

О. Ю. МЕЛЬНИКОВ, кандидат технічних наук (PhD), доцент, Донбаська державна машинобудівна академія, доцент кафедри інтелектуальних систем прийняття рішень; м. Краматорськ, Україна; e-mail: alexandr@melnikov.in.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2701-8051>

В. О. ДЕНИСЕНКО, Донбаська державна машинобудівна академія, здобувачка вищої освіти, м. Краматорськ, Україна, e-mail: olegivna18@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0597-4567>

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ РІВНЯ ЛІСИСТОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕРВІСУ GLOBAL FOREST WATCH І МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ R

Розглядається проблема розрахунку рівня лісистості, у тому числі – прогнозування зміни лісистості в окремому лісництві. Наведено, що автори раніше розробили програмне забезпечення для розрахунку лісистості та оброблення інформації про лісові насадження на прикладі селища Співаківка в Ізюмському районі Харківської області. Також було зроблено порівняння лісистості за низку років з використанням ресурсу Global Forest Watch. З цього ресурсу були взяті зображення Придонецького лісництва з нанесеними умовними позначеннями: синім кольором зображені території, де відбувається висадка нових лісових насаджень, а рожевим – де відбувається вирубування. Кожне із завантажених зображень обраного лісництва запропоновано розділити на квадрати, а потім аналізувати дані по кожному квадрату. Було розраховано насиченість рожевим кольором та збережено у таблиці. Зазначено, що прогнозування зміни лісових насаджень на обраній ділянці, тобто зміни відсотка вирубки, можна зробити різними шляхами. По-перше, використати регресійний аналіз – застосувати рівняння регресії окремо до значень кожного квадрату, а також для усього лісництва. По-друге – сформулювати перелік вхідних факторів, що містять показники на обраній ділянці у два попередні роки та ці ж показники на сусідніх ділянках. Таким чином, кількість факторів буде дорівнювати 27: 26 вхідних та 1 вихідний (значення на досліджуваному квадраті). Таку задачу прогнозування можна розв'язати або методом багатофакторної лінійної регресії, або методом штучних нейронних мереж. Для проведення розрахунків за обома методами було використано мову програмування та аналізу даних R. Створено скрипт, який виконує розрахунки побудовою лінійної регресії та штучної нейронної мережі, а також дозволяє визначити найкращу архітектуру нейронної мережі та більш ефективний метод її навчання для певного набору даних. Наведено розрахунок динаміки вирубки у цілому лісництві (прогноз на останній рік забезпечує похибку в 1 %) та розрахунок динаміки вирубки на обраному квадраті (прогноз на останній рік забезпечує похибку в 3.5 %). Після численних запусків скрипту з'ясовано, що найкращий результат забезпечує перцептрон з двома прихованими шарами та двома нейронами у кожному шарі. Результати розрахунків свідчать про високу кореляцію даних для визначення відсотка лісу, який буде вирубуватися на визначеному квадраті. Застосування цього перцептрону для прогнозування на останній рік показало похибку в 3 %.

Ключові слова: рівень лісистості, вирубування лісу, Global Forest Watch, кольорова насиченість, прогнозування, регресійний аналіз, штучні нейронні мережі, мова R

Вступ. В Україні питання збереження лісів регулюється низкою законодавчих актів [1]. Створення та використання спеціалізованого програмного забезпечення для оцінювання лісистості, оброблення інформації про лісові насадження та виявлення незаконної вирубки лісу, прогнозування зміни лісистості в окремому лісництві може стати суттєвим помічником у цьому напрямку.

Огляд літератури. Застосування математичного моделювання та інформаційних технологій для обробки інформації про лісові насадження можна зустріти у низці наукових праць. Так, автори [2] аналізують питання впливу показників заповідності та лісистості території окремих територіальних одиниць як основних індикаторів оцінки стану довкілля з метою знаходження шляхів щодо збільшення площі природно-заповідного фонду Полтавщини, виконують порівняльний аналіз індикаторів оцінки стану навколишнього природного середовища окремих громад між собою та із рівнем значень даних показників державного та європейського рівня.

