

УДК 628.1:543.3(477.83)

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА РІЧКОВО-БАСЕЙНОВУ СИСТЕМУ РАТИ

Людмила Курганевич , Юрій Андрейчук , Ольга Блажівська 

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. П. Дорошенка, 41, м. Львів, Україна, 79007
e-mail: lkurhanevych@gmail.com, yuriy.andreychuk@gmail.com,
blazivskaola@gmail.com*

Проведено дослідження антропогенного впливу на басейн річки Рата – ліву притоку Західного Бугу (басейн Вісли), довжиною 78,5 км та площею басейну 1 813 км². Аналіз здійснено в межах виділених суббасейнів Рати шляхом побудови серії картографічних моделей із використанням ліцензійного програмного забезпечення ESRI ArcGIS Pro. Перевагою використання геоінформаційних технологій є перетворення великих масивів геопросторових даних при збереженні високої точності та вірогідності.

Для визначення структури водотоків та їхніх басейнів, які безпосередньо впадають у річку Рата розроблено алгоритм виділення суббасейнів, що включав: 1) підбір великомасштабних топографічних даних; 2) розроблення структури бази геоданих; 3) перевірку топологічної коректності гідрографічної мережі; 4) створення гідрологічно коректної цифрової моделі рельєфу (HDEM); 5) заповнення локальних понижень; 6) створення моделі акумуляції стоку; 7) побудову моделі сегментованих водотоків; 8) створення растрової моделі басейнів; 9) перетворення отриманої моделі басейнів у векторні структури даних; 10) формування векторної структури гідрографічної мережі. Для автоматизації повторюваних процесів при виділенні суббасейнів застосовано програмування у середовищі *Python* з використанням модуля *ArcPy*.

У межах басейну Рати розташовано 171 населений пункт. Найбільша кількість населених пунктів знаходиться у басейні річки Свиня – 54 шт., найменше в басейні річки Болотня – 5 шт. Найбільша густота населення в долині річки Рата (109 осіб/км²), найменша в басейні річки Болотня (18 осіб/км²). Загальна площа заліснення басейну становить 34,58 %. Найбільше залісненням є басейн річки Болотня (55,88 %), найменше басейн річки Мощанка (23,59 %). Найбільша густота доріг приляганна басейну річки Мощанка (2,48 км/км²), а найменша простежується в найменш заселеному басейні річки Болотня (0,71 км/км²). У межах окремих водозборів густота гідрографічної мережі коливається від 1,14 км/км² (басейн річки Свиня) до 2,48 км/км² (басейн річки Мощанка) та понад 4 км/км² (басейн річки Желдець). Значна густота гідромережі району досліджень визначається високим рівнем меліоративного навантаження на річковий басейн.

Аналіз представлених картографічних матеріалів показує, що в межах басейну річки Болотня існують сприятливі умови (значне заліснення, помірне поселенське навантаження, невелика густота доріг тощо) для розгляду його як потенційного об'єкта щодо включення в державну програму з ревіталізації малих річок.

Ключові слова: річка, басейн річки, антропогенне навантаження, геоінформаційне моделювання.

Актуальність проблеми. Серед основних проблем у галузі використання й охорони вод та відтворення водних ресурсів, окреслених у Водній стратегії України на період до 2050 р. зазначено, що переважна більшість поверхневих водних масивів у нашій країні має “задовільний”, “поганий” і “дуже поганий” екологічний стан. Водні об’єкти зазнають значного антропогенного навантаження та потребують проведення комплексних наукових досліджень їх геоекологічного стану з використанням сучасних методів і технологій. *Об’єктом дослідження* обрано річку Рата – ліву притоку Західного Бугу (транскордонної водної артерії України, Білорусі і Польщі). Інтеграція України в Європейський законодавчий простір супроводжується вибудовою добросусідських відносин у різних галузях, зокрема й управлінні водними ресурсами. Фахівці Басейнового управління водними ресурсами річок Західного Бугу та Сяну спільно з польськими колегами проводять комплексний моніторинг якості річкових вод, використовуючи досвід гідроекологічних досліджень при формуванні Плану управління річковим басейном. Важливою складовою такого плану є характеристика антропогенного навантаження та аналіз джерел забруднення поверхневих вод. Тому, *актуальним науковим завданням* є проведення комплексних геоекологічних досліджень річково-басейнових систем із застосуванням новітніх геоінформаційних технологій аналізу інформації шляхом побудови серії картографічних моделей.

