

УДК 656:911.373(477.46)

Артем Борисов

МОДЕЛЮВАННЯ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ У ДАВНЬОРУСЬКОМУ ПОРОССІ

Artem Borysov

MODELING OF THE ROAD NETWORK IN THE POROSSYA RIVER REGION OF OLD RUS'IAN PERIOD

У роботі здійснено огляд тих методів реконструкції давньої комунікаційної мережі, що застосовуються в археології Південної Русі. Коротко описано основні параметри окремих проєктів реконструкції. Подано історію вивчення розташування шляхів у давньоруському Пороссі. Описано сутність та послідовність процесу моделювання дорожньої мережі в регіоні. Описано застосування графу Габріеля. Описано теоретичну основу аналізу системи заселення на основі реконструйованої мережі шляхів сполучення.

Ключові слова: комунікаційна мережа, граф Габріеля, система заселення, археологія, давні населені пункти, доба середньовіччя, Поросся.

The paper reviews the methods of reconstruction of the ancient communication network used in the archeology of Southern Rus'. The main parameters of individual reconstruction projects are briefly described. The history of studying the location of roads in old rus'ian Porossya given. The essence and sequence of the road network modeling process in the region are described. The application of the Gabriel graph is described. The theoretical basis of the analysis of the settlement system on the basis of the reconstructed network of roads is described.

Keywords: communication network, Gabriel graph, settlement system, archaeology, ancient settlements, Middle Ages, Ross river region (Porossya).

Однією з базових властивостей кожної археологічної пам'ятки є її просторове розташування. У процесі дослідження системи заселення регіону реконструйовані населені пункти давнини утворюють певну просторову сукупність, аналіз якої може виявити певні зв'язки між ними. Реконструкція комунікаційної мережі є однією з необхідних процедур дослідження систем заселення.

Зв'язки оприявлені через комунікаційну мережу часто описуються не лише як «найближче сусідство», але й як пов'язаність їх між собою та вплив одних населених пунктів на інші. Одним із продуктивних способів дослідження просторових зв'язків у системі заселення є реконструкція давньої комунікаційної мережі. Досить стисло та влучно про це зазначено в публікації Дієго Хіменес-Баділоо (Diego Jiménez-Badillo) [15].

Історія дослідження проблематики

Питання реконструкції / моделювання давніх комунікаційних систем неодноразово розглядалось як у вітчизняній, так і в закордонній

історико-археологічній науці. Аналізу комунікаційного/дорожнього графа присвячена виняткова кількість публікацій. З точки зору археології найбільш проблемним питанням є процес реконструкції дорожньої мережі певного регіону. Для археології Південної Русі визначальним залишаються роботи А. П. Томашевського [10], С. М. Вовкодава [4; 5], О. В. Манігди [7]. У першому випадку здійснено графоподібну реконструкцію комунікаційної мережі Овруцької волості давньоруського часу на основі карт системи заселення за хронологічними етапами її розвитку. При цьому враховувалися «найбільш короткі і найбільш раціональні річкові і суходольні шляхи між осередками заселення, зважаючи на ландшафтні умови, гідрографічну мережу, рельєф, стратегічне положення, історично та етнографічно зафіксовані тракти» [10, с. 26]. Значення цього дослідження полягає у спробі аналітичної реконструкції комунікаційної мережі на території всього історико-культурного організму давнини з комплексним врахуванням багатьох факторів.

Після створення хронологічних зрізів комунікаційної мережі її рівень розвитку в цілому та окремих частин, динаміка змін шляхів сполучення оцінювалась за методикою топологічного аналізу Ю. В. Медведкова [8, с. 160–167]. А. П. Томашевським додатково досліджувались дані про відстані між населеними пунктами та міжбасейнові шляхи. Середні відстані, отримані внаслідок параметризації графа, корелювались із теоретично очікуваними значеннями. Додатково визначалась і відносна довжина комунікацій кожного з етапів розвитку дорожньої мережі регіону.

