

Віталій Головачов¹, Володимир Шипулін²

¹асистент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова (Харків, Україна)
E-mail: vitalii.holovachov@kname.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4479-8010>

ResearcherID: [R-3347-2018](https://orcid.org/0000-0003-4479-8010)

²кандидат технічних наук, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова (Харків, Україна)

E-mail: volodimir.shipulin@kname.edu.ua

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗРОБКИ
БАГАТОЦІЛЬОВОГО КАДАСТРУ**

Узагальнюючи існуючі теоретико-методичні положення, запропоновано визначення багатоцільового кадастру на регіональному рівні, яке враховує сукупність просторового, містобудівного, інвестиційного й екологічного забезпечення, що дозволило побудувати багаторівневу інформаційну систему для формування кількісної основи управління нерухомістю на регіональному рівні. Здійснено математичне моделювання процесів розробки інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на основі встановлення зв'язків між системними чинниками й інтегральним показником шляхом застосування методу кореляційно-регресійного аналізу.

Ключові слова: багатоцільовий кадастр; використання земель; просторові; містобудівні; інвестиційні; екологічні чинники; математичне моделювання; інформаційне забезпечення.

Рис.: 1. Табл.: 2. Бібл.: 50.

Актуальність теми дослідження. Доведено, що сучасні трансформаційні процеси потребують переосмислення підходів до забезпечення ефективності функціонування регіонів шляхом удосконалення системи управління земельними ресурсами, як основними чинниками їхнього розвитку. При цьому враховується сучасний європейський досвід земельного адміністрування та інформаційного забезпечення формування та використання нерухомості на основі застосування багатоцільового кадастру. Визначена необхідність застосування інструментарію математичного моделювання для формування та використання інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні.

Постановка проблеми. Трансформаційні процеси, які відбуваються в Україні, пов'язані з поглибленням кризових явищ у сфері економіки, уповільненням основних показників регіонального розвитку, впливом наслідків пандемії COVID-19, військових дій. У таких умовах потребують переосмислення підходів до забезпечення ефективності функціонування регіонів шляхом удосконалення системи управління земельними ресурсами як основними чинниками їхнього розвитку. При цьому враховується сучасний європейський досвід земельного адміністрування та інформаційного забезпечення формування та використання нерухомості на основі застосування багатоцільового кадастру.

Вирішення складного завдання щодо розробки й реалізації інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні запропоновано здійснювати на основі інструментів математичного моделювання. За його допомогою створюється кількісна основа прийняття обґрунтованих рішень щодо здійснення земельних відносин.

Таким чином, тема дослідження є актуальною, а її розробка має своєчасний характер.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для проведення математичного моделювання процесів розробки інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні особливого значення має визначення багатоцільового кадастру. У цьому контексті важлива увага приділяється якості формування просторової інформації з використанням геоінформаційних систем [1-5].

У міжнародній практиці визначено 80 окремих мір якості інформаційного забезпечення кадастрової інформації [6-9].

Для формування кадастрової інформації застосовуються інструменти створення баз даних: Oracle Spatial; IBM DB2; PostgreSQL; Microsoft SQL Server; MySQL; Microsoft Access; LibreOffice; Database.NET; Navicat; DataExpress; dbForge Studio; Paradox Data

Editor; Reportizer; HeidiSQL [10] та використання геоінформаційних програмних комплексів: QGIS; gvSIG; GRASSGIS; ArcGIS; MapInfo; AutoCAD Map; програмні комплекси Веб ГІС, які мають відкритий доступ (OpenStreetMap) та розроблені компаніями Navteq, Google, Яндекс, Waze, що застосовуються для конкретних завдань і орієнтовані на відповідних споживачів електронних продуктів; засоби Веб картографування, які реалізуються через застосування технологій Web ГІС, Silverlight, Web Map Service, Styled Layer Descripto, Web Feature Service, Web Coverage Service, CADE Pro, 3DPaint Brush, SWF2XAML, InkSpace [11-19].

Слід зазначити, що в системі земельних відносин мають геоінформаційні системи, застосування яких спрямовано на землевпорядне проєктування, моніторинг та управління ресурсами та територіями на оперативному, тактичному та стратегічному рівнях [20-24].

У контексті управління земельними відносинами для розробки багатоцільового кадастру деякі фахівці й науковці пропонують застосовувати земельні інформаційні системи [25-30] у вигляді програмних комплексів, що застосовуються для формування, зберігання та використання інформації про стан та реалізацію земельних відносин. Використання земельної інформаційної системи дозволяє підвищити ефективність прийняття рішень, проте вона спрямована на вирішення окремих питань застосування земельно-майнового комплексу, не враховуючи комплексні параметри багатоцільового використання нерухомості.

Формування системи інформаційного забезпечення являє собою комплексний процес, який складається з відповідних підсистем: автоматизована підсистема обліку земель; автоматизована підсистема моніторингу земель; інформаційні підсистеми відомчих кадастрів; інформаційні підсистеми відомчих баз даних [31].

На екологічних аспектах формування інформаційної системи управління земельними відносинами фокусують увагу [32-50].

Система інформаційного забезпечення земельних відносин визначається як база даних щодо стану та використання земельних ресурсів, яка враховує територіальні, правові, економічні, екологічні, природні особливості шляхом оцінки критеріїв та індикаторів. У цьому контексті заслуговує на увагу розробка [30].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Результати математичного моделювання дозволили сформулювати кількісну основу для розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо формування та використання багатоцільового кадастру на регіональному рівні, що надає можливість побудувати прогностичні моделі й встановити тенденції формування та використання нерухомості на регіональному рівні, враховуючи просторове, містобудівне, інвестиційне й екологічне забезпечення.