Мета дослідження – оцінити рівень антропогенного навантаження на річково-басейнову систему Рати засобами геоінформаційного моделювання та картографування. Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі *завдання*: 1) аналіз досвіду геоекологічних досліджень річкових басейнів; 2) розроблення алгоритму виділення суббасейнів; 3) побудова серії картографічних моделей із використанням сучасних геоінформаційних технологій; 4) оцінка видів та рівня антропогенного впливу на басейн річки, виявлення його геопросторової диференціації; 5) розробка пропозицій щодо ревіталізації та охорони малих водотоків.

Різнопланові наукові дослідження річково-басейнової системи Західного Бугу (зокрема річки Рата) проводили багато науковці: І. Ковальчук (1997), Л. Курганевич (2001), М. Забокрицька (2006), В. Клименко (2007) та ін. Л. Курганевич і Л. Вербенець провели оцінку антропогенного навантаження на річку Рата шляхом вивчення сукупності характеристик, які відображають структуру землекористування в межах адміністративно-територіальних утворень (сільських та селищних рад) [4].

З погляду еколого-географічного аналізу річкового басейну запропоновано використовувати такий комплекс показників: морфометричні (прості та структурні), природного стану (геоморфологічні, педо- і фітоценологічні, гідрометеорологічні), техногенного впливу (сільськогосподарське використання земель, промислове навантаження, поселенське освоєння, меліорація земель, охорона природи та рекреація), екологічного стану (якість поверхневих вод річки, забрудненість ґрунтово-рослинного покриву басейну, забрудненість донних відкладів, забруднення атмосфери басейну, екологічний стан річкового басейну) тощо [3].

Характеристика антропогенного навантаження на річково-басейнову систему річки Рата здійснювалася з використанням досвіду геоекологічних досліджень у межах басейну річки Полтва [7]. Зокрема, аналіз антропогенного впливу проводився в межах виділених суббасейнів Рати та продемонстрував його просторову диференціацію й надав можливість провадити порівняльну оцінку шляхом побудови серії картографічних моделей. Перевагою використання геоінформаційних технологій є перетворення великих масивів геопросторових даних при збереженні високої точності та вірогідності.

Методика дослідження. Геоінформаційне моделювання антропогенного впливу на річково-басейнову систему Рати проводилося шляхом побудови серії картографічних моделей із використанням ліцензійного програмного забезпечення *ESRI ArcGIS Pro*.

Першим етапом досліджень було визначення структури водотоків та їхніх басейнів, які безпосередньо впадають у річку Рата. Алгоритм виділення суббасейнів включав (рис. 1): 1) підбір великомасштабних топографічних даних; 2) розроблення структури бази геоданих; 3) перевірку топологічної коректності гідрографічної мережі; 4) створення гідрологічно коректної цифрової моделі рельєфу (HDEM); 5) заповнення локальних понижень; 6) створення моделі акумуляції стоку; 7) побудову моделі сегментованих водотоків; 8) створення растрової моделі басейнів; 9) перетворення отриманої моделі басейнів у векторні структури даних; 10) формування векторної структури гідрографічної мережі.

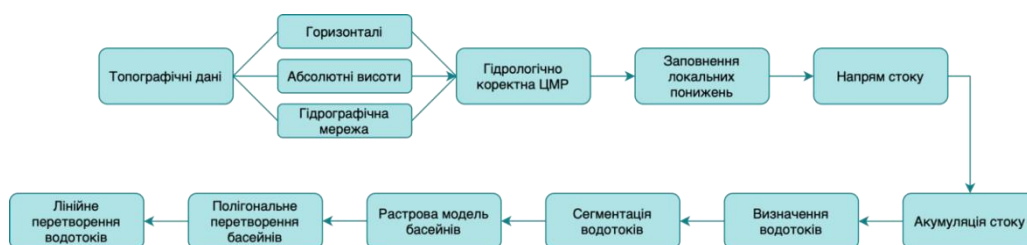


Рис. 1. Алгоритм виділення суббасейнів.

Fig. 1. Subbasin selection algorithm.