У роботах С. М. Вовкодава та О. В. Манігда здійснено моделювання шляхів сполучення на території окремих мікрорегіонів (Нагорянсько-Хлуپлянський мікрорегіон, Хотинська височина). Цим зумовлена методика реконструкції давньої комунікаційної мережі з огляду на якість природного оточення поселенських структур та їх розташування. Як фактори, що впливають на затратність переміщення, обрано крутизну схилів, відстані від річкової мережі та поселенських структур. Додатковими факторами, які впливали на моделювання комунікаційної мережі, в дослідженні С. М. Вовкодава (2009 р.) є наявність та розташування курганних могильників [5, с. 239]. Ці фактори представлені у вигляді відповідних картоїдів, на основі перекласифікації та об'єднання яких створюється фінальний картоїд зваженої вартості переміщення обраною територією. Надалі цю поверхню автори використовують для побудови мережі шляхів за схемою один до багатьох (виробничі поселення — місця видобутку сировини; городище — навколишні неукріплені поселення; поселення — джерела). С. М. Вовкодав та О. В. Манігда у своїх дослідженнях використовували відповідні модулі пропрієтарного програмного пакета ArcGIS (ESRI). Для отримання вірогідного результату таких досліджень критично важливо мати достовірну, достатньо детальну модель рельєфу та річкової мережі території дослідження.

Для порівняння наведемо коротку характеристику кожного з описаних нами проєктів (табл. 1)

Як бачимо, за своїми основними параметрами, система заселення давньоруського Поросся знаходиться між відносно невеликими регіональними комунікаційними системами та комунікаційною системою Овруцької волості, що закономірно, адже Поросся являє собою приклад історико-соціального організму давнини.

Історія дослідження шляхів сполучення в Просці

Уже в середині XIX ст. дослідниками літописних зводів було досить детально проаналізовано повідомлення про переміщення князівських дружин та кочівників по території Поросся. Ці дані використовувались як матеріал для моделювання взаємного розміщення літописних географічних об'єктів та їх локалізації. Яскравим зразком комплексного мікротопографічного дослідження є праця М. О. Андрієвського «Перепетовское поле (разысканіе в области лѣтописной топографіи, съ приложеніемъ карты)» опублікована 1882 р. [1].

Опосередковано, проблематику шляхів у літописному Пороссі досліджували в з'язку з вивченням елементів Пороської оборонної лінії. Очевидно, одним із перших укріплених населених пунктів Поросся був літописний Родень, що як і його наступник Канів, окрім функцій сторожового пункту, контролював брід через Дніпро. Наступна побудова лінії Змієвих валів та окремих укріплених пунктів були пов'язані з намаганням великокняжої влади перекрити шляхи руху кочівників до Києва. С. О. Плетньова, окреслюючи основні шляхи проникнення половців на Русь, вказує на шлях південно-західніше Росі через забузкий степовий коридор і далі на територію Галицько-Волинського князівства [9, с. 269]. Пізніше, у XII ст., на думку дослідниці, половці

Таблиця 1.

Територія	Площа (км ²)	К-ть об'єктів у мережі
Овруцька волость	61 600	300
Давньоруське Поросся	12 616	163
Хотинська височина	356	39
Хлуплянсько-Нагорянський мікрорегіон	25	9

надавали перевагу руху вздовж правого берега Дніпра через нижню течію Росі [9, рис. 6].

Моделювання поетапної мережі шляхів сполучення між населеними пунктами літописного Поросся здійснено автором у рамках роботи над дисертаційним дослідженням «Давньоруське Поросся. Система заселення» успішно захищеним у 2020 р. Така реконструкція здійснена на основі попередніх результатів ранжування населених пунктів давнини та ґрунтується на застосуванні теорії графів. Створений специфічний граф складається з ребер – імовірних напрямів шляхів сполучень, які поєднують вершини – населені пункти давнини [2, с. 86–89].

Методика дослідження

На нашу думку, проблемним моментом у побудові комунікаційної мережі Поросся через метод застосований у роботах С. М. Вовкодава та О. В. Манігди полягає у відсутності достатньо детальної моделі рельєфу на територію дослідження. На сьогодні автору доступна лише модель рельєфу побудована на основі даних місії SRTM. Точність такої моделі для поставленої задачі явно недостатня через спотворення форм рельєфу лісовими насадженням, сучасними господарчими та житловими об'єктами. Крім того, модель побудови зв'язків один до багатьох на нашу думку не є продуктивною під час побудови моделі комунікацій у межах окремого історико-соціального організму давнини.

