

К.А. Мамонов¹, Р.С. В'яткін¹, Е.С. Штерндок¹, А.В. Штерндок²

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

²Національний науковий центр «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М.С. Бокаріуса», Харків, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧИННИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ОБ'ЄКТІВ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ РЕГІОНІВ

Доведено, що знижується рівень землекористування об'єктів природно-заповідного фонду, порушується їх стан на основі, зокрема, необґрунтованої забудови. У цьому контексті особливого значення має формування кількісної основи прийняття рішень шляхом здійснення математичного моделювання чинників використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів.

Ключові слова: використання земель, об'єкти природно-заповідного фонду регіонів, методи, математичне моделювання, моніторинг.

Постановка проблеми

У сучасних умовах спостерігається зниження ефективності землекористування на регіональному рівні. Виникають проблемні питання щодо розподілу земель на різних рівнях забезпечення управління регіонами. Водночас поглиблюють представлені процеси вплив зовнішніх та внутрішніх чинників, агресія РФ.

Знижується рівень землекористування об'єктів природно-заповідного фонду, порушується їх стан на основі, зокрема, необґрунтованої забудови. У цьому контексті актуальним питанням є формування кількісної основи прийняття рішень шляхом здійснення математичного моделювання чинників використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Математичне моделювання чинників здійснюється на основі врахування відповідних умов та чинників. Зокрема, визначенню містобудівних, гео-екологічних чинників, що впливають на землекористування, присвячені розробки [1–3].

На функціонування об'єктів природно-заповідного фонду регіонів впливають напрями формування та використання нормативно-правового забезпечення [4–6].

У контексті застосування інструментального підходу щодо створення та використання земель екомережі виокремлені моніторингові процедури та їх види: моніторинг земель; моніторинг лісових та водних об'єктів; моніторинг об'єктів тваринного світу екомережі; моніторинг окремих об'єктів

природно-заповідного фонду.

На структурних компонентах використання земель об'єктів природно-заповідного фонду фокусують увагу [7–8].

Комплексні параметри екологічного моніторингу об'єктів природно-заповідного фонду виокремлюються у розробці [9].

Для розробки та реалізації моніторингу використання земель об'єктів природно-заповідного фонду застосовується сучасний інструментарій [10–13].

У результаті узагальнення теоретичних підходів запропоновано визначення моніторингу використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів, яке характеризується сукупністю широкого кола чинників щодо стану та рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду на регіональному рівні із застосуванням кількісної основи та інструментального забезпечення методами і моделями математичного моделювання, реалізації можливостей постійного відстежування змін.

Мета та завдання статті

Метою дослідження є застосування інструментарію математичного моделювання для встановлення причинно-наслідкових зв'язків між визначеними чинниками використання земель об'єктів природно-заповідного фонду на регіональному рівні. У цьому контексті вирішуються завдання:

- виокремлення практичних аспектів математичного моделювання чинників використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів;
- характеристика критеріїв, що визначають достовірність встановлених зв'язків і розроблених моделей.

Виклад основного матеріалу

Розробка інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу здійснюється на основі застосування математичного моделювання інтегрального показника рівня використання земель.

Математичне моделювання впливу системних чинників на інтегральний показник здійснюється відповідно до розроблених етапів. У результаті дослідження розроблені:

– математична модель, що характеризує напрями та особливості формування й використання інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу на інтегральний показник рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів (I_{EL}) (рис. 1);

– математична модель, що визначає рівень впливу раціонального використання та охорони природних ресурсів на I_{EL} (рис. 2).