Метою статті є представлення результатів математичного моделювання процесів формування та використання інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні. Для досягнення поставленої мети виконані наступні завдання:

- розробка напрямів здійснення математичного моделювання;
- визначення інструментарію проведення математичного моделювання процесів формування та використання інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні.

Виклад основного матеріалу. Математичне моделювання чинників інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні здійснюється відповідно показників, які отримані на основі результатів оцінки узагальнюючих просторових, містобудівних, інвестиційних й екологічних чинників. Крім того, із застосуванням методів математичного моделювання, визначається їхній вплив на інтегральний чинник рівня інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні.

Математичне моделювання чинників інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні здійснюється на основі запропонованих напрямів:

1. Формування інформаційно-аналітичного забезпечення чинників багатоцільового кадастру на регіональному рівні через призму просторових, містобудівних, інвестиційних й екологічних показників.

2. Створення інформаційно-аналітичного забезпечення інтегрального показника рівня інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні.

3. Визначення впливу чинників інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на відповідний інтегральний показник на регіональному рівні із застосуванням методів математичного моделювання.

4. Розробка математичних моделей впливу чинників на інтегральний показник.

5. Визначення показників достовірності математичних моделей.

6. Інтерпретація отриманих результатів.

Формування інформаційно-аналітичного забезпечення чинників багатоцільового кадастру на регіональному рівні через призму просторових, містобудівних, інвестиційних й екологічних показників й інтегрального показника здійснюється на основі даних отриманих у результаті оцінки.

Визначення впливу чинників інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на відповідний інтегральний показник на регіональному рівні із застосуванням методів математичного моделювання, які реалізуються на основі кореляційно-регресійного аналізу.

Для дослідження тісноти зв'язку між інтегральним показником рівня інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні та його складовими – просторовими, містобудівними, екологічними та інвестиційними показниками проведено кореляційно-регресивний аналіз за наступною схемою:

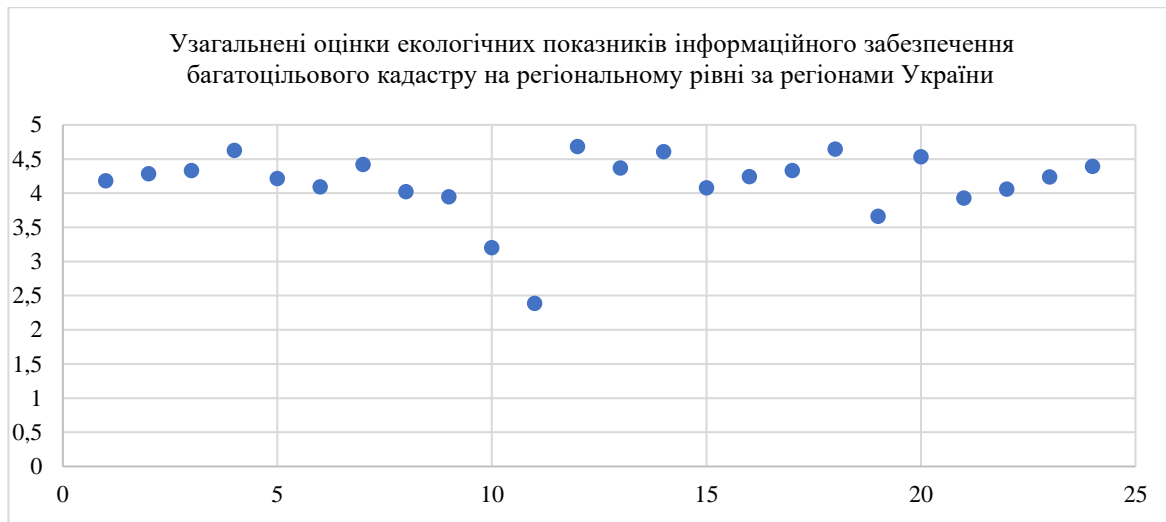
- на підставі обчислених узагальнених оцінок показників інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру за регіонами України проводиться первинний аналіз передбачуваної залежності. Наочна ілюстрація наявності залежності інтерпретується за допомогою точкових графіків (рис. 1);

- виключення з вибірки артефактів, за їх наявності;
- проведення регресійного аналізу;
- проведення кореляційного аналізу;
- перевірка відповідності моделі поставленій задачі.

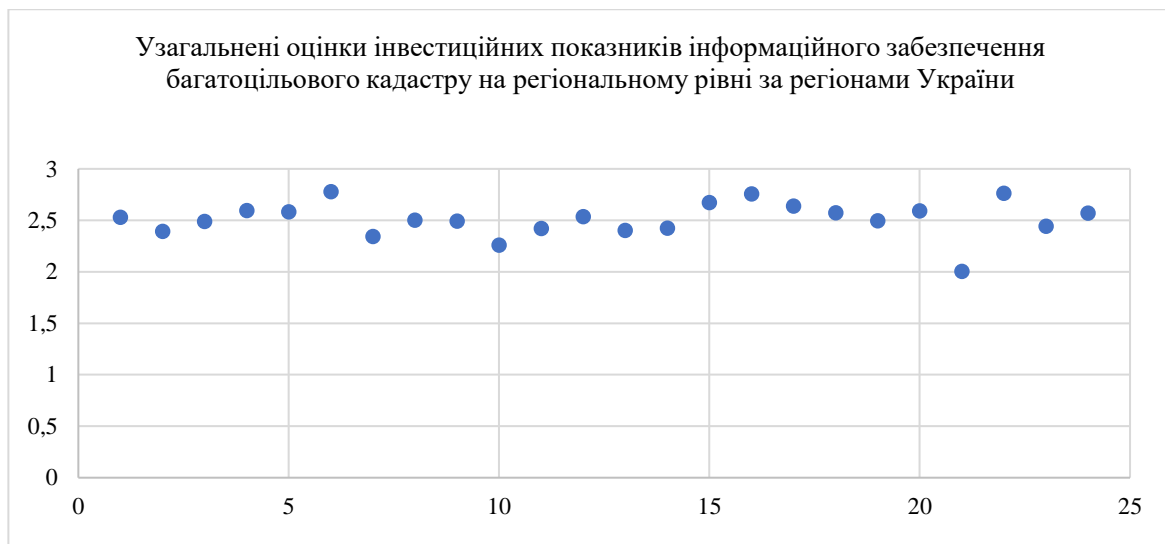
На підставі первинного аналізу можна зробити висновок, що з кореляційно-регресійної моделі необхідно виключити регіони: Кіровоградський, Луганський (рис. 1, б) та Хмельницький (рис. 1, в), оскільки існують дивіаційні відхилення від загальної тенденції змін.



