

В.С. Ковальчук<sup>1</sup>, О.М. Канівець<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна<sup>2</sup>Сумський національний аграрний університет

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧИННИКІВ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ КІЛЬКІСНОЇ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ

Доведено, що у сучасних умовах для прийняття обґрунтованих рішень у системі земельних відносин та забезпечення територіального розвитку на регіональному рівні актуальним завдання є формування кількісної основи шляхом застосування методів і моделей математичного моделювання. У результаті дослідження розроблені та реалізовані напрями математичного моделювання, що дозволило встановити причинно-наслідкові зв'язки між чинниками територіального розвитку використання земель регіонів для їх прогнозування.

**Ключові слова:** територіальний розвиток, використання земель, математичні методи, управління земельними ресурсами.

### Постановка проблеми

Сучасні умови господарювання визначаються негативними тенденціями та гальмуванням розвитку на регіональному рівні. Поглиблюються розбалансування стейкхолдерних зв'язків, певні протиріччя щодо формування та здійснення землекористування, недостатній рівень застосування сучасних технологій у сфері земельних відносин. При цьому знижується ефективність використання земель на регіональному рівні. Існують теоретична невизначеність відносно обґрунтування теоретичних положень теоретичного розвитку використання земель регіонів, враховуючи вплив просторових, містобудівних, екологічних, економічних чинників.

Для прийняття рішень у системі земельних відносин актуальним питанням врахування взаємодії різних груп чинників та параметрів. У цьому контексті актуальним питанням є побудова багаторівневої системи показників та здійснення їх математичного моделювання. Це дозволяє встановити причинно-наслідкові зв'язки, визначити прогнозні напрями зміни чинників, виявити «точки зростання» ефективності використання земель.

Проблемними залишаються питання розробки та реалізації моніторингових процедур використання земель на регіональному рівні внаслідок відсутності кількісного підґрунтя, що побудовано шляхом застосування математичних методів і моделей. Вирішення представленого питання надає можливості більш широкого використання геоінформаційних систем.

Отже, тема дослідження зумовлена необхідністю забезпечення територіального

розвитку використання земель шляхом формування кількісної основи із застосуванням інструментарію математичного моделювання.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вирішенням представлених актуальних питань, враховуючи вплив різних чинників, займаються вчені [1–3].

Визначення територіального розвитку, враховуючи регіональні аспекти обґрунтовані у роботі [4].

Заслужовують на увагу наукові розробки, в яких сформовані напрями та особливості забезпечення територіального розвитку [5–6].

На забезпечення ефективності використання земель у контексті територіального розвитку впливають зовнішні й внутрішні чинники та наслідки агресії РФ [7–8].

Узагальнюючи вищенаведене, запропоновано визначення територіального розвитку використання земель регіонів, як системної категорії, що враховує вплив різних чинників та забезпечується шляхом застосування методів і моделей, інструментарію геоінформаційних систем і технологій.

### Мета та завдання статті

Метою дослідження є застосування методів математичного моделювання чинників територіального розвитку використання земель регіонів для формування відповідної кількісної основи прийняття обґрунтованих рішень. У цьому контексті для досягнення поставленої мети вирішені завдання:

— запропоновані напрями здійснення

математичного моделювання;

- виокремлені чинники територіального розвитку;
- побудована модель оцінки інтегрального показника;
- розроблені математичні моделі впливу та здійснено їх перевірку за критеріями адекватності.

### Виклад основного матеріалу

Напрями та особливості застосування інструментарію математичного моделювання у сфері земельних відносин представлені у роботах [9–11].

Для математичного моделювання чинників територіального розвитку здійснюється їх оцінка та оцінка інтегрального показника на регіональному рівні за запропонованими напрямками:

- формування інформаційно-аналітичного забезпечення;
- визначення відповідних чинників;
- побудова багаторівневої системи показників;
- оцінка локальних просторових, містобудівних, екологічних та економічних чинників із застосуванням експертних і аналітичних методів;
- побудова узагальнюючих моделей визначення представлених чинників;
- оцінка узагальнюючих просторових, містобудівних, екологічних, економічних показників територіального розвитку використання земель регіонів;
- побудова інтегральної моделі;
- визначення вагових коефіцієнтів взаємного впливу та впливу показників на інтегральний чинників;
- інтерпретація отриманих результатів.