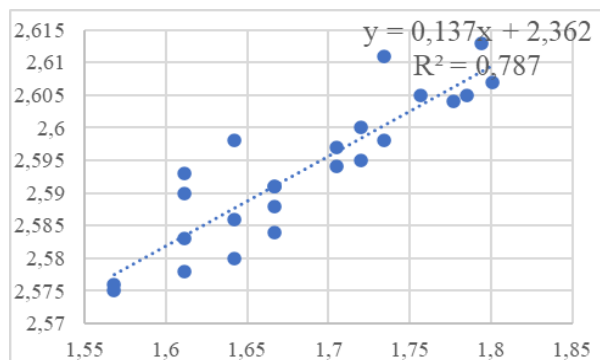


Рис. 1 Математична модель, що характеризує рівень впливу інформаційно-аналітичного забезпечення на узагальнюючий критерій рівня використання земель, відн. од.

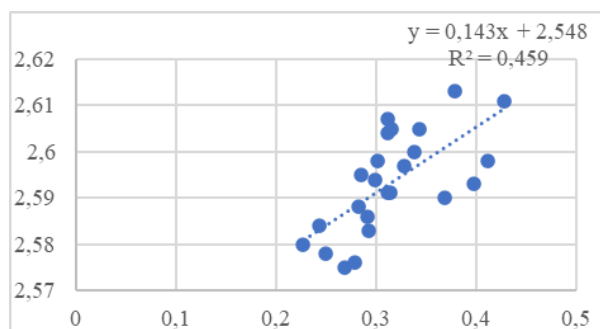


Рис. 2 Математична модель, що визначає рівень впливу раціонального використання та охорони природних ресурсів на I_{EL} , відн. од.

За іншими системними чинниками не здійснено математичного моделювання, оскільки представлені показники визначаються із застосуванням методу експертних оцінок.

Для оцінки повноти та достовірності розробле-

них математичних моделей застосовуються критерії адекватності. На основі розрахованого t -критерію Стюдента визначено перевищення фактичних його значень із табличними:

$$\begin{aligned} (t_{\text{факт.EL2}}(3,45) > t_{\text{норм.}}(2,07); \\ t_{\text{факт.вільний член}}(2,31) > t_{\text{норм.}}(2,07)); \\ (t_{\text{факт.EL3}}(2,12) > t_{\text{норм.}}(2,07); \\ t_{\text{факт.вільний член}}(2,09) > t_{\text{норм.}}(2,07)). \end{aligned} \quad (1)$$

Аналогічним чином визначені співвідношення на основі F -критерію Фішера:

$$\begin{aligned} (F_{\text{факт.EL2}}(6,35) > F_{\text{норм.}}(4,26)); \\ (F_{\text{факт.EL3}}(4,48) > F_{\text{норм.}}(4,26)). \end{aligned} \quad (2)$$

Результати перевірки на гомо- та гетероскедастичність наступні:

$$\begin{aligned} (\lambda_{\text{факт.}}(1,12) < t_{\text{норм.}}(2,07)); \\ (\lambda_{\text{факт.}}(1,87) < t_{\text{норм.}}(2,07)). \end{aligned} \quad (3)$$

Здійснено оцінку фактичного критерію Дарбіна-Уотсона і порівняно з його нормативними значеннями:

$$\begin{aligned} 1,04 < DW(2,34) < 4 - 1,2; \\ 1,04 < DW(1,64) < 4 - 1,2. \end{aligned} \quad (4)$$

Значення розрахункового критерію характеризується у діапазоні, де відсутня автокореляція залишків.

У результаті дослідження встановлена неможливість визначення мультиколінеарності, оскільки у моделюванні застосовується одна незалежна змінна.

Для підтвердження адекватності встановлених зв'язків застосовується метод нейронних мереж на основі програмного комплексу STATISTICA Neural Networks. Нейронні мережі дозволяють здійснити перевірку встановлених зв'язків та прогнозувати зміни чинників, що впливають на формування земельних відносин на використання об'єктів природно-заповідного фонду.

У цьому контексті слід відзначити, що вихідне значення багатошарового перцептрона обчислюється за формулою:

$$y = F \left(\sum_{j=1}^n v_j h_j - b \right), \quad (5)$$

де n – кількість нейронів прихованого шару;
 v_j – вага синапсу нейрона j прихованого шару до вихідного нейрона;
 h_j – вихідне значення нейрона j схованого шару;
 b – поріг вихідного нейрона;
 F – функція активації вихідного нейрона.

