

В. С. Жигола, В. М. Скороход

ФОТОГРАММЕТРИЧНА ТОПОГРАФІЧНА ОСНОВА АРХЕОЛОГІЧНОЇ ПАМ'ЯТКИ

У статті розглянуто новітній метод створення топографічної основи археологічної пам'ятки за допомогою фотограмметричної фіксації з дрону. За приклад використано два давньоруські городища, на яких висвітлено особливості використання методу, котрі свого часу обстежували М. П. Кучера й О. В. Сухобоков.

Ключові слова: Київська Русь, X—XIII ст., городище, фотограмметрія, топографічна основа, 3D-модель.

Нині досить широко застосовують різні методи фіксації археологічних пам'яток та об'єктів за допомогою геоінформаційних технологій, які розширюють інформативну базу для просторових, польових і камеральних археологічних досліджень. Створення плану і топографічної основи пам'ятки є невід'ємною умовою фахового підходу до проведення робіт, незалежно від того, чи планує археолог проведення широкомасштабних робіт на пам'ятці, чи підготовку інформації для взяття пам'ятки на облік органами охорони культурної спадщини (обміри, винос території пам'ятки та охоронної зони в натуру тощо), чи проведення шурфування. Якісно складений топографічний план є основою для поєднання результатів досліджень попередніх і подальших робіт, реконструкції реалістичної моделі пам'ятки, мікрорельєфу, джерелом точних вимірів конструкцій та особливостей пам'ятки та моніторингу її сучасного стану.

До класичного методу створення топооснови відноситься ручний інструментальний план пам'ятки, виконаний за допомогою вимірювальних пристроїв (рулеток), компасу, оптичного нівеліра або теодоліта, під час якого графічна фіксація відбувається на місці. Такий метод має свої недоліки — час виконання та певні погріш-

ності. Швидшим та точнішим є процес створення плану за допомогою мобільного приладу GPS або RTK з альтиметром, який на основі геодезичної мережі точок фіксації вибудовує план пам'ятки з ізолініями.

Більш докладнішою є зйомка за допомогою тахеометра — електронно-оптичного інструменту, призначеного для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів, віддалей та перевищень, що містить GPS-приймач та обчислювальний пристрій з пам'яттю. За його допомогою створюється дуже згущена геодезична основа (велика кількість точок фіксування), зйомка ситуації та рельєфу, доступні широкі можливості камеральної обробки бази даних. Тахеометрична фіксація дозволяє поєднувати плани пам'яток з планами розкопів, наносити окремі деталі археологічних об'єктів, навіть до кожної індивідуальної знахідки. Прикладом створення такої топооснови є роботи на території Шестовицького археологічного комплексу у 2017 р., що включила до свого складу територію городища, посада, шість курганных груп, розташованих на площі 97 га. Додатково було зафіксовано інфраструктуру, гідрографію для створення основи

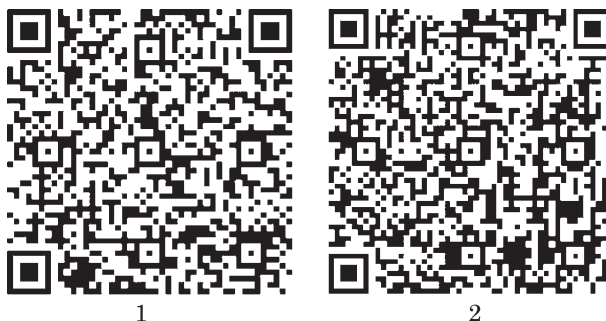


Рис. 1. Онлайн-доступ до 3D-моделей городищ: 1 — Феськівка; 2 — Зарічне I



Рис. 2. Отрофотоплани городищ, накладені на супутникову мапу Google: 1 — Феськівка; 2 — Зарічне I

археологічної ГІС «Шестовицький археологічний комплекс» (Манігда, Гнера 2019; Скороход та ін. 2019).