Враховуючи визначені напрями оцінки показників територіального розвитку використання земель регіонів, побудовані узагальнюючі моделі:

для просторових чинників:

$$TD_1 = \sqrt[7]{td_{11} * \dots * td_{17}}, \quad (1)$$

для містобудівних чинників:

$$TD_2 = \sqrt[8]{td_{21} * \dots * td_{28}}, \quad (2)$$

для екологічних чинників:

$$TD_3 = \sqrt[6]{td_{31} * \dots * td_{36}}, \quad (3)$$

для економічних чинників:

$$TD_4 = \sqrt[5]{td_{41} * \dots * td_{45}}, \quad (4)$$

де  $TD_1$ ,  $TD_2$ ,  $TD_3$ ,  $TD_4$  – узагальнюючі просторові, містобудівні, екологічні, економічні показники, відн. од.;

$td_{11}, \dots, td_{17}$  – локальні просторові чинники, відн. од.;

$td_{21}, \dots, td_{28}$  – локальні містобудівні чинники, відн. од.;

$td_{31}, \dots, td_{36}$  – локальні екологічні чинники, відн. од.;

$td_{41}, \dots, td_{45}$  – локальні економічні чинники, відн. од.

Результати оцінки узагальнюючих просторових, містобудівних, екологічних, економічних показників представлені у табл. 1.

Таблиця 1.

Результати оцінки узагальнюючих просторових, містобудівних, екологічних, економічних показників, відн. од.

| Регіони            | $TD_1$ | $TD_2$ | $TD_3$ | $TD_4$ |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| Вінницький         | 2,595  | 4,118  | 2,898  | 1,456  |
| Волинський         | 2,592  | 4,12   | 2,976  | 1,27   |
| Дніпропетровський  | 2,596  | 3,817  | 1,689  | 1,012  |
| Донецький          | 0,596  | 0,615  | 0,819  | 0,407  |
| Житомирський       | 2,592  | 4,122  | 2,86   | 1,432  |
| Закарпатський      | 2,588  | 4,116  | 2,887  | 1,401  |
| Запорізький        | 1,596  | 0,219  | 1,864  | 0,729  |
| Івано-Франківський | 2,59   | 4,12   | 2,948  | 1,4    |
| Київський          | 2,593  | 4,12   | 2,814  | 1,326  |
| Кропивницький      | 2,596  | 4,115  | 2,86   | 1,427  |
| Луганський         | 0,295  | 0,115  | 0,381  | 0,488  |
| Львівський         | 2,593  | 4,119  | 2,93   | 1,378  |
| Миколаївський      | 1,596  | 1,128  | 0,847  | 1,38   |
| Одеський           | 1,596  | 1,119  | 1,373  | 1,409  |
| Полтавський        | 2,595  | 4,117  | 3,075  | 1,446  |
| Рівненський        | 2,591  | 4,12   | 2,847  | 1,411  |
| Сумський           | 1,595  | 1,128  | 1,526  | 1,399  |
| Тернопільський     | 2,595  | 4,119  | 2,847  | 1,586  |
| Харківський        | 1,596  | 0,917  | 0,951  | 1,409  |
| Херсонський        | 0,595  | 1,118  | 0,578  | 1,49   |
| Хмельницький       | 2,595  | 4,118  | 2,85   | 1,387  |
| Черкаський         | 2,594  | 4,119  | 2,831  | 1,388  |
| Чернівецький       | 2,593  | 4,116  | 2,881  | 1,379  |
| Чернігівський      | 1,594  | 1,121  | 1,929  | 1,458  |

Модель оцінки інтегрального показника територіального розвитку використання земель регіонів ( $I_{TD}$ ) наступна:

$$I_{TD} = k_1 * TD_1 + k_2 * TD_2 + k_3 * TD_3 + k_4 * TD_4, \quad (5)$$

де  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_4$  – вагові коефіцієнти взаємного впливу та впливу узагальнюючих просторових, містобудівних, екологічних, економічних чинників на інтегральний показник територіального розвитку використання земель регіонів, які визначаються на основі застосування методу аналізу ієрархій, відн. од.

Результати оцінки інтегрального показника представлені на рис. 1.