У роботі [3] для дослідження обсягів порушень намету деревостанів в Українських Карпатах упродовж 1984-2016 рр. використано часові ряди зображень, отриманих із супутникових знімків проекту «Landsat» із застосуванням засобу візуалізації «TimeSync». Авторами розраховували середню лісистість для всієї

досліджуваної території та навели перелік основних порушень, що були пов'язані як з антропогенними, так і з природними чинниками.

У роботі [4] досліджено стан лісових ресурсів України, побудовано імітаційну модель системної динаміки їхнього колообігу, визначено основні чинники впливу на розвиток лісового фонду та наслідки управління ним, здійснено прогнози основних показників лісового колообігу.

Роботи авторів та постановка задачі. Авторами розробили програмне забезпечення для розрахунку лісистості та оброблення інформації про лісові насадження [5] на прикладі селища Співаківка в Ізюмському районі Харківської області [6]. Також було зроблено порівняння лісистості за низку років [7], для чого було використано ресурс Global Forest Watch (Всесвітня лісова карта) [8] – вебдодаток для моніторингу лісового покриття планети в реальному масштабі часу. На цьому сайті опубліковано фотографії із супутників NASA за 13 років, алгоритми обробки зображень дозволяють детально підрахувати обсяги втрачених та вирослих лісів на кожній території та в кожній країні по роках.

З даного ресурсу були взяті зображення Придонецького лісництва (рис. 1) з нанесеними умовними позначеннями: синім кольором зображені території, де відбувається висадка нових лісових насаджень, а рожевим – де відбувається вирубування.

© Мельников О. Ю., Денисенко В. О., 2024



Дослідницька стаття: Цю статтю опубліковано видавництвом *НТУ «ХПІ»* у збірнику «Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології». Ця стаття поширюється за міжнародною ліцензією [Creative Commons Attribution \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). **Конфлікт інтересів:** Автор/и заявив/или про відсутність конфлікту.



Щоб визначити відсоток вирубки, необхідно розрахувати у відсотковому співвідношенні кількість рожевого кольору щодо інших. Формула знаходження відсотка вирубки за допомогою ресурсу Global Forest Watch:

$$V = \frac{P_r}{P_z} \cdot 10 \quad (1)$$

де V – відсоток вирубки;
 P_r – кількість пікселів рожевого кольору;
 P_z – загальна кількість пікселів на зображенні.

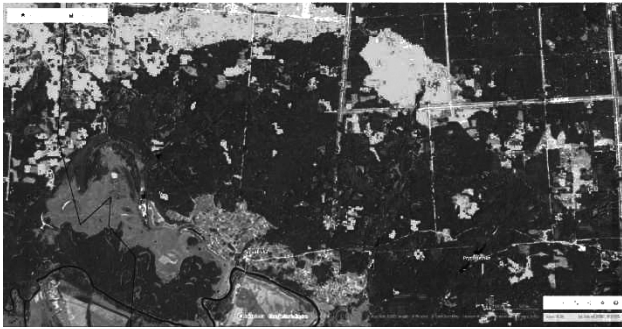


Рис. 1. Фото Придонецького лісництва у 2011 році

Оскільки нас цікавить не тільки загальна ситуація у лісництві [6], але і ситуація на окремих ділянках, кожне із завантажених зображень можна розділити на квадрати, а потім аналізувати дані по кожному квадрату (рис. 2). Для кожного квадрату було розраховано насиченість рожевим кольором (рис. 3) та збережено у таблиці (рис. 4) [9–10].



Рис. 2. Розподілення фото лісництва на 9 квадратів

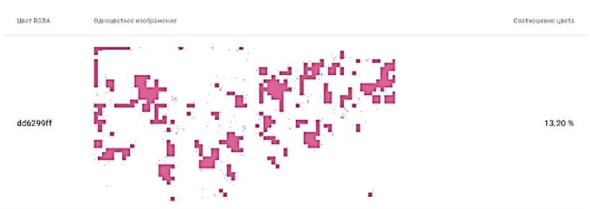


Рис. 3. Насиченість рожевим кольором для квадрата 11 за 2011 рік

Далі постає питання прогнозування зміни лісових насаджень на обраній ділянці, тобто зміни відсотка лісистості, або, навпаки, зміни відсотка вирубки.