До новітніх методів отримання топооснови та 3D-моделей об'єктів відноситься LiDAR — технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах. Прилад фіксує об'єкти і

відстань до них, використовуючи різні довжини хвиль лазера, що дозволяє робити топографічну зйомку навіть в дуже залісненій місцевості. Прилад може бути розміщений на супутнику на навколоземній орбіті, або на літальному апараті. Очевидно, що така зйомка місцевості чи пам'ятника є досить коштовною.

Одним з методів створення топографічної основи є фотограмметрична фіксація як наземна, так і за допомогою низьковисотної аерофо-

тозйомки дроном. За допомогою серії фотографій та їх обробки в спеціалізованих програмах, виконується 3D-модель об'єкта. Досвід застосування методики висвітлено в низці праць (Жигола, Скороход 2019; Махортих та ін. 2020, с. 228; Ни-

коненко, Радченко, Волков 2017). Перевагою є відносна простота і швидкість, абсолютна метрологічна точність, поєднання різних типів інформації в одній моделі, приєднання бази даних, універсальність системи координат для фіксації,

як і у випадку тахеометричної чи LiDAR-зйомки. На відміну від останніх, недоліком фотограмметричної є низька ефективність використання за наявності середньої та високої рослинності. За сприятливих умов зйомка фотограмметричного топографічного плану пам'ятки дозволяє отримати її точну модель. Саме такі для прикладів були обрані городища Феськівка та Зарічне I, які свого часу обстежували М. П. Кучера й О. В. Сухобоков. Відсутність дерев на більшій частині пам'яток уможливила створення робочих 3D-моделей комплексів (рис. 1).

Городище Феськівка (с. Феськівка Корюківського р-ну Чернігівської обл.) відоме в історичній науці з другої половини XIX ст. завдяки праці Д. Я. Самоквасова. У 1927 р. Ю. С. Виноградський та у 1947 р. І. І. Ляпушкін зробили досить схематичні плани (Ляпушкін 1961, с. 345, рис. 167). У 1971 р. М. П. Кучера та О. В. Сухобоков зняли інструментальний план пам'ятки, а на городищі та посаді зібрали керамічний матеріал доби бронзи, роменської культури та XII—XIII ст. (Кучера, Сухобоков 1971, с. 53—54, рис. 10: 1). У 2020 р. автори статті здійснили фотограмметричну фіксацію пам'ятки.

Городище Феськівка розміщене на лівому березі р. Мена (права притока р. Десна) на південний схід від села. Центральний майже круглий майданчик городища розмірами 40 × 45 м, по колу оточений кільцевим валом, окрім північної боку, де вал знищено берегом ріки. Вал має висоту до 2,0 м над майданчиком та до 5,5 м з боку рову, зсунувся всередину городища. Ширина основи від 5,0 м до 7,0—9,0 м, ширина гребеню 2,0—5,0 м. З північно-західного боку від ріки вал має вхід у вигляді