Для автоматизації повторюваних процесів при виділенні суббасейнів застосовано програмування в середовищі *Python* з використанням модуля *ArcPy* (рис. 2). Вхідною інформацією слугували великомасштабні топографічні карти, з яких векторизовано гіпсометричні та гідрографічні дані в межах басейну річки Рата.

```

1 import arcpy
2 from arcpy.sa import *
3
4 def Basins():
5
6     arcpy.env.workspace = r"D:\GIS_DATA\Persons\0\gablazivska\Batabasin\Batabasin_ArcGIS_Pro\Batabasin_ArcGIS_Pro.gdb", workspace
7
8     arcpy.env.overwriteOutput = True
9
10    arcpy.ImportToolbox(r"C:\Program Files\ArcGIS\Pro\Resources\ArcToolbox\Toolboxes\Arc_Hydro_Tools_Pro.tbx")
11
12    DEM_Raster = Raster("DEM28")
13
14    FillSinks = "FillSinks"
15    arcpy.arcpydropro.FillSinks(Input_DEM_Raster=DEM_Raster, Output_Hydro_DEM_Raster=FillSinks, Fill_Threshold=None, Input_Deranged_Polygon_Fea
16    print("Гідрологічно коректна цифрова модель рельєфу створена!")
17
18    FlowDir = "FlowDir"
19    arcpy.arcpydropro.FlowDirection(FillSinks, FlowDir, None)
20    print("Модель напрямку стоку створена!")
21
22    FlowAcc = "FlowAcc"
23    arcpy.arcpydropro.FlowAccumulation(FlowDir, FlowAcc)
24    print("Модель акумуляції стоку створена!")
25
26    StrDef = "StrDef"
27    arcpy.arcpydropro.StreamDefinition(FlowAcc, 7184, StrDef, 28.4736)
28    print("Модель безперервної потікості створена!")
29
30    StrSeg = "StrSeg"
31    arcpy.arcpydropro.StreamSegmentation(StrDef, FlowDir, StrSeg, None, None)
32    print("Модель сегментованих каналів створена!")
33
34    CatchmentGrid = "CatchmentGrid"
35    arcpy.arcpydropro.CatchmentGridDefinition(FlowDir, StrSeg, CatchmentGrid)
36    print("Модель басейнів створена!")
37
38    CatchmentFc = "Hydrology\Catchments"
39    arcpy.arcpydropro.CatchmentPolygonProcessing(CatchmentGrid, CatchmentFc)
40    print("Басейни створено!")
    
```

Рис. 2. Фрагмент коду, який використовувався для виділення суббасейнів.

Fig. 2. The code fragment that was used to select the subbasins.

Результати дослідження. Річка Рата є транскордонною водною артерією в Польщі та Україні, ліва притока Західного Бугу (басейн Вісли), довжиною 78,5 км та площею басейну 1 813 км². Аналіз антропогенного навантаження на річково-басейнову систему нами проводився в межах виділених п'яти басейнів малих допливів та долини річки Рата (табл.). Це дало можливість здійснити порівняльний аналіз і виявити просторову диференціацію техногенного впливу на компоненти довкілля ліво- та правобережжя, верхньої, нижньої частини водозбору та дозволило деталізувати оптимізаційні природоохоронні заходи з урахуванням виявлених локальних закономірностей та конкретних екологічних проблем.

Таблиця

Основні гідрографічні характеристики річок басейну річки Рата
(укладено за [5] з доповненнями)
Main hydrographic characteristics of the rivers of the Rata river basin
(compiled according to [5] with additions)

№ з/п	Назва річки	Куди впадає (з якого боку)	Довжина, км	Площа водозбору, км ²	Ширина русла, м	Ширина заплави, м	Похил, м/км
1	Рата	Зх. Буг (лв)	78,5	1813	15–20	1000	1,2
	Долина річки Рати	Зх. Буг (лв)	78,5	371	15–20	1000	1,2
2	Желдець	Рата (пр)	35,9	259	8–10	400	1,1
3	Свиня	Рата (пр)	43,4	546	5–10	500	1,5
4	Біла	Рата (пр)	40,4	183	3–6	800	2,5
5	Мощанка	Рата (пр)	38	202	8–10	500	3,6
6	Болотня	Рата (лв)	40,3	250	5–7	300	0,7

У межах басейну Рати розташовано 171 населений пункт (рис. 3), серед яких за новою класифікацією [6]: міст – 1 од., селищ – 2 од., села – 168 од. Найбільша кількість населених пунктів знаходиться у басейні річки Свиня – 54 од., найменше в басейні річки Болотня – 5 од. Загальна кількість населення в межах території дослідження становить 115 571 особу. Найбільша кількість населення проживає в долині річки Рата і налічує 40 350 осіб, найменша в басейні річки Болотня – 4 546 осіб. Середня густота населення в межах території дослідження становить близько 64 особи/км². Найбільша густота населення в долині річки Рата (109 осіб/км²), найменша в басейні річки Болотня (18 осіб/км²).