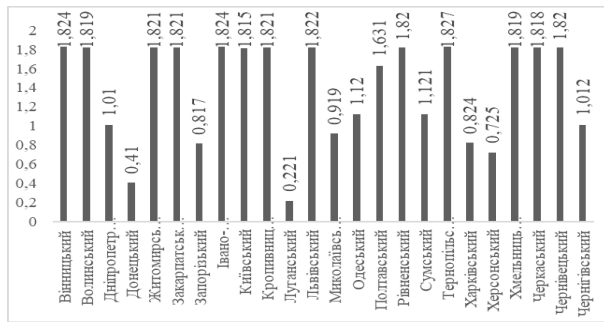


Рис. 1. Результати оцінки інтегрального показника територіального розвитку використання земель регіонів, відн. од.

У результаті дослідження визначено інтегральний показник. Встановлено низький рівень забезпечення територіального розвитку, враховуючи вплив просторових, містобудівних, екологічних, економічних чинників. Крім того, на гальмування процесів територіального розвитку використання земель впливають безпекові чинників, які визначені у рамках представлених показників.

Для встановлення причинно-наслідкових зв'язків запропоновані напрями математичного моделювання чинників:

- формування та використання інформаційно-аналітичного забезпечення на основі результатів оцінки показників територіального розвитку використання земель регіонів;
- визначення коефіцієнтів детермінації, що визначають ступень впливу узагальнюючих чинників на інтегральний показник;
- побудова математичних моделей;
- визначення критеріїв адекватності математичних моделей;
- інтерпретація отриманих результатів.

Результати визначення коефіцієнтів детермінації та побудови математичних моделей представлені на рис. 2 – 5.

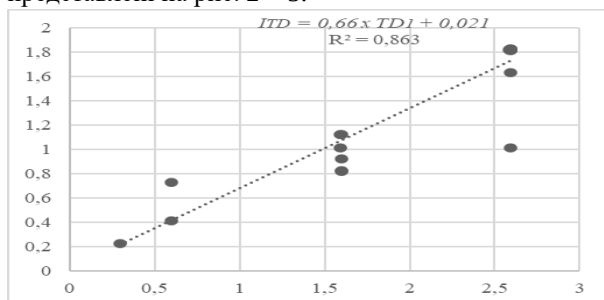


Рис. 2. Результати оцінки коефіцієнту детермінації та математична модель впливу узагальнюючого просторового чинника на інтегральний показник, відн. од.

просторового чинника на інтегральний показник, відн. од.

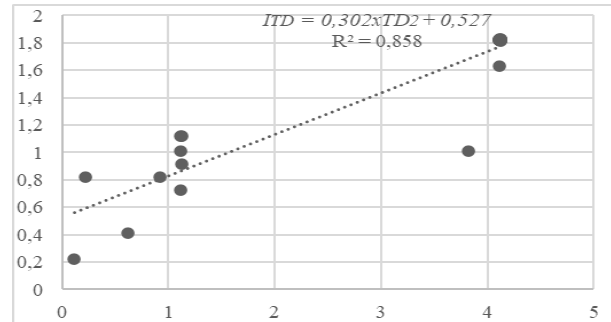


Рис. 3. Результати оцінки коефіцієнту детермінації та математична модель впливу узагальнюючого містобудівного чинника на інтегральний показник, відн. од.

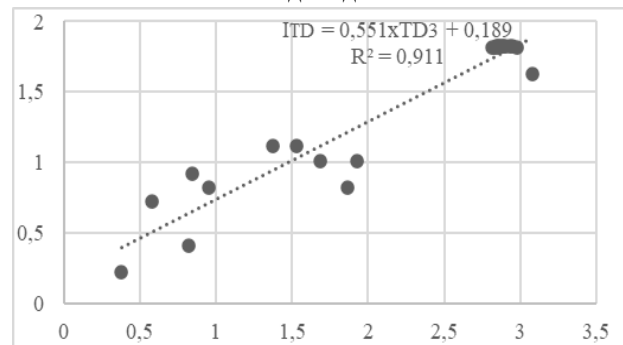


Рис. 4. Результати оцінки коефіцієнту детермінації та математична модель впливу узагальнюючого екологічного чинника на інтегральний показник, відн. од.