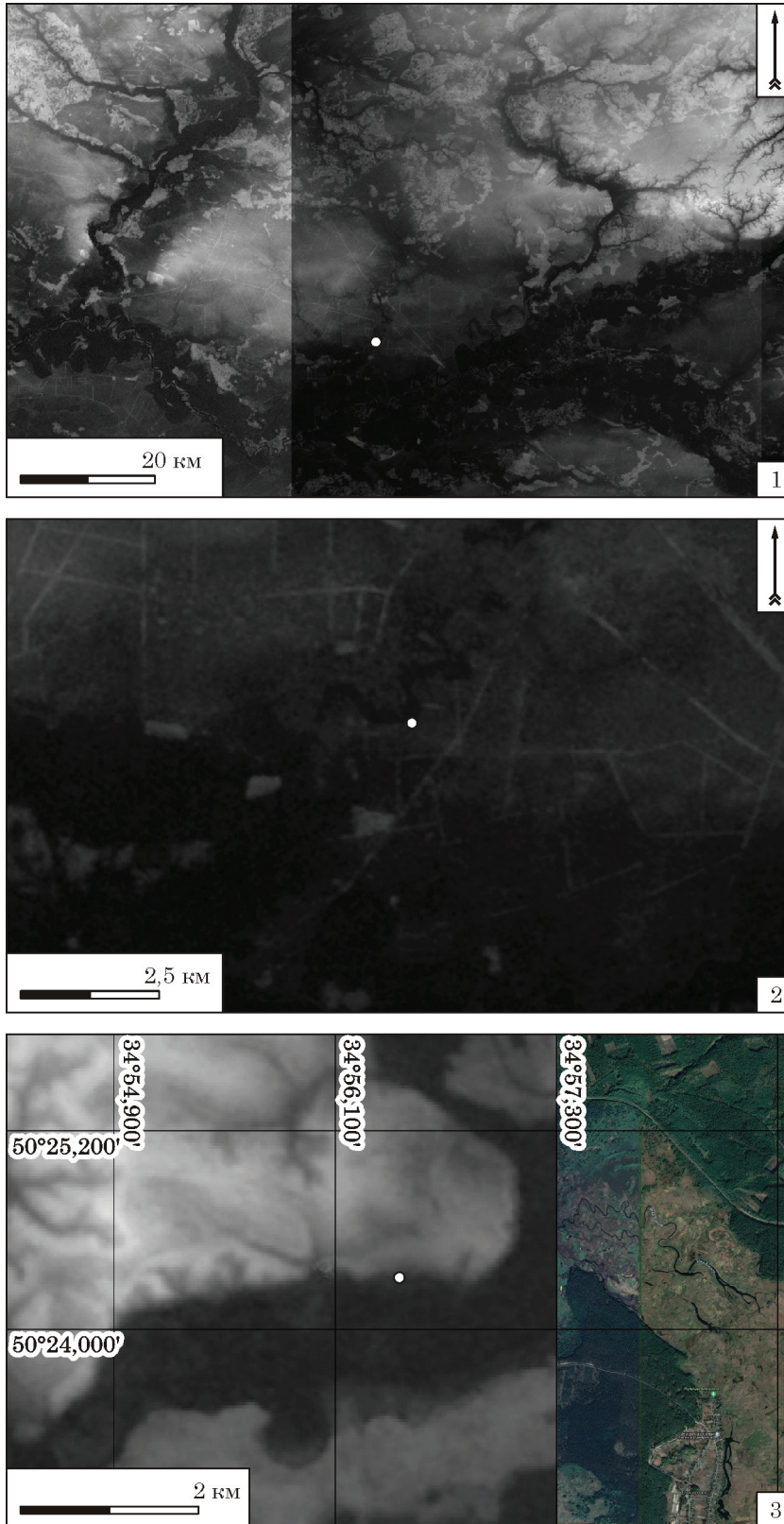


Рис. 3. Супутникові карти висот: 1 — середньої течії р. Десна; 2 — р. Мена і городище Феськівка; 3 — р. Ворскла і городище Зарічне I