Це можна зробити різними шляхами. По-перше, використати регресійний аналіз – застосувати рівняння регресії (лінійне, поліноміальне, експоненціальне тощо) окремо до значень кожного квадрату, а також для усього лісництва. Як показано на рис. 5, для прогнозування відсотка вирубки на усьому лісництві підходить лінійне рівняння (коефіцієнт певності апроксимації при цьому дорівнює 0.9845, що є гарним показником). Але для прогнозування на окремому

квадраті лінійне рівняння вже не підходить (коефіцієнт достовірності апроксимації $R^2 = 0.67$); найкращий показник у нашому випадку забезпечує експоненціальне рівняння ($R^2 = 0.74$). Можна підібрати «найкраще» рівняння для кожного квадрату.

2011	13,2	14,75	2,46			2012	13,12	14,72	2,48			2013	13,12	15,01	2,39	
	0,74	0,39	1,16	9,64			1,34	0,39	1,53	10,17			1,2	0,43	1,72	10,4
	0	0,22	0,17				0	0,29	0,38				0	0,32	0,61	
2014	13,02	14,98	2,02			2015	13,87	13,7	0,25			2016	13,5	14,98	2,54	
	2,09	0,41	1,86	10,75			1,78	2,06	2,21	11,05			3,17	0,85	3,28	11,73
	0	0,17	0,71				0	0,27	1,42				0	0,25	1,82	
2017	13,38	15,05	2,29			2018	13,47	15,02	2,29			2019	13,19	14,93	2,27	
	3,82	0,88	3,09	11,88			3,03	1,91	3,34	12,64			3,27	1,81	3,23	12,77
	0,001	0,2	1,86				0,01	0,21	1,86				0,001	0,33	1,9	
2020	12,93	15,85	2,32			2021	13,45	15,54	2,39							
	3,37	1,91	3,83	13,04			3,42	2,04	3,7	13,34						
	0,002	0,27	2,04				0,001	0,35	2,06							

Рис. 4. Зведені дані по відсоткам вирубування за 2011–2021 роки

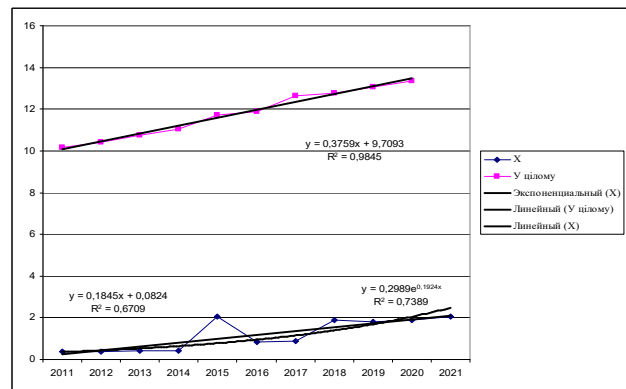


Рис. 5. Прогнозування рівняннями регресії

Інший шлях – формування переліку вхідних факторів. Як вхідні фактори можна розглядати, по-перше, показники на обраній ділянці у попередні роки (нехай це значення буде дорівнювати двом), а по-друге, ці ж показники на сусідніх ділянках [11]. Оскільки ми маємо значення по 9 (0.8) квадратах за три роки, то кількість факторів буде дорівнювати 27: 26 вхідних та 1 вихідний (значення на досліджуваному квадраті):

$$Y = F(X_{0m1}, X_{0m2}, X_{11}, X_{11m1}, \dots, X_{33m2}) \quad (2)$$

Після обробки даних з рис. 4 за формулою (2) отримаємо результат, що наведено на рис. 6.