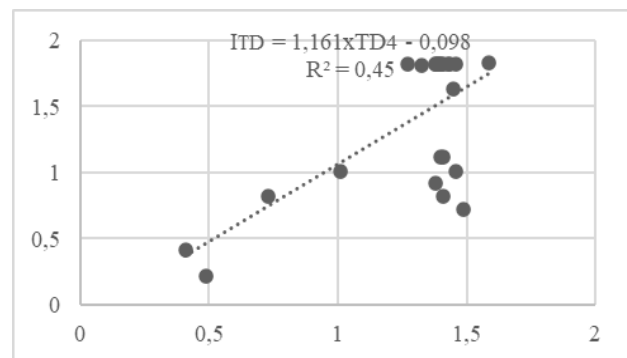


Рис. 5. Результати оцінки коефіцієнту детермінації та математична модель впливу узагальнюючого економічного чинника на інтегральний показник, відн. од.

Визначені критерії адекватності математичних моделей (F-критерій Фішера, t-критерій Стюдента, критерій перевірки на гомогенність або гетероскедастичність, критерій Дарбіна-Уотсона) (табл. 2).

Таблиця 2.  
Результати визначення критеріїв адекватності математичних моделей (F-критерій Фішера, t-критерій Стюдента, критерій перевірки на гомо або гетероскедастичність, критерій Дарбіна-Уотсона), відн. од.

| Назва критерію                                                                                                                     | Фактичне значення | Критичне значення |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Модель впливу узагальнюючого просторового чинника на інтегральний показник територіального розвитку використання земель регіонів   |                   |                   |
| F-критерій Фішера                                                                                                                  | 11,2              | 4,28              |
| t-критерій Стюдента                                                                                                                | 15,1              | 2,81              |
|                                                                                                                                    | 4,02              |                   |
| Критерій перевірки на гомо або гетероскедастичність                                                                                | 2,02              | 2,81              |
| Критерій Дарбіна-Уотсона                                                                                                           | 2,01              | 1,27 – 1,45       |
| Модель впливу узагальнюючого містобудівного чинника на інтегральний показник територіального розвитку використання земель регіонів |                   |                   |
| F-критерій Фішера                                                                                                                  | 10,2              | 4,28              |
| t-критерій Стюдента                                                                                                                | 16,1              | 2,81              |
|                                                                                                                                    | 4,92              |                   |
| Критерій перевірки на гомо або гетероскедастичність                                                                                | 1,96              | 2,81              |
| Критерій Дарбіна-Уотсона                                                                                                           | 1,95              | 1,27 – 1,45       |
| Модель впливу узагальнюючого екологічного чинника на інтегральний показник територіального розвитку використання земель регіонів   |                   |                   |
| F-критерій Фішера                                                                                                                  | 11,2              | 4,28              |
| t-критерій Стюдента                                                                                                                | 17,6              | 2,81              |
|                                                                                                                                    | 4,96              |                   |
| Критерій перевірки на гомо або гетероскедастичність                                                                                | 1,87              | 2,81              |
| Критерій Дарбіна-Уотсона                                                                                                           | 2,96              | 1,27 – 1,45       |
| Модель впливу узагальнюючого економічного чинника на інтегральний показник територіального розвитку використання земель регіонів   |                   |                   |
| F-критерій Фішера                                                                                                                  | 9,2               | 4,28              |
| t-критерій Стюдента                                                                                                                | 9,6               | 2,81              |
|                                                                                                                                    | 3,12              |                   |
| Критерій перевірки на гомо або гетероскедастичність                                                                                | 2,12              | 2,81              |
| Критерій Дарбіна-Уотсона                                                                                                           | 1,67              | 1,27 – 1,45       |

## Висновки

У результаті дослідження встановлено, що у системі територіального розвитку використання земель значний вплив здійснювали просторові, містобудівні, екологічні чинники. Це відповідає сучасним аспектам територіального розвитку використання земель. Поряд з цим, знижується значення економічних параметрів у системі територіального розвитку землекористування на регіональному рівні. Визначені критерії адекватності математичних моделей (F-критерій Фішера, t-

критерій Стюдента, критерій перевірки на гомо або гетероскедастичність, критерій Дарбіна-Уотсона) свідчать про доцільність та достовірність встановлених зв'язків і розроблених математичних моделей. Крім того, необхідно змінити траєкторію забезпечення територіального розвитку використання земель шляхом переходу від кризового стану до стабілізаційного й в стратегічній перспективі до зростання просторових, містобудівних, екологічних та економічних параметрів.

Удосконалені напрями формування кількісної основи забезпечення територіального розвитку використання земель, яка базується на застосуванні методів і моделей математичного моделювання, що дозволило встановити причинно-наслідкові зв'язки для прийняття обґрунтованих рішень.