Автор цілком свідомий того факту, що укріплені населені пункти могли бути регіональними місцевими центрами. Населені пункти Поросся 1–2 рангів (як правило, літописні міста) природним чином були центром локальних комунікаційних мереж. Проте в нашому дослідженні нульовою гіпотезою виступала теза, що давньоруське Поросся в комунікаційному сенсі було єдиною пов'язаною шляхами територією з низкою регіональних центрів. Власне, через побудову комунікаційної мережі планувалась перевірка гіпотези про наявність локальних згустків населених пунктів та територіальних груп, які тяжіли б до літописних міст — регіональних центрів. Саме тому ми здійснили спробу побудови комунікаційної мережі без врахування особливостей рельєфу території. Ребра такого простого графа будуть позначати не конкретні місця проходження доріг, а напрямки сполучення між окремими населеними пунктами давнини. У процесі роботи над окре-

мими мікрорегіонами ці прямі лінії будуть уточнені за вище наведеною методикою застосованою в дослідженнях С. М. Вовкодава та О. В. Манігди.

У процесі побудови комунікаційної мережі використано так званий граф Габріеля (gabriel graph). Цей вид графу вперше описаний у спільній публікації Рубена Габріеля (Kuno Ruben Gabriel) та Роберта Сокала (Robert Reuven Sokal). Граф є підграфом триангуляції Делоне. Побудова такого графу передбачає, що дві нетотожні вершини є сусідніми та можуть бути з'єднані ребром, якщо до кола, вписаного в простір між ними, не потрапляє жодна інша вершина [12; 16; 17].

Яскравим прикладом застосування графу Габріеля для побудови комунікаційної мережі є робота, присвячена зв'язкам римських військових таборів із сільськими поселеннями в данській частині римського лімесу [13].

Побудова такого графа Габріеля на матеріалах системи заселення давньоруського Поросся здійснювалась у кілька етапів. Спочатку автором виділено лише найбільші населені пункти давнини (1–2 ранг) і на їх основі створено стартовий граф. Надалі послідовно додавались населені пункти з меншими площами, нижчих рангів. У процесі додавання кожного з рангів побудований граф переглядався на предмет відповідності правилу графа Габріеля. За результатами такої перевірки, стартовий граф змінювався. У результаті було отримано базову мережу зв'язків давньоруського Поросся.

Надалі застосована методика топологічного аналізу Ю. В. Медведкова, за якою здійснено оцінку розвитку комунікаційної мережі [8, с. 160–167]. На основі змодельованої комунікаційної мережі, визначено середні відстані між окремими територіальними групами та згустками пам'яток у середині цих груп. Отримані значення середніх відстаней ми порівняли з теоретично прогнозованими середніми значеннями. Останні є відношенням загальної довжини комунікацій до кількості населених пунктів давньоруського Поросся.

Територія, джерела даних

Моделювання комунікаційної мережі здійснювалось у межах території давньоруського Поросся, яке займало більшу частину водозбірного басейну р. Рось (рис. 1). Основою для такого моделювання стала карта реконструйованих населених пунктів давнини. Сутнісні характеристики