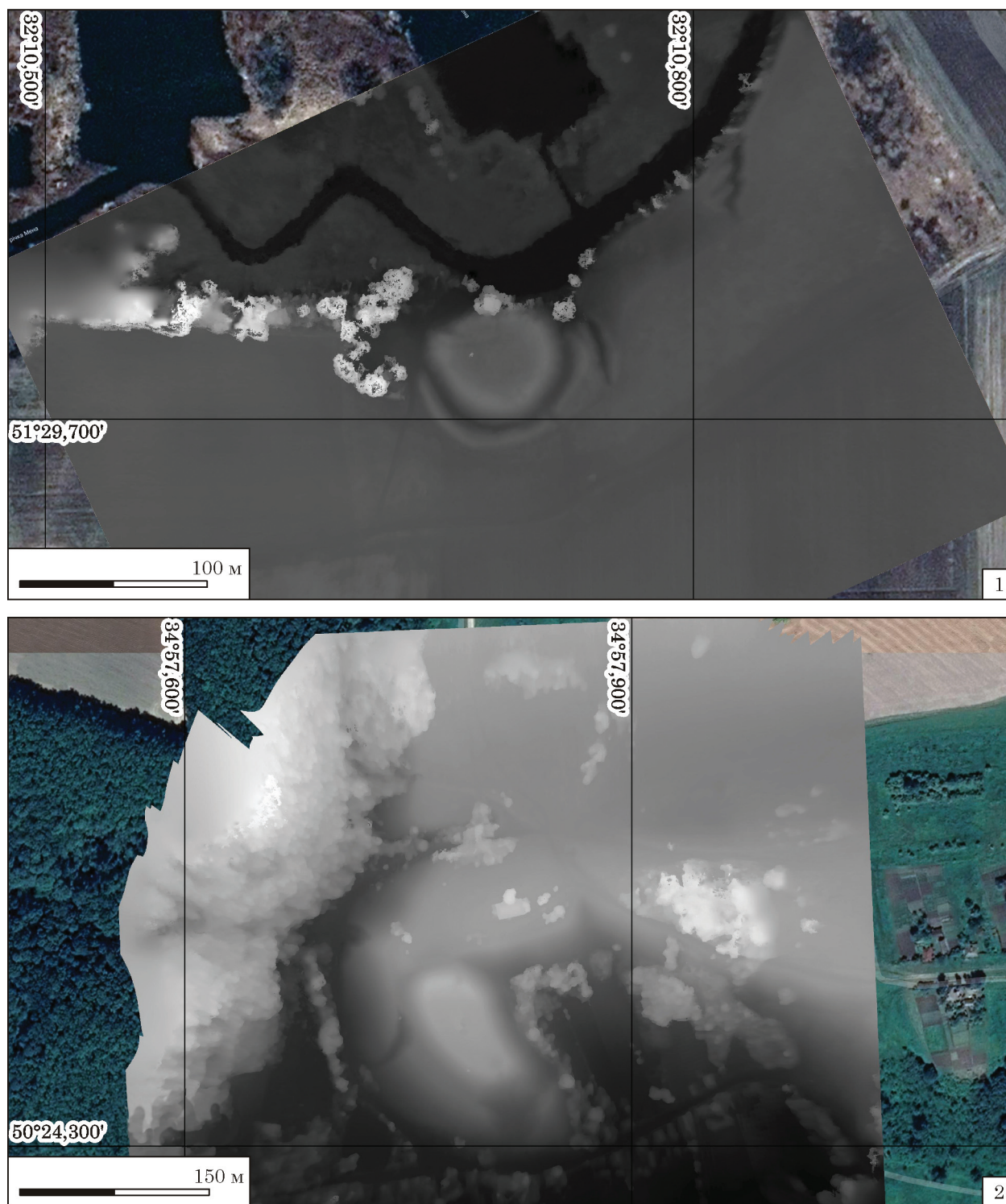


Рис. 4. Фотограмметричні карти висот городищ: 1 — Феськівка; 2 — Зарічне I

короткого (10 м) пандуса. З напільного боку городище оточене ще одним валом з розривом з південного сходу, з півночі вал знищено рікою. Висота зовнішнього валу до 2,0 м з боку поля та до 3,0 м з боку рову. Ширина основи від 5,0 м до 7,0—8,0 м. Гребінь вузький, знаходиться нижче гребеню внутрішнього валу на 2,0—3,0 м. Між валами знаходиться рів, завширшки 10—15 м. Перед зовнішнім валом рову не помітно (Кучера, Сухобоков 1971, с. 53).