a



б



в

Рис. 1. Первинний аналіз показників рівня інформаційного забезпечення багаточільового кадастру на регіональному рівні, відн. од.

Рівняння лінійної регресії представлено у наступному вигляді:

$$y_x = b_{yx} x + b_0, \tag{1}$$

де b_{xy} та b_0 знаходяться за умови, що сума квадратів відхилень емпіричних групових середніх від значень, обчислених за рівнянням регресії (1) була мінімальною, тобто:

$$\sum_{j=1}^k (y_{x_j} - \bar{y}_j)^2 n_j = \sum_{j=1}^k (b_{xy} x_j + b_0 - \bar{y}_j)^2 n_j \rightarrow \min \tag{2}$$

З розв'язання задачі на екстремум функції коефіцієнти рівняння (2) можуть бути записані як:

$$b_{yx} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}; \tag{3}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_{yx} \bar{x}; \tag{4}$$

де

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j; \bar{y} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k y_j; \overline{xy} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j y_j; \overline{x^2} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j^2. \quad (5)$$

Для виявлення зв'язку (та його напрямку) між змінними введемо коефіцієнт кореляції:

$$R_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \sqrt{\overline{y^2} - \bar{y}^2}}. \quad (6)$$

Знайдений інтегральний показник показників рівня інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру нерухомості на регіональному рівні залежить від чотирьох групових показників, саме тому доречно досліджувати не зв'язок між окремими компонентами, а сукупний вплив групових показників на величину інтегрального показника. Це можливо виконати із застосуванням множинної регресії, яку представимо залежністю:

$$y_x = b_{yx1}x_1 + b_{yx2}x_2 + b_{yx3}x_3 + b_{yx4}x_4 + b_0, \quad (7)$$

де коефіцієнти регресійного рівняння визначаються за методом найменших квадратів:

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^k (y_{xj} - \bar{y}_j)^2 n_j = \\ & = \sum_{j=1}^k (b_{yx1}x_1 + b_{yx2}x_2 + b_{yx3}x_3 + b_{yx4}x_4 + b_0 - \bar{y}_j)^2 n_j \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (8)$$

Результати числового експерименту із знаходження параметрів множинної регресії для інтегрального показника $I_{bc}^{(3)}$ для всіх чотирьох множин значень вагових коефіцієнтів з визначенням ступеня зв'язку між результуючим показником та його складовими, представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Кореляційно-регресійний аналіз інтегрального показника $I_{bc}^{(3)}$ інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні, відн. од.

Назва показника	Результати оцінки значення показника
1	2
$\{k_{vbc1}\}^{(1)}$	
b_0	-1,17897
b_{yx1}	0
b_{yx2}	0,134215
b_{yx3}	0,137301
b_{yx4}	0,228036
R_{xy}	0,999276
$\{k_{vbc1}\}^{(2)}$	
b_0	-1,50542
b_{yx1}	0
b_{yx2}	0,163488
b_{yx3}	0,193036
b_{yx4}	0,297188
R_{xy}	0,99576

Закінчення табл. 1

1	2
$\{k_{vbc1}\}^{(3)}$	
b_0	-1,3474
b_{yx_1}	0
b_{yx_2}	0,153388
b_{yx_3}	0,156916
b_{yx_4}	0,260614
R_{xy}	0,999276
$\{k_{vbc1}\}^{(4)}$	
b_0	-1,55332
b_{yx_1}	0
b_{yx_2}	0,175289
b_{yx_3}	0,184579
b_{yx_4}	0,300643
R_{xy}	0,999054

Аналіз результатів числового експерименту свідчить про високий зв'язок між компонентами при всіх множинах значень вагових коефіцієнтів, що вказує на достовірність побудованої математичної моделі.

За величиною параметрів регресійної лінії встановлено, що найбільшої зміни інтегральний показник набуває за рахунок зміни інвестиційного показника інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні. Значення компонентів узагальненого просторового показника відносяться до якісних, тому узагальнена величина просторового показника є сталою для всіх регіонів України. Саме тому побудоване рівняння множинної регресії не залежить від зміни просторового показника.

Коефіцієнти b_{yx_i} рівняння множинної регресії показують, на яку величину зміниться інтегральний показник при зміні x_i показника інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні на 1 одиницю. За допомогою рівняння множинної регресії здійснено прогнозування величини інтегрального показника I_{bc} інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні за заданими змінами величини просторових, містобудівних, екологічних та інвестиційних показників.

Зокрема, при збільшенні величини узагальненого містобудівного показника на 0,5, екологічного на 0,8, інвестиційного на 1,0 отримаємо значення інтегрального показника інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні, які представлені в табл. 2. Зауважимо, що за запропонованим алгоритмом проводиться прогнозування за будь-якою зміною групових показників інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру в кожному регіоні окремо. Треба зазначити, що запропоновані значення збільшення системних групових показників визначались на основі рівнів досягнення кадастру нерухомості.

Таблиця 2 – Прогнозні значення інтегрального показника I_{bc} інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні із застосуванням множин значень вагових коефіцієнтів, відн. од.