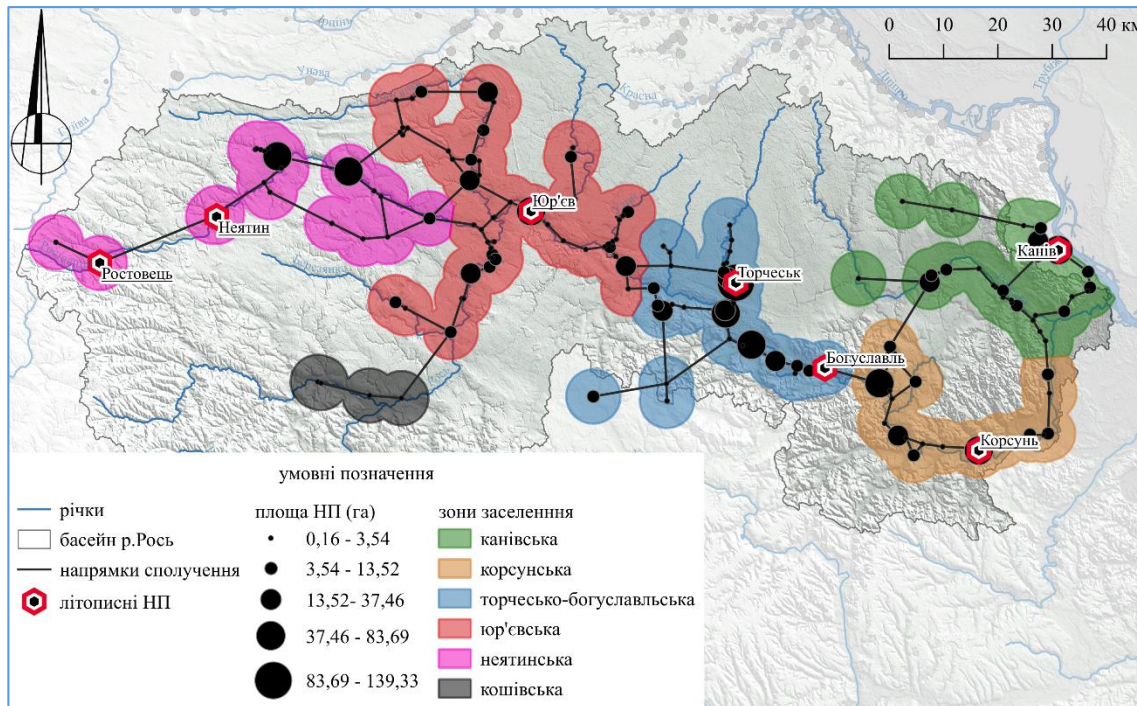


Рис. 1. Схема напрямів сполучення в мережі населених пунктів XII – першої половини XIII ст. на території давньоруського Поросся

цих населених пунктів та результат їх ранжування подано у відповідній публікації 2020 р. [3]. Усі роботи виконані в програмному середовищі QGIS. Додатковими даними для уточнення напрямків пролягання давніх шляхів на території Поросся є місця переправ на р. Рось, окремі ландшафтні «коридори» та дані про шляхи переміщення військових загонів зафіксованих у літописних зводах, текстових і картографічних документах XV–XVIII ст.

Аналіз системи заселення на основі комунікаційної мережі

Як зазначалось вище, реконструкція комунікаційної мережі – це один з інструментів виявлення територіальних сукупностей населених пунктів, їх кластеризація. Застосування з цією метою використаного в дослідженні графа Габрієля має досить вагомні перспективи [11].

Визначення просторової структури системи заселення пов'язане з аналізом просторового розміщення груп населених пунктів. Він здійснений на основі карти населених пунктів давнини XII – першої половини XIII ст. Отримані результати екстрапольовано на XI ст. і додатково перевірено повторним аналізом. На основі даних про реальні середні відстані між населеними пунктами в ко-

мунікаційній мережі отримано показник територіальної концентрації населення (ПТКН). Це одна з якісних характеристик типу заселення. Визначається за формулою: $Pn = D / 0,5 \sqrt{S} \cdot n$, у якій D – середня відстань між сусідніми населеними пунктами, S – площа території, n – кількість населених пунктів хронологічного періоду. При рівномірному розподілі населених пунктів на території показник ПТКН становить – 2,15. При скупченні в окремих пунктах – 0. При безладному розподілі – 1 [6, с. 209–210].

Показник ПТКН дозволив прогнозувати виділення територіальних груп населених пунктів. Для здійснення цієї операції використано метод кластерного аналізу. Вихідними даними цього аналізу є реконструйована комунікаційна мережа регіону та кількість груп, що визначена за кількістю потенційних локальних центрів, відомих із літописів. З контексту літописного повідомлення 1195 р. впливає, що на кінець XII ст. на території Поросся фіксується принаймні п'ять міст, які ймовірно, відігравали роль удільних центрів: Богуславль, Корсунь, Канів, Торчеськ та Юр'єв. На крайньому заході басейну р. Рось знаходились землі берендичів із шістьма городами та Ростовцем. Таким чином отримуємо шість потенційних окремих уділів згідно з літописними даними.

Інструмент ієрархічної кластеризації враховує кількість центрів та використовує метод середнього зв'язку для обрахунку ступеню близькості між населеними пунктами [14]. Для отримання об'єктивних результатів аналізу ми залучили всі населені пункти давнини, які потрапляли в дослідницьку рамку. Виділені територіальні групи можуть бути умовно ототожені з певними адміністративно-територіальними одиницями давньоруського часу (волості, уділи). У середині виділених територіальних груп за допомогою інструментів визначення центральності в групах з врахуванням комунікаційної мережі визначено центральні місця. Частина давніх населених пунктів давньоруського Поросся надійно ідентифікуються з літописними містами. Ці літописні населені пункти в цілому збігаються з локальними центрами виділених територіальних груп.

Висновки

Таким чином, на матеріалах давньоруського Поросся було випробувано один із методів реконструкції дорожньої мережі давнини, заснований на застосуванні математичної моделі графа Габріеля. Надалі планується апробація цього методу на більших вибірках населених пунктів. Водночас актуальним завданням є реалізація автоматизованої побудови графа.