Городище Зарічне I (с. Боголюбове (колишнє Зарічне) Охтирського р-ну Сумської обл.) відоме в історичній науці ще з середини XIX ст. Перші археологічні дослідження пам'ятки проведено П. М. Третяковим який у 1938 р. (Третяков 1947, с. 123, рис. 1). Для ілюстрації та прив'язки розкопів було використано топографічний план місцевості з майже умовними зображеннями деталей пам'ятки. У 1971 р. пам'ятку оглянули М. П. Кучера та О. В. Сухобоков. Ними було

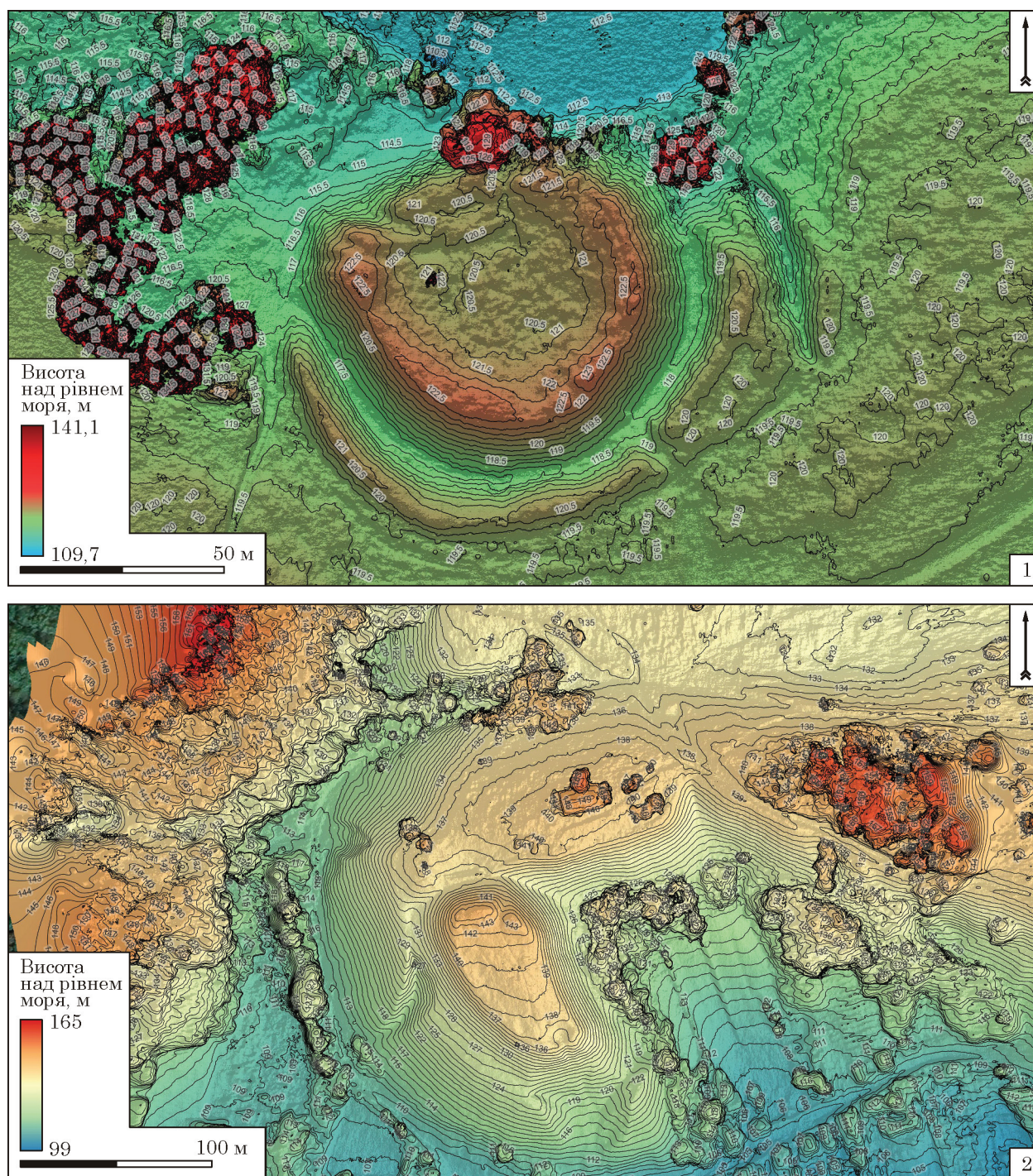


Рис. 5. Топооснови городищ із накладанням теплокарт та ізоліній: 1 — Феськівка; 2 — Зарічне I

знято інструментальний план пам'ятки, а на посаді зібрано керамічний матеріал роменської культури, XI ст. та значну кількість XII—XIII ст. (Кучера, Сухобоков 1971, с. 9—10, кресленик 3). Зроблений план досить схематичний, умовний та маленького масштабу. У 2006 та 2010 рр. С. М. Осадчий та О. В. Коротя провадили обстеження городища та поселення із визначенням його чітких меж, а також склали точний план пам'ятки за допомогою мобільного приладу GPS (Осадчий 2011, рис. 50). У 2019—2021 рр. пам'ятку досліджувала Лівобережна археоло-

гічна експедиція Інституту археології НАН України (Жигола, Моця, Скороход 2020, с. 261). У 2019 р. авторами статті було здійснено фотографіметричну фіксацію пам'ятки.

Городище Зарічне I розташовано у межах села, на правому березі р. Ворскла. Займає мисовий останець корінного берегового плато. Майданчик городища має висоту над заплавою 40—50 м, розмірами 40 × 100 м. З трьох боків схили ескарповані на висоту 3,0—4,0 м. З напільного боку від плато відділене високим підковоподібним валом та ровом. Висота валу