Набули подальшого розвитку процеси математичного моделювання у системі територіального розвитку використання земель, що надало можливості подальшого прогнозування зміни чинників територіального розвитку, виявлення «точок зростання», своєчасного реагування на негативні процеси із реалізацією моніторингової геоінформаційної системи.

Виявлені напрями та особливості математичного моделювання чинників територіального розвитку використання земель, які реалізуються на основі результатів їх оцінки, встановлених причинно-наслідкових зв'язків.

## Література

1. Томарева-Патлахова В. В. Моделі регіонального розвитку у контексті економічних реформ / В. В. Томарева-Патлахова // Держава та регіони. 2013. – №1. – С. 76–80. – Режим доступу: [http://www.econom.stateandregions.zp.ua/journal/2013/1\\_2013/17.pdf](http://www.econom.stateandregions.zp.ua/journal/2013/1_2013/17.pdf), вільний (дата звернення: 29.07.2025).
2. Єрошкіна О. О. Територіальні природно-економічні відмінності як об'єктивна основа територіального розподілу праці і регіонального розвитку / О. О. Єрошкіна // Державне будівництво. – 2009. – № 2. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/DeBu\\_2009\\_2\\_26](http://nbuv.gov.ua/UJRN/DeBu_2009_2_26), вільний (дата звернення: 29.07.2025).
3. Топчієв О. Г. Основи суспільної географії: навчальний посібник / О. Г. Топчієв // Одеса: Астропринт. – 2001. – С. 84.
4. Територіальний розвиток та регіональна політика в Україні / НАН України. ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долішнього НАН України»; наук. редактор В. С. Кравців. – Львів, 2015. – 246 с.
5. Мамонов К. А. Територіальний розвиток використання земель регіону: визначення, оцінка та напрями трансформації: монографія / К. А. Мамонов // Харків : ФОП Панов А. М. – 2019. – 332 с.
6. Мамонов К. А. Особливості територіального розвитку використання земель регіону. Територіальний розвиток у системі земельного адміністрування регіонів: монографія / К. А. Мамонов, В. А. Величко, Є. В. Грицьков // Харків : ФОП Панов А. М. – 2020. – С. 34–47.
7. Калетнік Г. М. Актуальні проблеми земельних відносин

в умовах воєнного стану та шляхи їх вирішення / Г. М. Калетнік, Т. С. Томляк // Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики – 2022. – № 2 (60). – С. 79–97. – Режим доступу: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/32196.pdf>, вільний (дата звернення: 29.07.2025).

8. Нежевело В. В. Актуальні питання публічного адміністрування у сфері користування землями в межах функціонування ринку земель сільськогосподарського призначення в Україні (сучасні проблеми та шляхи вдосконалення) / В. В. Нежевело // *Krakowskie Studia Malopolskie*. – 2022. – № 3 (35). – С. 136–148. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15804/ksm20220308>, вільний (дата звернення: 29.07.2025).

9. Головачев В. В. Математичне моделювання регіонального розвитку / В. В. Головачев // *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. – 2022. – № 202. – С. 48–61.

10. Канівець О. Моніторинг використання земель об'єднаних територіальних громад: визначення та особливості формування / О. Канівець // *Просторовий розвиток*. – 2022. – № 2. – С. 132–143.

11. Ющенко Н. Л. Економіко-математичні моделі формування раціональної структури сільськогосподарських угідь / Н. Л. Ющенко // *Проблеми і перспективи економіки та управління*. – 2021. – № 3(3). – С. 135–146.

## References

1. Tomareva-Patlahova, V. (2013). Models of regional development in the context of economic reforms. State and regions. 1, 76–80. [http://www.econom.stateandregions.zp.ua/journal/2013/1\\_2013/17.pdf](http://www.econom.stateandregions.zp.ua/journal/2013/1_2013/17.pdf)

2. Yeroshkina, O. (2009). Territorial natural and economic differences as an objective basis of territorial division of labor and regional development. State construction. 2. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/DeBu\\_2009\\_2\\_26](http://nbuv.gov.ua/UJRN/DeBu_2009_2_26)

3. Topchiiev, O. (2001). Dreams of social geography. Odesa: Astroprint, 84.

4. Kravtsiv, V. (2015). Territorial development and regional policy in Ukraine. NAS of Ukraine. M. Dolishny NAS of Ukraine Institute of Regional Research. Lviv, 246.