Розміщення населених пунктів уздовж прибережної смуги призводить до засмічення річок побутовими відходами та господарськими стоками із приватних садиб. Це створює додаткове навантаження на водотоки та знижує їхню самоочисну здатність й призводить до погіршення якості води в річці.

За геоботанічним районуванням басейн Рати розташований у межах Центрально-європейської провінції (Південнопольській-Західноподільській підпровінції), Розтоцькому і Малополицькому округах [2]. Ліси переважно сосново-дубові та букові. У заплавах річок поширена лучна та болотиста рослинність, крупнозлакові та дрібнозлакові види рослин (костриця лучна, вівсюнець лучний, стокolos безостий, очерет звичайний, лепешняк плаваючий, осока струнка та інші). Найбільш залісненими є привододільні ділянки річок, що добре прослідковується на загальній картосхемі лісистості басейну Рати [1]. Загальна площа заліснення басейну становить 34,58 %. Найбільш залісненим є басейн річки Болотня (55,88 %), найменше басейн річки Мощанка (23,59 %) (рис. 4).

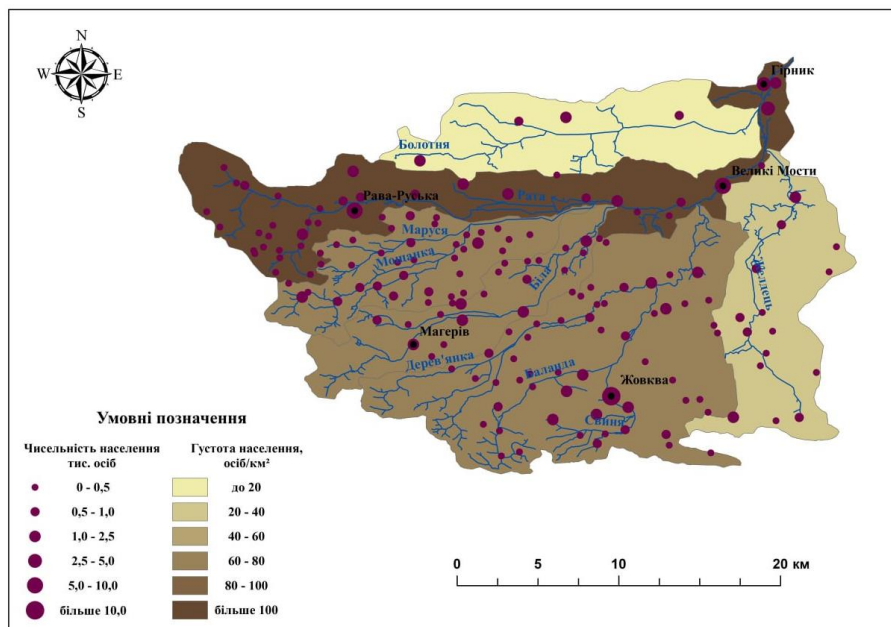


Рис. 3. Чисельність та густина населення в межах басейну річки Рата.
Fig. 3. The number and density of the population within the Rata river basin.