Описаний у роботі спосіб реконструкції та аналізу дорожньої мережі, безумовно, потребує подальшого вдосконалення. Проте, вважаємо, що головна мета роботи – апробація цього методу була успішно реалізована, на що вказують результати кластеризації населених пунктів давньоруського Поросся на основі створеної мережі шляхів сполучення.

ДЖЕРЕЛА ТА ЛІТЕРАТУРА

1. Андрієвській М. А. Перепетовское поле (разыскание в области летописной топографии, съ приложениемъ карты). *Кіевская Старина*. 1882. № 9. С. 436–456.
2. Афанасьев Г. Е. Топологическое исследование степени доступности салтово-маяцких городищ: Проблемы изучения древних поселений в археологии. Москва, 1990.
3. Борисов А. В. Вариабельність поселенських структур давньоруського часу у літописному Пороссі. *Археологія і давня історія України*. 2020. Вип. 2 (35). С. 76–84. <https://doi.org/10.37445/adiu.2020.02.03>.

4. Вовкодав С. М. Методика моделювання давніх комунікаційних мереж шляхом ГІС-аналізу. *Наукові записки з української історії*. 2007. Вип. 19. С. 76–82.
5. Вовкодав С. М. Методы ГИС-моделирования коммуникационных сетей систем заселения. *Археологические памятники Восточной Европы: Межвузовский сборник трудов*. 2009. Вип. 13. С. 238–241.
6. Дмитриевский Ю. Д. Показатели систем расселения. *Известия Всесоюзного Географического общества*. 1988. Vol. 120, № 3. С. 209–214.
7. Манигда О. В. Реконструкция ближайших коммуникаций древнерусских памятников в микрорегионе Хотинской возвышенности с помощью модуля Spatial Analyst. *Археология и геоинформатика*. 2012. Вип. 7. URL: <https://www.archaeolog.ru/media/periodicals/agis/AGIS-1/Afanasjev/page1.html>.
8. Медведков, Ю. В. Топологический анализ сетей населенных мест. *Вопросы географии. Математика в экономической географии*. 1968. № 77. С. 159–167.
9. Плетнёва С. А. Половецкая земля: Древнерусские княжества X–XIII вв. Москва: Наука, 1975. С. 260–300.
10. Томашевський А. П. Населення Східної Волині V–XIII ст. н. е. (Система заселення, екологія, господарство). Автореферат дисертації кандидата історичних наук: Київ: 1993.
11. Boudane F., Berrichi A. Gabriel graph-based connectivity and density for internal validity of clustering. *Progress in Artificial Intelligence*. 2020. Vol. 9, № 3. С. 221–238. <https://doi.org/10.1007/s13748-020-00209-z>.
12. Gabriel K. R., Sokal R. R. A New Statistical Approach to Geographic Variation Analysis. *Systematic Biology*. 1969. Vol. 18, № 3. С. 259–278. <https://doi.org/10.2307/2412323>.
13. Groenhuijzen M. R., Verhagen P. Comparing network construction techniques in the context of local transport networks in the Dutch part of the Roman limes. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2017. Vol. 15. С. 235–251. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.07.024>.
14. Hclust: Hierarchical Clustering. Stats (version 3.2.1) \textbar R Документація. URL: <https://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.2.1/topics/hclust> (дата звернення: 27. 03. 2021).
15. Jiménez-Badillo D. Relative Neighbourhood Networks for Archaeological Analysis: *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA): proceedings of the 39th International Conference, Beijing, April 12–16, 2012, Amsterdam: Pallas Publications, 12*. С. 370–380. URL: https://proceedings.caaconference.org/paper/42_jimenez-badillo_caa2011/.
16. Liotta G. Low Degree Algorithms for Computing and Checking Gabriel Graphs. (Extended Abstract). BROWN UNIV PROVIDENCE RI, 1996. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA318637>.

17. Matula D. W., Sokal, R. R. Properties of Gabriel Graphs Relevant to Geographic Variation Research and the Clustering of Points in the Plane. *Geographical Analysis*. 1980. Vol. 12, № 3. С. 205–222. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1980.tb00031.x>.