Регіони	$I_{bc}, \{k_{vbc1}\}^{(1)}$	$I_{bc}, \{k_{vbc1}\}^{(2)}$	$I_{bc}, \{k_{vbc1}\}^{(3)}$	$I_{bc}, \{k_{vbc1}\}^{(4)}$
1	2	3	4	5
Вінницький	0,567790	0,779206	0,648900	0,757120
Волинський	0,528247	0,731090	0,603708	0,705641
Дніпропетровський	0,578301	0,795091	0,660913	0,771521
Донецький	0,648447	0,890165	0,741081	0,864979

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5
Житомирський	0,646131	0,876514	0,738432	0,859760
Закарпатський	0,589697	0,808346	0,673938	0,785951
Запорізький	0,545322	0,754413	0,623223	0,728515
Івано-Франківський	0,594189	0,806718	0,679070	0,790682
Київський	0,517528	0,711230	0,591458	0,690144
Кіровоградський	0,729778	0,989538	0,834030	0,971330
Луганський	0,563640	0,776461	0,644158	0,752318
Львівський	0,640368	0,876503	0,731846	0,853843
Миколаївський	0,624707	0,848707	0,713948	0,831327
Одеський	0,645064	0,879330	0,737214	0,859006
Полтавський	0,665302	0,903945	0,760343	0,885566
Рівненський	0,656448	0,900020	0,750224	0,875474
Сумський	0,468622	0,644288	0,535565	0,624762
Тернопільський	0,574914	0,798116	0,657042	0,768441
Харківський	0,756192	0,999914	0,864217	0,999183
Херсонський	0,609378	0,829663	0,696429	0,811493
Хмельницький	0,653179	0,889434	0,746488	0,869864
Черкаський	0,567790	0,779206	0,648900	0,757120
Чернівецький	0,528247	0,731090	0,603708	0,705641
Чернігівський	0,578301	0,795091	0,660913	0,771521

У результаті прогнозування показників визначено, що для досягнення помірного, достатнього або високого рівня за регіонами України необхідно забезпечити високий рівень повноти, достовірності просторової інформації, можливостей її перманентного застосування, зміни траєкторій щодо зростання містобудівного забезпечення до помірного рівня, екологічного й інвестиційного – до високого рівня.

Висновки. Здійснено математичне моделювання процесів розробки інформаційного забезпечення багатопільового кадастру на основі встановлення зв'язків між системними чинниками й інтегральним показником шляхом застосування методу кореляційно-регресійного аналізу, що надає можливості побудувати прогнозні моделі та встановити тенденції формування та використання нерухомості на регіональному рівні, враховуючи просторове, містобудівне, інвестиційне й екологічне забезпечення.

Узагальнюючи існуючі теоретико-методичні положення, запропоновано визначення багатопільового кадастру на регіональному рівні, яке враховує сукупність просторового, містобудівного, інвестиційного й екологічного забезпечення, що дозволило побудувати багаторівневу інформаційну систему для формування кількісної основи управління нерухомістю на регіональному рівні.

Результати математичного моделювання дозволили сформуванню кількісну основу для розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо формування та використання багатопільового кадастру на регіональному рівні.

Список використаних джерел

1. Карты цифровые топографические. Требования к качеству: ГОСТ Р 51608- 2000. – М. : Изд-во стандартов, 2000. –137 с.
2. Системи управління якістю. Основні положення та словник: ДСТУ ISO 9000-2001. – [Чинний від 2001-10-01]. – К. : Держстандарт України, 2001. – 33 с.
3. Карпінський Ю. О. Концептуальні засади оцінювання та забезпечення якості геопросторових даних / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, М. В. Горковчук // Вісник геодезії і картографії. – 2012. – № 4. – С. 33-42.
4. Картографічне та геоінформаційне забезпечення Всеукраїнського перепису населення 2013 р. / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, Р. І. Сосса [та ін.] // Вісник геодезії і картографії. – 2012. – № 6. – С. 25-32.

5. Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних картах масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1000 000 : Затверджений начальником Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України в 1998 р. і погоджений з начальником Центрального топографічного управління Генерального штабу Збройних сил України.
6. Guidelines for Implementing the ISO 19100 Geographic Information Quality Standards in National Mapping and Cadastral Agencies. EuroGeographics Expert Group on Quality / Edited by Antti Jakobsson, Jørgen Giversen. – EuroGeographics, 2007. – 68 p.
7. ISO 19110: 2005(E) Geographic information – Methodology for feature cataloguing. – ISO TC 211, 2005 – 55 p.
8. ISO/DIS 19157: Geographic information – Data quality. – ISO TC 211, 2011.
9. ISO/IEC 13249-3:2002 FDIS. Informational technology – Database languages – SQL Multimedia and Application Packages – Part 3: Spatial, 2nd edition, 2002.
10. Програми для роботи з базами даних [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.soringprepair.com/database-software/#Navicat>.
11. Класифікація картографічних Web-сервісів OGC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://gis-lab.info/qa/ogc-intro.html>.
12. Лященко А. А. Методичні засади створення інтерактивних електронних карт у форматі SVG / А. А. Лященко, А. В. Форосенко // Вісник геодезії та картографії. – 2007. – № 1. – С 39-46.
13. Неогеографія: смена вех [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://rnd.cnews.ru/reviews/index_science.shtml? 2007/12/03/277809_1.
14. Laurence Moroney. Introducing Microsoft Silverlight2 [Electronic resource]. – Microsoft Press, 2008. – Accessed mode: <http://www.microsoft.com/rus/expression/resources/>.
15. Nathan, Adam. Silverlight1.0 unleashed .p.cm.ISBN0-672-33007-5 [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://epdf.tips/silverlight-10-unleashed-unleashed-series.html>.
16. Open Geospatial Consortium. URL: <http://www.opengeospatial.org/>.
18. Silverlight Overview [Electronic resource]. – Accessed mode: <http://weblogs.asp.net/scottgu/archive/2008/06/06/silverlight-2-beta2-released.aspx>.
19. Virtual Earth Tile System [Electronic resource]. – Accessed mode: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb259689.aspx>.
20. Горлачук В. В. Управління земельними ресурсами / В. В. Горлачук, В. Г. В'юн, А. Я. Сохнич. – Миколаїв : Видавництво МДГУ ім. П. Могили, 2002. – 316 с.
21. Суховірський Б. І. Геоінформаційні системи і технології в регіональному розвитку / Б. І. Суховірський. – К.: Знання України, 2002. – 210 с.
22. Управління землекористуванням / за ред. В. В. Горлачука. – Миколаїв : Іліон, 2006. – 376 с.
23. Церклевич, А. Про деякі аспекти щодо концепції загальноміської багатofункціональної інформаційної системи / А. Церклевич // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища. – Алушта, 2006. – С. 33- 36.
24. Чайка, О. Г. Використання ГІС технологій у державному та муніципальному управлінні земельними ресурсами України / О. Г. Чайка // ГІС-форум. – К.: КНУБА, 2006. – С. 40-44.
25. Миргород М. М. Роль земельної інформаційної системи в управлінні земельними ресурсами / М. М. Миргород // Збалансоване природокористування. – 2014. – № 4. – С. 111-115.
26. Таратула Р. Б. Формування структури інтегрованої земельно-інформаційної системи / Р. Б. Таратула // Збалансоване природокористування. – 2016. – № 4. – С. 173-177.
27. Семенчук І. М. Розвиток інформаційного забезпечення управління земельними ресурсами / І. М. Семенчук, О. В. Анисенко // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія"]. Сер.: Економіка. – 2014. – Т. 243, Вип. 231. – С. 113-117.
28. Таратула Р. Б. Теоретичні засади формування та функціонування земельно-інформаційної системи / Р. Б. Таратула // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки. – 2017. – Вип. 24. – Частина 2. – С. 34-38.
29. Бордюжа А. С. Удосконалення організаційного механізму інформаційного забезпечення системи управління сільськогосподарським землекористуванням / А. С. Бордюжа // Збірник наукових праць за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві» (Київ, 1-3 липня 2015 р.). – К. : Інститут агроекології і природокористування НААН – К., 2015. – С. 17-23.

30. Бордюжа А. С. Сучасний стан інформаційного забезпечення управління земельними ресурсами в системі аграрного виробництва України / А. С. Бордюжа // Збірник наукових праць за матеріалами II Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції «Економіка природокористування: стан, проблеми, перспективи» (ЕПК – 2016), м. Ірпінь, 29 березня 2016 р. – Ірпінь : УДФСУ, 2016. – С. 31-40.
31. Таратула Р. Б. Еколого-економічні засади інформаційного забезпечення управління земельними ресурсами : дис. ... д-ра екон. наук за спеціальністю 08.00.06 – економіка природокористування та охорони навколишнього середовища / Р. Б. Таратула; Львівський національний аграрний університет. – Львів, 2019. – 446 с.
32. Богатирчук-Кривко С. К. Еколого-економічний механізм управління земельними ресурсами в сільському господарстві / С. К. Богатирчук-Кривко // Землевпорядний вісник. – 2014. – № 12. – С. 39-42.
33. Богіра М. С. Землекористування в ринкових умовах: еколого-економічний аспект: монографія / М. С. Богіра. – Львів : ЛНАУ, 2008. – 226 с.
34. Бордюжа А. С. Удосконалення формування інформаційної системи екобезпечного сільськогосподарського землекористування / А. С. Бордюжа // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. – 2014. – № 1–2. – С. 120-129.
35. Борщук Є. М. Основи теорії стійкого розвитку еколого- економічних систем: монографія / Є. М. Борщук. – Львів : Растр-7, 2007. – 438 с.
36. Будзяк В. М. Сільськогосподарське землекористування (економіко-екологічні та управлінські аспекти): монографія / В. М. Будзяк. – К. : Оріяни, 2006. – 385 с.
37. Будзяк О. С. Екологобезпечне використання земель: теоретичні та практичні аспекти: монографія / О. С. Будзяк. – К. : Аграр Медіа Груп, 2011. – 326 с.
38. Вегера С. Г. Проблеми інформаційно-аналітичного забезпечення стійкого землекористування: еколого-соціальні орієнтири / С. Г. Вегера // Міжнародний збірник наукових праць. – 2011. – Вип. 3(21), ч. 1. – С. 77-82.
39. Євсюков Т. О. Удосконалення структури екологічної та економічної інформації використання земель / Т. О. Євсюков, О. А. Сохнич // Науковий вісник. Серія: Економічні аспекти екологізації землекористування. – 2005. – Вип. 15.6. – С. 450-457.
40. Кузін Н. В. Екологічний моніторинг деградованих і малопродуктивних земель як основа оцінки рівня деградаційних процесів в сільськогосподарському землекористуванні [Електронний ресурс] / Н. В. Кузін // Ефективна економіка. – 2017. – № 1. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2017_1_38.
41. Купінець Л. Є. Удосконалення інформаційного забезпечення екологобезпечного сільськогосподарського землекористування / Л. Є. Купінець, О. В. Жавнерчик // Економіка АПК. – 2017. – № 2. – С. 61-73.
42. Ступень М. Г. Вдосконалення земельно- кадастрової системи для раціонального використання охорони земель у населених пунктах / М. Г. Ступень, С. О. Малахова // Збірник наукових праць Харківського національного аграрного університету. – 2010. – № 6. – С. 22–27.
43. Ступень М. Г. Генезис еколого-економічної безпеки та її місце в системі національної безпеки / М. Г. Ступень, Р. Б. Таратула // Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні : матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Ужгород, 28-30 жовтня 2010 р.). – Ужгород : Вид-во УжНУ «Говерла», 2010. – С. 35-37.
44. Ступень М. Г. Моделювання механізму еколого-економічного управління земельними відносинами / М. Г. Ступень, Р. Б. Таратула // Зелена економіка. Зелені технології. Зелені інвестиції : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 6-7 жовтня 2011 р.). – Одеса : ІПРЕЕД НАН України, 2011. – С. 258-260.
45. Черевко Г. В. Еколого-економічні та технологічні аспекти раціонального використання земельних ресурсів / Г. В. Черевко // Економіка АПК. – 2008. – № 2. – С. 37-40.
46. Шарапова С. В. Питання інформаційного забезпечення землекористування та охорони земель [Електронний ресурс] / С. В. Шарапова // Теорія і практика правознавства. – 2014. – Вип. 2. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tipp_2014_2_19.
47. Enemark S. Cadastres, Land Information Systems and Planning – is decentralisation a significant key to sustainable development? / S. Enemark, H. Sevatdal // Presented at the UN-FIG Conference on Land Tenure and Cadastral Infrastructures for Sustainable Development. – Melbourne, Australia, 25-27 October 1999. – 15 p.