Для кожного шару нейронної мережі визначаємо функції активації нейронної мережі. Запропоновано використовувати гіперболічний тангенс:

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1. \quad (6)$$

Гіперболічний тангенс на вході приймає довільне дійсне число, на виході дає число у інтервалі $(-1; 1)$. Гіперболічний тангенс може насичуватись, а вихід даної функції центрований відносно нуля, що на практиці розширює можливість її використання.

Характеристика нейрона j прихованого шару визначається моделлю:

$$h_j = F_2 \left(\sum_{i=1}^m w_{ij} x_i - b_{2j} \right), \quad (7)$$

де w_{ij} – вага від i -го нейрона на вході до j -го нейрона прихованого шару;

x_i – значення на вході;

b_{2j} – значення порога j -го нейрона прихованого шару;

F_2 – функція активації прихованого шару.

У вибраній моделі нейронної мережі з найбільшою продуктивністю функцією активації вихідного шару є гіперболічний тангенс.

Діалогове вікно надає інформацію навчання мережі. Виконуємо побудову поверхні відгуку за показниками. Сигмоїдна S -подібна форма характеризує залежність даних без значних відхилень точок від поверхні кривої (рис. 3).

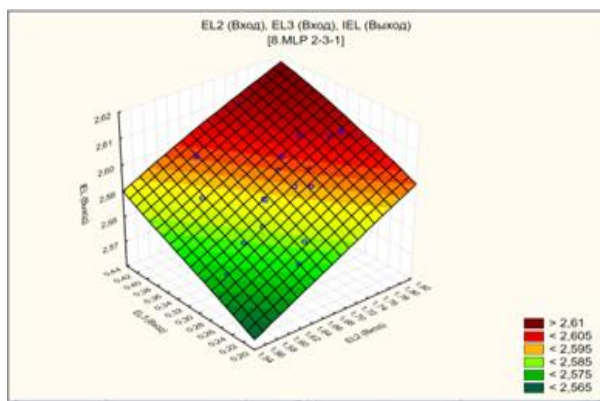


Рис. 3 Поверхня відгуку нейронної мережі, відн. од.

Для детального визначення якості моделі вибираємо одну модель з найбільшою продуктивністю на контрольній вибірці.

Для оцінки їх якості та визначення відносної похибки характеризується параметр $MAPE$, який дозволяє сформувати відносне значення похибки, яке становить 0,008 %, що підтверджує якість і дос-

товірність розробленої математичної моделі, повноту встановлених зв'язків.

Висновки і перспективи подальших досліджень

У результаті математичного моделювання встановлено, що вплив напрямів формування та використання інформаційно-аналітичного забезпечення на високому рівні забезпечує зміни земельних відносин у сфері формування природно-заповідного фонду на регіональному рівні. Це свідчить про необхідність створення інформаційної основи для використання земель, її постійної трансформації та врахування широкого кола кількісних та якісних параметрів.

Встановлено зниження значення напрямів та особливостей розробки відповідних напрямів й раціонального використання та охорони природних ресурсів на здійснення моніторингових процедур щодо використання об'єктів природно-заповідного фонду та реалізації земельних відносин. Це негативно впливає на рівень використання земель, забезпечення моніторингу.

Застосування інструментарію математичного моделювання дозволяє сформувати кількісну основу для моніторингу використання земель об'єктів природно-заповідного фонду, прогнозування змін, побудувати геопросторове забезпечення представлено-го процесу на регіональному рівні.

Запропоновані критерії адекватності дозволили підтвердити встановлені причинно-наслідкові зв'язки, що характеризують процеси, які відбуваються у сфері земельних відносин у контексті моніторингу використання об'єктів природно-заповідного фонду на регіональному рівні.