Таку задачу прогнозування можна розв’язати різними математичними методами, наприклад, методом багатофакторної лінійної регресії або методом штучних нейронних мереж [12].

Результати розрахунків. Для проведення розрахунків за обома методами було використано мову програмування та аналізу даних R [13]. Створено скрипт, який виконує розрахунки побудовою лінійної регресії та штучної нейронної мережі, а також дозволяє визначити найкращу архітектуру нейронної мережі та більш ефективний метод її навчання для певного набору даних.

Рік	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
2013	0.43	0.39	0.39	13.12	13.12	13.2	15.01	14.72	14.75	2.39	2.48	2.46	1.2	1.34	0.74	1.72	1.53	1.16	0	0	0	0.32	0.29	0.22
2014	0.41	0.43	0.39	13.02	13.12	13.12	14.98	15.01	14.72	2.02	2.39	2.48	2.09	1.2	1.34	1.86	1.72	1.53	0	0	0	0.17	0.32	0.29
2015	2.06	0.41	0.43	13.87	13.02	13.12	13.7	14.98	15.01	0.25	2.02	2.39	1.78	2.09	1.2	2.21	1.86	1.72	0	0	0	0.27	0.17	0.32
2016	0.85	2.06	0.41	13.5	13.87	13.02	14.98	13.7	14.98	2.54	0.25	2.02	3.17	1.78	2.09	3.28	2.21	1.86	0	0	0	0.25	0.27	0.17
2017	0.88	0.85	2.06	13.38	13.5	13.87	15.05	14.98	13.7	2.29	2.54	0.25	3.82	3.17	1.78	3.09	3.28	2.21	0.001	0	0	0.2	0.25	0.27
2018	1.91	0.88	0.85	13.47	13.38	13.5	15.02	15.05	14.98	2.29	2.29	2.54	3.03	3.82	3.17	3.34	3.09	3.28	0.01	0.001	0	0.21	0.2	0.25
2019	1.81	1.91	0.88	13.19	13.47	13.38	14.93	15.02	15.05	2.27	2.29	2.29	3.27	3.03	3.82	3.23	3.34	3.09	0.0014	0.01	0.001	0.33	0.21	0.2
2020	1.91	1.81	1.91	12.93	13.19	13.47	15.85	14.93	15.02	2.32	2.27	2.29	3.37	3.27	3.03	3.83	3.23	3.34	0.0016	0.0014	0.01	0.27	0.33	0.21
2021	2.04	1.91	1.81	13.45	12.93	13.19	15.54	15.85	14.93	2.39	2.32	2.27	3.42	3.37	3.27	3.7	3.83	3.23	0.0014	0.0016	0.0014	0.35	0.27	0.33

Рис. 6. Оброблені дані для прогнозування

Розрахунок динаміки вирубки у цілому лісництві наведено в табл. 1. Можна побачити, що прогноз на останній рік забезпечує похибку в 1 %.

Таблиця 1 – Результати прогнозування вирубки у цілому лісництві

Рік	Y	Прогноз	Похибка
2011	9.64	9.687	0.004904
2012	10.17	10.066	0.010190
2013	10.40	10.445	0.004371
2014	10.75	10.825	0.006934
2015	11.05	11.204	0.013904
2016	11.73	11.583	0.012555
2017	11.88	11.962	0.006887
2018	12.64	12.341	0.023662
2019	12.77	12.720	0.003915
2020	13.04	13.099	0.004532
2021	13.34	13.478	0.010358

Розрахунок динаміки вирубки на обраному квадраті наведено в табл. 2. Можна побачити, що прогноз на останній рік забезпечує похибку в 3.5 %.