48. Eric S. Hall. A Decision Support Tool for Sustainable Land Use, Transportation, Buildings / Eric S. Hall. // Infrastructure, and Materials Management. American Journal of Environmental Engineering. – 2017. – Vol. 7(2). – Pp. 35-46.

49. Hallett S. H. Environmental information systems developments for planning sustainable land use / S. H. Hallett, R. J. A. Jones, C. A. Keay // International Journal of Geographical Information Systems. – 1996. – Vol. 10. – Pp. 47–64.

50. Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources / H. J. Heineke, et al. (eds.) European Soil Bureau Research Report № 4, EUR 17729 EN. 1998. – 546 p.

References

1. Karty tsifrovye topografycheskie. Trebovaniia k kachestvu [Digital topographic maps. Quality requirements]: HOST R 51608- 2000. (2000). Izd-vo standartov.

2. Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk [Quality management systems. Basic provisions and vocabulary]: DSTU ISO 9000-2001. (2001). Derzhstandart Ukrainy.

3. Karpinskyi, Yu.O. (2012). Kontseptualni zasady otsiniuvannia ta zabezpechennia yakosti heoprosorovykh danykh [Conceptual principles of evaluation and quality assurance of geospatial data]. *Visnyk heodezii i kartohrafii – Bulletin of Geodesy and Cartography*, (4), 33–42.

4. Karpinskyi, Yu.O., Liashchenko, A.A., & Sossa, R.I. (2013). Kartohrafichne ta heoinformatsiŭne zabezpechennia Vseukraïnskoho perepysu naseleennia [Cartographic and geo-information support of the All-Ukrainian population census]. *Visnyk heodezii i kartohrafii – Bulletin of Geodesy and Cartography*, (6), 25–32.

5. Klasyfikator informatsii, yaka vidobrazhaetsia na topohrafichnykh kartakh masshtabiv 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 00, 1:1000 000 [Classifier of information displayed on topographic maps].

6. Antti Jakobsson, & Jørgen Giversen (Eds.). (2007). *Guidelines for Implementing the ISO 19100 Geographic Information Quality Standards in National Mapping and Cadastral Agencies. EuroGeographics Expert Group on Quality*. EuroGeographics.

7. ISO 19110: 2005(E) Geographic information – Methodology for feature cataloguing. (2005). ISO TC 211.

8. ISO/DIS 19157: Geographic information (2011). Data quality. – ISO TC 211.

9. ISO/IEC 13249-3:2002 FDIS. Informational technology – Database languages – SQL Multimedia and Application Packages. (2002). Part 3: Spatial, 2nd ed.

10. Prohramy dlia roboty z bazamy danykh. [Programs for working with databases]. <https://uk.soringprepair.com/database-software/#Navicat>.

11. Klasyfikatsiia kartohrafichnykh Web-servisiv OGC [Classification of OGC cartographic Web services]. <http://gis-lab.info/qa/ogc-intro.html>.

12. Liashchenko, A.A., & Forosenko, A.V. (2007). Metodichni zasady stvorennia interaktyvnykh elektronnykh kart u formati SVG [Methodical principles of creating interactive electronic maps in SVG format]. *Visnyk heodezii i kartohrafii – Bulletin of Geodesy and Cartography*, (1), 39–46.

13. Neogeografiia: smena vekh [Neogeography: change of milestones]. http://rnd.cnews.ru/reviews/index_science.shtml?2007/12/03/277809_1.

14. Laurence Moroney. Introducing Microsoft Silverlight2. (2008). Microsoft Press. <http://www.microsoft.com/rus/expression/resources/>.

15. Nathan, Adam. Silverlight1.0 unleashed .p.cm.ISBN0-672-33007-5. <https://epdf.tips/silverlight-10-unleashed-unleashed-series.html>.

16. Open Geospatial Consortium. <http://www.opengeospatial.org/>.

18. Silverlight Overview. URL: <http://weblogs.asp.net/scottgu/archive/2008/06/06/silverlight-2-beta2-released.aspx>.

19. Virtual Earth Tile System. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb259689.aspx>.

20. Horlachuk, V.V., Viun, V.H., & Sokhnych A.Ya. (2002). *Upravlinnia zemelnymy resursamy [Management of land resources]*. Vydavnytstvo MDHU im. P. Mohyly.

21. Sukhovirskyi, B.I. (2002). *Heoinformatsiini systemy i tekhnolohii v rehionalnomu rozvytku [Geoinformation systems and technologies in regional development]*. Znannia Ukrainy.