Напрямами подальших досліджень і розробок є створення теоретико-методологічної платформи використання земель, враховуючи екологічні напрями та особливості на регіональному рівні, формування організаційно-просторового механізму забезпечення ефективності земельного користування у системі використання об'єктів природно-заповідного фонду.

Література

1. Мамонов К. А. Розробка стейкхолдерно-орієнтованого підходу до оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель міст / К. А. Мамонов, К. О. Метешкін, М. О. Грек // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 3 (249). – С. 160–164.
2. Корнієць А. В. Визначення геоecологічного моніторингу використання земель міст / А. В. Корнієць, К. А. Мамонов // Геоінформаційні технології у територіальному управлінні та експертних дослідженнях: правові, організаційні, технічні проблеми : матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 4–6 жовт. 2017 р. / [редкол.: І. С. Тревого та ін.] ; Укр. т-во геодезії та картографії [та ін.]. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2017. – С. 75–76.
3. Мамонов К. А. Формування інформаційного забезпечення

References

- геоекологічного моніторингу використання земель регіону / К. А. Мамонов, А. В. Корнієць // Науковий вісник будівництва. – 2018. – Т. 91, № 1. – С. 278–285. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2018_91_1_46, вільний (дата звернення: 08.01.2024).
4. Мірошніченко О. В. Інституційні проблеми створення та розвитку об'єктів природно-заповідного фонду України / О. В. Мірошніченко, В. А. Артамонов // Розвиток національної екологічної мережі / Всеукраїнська екологічна ліга. – Київ : Аспект-Поліграф. – 2013. – № 6. – С. 5–8. – (Серія «Стан навколишнього середовища»). – Режим доступу: http://www.ecoleague.net/images/vydannia/biblio/2013/Text_6-13.pdf#page=5, вільний (дата звернення: 08.01.2024).
5. Василюк О. В. Консервація деградованих земель та формування екомережі: правовий аспект / О. В. Василюк // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: біологія. – 2014. – Вип. 20 (№ 1100). – С. 229–234. – Режим доступу: [http://seriesbiology.univer.kharkov.ua/ukr/20\(2014\)/pdf/229.pdf](http://seriesbiology.univer.kharkov.ua/ukr/20(2014)/pdf/229.pdf), вільний (дата звернення: 08.01.2024).
6. Василюк О. Нові підходи до розбудови національної екомережі України / О. Василюк, В. Костюшин, Г. Коломиев // Природно-ресурсний потенціал збалансованого (сталого) розвитку України : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., Київ, 19–20 квіт. 2011 р. – Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2011. – Т. 2.
7. Ващишин М. Я. Вплив законодавства ЄС на розвиток законодавства України про національну екологічну мережу / М. Я. Ващишин, О. О. Шарван // Сучасні тенденції розвитку національного законодавства України : зб. тез міжнар. наук.-практ. конф., Київ, 19–20 трав. 2011 р. / [упоряд. О. М. Гончаренко]. – Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2011. – С. 267–269.
8. Чорний М. Г. Про особливості українських заповідників та стратегію заповідної справи в Україні / М. Г. Чорний // Підсумки 70-річної діяльності Канівського заповідника та перспективи розвитку заповідної справи в Україні : матеріали конф., Канів, верес. 1993 р. – Канів, 1993. – С. 20–22.
9. Система категорій природно-заповідного фонду України та питання її оптимізації / Міжвід. комплекс. лаб. наук. основ заповід. справи НАН України ; [уклад.: Т. Л. Андрієнко (голов. ред.), В. А. Онищенко, М. Л. Кістєв та ін.]. – Київ : Фітосоціоцентр, 2001. – 60 с.
10. Goodchild M. F. Geographical information science / M. F. Goodchild // International journal of geographical information systems. – 1992. – Vol. 6, Issue 1. – P. 31–45. – DOI: [10.1080/02693799208901893](https://doi.org/10.1080/02693799208901893).
11. Buckley D. J. The GIS Primer – An Introduction to Geographic Information Systems / D. J. Buckley. – Fort Collins, CO (USA) : Innovative GIS Solutions Inc., 1998. – 115 p. – Regime of access: http://www.innovativegis.com/basis/primer/The_GIS_Primer_Buckley.pdf, free (date of the application: 08.01.2024).