Таблиця 2 – Результати прогнозування вирубки на обраному квадраті

Рік	Y	Прогноз	Похибка
2011	0.39	0.2668	0.315851
2012	0.39	0.4513	0.157110
2013	0.43	0.6357	0.478436
2014	0.41	0.8202	1.000443
2015	2.06	1.0046	0.512312
2016	0.85	1.1891	0.398930
2017	0.88	1.3735	0.560847
2018	1.91	1.5580	0.184293
2019	1.81	1.7425	0.037318
2020	1.91	1.9269	0.008853
2021	2.04	2.1114	0.034982

Після численних запусків скрипту для різних параметрів кількості прихованих шарів та кількості нейронів у них з'ясовано, що найкращий результат забезпечує перцептрон з двома прихованими шарами та двома нейронами у кожному шарі (рис. 7). Результати розрахунків, що зведені до табл. 3, свідчать про високу кореляцію даних для визначення відсотка лісу, який буде вирубуватися на визначеному квадраті. Застосування цього перцептрону для прогнозування на останній рік показало похибку в 3 % (табл. 4).

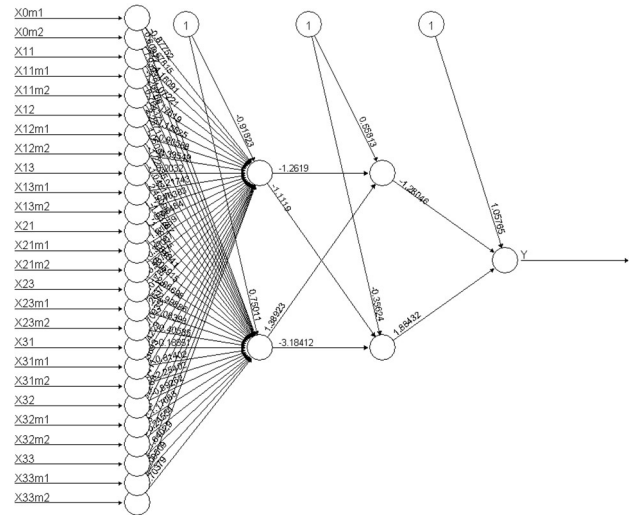


Рис. 7. Архітектура нейронної мережі

Таблиця 3 – Результати прогнозування тестової множини

N	Y	Прогноз	Похибка
1	0.43	0.4451	0.00917
6	1.91	1.8098	0.06075
9	2.04	1.9290	0.06730

Таблиця 4 – Результати прогнозування на обраному квадраті MLP 26x2x2x1

Рік	Y	Прогноз	Похибка
2011	2.04	1.99	0.03097

Висновки. Наведено математичну модель та розрахунки прогнозування зміни рівня лісистості за допомогою сервісу Global Forest Watch і мови програмування та аналізу даних R. Використано регресійний аналіз – застосовано рівняння регресії окремо до значень кожного квадрату, а також для усього лісництва. Сформовано перелік входних факторів, що містять показники на обраній ділянці у два попередні роки та ці ж показники на сусідніх ділянках. Другу задачу прогнозування розв'язано методами багатофакторної лінійної регресії та методом штучних нейронних мереж. Створено скрипт мовою програмування та аналізу даних R, який виконує розрахунки ціми методами, а також дозволяє визначити найкращу архітектуру нейронної мережі та більш ефективний метод її навчання для певного набору даних. Наведено розрахунок динаміки вирубки у цілому лісництві (прогноз на останній рік забезпечує похибку в 1 %) та розрахунок динаміки вирубки на обраному квадраті (прогноз на останній рік забезпечує похибку в 3.5 %).

З'ясовано, що найкращий результат забезпечує перцептрон з двома прихованими шарами та двома нейронами у кожному шарі. Результати розрахунків свідчать про високу кореляцію даних для визначення відсотка лісу, який буде вирубуватися на визначеному квадраті. Застосування цього перцептрон для прогнозування на останній рік показало похибку в 3 %.

