцінного функціонування рослинного організму.

Наводяться результати досліджень із вивчення впливу різних норм гербіциду Фабіан, внесеного окремо та сумісно із регулятором росту рослин Регоплант на фоні передпосівної обробки насіння Регоплантом і мікробним препаратом Ризобофит, на формування площі листкової поверхні рослин сої та вмісту в листках суми хлорофілів *a* і *b*. Проведеними дослідженнями доведено, що формування оптимального за площею листкового апарату є результатом оптимізації функціонування симбіотичної азотфіксуючої системи *Glycine max* (L.) Merr. – *Bradyrhizobium japonicum* на фоні знищення в посівах сеgetальної рослинності.

Застосування оптимальної композиції препаратів забезпечує зростання вмісту суми хлорофілів *a* і *b* у листках сої, чим створює більш сприятливі умови для проходження в рослинах фізіолого-біохімічних процесів, у тому числі й фотосинтетичних. Встановлено, що найбільша площа листкової поверхні сої з найвищим вмістом суми хлорофілів *a* і *b* (у досліджуваній фазі розвитку рослин сої) формуються за обробки посівів гербіцидом Фабіан (90 г/га) у баковій суміші з регулятором росту рослин Регоплант (50 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння Регоплантом (250 мл/т) і Ризобофітом (100 мл/т).

Ключові слова: соя, гербіцид, регулятор росту рослин, мікробний препарат, площа листкової поверхні (ПЛП), сума хлорофілів (Хл *a+b*).

Постановка проблеми. Інтегроване застосування гербіцидів і біологічних препаратів потребує подальшого всебічного вивчення. Зокрема, необхідно підвищити рівень теоретичних знань про вплив даних сумішей на рослинний організм, глибше дослідити природу і механізм їх дії на фізіолого-біохімічні, морфологічні та анатомічні зміни в культурних рослинах. Значну увагу слід приділити питанням впливу симбіотичної азотфіксації на фізіологічні зміни у рослинах, дослідженню шляхів сприйняття рослиною екзогенних та ендогенних сигналів, а також їх трансформації у відповідні фізіологічні реакції, які лежать в основі життєдіяльності рослин, формуванні високої продуктивності посівів і якості врожаю [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Активність симбіотичної системи бобових культур залежить від ефективності роботи фотосинтетичного апарату рослин, тобто забезпеченості