5. Mamonov, K. (2019) Territorial development of land use in the region: definition, evaluation and directions of transformations: monograph. Kharkiv : FOP Panov A. M., 332.

6. Mamonov, K., Velychko, V. & Hrytskov, Ye. (2020). Peculiarities of territorial development of land use in the region. Territorial development in the system of land administration of regions: monograph. Kharkiv: FOP Panov A. M., 34–47.

7. Kaletnik, G. & Tomlyak, T. (2022). Current issues of land relations under martial law and ways to resolve them. Economics, finance, management: current issues in science and practice. 2 (60), 79–97. <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/32196.pdf>

8. Nezhevelo, V. (2022). Current issues of public administration in the sphere of land use within the functioning of the agricultural land market in Ukraine (contemporary problems and ways of improvement). *Krakowskie Studia Malopolskie*. 3 (35), 136–148. <https://doi.org/10.15804/ksm20220308>

9. Holovachev, V. (2022). Mathematical modeling of regional development. Collection of scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport. 202, 48–61.

10. Kanivets, O. (2022.) Monitoring of land use of united territorial communities: definition and features of formation. *Spatial development*. 2, 132–143.

11. Yushchenko, N. (2021). Economic and mathematical models of the formation of a rational structure of agricultural land. *Problems and Prospects for Economics and Management*. 3(3), 135–146.

**Рецензент:** д-р екон. наук, проф. К. А. Мамонов, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Україна.

**Автор:** КОВАЛЬЧУК Василь Степанович  
здобувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем  
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова  
E-mail – [vasyl.kov.sumy@gmail.com](mailto:vasyl.kov.sumy@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1394-7008>

**Автор:** КАНИВЕЦЬ Олена Миколаївна  
кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії та землеустрою  
Сумський національний аграрний університет  
E-mail – [leva1205@ukr.net](mailto:leva1205@ukr.net)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9597-6617>

## MATHEMATICAL MODELING OF FACTORS OF TERRITORIAL DEVELOPMENT FOR THE FORMATION OF A QUANTITATIVE BASIS OF LAND MANAGEMENT MANAGEMENT

V. Kovalchuk<sup>1</sup>, O. Kanivets<sup>2</sup>

<sup>1</sup>O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>Sumy National Agrarian University

It has been proven that in modern conditions for making informed decisions in the system of land relations and ensuring territorial development at the regional level, the formation of a quantitative basis by applying methods and models of mathematical modeling is an urgent task. The possibilities and practice of applying methods and models of mathematical modeling in the system of territorial development of land use in the regions, the directions and features of identifying relevant factors and their assessment remain problematic issues.

As a result of the research, the areas of mathematical modeling were developed and implemented, which made it possible to establish cause-and-effect relationships between the factors of the territorial development of land use in the regions for their forecasting, identifying «growth points» and developing measures to increase the efficiency of land use.

The article achieves the goal of applying the methods of mathematical modeling of the factors of territorial development of land use in regions for the formation of an appropriate quantitative basis for making informed decisions. Solved tasks: proposed directions for mathematical modeling of factors of territorial development of land

use in regions; isolated factors of territorial development; a model for evaluating the integral indicator of the territorial development of the land use of the regions was built; mathematical models of the influence of factors on the integral indicator of the territorial development of land use of the regions were developed and their verification was carried out according to the criteria of adequacy. Modern methods and models of mathematical modeling were used in the study, adequacy criteria were determined, which allowed to establish the level of reliability of the obtained results.

As a result of the study, it was established that spatial, urban planning, and environmental factors exerted a significant influence in the system of territorial development of land use. This corresponds to the modern aspects of the territorial development of land use. Along with this, the importance of economic parameters in the system of territorial development of land use at the regional level is decreasing.

The obtained research results are characterized by elements of scientific novelty, which consist in the improvement of directions for the formation of a quantitative basis for ensuring the territorial development of land use, which is based on the application of mathematical modeling methods and models, which made it possible to establish cause-and-effect relationships for making informed decisions.

The processes of mathematical modeling in the system of territorial development of land use gained further development, which provided opportunities for further forecasting of changes in factors of territorial development, identification of «growth points», timely response to negative processes with the implementation of a monitoring geo-information system.

The directions and peculiarities of mathematical modeling of the factors of territorial development of land use, which are implemented on the basis of the results of their evaluation, established cause-and-effect relationships, are revealed.

**Keywords:** territorial development, land use, mathematical methods, management of land resources.