Список використаної літератури

1. Знищення лісів: причини і наслідки. URL: <https://tvr.biographiya.com/znishhennya-lisiv-prichini-i-naslidki/> (дата звернення: 21.03.2024).
2. Голік Ю. С., Чепурко Ю. В., Смоляр Н. О. Показники лісистості та заповідності територій, як одні з базових індикаторів оцінки екологічної безпеки. *Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022*: Дніпро: Середняк Т. К., 2022. С. 21–30.
3. Часковський О. Г., Карабчук Д. Ю., Іванюк А. П. Зміни лісового вкриття Українських Карпат за період 1984–2016 років. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 2. С. 9–14.
4. Негреї М. В., Гнот Т. В. Моделювання динаміки лісових ресурсів України. *Збірник науково-технічних праць «Науковий вісник НЛТУ України»*. 2014, вип. 24.9. С. 347–355.
5. Мельников О. Ю., Денисенко В. О. Програмне забезпечення для розрахунку лісистості та оброблення інформації про лісові насадження. *Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції «Використання інформаційних технологій для оптимізації процесів виробництва сільськогосподарської продукції та управління підприємствами» (Агро-ІТ)*, (м. Київ, 23-24 березня 2023 р.) / Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. Київ, 2023. С. 39–42.
6. Співаківка (Ізюмський район). *Вікіпедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Співаківка_\(Ізюмський_район\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Співаківка_(Ізюмський_район)) (дата звернення: 21.03.2024).
7. Денисенко В. О., Мельников О. Ю. Дослідження збільшення вирубки лісу на території Придонецького лісництва. *Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні: матеріали VI Всеукраїнської наук.-практ. Інтернет-конф. здобувачів вищої освіти та молодих вчених (30 листопада 2023 р., м. Хмельницький, м. Херсон) / за ред. А. А. Григорової*. Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2023. С. 161–163.
8. *Global Forest Watch*. URL: <https://www.globalforestwatch.org/> (дата звернення: 21.03.2024).
9. Мельников О. Ю., Денисенко В. О. Дослідження зміни вирубування лісу за допомогою додатка власної розробки та сервісу Global Forest Watch. *Збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції «Використання інформаційних технологій для оптимізації процесів виробництва сільськогосподарської продукції та управління підприємствами» (Агро-ІТ)*, (м. Київ, 28-29 березня 2024 р.) / Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. Київ, 2024. У друку.
10. *Обробка фото онлайн*. URL: <https://www.imgonline.com.ua/cut-photo-into-pieces-result.php> (дата звернення: 21.03.2024).
11. Мельников О. Ю., Денисенко В. О. Задача прогнозування зміни щільності лісових насаджень. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції*. Черкаси, 2024. С. 347–349.
12. Гітис В. Б. *Нейромережні технології: навчальний посібник*. Краматорськ: ДДМА, 2021. 248 с.
13. Мельников О. Ю. *R – мова програмування та аналізу даних: навчальний посібник для здобувачів вищої освіти за спеціальностями «Системний аналіз» та «Інформаційні системи та технології»*. Краматорськ: ДДМА, 2023. 272 с.
1. *Znyshhennya lisiv: prychny i naslidky* [Deforestation: causes and consequences]. Available at: <https://tvr.biographiya.com/znishhennya-lisiv-prichini-i-naslidki/> (accessed 21.03.2024).
2. Golik Yu. S., Chepurko Yu. V., Smolyar N. O. Pokaznyky lisystosti ta zapovidnosti terytorij, yak odni z bazovyx indyikatoriv ocinky ekologichnoyi bezpeky [Indicators of forest cover and protected areas, as one of the basic indicators of environmental safety assessment]. *Podolannya ekologichnyx ryzykiv ta zagroz dlya dovkillya v umovax nadzvychajnyx sytuacij – 2022: kol. monogr.* [Overcoming ecological risks and threats to the environment in emergency situations – 2022]. Dnipro: Serednyak T. K. Publ., 2022, pp. 21–30.