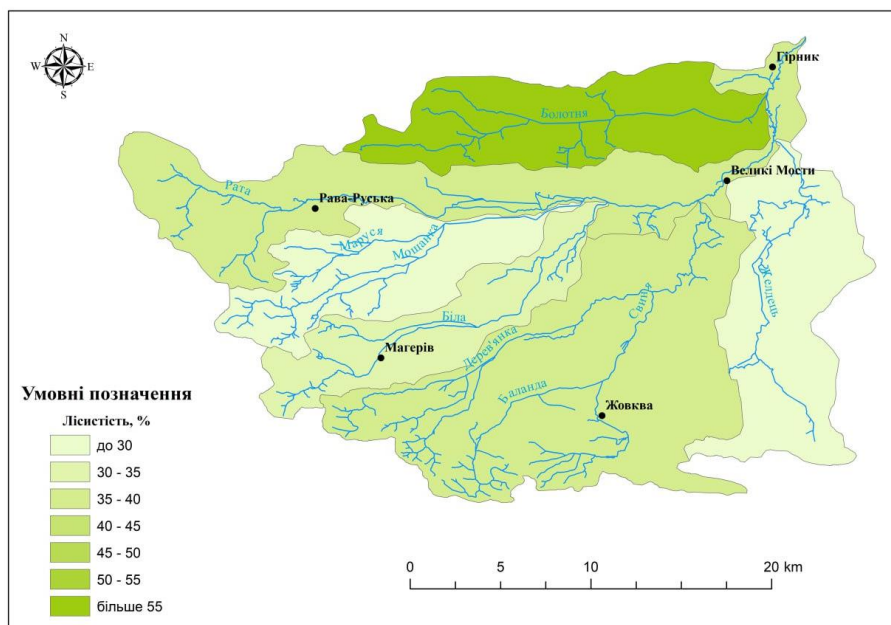


Рис. 4. Лісистість території басейну річки Рата.
Fig. 4. Woodiness of the territory of the Rata river basin.

Сумарна довжина автомобільних доріг у межах басейну річки Рата становить 3 390,12 км. Загальна густота доріг у межах території дослідження складає 1,87 км/км². Найбільша густота доріг притаманна для басейну річки Мощанка (2,48 км/км²), а найменша простежується в найменш заселеному басейні – річки Болотня (0,71 км/км²) (рис. 5).

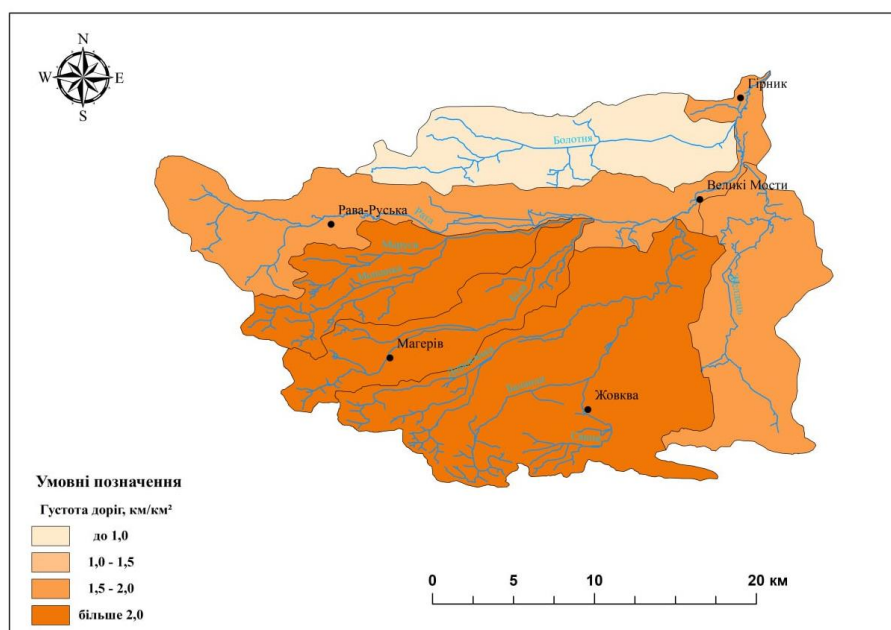


Рис. 5. Густота доріг у межах водозборів басейну річки Рата.

Fig. 5. The density of roads within the watersheds of the Rata river basin.

Сумарна довжина річкової мережі в межах басейну річки Рата становить 3467,82 км (рис. 6). Загальна густота гідрографічної мережі в межах басейну складає 1,91 км/км².

У межах окремих водозборів густота гідрографічної мережі коливається від 1,14 км/км² (басейн річки Свиня) до 2,48 км/км² (басейн річки Мощанка) та понад 4 км/км² (басейн річки Желдець). Значна густота гідромережі району досліджень визначається високим рівнем меліоративного навантаження на річковий басейн.

Висновки. Дослідження геоecологічного стану річково-басейнових систем є важливим напрямом наукових досліджень у контексті євроінтеграційної водоохоронної політики України, яка реалізується шляхом затвердження Планів управління річковими басейнами. Створення геоінформаційно-картографічних моделей стану, функціонування та трансформації річково-басейнових під впливом господарської діяльності стане інструментом прийняття рішень для визначення шляхів досягнення екологічних цілей загалом для району річкового басейну.

Басейн річки Рата характеризується значним господарським освоєнням: середня густота населення становить близько 64 особи/км²; площа заліснення – 34,58 %; загальна густота доріг – 1,87 км/км²; густота гідромережі – 1,91 км/км².