12. Berry J. K. Beyond Mapping III – Map Analysis: Understanding Spatial Patterns and Relationships [Electronic resource] / J. K. Berry. – Electronic text data. – Fort Collins, CO (USA) : BASIS Press, 2007. – Regime of access: http://www.innovativegis.com/basis/BeyondMappingSeries/BeyondMapping_III/Default.htm, free (date of the application: 08.01.2024).
13. 2D hyperspectral frame imager camera data in photogrammetric mosaicking / A. Mäkeläinen, H. Saari, I. Hipp, J. Sarkeala, J. Soukka // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2013. – Vol. XL-1/W2. – P. 263–267. – Regime of access: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XL-1-W2/263/2013/isprsarchives-XL-1-W2-263-2013.pdf>, free (date of the application: 08.01.2024).
1. Mamonov, K. A., Meteshkin, K. O., & Grek, M. O. (2017). Development stakeholder-oriented approach to impact assessment of urban planning factors in land use of cities. *Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences*, (3(249)), 160–164 [in Ukrainian]
2. Korniiets, A. V., & Mamonov, K. A. (2017). Definition of geo-ecological monitoring of urban land use. In *Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference 'Geoinformation Technologies in Territorial Management and Expert Research: Legal, Organisational, Technical Problems'* (pp. 75–76). Publishing House of Lviv Polytechnic National University [in Ukrainian]
3. Mamonov, K. A., & Korniiets, A. V. (2018). Formation of information support of geoeological monitoring of land use. *Science Visnyk of Construction*, 91(1), 278–285. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2018_91_1_46 [in Ukrainian]
4. Miroshnychenko, O. V., & Artamonov, V. A. (2013). Institutional problems of creation and development of nature reserve fund objects in Ukraine. *Library of the All-Ukrainian Environmental League. Series 'State of the Environment'. 'Development of the National Ecological Network'*, (6), 5–8. http://www.ecoleague.net/images/vydannia/biblio/2013/Text_6-13.pdf#page=5 [in Ukrainian]
5. Vasyliuk, O. V. (2014). Conservation of degraded lands and formation of ecological network: legal aspect. *The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series: biology*, (20(1100)), 229–234. [http://seriesbiology.univer.kharkov.ua/ukr/20\(2014\)/pdf/229.pdf](http://seriesbiology.univer.kharkov.ua/ukr/20(2014)/pdf/229.pdf) [in Ukrainian]
6. Vasyliuk, O., Kostyushyn, V., & Kolomytsev, H. (2011). New approaches to the development of the national ecological network of Ukraine. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference 'Natural resource potential for balanced (sustainable) development of Ukraine'* (vol. 2). Centre for Environmental Education and Information [in Ukrainian]
7. Vashchyshyn, M. Ya., & Sharvan, O. O. (2011). The impact of EU legislation on the development of Ukrainian legislation on the national ecological network. In O. M. Honcharenko (Ed.), *Collection of Abstracts of the International Scientific and Practical Conference 'Modern trends in the development of the national legislation of Ukraine'* (pp. 267–269). Publishing Centre of NUBiP of Ukraine [in Ukrainian]
8. Chornyi, M. H. (1993). On the peculiarities of Ukrainian nature reserves and the strategy of nature conservation in Ukraine. In *Proceedings of the Conference 'Results of the 70-year activity of the Kaniv Nature Reserve and prospects for the development of nature conservation in Ukraine'* (pp. 20–22) [in Ukrainian]
9. Andriienko, T. L., Onyshchenko, V. A., & Klietov, M. L. (Eds.). (2001). *The system of categories of the nature reserve fund of Ukraine and the issue of its optimisation*. Fitosotsiotsentr [in Ukrainian]
10. Goodchild, M. F. (1992). Geographical information science. *International journal of geographical information systems*, 6(1), 31–45. <https://doi.org/10.1080/02693799208901893>
11. Buckley, D. J. (1998). *The GIS Primer – An Introduction to Geographic Information Systems*. Innovative GIS Solutions Inc. http://www.innovativegis.com/basis/primer/The_GIS_Primer_Buckley.pdf
12. Berry, J. K. (2007). *Beyond Mapping III – Map Analysis: Understanding Spatial Patterns and Relationships*. BASIS Press. http://www.innovativegis.com/basis/BeyondMappingSeries/BeyondMapping_III/Default.htm
13. Mäkeläinen, A., Saari, H., Hipp, I., Sarkeala, J., &