3. Chaskovskiy O. G., Karabchuk D. Yu., Ivanyuk A. P. Zminy lisovogo vkrityta Ukrayinskyx Karpat za period 1984–2016 rokov [Changes in the forest cover of the Ukrainian Carpathians for the period 1984–2016]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny* [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine]. 2019, vol. 29, no. 2, pp. 9–14.
4. Negrej M. V., Gnot T. V. Modelyuvannya dynamiky lisovyx resursiv Ukrayiny [Modeling the dynamics of forest resources of Ukraine]. *Zbirnyk nauково-technichnyx pracz «Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny»* [Collection of scientific and technical works "Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine"]. 2014, issue 24.9, pp. 347–355.
5. Melnykov O. Yu., Denysenko V. O. Programme zabezpechennya dlya rozrakhunku lisystosti ta obroblyennya informaciyi pro lisovi nasadzhennya [Software for calculating forest cover and processing information about forest stands]. *Zbirnyk materialiv III Mizhnarodnoyi nauково-praktychnoyi konferenciyi «Vykorystannya informacijnyx tehnologij dlya optimizaciyi procesiv vyrobnyctva silskogospodarskoyi produkciyi ta upravlinnya pidpryyemstvamy» (Agro-IT)*, (m. Kyiv, 23-24 bereznya 2023 r.) / Sxidnoukrayinskij nacionalnyj universytet imeni Volodymyra Dalya [Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference "Using Information Technologies for Optimizing the Processes of Agricultural Production and Enterprise Management" (Agro-IT), (Kyiv, March 23-24, 2023) / Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dal]. Kyiv, 2023, pp. 39–42.
6. *Spivakivka (Izjumskij rajon)*. *Vikipediya* [Spivakivka (Izjum district). Wikipedia]. Available at: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Співаківка_\(Ізюмський_район\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Співаківка_(Ізюмський_район)) (accessed 21.03.2024).
7. Denysenko V. O., Melnykov O. Yu. Doslidzhennya zbilshennya vyrobky lisu na terytoriyi Prydoneczkogo lisyctva [Research on the increase in deforestation in the territory of the Prydonetsk Forestry]. *Suchasni kompjuterni systemy ta merezi v upravlinni: materialy VI vseukrayinskoyi nauk.-prakt. Internet-konf. zdobuvachiv vyshhoji osvity ta molodyx vchenykh (30 lystopada 2023 r., m. Xmelnytskyj, m. Xerson) / za red. A. A. Grygorovoyi* [Modern computer systems and networks in management: materials of the VI All-Ukrainian Science-Practice. Internet Conf. of higher education graduates and young scientists (November 30, 2023, Khmelnytskyi, Kherson) / edited by A. A. Grigорова]. Kherson: Book publishing house FOP Vyshemyrskiy V.S. Publ., 2023, pp. 161–163.
8. *Global Forest Watch*. Available at: <https://www.globalforestwatch.org/> (accessed 21.03.2024).
9. Melnykov O. Yu., Denysenko V. O. Doslidzhennya zminy vyrubuvannya lisu za dopomogyu dodatka vlasnoyi rozrobky ta servisu Global Forest Watch [Investigating changes in deforestation using a self-developed app and Global Forest Watch service.]. *Zbirnyk materialiv IV Mizhnarodnoyi nauково-praktychnoyi konferenciyi «Vykorystannya informacijnyx tehnologij dlya optimizaciyi procesiv vyrobnyctva silskogospodarskoyi produkciyi ta upravlinnya pidpryyemstvamy» (Agro-IT)*, (m. Kyiv, 28-29 bereznya 2024 r.) / Sxidnoukrayinskij nacionalnyj universytet imeni Volodymyra Dalya [Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference "Using Information Technologies for Optimizing the Processes of Agricultural Production and Management of Enterprises" (Agro-IT), (Kyiv, March 28-29, 2024) / Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dal]. Kyiv, 2024. In print.
10. *Obrobka foto onlajn* [Online photo processing]. Available at: <https://www.imgonline.com.ua/cut-photo-into-pieces-result.php> (accessed 21.03.2024).
11. Melnykov O. Yu., Denysenko V. O. Zadacha prognosuvannya zminy shhilnosti lisovyx nasadzen [The problem of forecasting changes in the density of forest stands]. *Avtomatyzaciya ta kompjuterno-integrovani tehnologiyi u vyrobnyctvi ta osviti: stan, dosyagnennya, perspektyvy rozvytku: materialy vseukrayinskoyi nauково-*