22. Horlachuk, V.V., Harkusha, O.M., Viun, V.H., Melnichenko, V.V., Peschanska, I.M., Demchenko, D.M. (2006). *Upravlinnia zemlekorystuvanniam [Management of land use]*. Ilion.

23. Tserklevych, A. (2006). Pro deiaki aspekty shchodo kontseptsii zahalnomiskoi bahatofunktsionalnoi informatsiinoi systemy [About some aspects of the concept of a city-wide multifunctional information system]. *Heoinformatsiyni monitorynh navkolyshnoho seredovyshcha – Geoinformation monitoring of the environment* (pp. 33-36).

24. Chaika, O.H. (2006). Vykorystannia HIS tekhnologii u derzhavnomu ta munitsypalnomu upravlinni zemelnymy resursamy Ukrainy [Use of GIS technologies in state and municipal management of land resources of Ukraine]. *HIS-forum – GIS-forum* (pp. 40–44).

25. Myrhorod, M.M. (2014). Rol zemelnoi informatsiynoi systemy v upravlinni zemelnymy resursamy [The role of the land information system in the management of land resources]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Balanced nature management*, (4), 111–115.

26. Taratula, R.B. (2016). Formuvannia struktury intehrovanoi zemelno-informatsiinoi systemy / R. B. Taratula [Formation of the structure of the integrated land information system]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Balanced nature management*, (4), 173-177.

27. Semenchuk, I.M., & Anysenko, O.V. (2014). Rozvytok informatsiynoho zabezpechennia upravlinnia zemelnymy resursamy [Development of information support for land management]. *Naukovi pratsi Chornomorskoho derzhavnogo universytetu imeni Petra Mohyly kompleksu “Kyievo-Mohylianska akademiia”*. Ser.: *Ekonomika – Scientific works Petro Mohyla Black Sea State University of the Kyiv-Mohyla Academy complex*. Ser.: *Economy*, (243(231)), 113-117.

28. Taratula, R.B. (2017). Teoretychni zasady formuvannia ta funktsionuvannia zemelno-informatsiinoi systemy [Theoretical foundations of the formation and functioning of the land information system]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnogo universytetu. Seriya: Ekonomichni nauky – Scientific Bulletin of the Kherson State University. Series: Economic Sciences*, (24(2)), 34–38.

29. Bordiuzha, A.S. (2015). Udoskonalennia orhanizatsiynoho mekhanizmu informatsiynoho zabezpechennia systemy upravlinnia silskohospodarskym zemlekorystuvanniam [Improvement of the organizational mechanism of information support of the agricultural land use management system]. *Zbirnyk naukovykh prats za materialamy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane pryrodokorystuvannia v ahropromyslovomu vyrobnytstvi” – Collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference “Ecological Safety and Balanced Nature Use in Agro-Industrial Production”* (pp. 17–23).

30. Bordiuzha, A.S. (2016). Suchasnyi stan informatsiynoho zabezpechennia upravlinnia zemelnymy resursamy v systemi aharnoho vyrobnytstva Ukrainy [The current state of information support for the management of land resources in the agricultural production system of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats za materialamy II Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii “Ekonomika pryrodokorystuvannia: stan, problemy, perspektyvy” – Collection of scientific papers based on the materials of the II All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference “Economics of Nature Use: Status, Problems, Prospects”* (pp. 31-40).

31. Taratula, R.B. (2019). *Ekoloho-ekonomichni zasady informatsiynoho zabezpechennia upravlinnia zemelnymy resursamy [Ecological and economic principles of information provision of land resources management]* [Doctor disertation; Lviv National Agrarian University].

32. Bohatyrychuk-Kryvko, S.K. (2014). Ekoloho-ekonomichnyy mekhanizm upravlinnia zemelnymy resursamy v silskomu gospodarstvi [Ecological and economic mechanism of land resource management in agriculture]. *Zemlevporiadnyy visnyk – Zemlevporadnyy visnyk*, (12), 39-42.

33. Bohira, M.S. (2008). *Zemlekorystuvannia v rynkovykh umovakh: ekoloho-ekonomichnyy aspekt [Land use in market conditions: ecological and economic aspect]*. LNAU.

34. Bordiuzha, A.S. (2014). Udoskonalennia formuvannia informatsiinoi systemy ekobezpechnoho silskohospodarskoho zemlekorystuvannia [Improving the formation of the information system of environmentally safe agricultural land use]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel – Land management, cadastre and land monitoring*, (1–2), 120-129.

35. Borshchuk, Ye.M. (2007). *Osnovy teorii stiikoho rozvytku ekoloho- ekonomichnykh system [Basics of the theory of sustainable development of ecological and economic systems]*. Rastr-7.

36. Budziak, V.M. (2006). *Silskohospodarske zemlekorystuvannia (ekonomiko-ekolohichni ta upravlinski aspekty) [Agricultural land use (economic-ecological and management aspects)]*. Oriiany.

37. Budziak, O.S. (2011). *Ekolohobezpechne vykorystannia zemel: teoretychni ta praktychni aspekty [Environmentally safe land use: theoretical and practical aspects]*. Ahrar Media Hrup.

38. Vehera, S.H. (2011). *Problemy informatsiino-analitychnoho zabezpechennia stiikoho zemlekorystuvannia: ekoloho-sotsialni oriientyry [Problems of information and analytical provision of sustainable land use: ecological and social guidelines]*. Mizhnarodnyi zbirnyk naukovykh prats – International collection of scientific papers, (3(21(1))), 77-82.

39. Yevisiukov, T.O., & Sokhnych, O.A. (2005). Udoskonalennia struktury ekolohichnoi ta ekonomichnoi informatsii vykorystannia zemel [Improving the structure of ecological and economic information on land use]. *Naukovyi visnyk. Serii: Ekonomichni aspekty ekolohizatsii zemlekorystuvannia – Scientific Bulletin. Series: Economic aspects of land use greening*, (15(6)), 450–457.