Soukkamäki, J. (2013). 2D hyperspectral frame imager camera data in photogrammetric mosaicking. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-1/W2, 263–267. <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XL-1-W2/263/2013/isprsarchives-XL-1-W2-263-2013.pdf>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К.О. Метешкін, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: МАМОНОВ Костянтин Анатолійович
доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – kostia.mamonov2017@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0797-2609>

Автор: В'ЯТКІН Роман Сергійович
доктор філософії, асистент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – viatkinr@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8807-9988>

Автор: ШТЕРНДОК Ернест Сергійович
кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – hterndok@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1107-7401>

Автор: ШТЕРНДОК Анна Валеріївна
старший судовий експерт лабораторії будівельно-технічних досліджень
Національний науковий центр «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М.С. Бокаріуса»
E-mail – anny13438381@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9367-6932>

MATHEMATICAL MODELLING OF THE FACTORS OF LAND USE OF THE OBJECTS OF THE NATURE RESERVE FUND OF THE REGIONS

K. Mamonov¹, R. Viatkin¹, E. Shterndok¹, A. Shterndok²

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

²National Scientific Centre “Hon. Prof. M.S. Bokarius Forensic Science Institute”, Kharkiv, Ukraine

It has been proven that the land use level of the nature reserve fund objects is decreasing, and their condition is being disturbed based on unjustified construction, in particular. In this context, forming a quantitative basis for decision-making through implementing mathematical modelling of the land use factors of the nature reserve fund objects of the regions is particularly relevant.

As a result of the generalisation of theoretical approaches, we proposed a definition of ‘land use monitoring of the nature reserve fund objects of the regions’ as a set of legal, constructive, complex, organisational, functional, and instrumental directions aimed at the formation of informational, analytical, and spatial support regarding the state and level of land use of the nature reserve fund objects at the regional level using mathematical modelling methods, which creates a quantitative basis for permanent tracking and control over the use of the nature reserve fund objects.

The purpose of the study is to use mathematical modelling tools to establish cause-and-effect relationships between the factors of land use of the nature reserve fund objects of the regions. In this context, the study has solved the following tasks: highlighting the practical aspects of mathematical modelling of the factors of land use of the nature reserve fund objects of the regions; characterisation of the adequacy criteria of the established relationships between the integral indicator of the level of land use of the nature reserve fund objects of the regions and factors using the method of neural networks. The results of mathematical modelling allow for forecasting changes in the integral indicator of the level of land use of the nature reserve fund objects of the regions depending on the relevant factors and for offering scientifically based recommendations for the development and implementation of monitoring of the formation of land use of the nature reserve fund objects of the regions.

The conducted analysis of the adequacy of the developed mathematical models of the influence of factors on the integral indicator of the level of land use of the nature reserve fund objects of the regions using the neural network method made it possible to confirm the completeness and reliability of the established relationships based on the low values of the relative error of the test sample.

Keywords: land use, objects of the natural reserve fund of the regions, methods, mathematical modelling, monitoring.