REFERENCES

- Andrievskiy, M. A. (1882). Perepetovskoe pole (razyskanie v oblasti l'topisnoy topografii, s «prilozheniem» karty) [Perepetovskoe field (research in the field of annalistic topography using a map)]. *Kievskaya Starina*, 9, 436–456 [in Russian].
- Afanas'yev, G. E. (1990). Topologicheskoe issledovanie stepeni dostupnosti saltovo-mayatskikh gorodishch. [Topological Study of the Accessibility Degree of Saltovo-Mayatsky Settlements]. *Problemy izucheniya drevnikh poseleniy v arkhologii*. (pp. 86–98). Moskva [in Russian].
- Borysov, A. V. (2020). Variabelnist poselenskykh struktur davnoruskoho chasu u litopysnomu Porossi [Variability of the Settlements of Old Rus Period in the Ros River Basin (Porossya)]. *Arkheolohiia i davnia istoriia Ukrainy*, 2 (35), 76–84 [in Ukrainian] <https://doi.org/10.37445/adiu.2020.02.03>.
- Vovkodav, S. M. (2007). Metodyka modeliuвання davnikh komunikatsiinykh mrezh shliakhom HIS-analizu [The methods of modelling of early communication networks by GIS-analysis]. *Naukovi zapysky z ukrainskoi istorii*, 19, 76–82 [in Ukrainian].
- Vovkodav, S. M. (2009). Metody GIS-modelirovaniya kommunikatsionnykh setey sistem zaseleniya [Methods of GIS-modeling of communication networks of settlement systems]. *Arkheologicheskie pamyatniki Vostochnoy Evropy: Mezhevuzovskiy sbornik trudov*, 13, 238–241 [in Russian].
- Dmitrievskiy, Yu. D. (1988). Pokazateli sistem raseleniya [Settlement system indicators]. *Izvestiya Vsesoyuznogo Geograficheskogo obshchestva*, 120 (3), 209–214 [in Russian].
- Manigda, O. V. (2012). Rekonstruktsiya blizhayshikh kommunikatsiy drevnerusskikh pamyatnikov v mikroregione Khotinskoy vozvyshehnosti s pomoshch'yu modulya Spatial Analyst. *Arkheologiya i geoinformatika*, 7. URL: <https://www.archaeolog.ru/media/periodicals/agis/AGIS-1/Afanasjev/page1.html> [in Russian].
- Medvedkov, Yu. V. (1968). Topologicheskyy analiz setey naselennykh mest [Topological analysis of networks of settlements]. *Voprosy geografii. Matematika v ekonomicheskoy geografii*, 77, 159–167 [in Russian].
- Pletneva, S. A. (1975). Polovetskaya zemlya [Polovtsian land]. *Drevnerusskie knyazhestva X-XIII vv.* (pp. 260–300). Moskva: Nauka [in Russian].
- Tomashevskiy, A. P. (1993). Naseleennia Skhidnoi Volyni V–XIII st. n. e. (Systema zaseleennia, ekolohiia, hospodarstvo) [The population of Eastern Volhyn V–XIII centuries (settlement system, ecology, economy)]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
- Boudane, F., & Berrichi, A. (2020). Gabriel graph-based connectivity and density for internal validity of clustering. *Progress in Artificial Intelligence*, 9 (3), 221–238. <https://doi.org/10.1007/s13748-020-00209-z>.
- Gabriel, K. R., & Sokal, R. R. (1969). A New Statistical Approach to Geographic Variation Analysis. *Systematic Biology*, 18 (3), 259–278. <https://doi.org/10.2307/2412323>.
- Groenhuijzen, M. R., & Verhagen, P. (2017). Comparing network construction techniques in the context of local transport networks in the Dutch part of the Roman limes. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 15, 235–251. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.07.024>.
- Hclust: Hierarchical Clustering. Stats (version 3.2.1) \textbar R Документація. URL: <https://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.2.1/topics/hclust>.
- Jiménez-Badillo, D. (2012). Relative Neighbourhood Networks for Archaeological Analysis. *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA). Proceedings of the 39th International Conference, Beijing, April 12–16*, 370–380. URL: https://proceedings.caaconference.org/paper/42_jimenez-badillo_caa2011/
- Liotta, G. (1996). *Low Degree Algorithms for Computing and Checking Gabriel Graphs. (Extended Abstract)*. BROWN UNIV PROVIDENCE RI. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA318637>.
- Matula, D. W., & Sokal, R. R. (1980). Properties of Gabriel Graphs Relevant to Geographic Variation Research and the Clustering of Points in the Plane. *Geographical Analysis*, 12 (3), 205–222. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1980.tb00031.x>.

Борисов Артем Вадимович, кандидат історичних наук, науковий співробітник Інституту археології НАН України м. Київ, Україна.

Borysov Artem, Candidate of Historical Sciences (PhD), Researcher of the Institute of Archaeology NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2322-2277>

E-mail: artem_borysov@iananu.org.ua

Одержано 13. 05. 2021