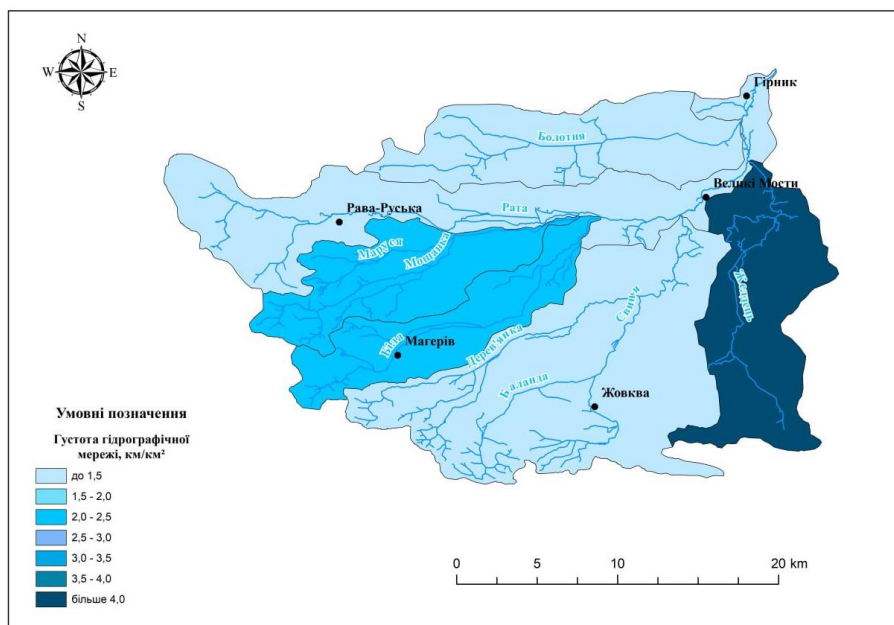


Рис. 6. Густина річкової мережі в межах водозборів басейну річки Рата.

Fig. 6. The density of the river network within the watersheds of the Rata river basin.

Виконане геоінформаційне моделювання антропогенного навантаження на річково-басейнову систему Рати та аналіз представлених картографічних матеріалів показує, що в межах басейну річки Болотня існують сприятливі умови (значне заліснення – орієнтовно 56 %, помірне поселенське навантаження – 18 осіб/км², невелика густина доріг – 0,71 км/км² тощо) для розгляду його як потенційного об'єкта щодо включення в державну програму з ревіталізації малих річок. Тому, наші подальші дослідження спрямуватимуться на проведення детальних польових обстежень та картуванні заплавно-руслового комплексу, аналізу якості річкових вод і розробки конкретних водоохоронних заходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Блажівська О. Гідроекологічний стан басейну р. Рата. *Реалії, проблеми та перспективи розвитку географії, екології, туризму та сфери гостинності в Україні* : матер. XXIV-ї Всеукр. студ.-аспир. наук. конф. (м. Львів, 8–9 червня 2023 року). Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2023. С. 6–10.
2. Львівська область: природні умови та ресурси : монографія / за заг. ред. д-ра геогр. наук, проф. М. М. Назарука. Львів : Видавництво Старого Лева, 2018. 592 с.
3. Курганевич Л. П. Еколого-географічний аналіз річкового басейну Рати. *Наукові записки Тернопіль. націон. педагог. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер.: географія*. 2006. № 2. С. 199–206.
4. Курганевич Л., Вербенець Л. Оцінка антропогенного навантаження на річково-басейнову систему Рата. *Вісник Львів. ун-ту. Сер. географ.* 2014. Вип. 47. С. 164–170.

5. Природа Львівської області / за ред. К. І. Геренчука. Львів : Вища школа, 1972. 151 с.
6. Про порядок вирішення окремих питань адміністративно-територіального устрою України : Закон України від 28 липня 2023 р. № 3285-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3285-20#Text>.
7. Шіпка М. З., Курганевич Л. П. Геоекологічний аналіз річково-басейнової системи Полтви : монографія. Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2023. 184 с.