40. Kuzin, N.V. (2017). Ekolohichnyy monitoryng dehradovanykh i malo- produktyvnykh zemel yak osnova otsinky rivnia dehradatsiynykh protsesiv v silskohospodarskomu zemlekorystuvanni [Environmental monitoring of degraded and unproductive lands as a basis for assessing the level of degradation processes in agricultural land use]. *Efektivna ekonomika – Effective economics*, (1). http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2017_1_38.

41. Kupinets, L.Ye., & Zhavnerchuk, O.V. (2017). Udoskonalennia informatsiynoho zabezpechennia ekolohobezpechnoho silskohospodarskoho zemlekorystuvannia [Improvement of information provision of ecologically safe agricultural land use]. *Ekonomika APK – Economics of agriculture*, (2), 61-73.

42. Stupen, M.H., & Malakhova, S.O. (2010). Vdoskonalennia zemelno- kadastrovoi systemy dlia ratsionalnogo vykorystannia okhorony zemel u naselenykh punktakh [Improvement of the land cadastral system for rational use of land protection in settlements]. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnogo ahrarnoho universytetu – Collection of scientific papers of the Kharkiv National Agrarian University*, (6), 22–27.

43. Stupen, M.H., & Taratula, R.B. (2010). Henezys ekoloho-ekonomichnoi bezpeky ta ii mistse v systemi natsionalnoi bezpeky [The genesis of environmental and economic security and its place in the national security system]. *Novi tekhnolohii v heodezii, zemlevporiadkuvanni ta pryrodokorystuvanni: materialy V Mizhnar. nauk.-prakt. konf. – New technologies in geodesy, land management and nature management: materials V International. science and practice conf.* (pp. 35–37). UzhNU «Hoverla».

44. Stupen, M.H., Taratula, R.B. (2011). Modeliuvannia mekhanizmu ekoloho- ekonomichnogo upravlinnia zemelnymy vidnosynamy [Modeling of the mechanism of ecological and economic management of land relations]. *Zelena ekonomika. Zeleni tekhnolohii. Zeleni investysii: materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf. – Green economy. Green technologies. Green investments: materials of the International science and practice conf.* (pp. 258-260). IPREED NAN Ukrainy.

45. Cherevko, H.V. (2008). Ekoloho-ekonomichni ta tekhnolohichni aspekty ratsionalnogo vykorystannia zemelnykh resursiv [Ecological, economic and technological aspects of rational use of land resources]. *Ekonomika APK – Economy of agricultural industry*, (2), 37-40.

46. Sharapova, S.V. (2014). Pytannia informatsiynoho zabezpechennia zemlekorystuvannia ta okhorony zemel [The issue of information provision of land use and land protection]. *Teoriia i praktyka pravoznavstva – Theory and practice of legal science*, (2). http://nbuv.gov.ua/UJRN/tipp_2014_2_19.

47. Enemark, S., & Sevatal, H. (1999). Cadastres, Land Information Systems and Planning – is decentralisation a significant key to sustainable development? *Presented at the UN-FIG Conference on Land Tenure and Cadastral Infrastructures for Sustainable Development*. Melbourne.

48. Eric, S. Hall. A (2017). Decision Support Tool for Sustainable Land Use, Transportation, Buildings, Infrastructure, and Materials Management. *American Journal of Environmental Engineering*, (7(2)), 35–46.

49. Hallett, S.H., Jones, R.J.A., & Keay, C.A. (1996). Environmental information systems developments for planning sustainable land use. *International Journal of Geographical Information Systems*, (10), 47–64.

50. Heineke, H.J. (1998). Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources. European Soil Bureau Research Report. EUR 17729 EN, (4), 546.

Отримано 27.09.2022

Vitalii Holovachov¹, Volodymyr Shypulin²

¹Assistant of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (Kharkiv, Ukraine)
E-mail: vitalii.holovachov@kname.edu.ua, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4479-8010>
ResearcherID: [R-3347-2018](https://orcid.org/R-3347-2018)

²PhD in Technical Sciences, Professor of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (Kharkiv, Ukraine)
E-mail: volodimir.shipulin@kname.edu.ua

MATHEMATICAL MODELING OF MULTIPURPOSE CADASTRAL DEVELOPMENT PROCESSES

It has been proven that modern transformational processes require a rethinking of approaches to ensure the efficiency of the functioning of regions by improving the land resources management system, as the main factors of their development. At the same time, the modern European experience of land administration and information provision of the formation and use of real estate based on the application of the multi-purpose cadastre is considered. The need to use mathematical modelling tools for the formation and use of information support of multi-purpose cadastre at the regional level is determined.

The purpose of the study is to present the results of mathematical modelling of the processes of formation and use of information support of the multi-purpose cadastre at the regional level. To achieve the set goal, the following tasks were completed:

- development of mathematical modelling directions;
- determination of the tools for mathematical modelling of the processes of formation and use of information support of the multi-purpose cadastre at the regional level.

Mathematical modelling of the processes of development of the information support of the multi-purpose cadastre was carried out on the basis of establishing relationships between system factors and an integral indicator by applying the method of correlation-regression analysis, which provides the opportunity to build predictive models and establish trends in the formation and use of real estate at the regional level, taking into account spatial, urban planning, investment and environmental support.

Summarizing the existing theoretical and methodological provisions, the definition of a multi-purpose cadastre at the regional level is proposed, which considers the totality of spatial, urban planning, investment and environmental support, which made it possible to build a multi-level information system for the formation of a quantitative basis for real estate management at the regional level.

The results of mathematical modelling made it possible to form a quantitative basis for the development of scientifically based recommendations for the formation and use of a multi-purpose cadastre at the regional level.

Keywords: Multipurpose cadastre; land use; spatial; urban planning; investment; environmental factors; mathematical modelling; information support.

Fig.: 1. Table: 2. References: 50.