References (transliterated)

1. *Znyshhennya lisiv: prychny i naslidky* [Deforestation: causes and consequences]. Available at: <https://tvr.biographiya.com/znishhennya-lisiv-prichini-i-naslidki/>

- praktychnoyi Internet-konferenciyi* [Automation and computer-integrated technologies in production and education: state, achievements, development prospects: materials of the All-Ukrainian scientific and practical Internet conference]. Cherkasy, 2024, pp. 347–349.
12. Gitis V. B. *Nejromereshni tehnologiyi: navchalnyj posibnyk* [Neural network technologies: a tutorial]. Kramatorsk: DDMA Publ., 2021. 248 p.
13. Melnykov O. Yu. *R – mova programuvannya ta analizu danyx: navchalnyj posibnyk dlya zdobuvachiv vyshhoyi osvity za specialnostyamy «Systemnyj analiz» ta «Informacijni systemy ta tehnologiyi»* [R – the language of programming and data analysis: a study guide for students of higher education majoring in "System Analysis" and "Information Systems and Technologies"]. Kramatorsk: DDMA Publ., 2023. 272 p.

Надійшла (received) 30.04.2024

UDC 004.41:502.57

O. Yu. MELNYKOV, Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Donbas State Engineering Academy, Associate Professor at the Department of Intelligent Decision Making Systems; Kramatorsk, Ukraine; e-mail: alexandr@melnikov.in.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2701-8051>

V. O. DENYSENKO, Donbas State Engineering Academy, Student, Kramatorsk, Ukraine, e-mail: olegivna18@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0597-4567>

FORECASTING CHANGE IN THE LEVEL OF FOREST COVERAGE USING THE GLOBAL FOREST WATCH SERVICE AND THE PROGRAMMING AND DATA ANALYSIS LANGUAGE R

The problem of calculating the level of forest cover is considered, including forecasting changes in forest cover in individual forestry. It is stated that the authors previously developed software for calculating forest cover and processing information about forest plantations using the example of the village of Spivakivka in the Izyum district of the Kharkiv region. A comparison of forest cover over a number of years was also made using the Global Forest Watch resource. From this resource, images of Prydonetsk Forestry were taken with conventional designations: areas where new forest plantations are being planted are shown in blue, and areas where cutting is taking place are shown in pink. It is proposed to divide each of the uploaded images of the selected forestry into squares, and then analyze the data for each square. The pink color saturation was calculated and stored in the table. It is noted that forecasting the change in forest stands on the selected site, that is, the change in the percentage of felling, can be done in different ways. First, use regression analysis - apply the regression equation separately to the values of each square, as well as to the entire forestry. Secondly, to form a list of input factors containing indicators on the selected plot in the two previous years and the same indicators on neighboring plots. Thus, the number of factors will be equal to 27: 26 input and 1 output (values on the studied square). Such a forecasting problem can be solved either by the method of multivariate linear regression or by the method of artificial neural networks. The R programming and data analysis language was used to perform calculations using both methods. A script was created that performs calculations by constructing regression lines and an artificial neural network, and also allows determining the best architecture of a neural network and a more effective method of its training for a certain data set. The calculation of the felling dynamics in the entire forestry (the forecast for the last year provides an error of 1 %) and the calculation of the felling dynamics in the selected square (the forecast for the last year provides an error of 3.5 %) are given. After many runs of the script, it was found that the best result is provided by a perceptron with two hidden layers and two neurons in each layer. The results of the calculations indicate a high correlation of the data for determining the percentage of forest that will be cut down in a certain square. Application of this perceptron for forecasting for the last year showed an error of 3 %.

Keywords: level of forest cover, deforestation, Global Forest Watch, color saturation, forecasting, regression analysis, artificial neural networks, R language.

Повні імена авторів / Author's full names

Автор 1 / Author 1: Мельников Олександр Юрійович, Melnykov Oleksandr Yuriyovych

Автор 2 / Author 2: Денисенко Вікторія Олегівна, Denysenko Viktoriia Olegivna