REFERENCES

1. Blazhivska, O. (2023). Hidroekologichnyi stan baseinu r. Rata. *Realii, problemy ta perspektyvy rozvytku heohrafii, ekolohii, turyzmu ta sfery hostynnosti v Ukraini* : materialy XXIV-i Vseukrainskoi studentsko-aspirantskoi naukovoï konferentsii (Lviv, 8–9 chervnia 2023 roku). Lviv : LNU im. Ivana Franka, 6–10 [in Ukrainian].
2. Nazaruka, M. M. (eds.) (2018). Lvivska oblast: pryrodni umovy ta resursy. Lviv : Vydavnytstvo Staroho Leva, 592 p. [in Ukrainian].
3. Kurhanevych, L. P. (2006). Ekoloho-heohrafichnyi analiz richkovoho baseinu Raty. *Naukovi zapysky TNPU. Serii: heohrafiia*, 2, 199–206 [in Ukrainian].
4. Kurhanevych, L., & Verbenets, L. (2014). Otsinka antropohennoho navantazhennia na richkovo-baseinovu systemu Rata. *Visnyk Lviv. un-tu. Ser. heohraf.*, 47, 164–170 [in Ukrainian].
5. Herenchuk, K. I. (eds.) (1972). Pryroda Lvivskoi oblasti. Lviv : Vyshcha shkola, 151 [in Ukrainian].
6. Pro poriadok vyrishennia okremykh pytan administratyvno-terytorialnoho ustroiu Ukrainy: Zakon Ukrainy vid 28 lypnia 2023 r. № 3285-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3285-20#Text> [in Ukrainian].
7. Shipka, M. Z., & Kurhanevych, L. P. (2023). Heoekologichnyi analiz richkovo-baseinovoï systemy Poltvy. Lviv : LNU imeni Ivana Franka, 184 [in Ukrainian].

Стаття: надійшла до редакції 12.01.2024
доопрацьована 02.05.2024
прийнята до друку 24.07.2024

GEOINFORMATION MODELING OF THE ANTHROPOGENIC
IMPACT ON THE RATA RIVER-BASIN SYSTEM

Liudmyla Kurhanevych, Yurii Andreichuk, Olha Blazhivska

Ivan Franko National University of Lviv,
41, P. Doroshenko Str., Lviv, Ukraine, 79007
e-mail: lkurhanevych@gmail.com, yuriy.andreychuk@gmail.com,
blazivskaola@gmail.com

A study of the anthropogenic impact on the Rata River basin – the left tributary of the Western Bug (the Vistula basin), with a length of 78.5 km and a basin area of 1813 km² – was conducted. The analysis was carried out within the selected sub-basins of the Rata by building a series of cartographic models using *ESRI ArcGIS Pro* license software. The advantage of using geoinformation technologies is the transformation of large arrays of geospatial data while maintaining high accuracy and reliability.

To determine the structure of watercourses and their basins, which directly flow into the Rata River, an algorithm for the selection of subbasins was developed, which included: 1) selection of large-scale topographic data; 2) development of the geodatabase structure; 3) checking the topological correctness of the hydrographic network; 4) creation of a hydrologically correct digital relief model (HDEM); 5) filling of local depressions; 6) creation of a flow accumulation model; 7) construction of a model of segmented watercourses; 8) creating a raster model of pools; 9) transformation of the received basin model into vector data structures; 10) formation of the vector structure of the hydrographic network. Programming in *Python* using the *ArcPy* module was used to automate repetitive processes in the allocation of subbasins.

There are 171 settlements within the Rata basin. The largest number of settlements is located in the basin of the Svyntsa River – 54 units, the smallest in the basin of the Bolotnia River – 5 units. The highest population density is in the valley of the Rata River (109 people/km²), the lowest in the basin of the Bolotnia River (18 people/km²). The total afforestation area of the basin is 34.58 %. The Bolotnia river basin is the most forested (55.88 %), the Moschanka river basin is the least forested (23.59 %). The highest density of roads is characteristic of the basin of the Moschanka River (2.48 km/km²), and the lowest is observed in the least populated basin of the Bolotnia River (0.71 km/km²). Within individual watersheds, the density of the hydrographic network ranges from 1.14 km/km² (the Svyntsa River basin) to 2.48 km/km² (the Moschanka River basin) and over 4 km/km² (the Zheldec River basin). The significant density of the water network in the research area is determined by the high level of meliorative load on the river basin.

The analysis of the presented cartographic materials shows that there are favorable conditions within the Bolotnia river basin (significant afforestation, moderate settlement load, low density of roads, etc.) for considering it as a potential object for inclusion in the state program for the revitalization of small rivers.

Keywords: river, river basin, anthropogenic load, geoinformation modeling.