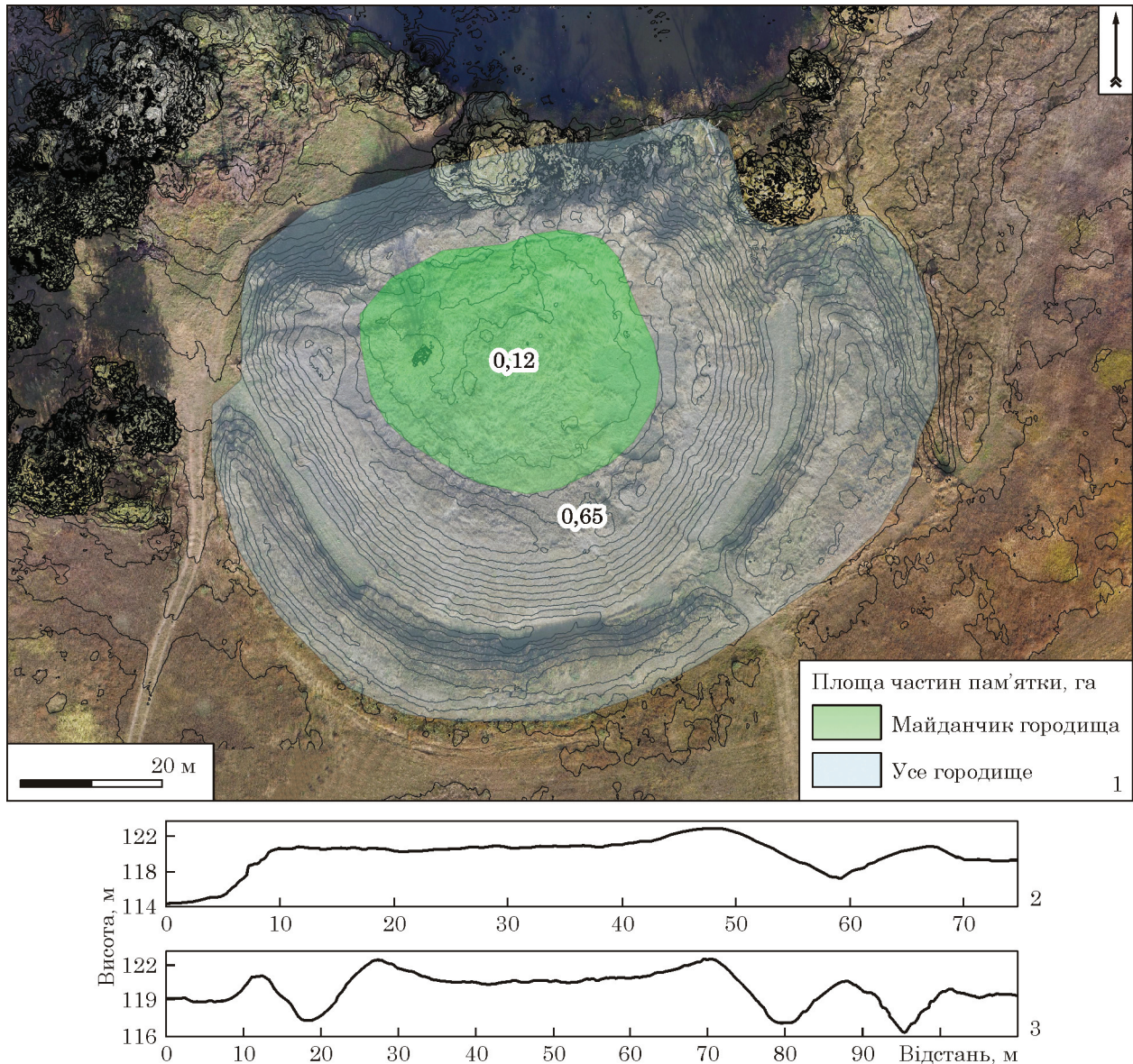


Рис. 6. Городище Феськівка: 1 — обчислення площ його частин; *профілі за перетинами*: 2 — північ—південь; 3 — захід—схід

4,0 м, ширина — від 5,0 до 10 м. Ширина рову 6,0—8,0 м при глибині від 2,0 до 3,0 м. Потужність культурного шару 0,5—0,7 м. На північ від городища розташоване синхронне поселення площею 70 × 150 м. Крім того, культурний шар виявлено вздовж берегу на захід і південний захід від городища, площею по 10000 і 15000 м² відповідно. Потужність культурного шару складала 0,3—1,0 м. Незначний культурний шар виявлено і на південний захід від пам'ятки (Третьяков 1947, с. 124—125). Роботи 2019—2021 рр. дозволили поточнити межі поширення культурного шару пам'ятки та дослідити низку об'єктів, де зібрано керамічний матеріал різних археологічних культур та епох, що дозволяє виділити етапи заселення пам'ятки: I етап — на пам'ятці проживає осіле лісостепове населення скіфського часу VI—IV ст. до н. е.; II етап пов'язаний із сіверянським населенням роменської археологічної культури IX — початку XI ст.; III етап

датовано XII — другою половиною XIII ст. (Сергеев, Жигола 2020, с. 82—83).

На основі 3D-моделей було створено ортофотоплани місцевості у розширенні GeoTiff, що у собі поєднує векторний, растровий та табличний (метаданий) шари інформації, які визначають і прив'язують його до загальної системи координат, та які несуть повну просторову інформацію з розмірами і висотами всіх деталей місцевості (рис. 2). Тобто, отримано всі дані для побудови топографічної основи пам'яток за допомогою фотограмметричного методу.

Одним із загальнодоступних способів отримати топографічну карту місцевості є її побудова у спеціалізованих програмах із використанням файлів даних геoinформаційної системи, що зберігаються у форматі Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Elevation Data Format. Наприклад, топографічна система із розширенням *.hgt (від англійського height — висота) містить дані глобального підви-

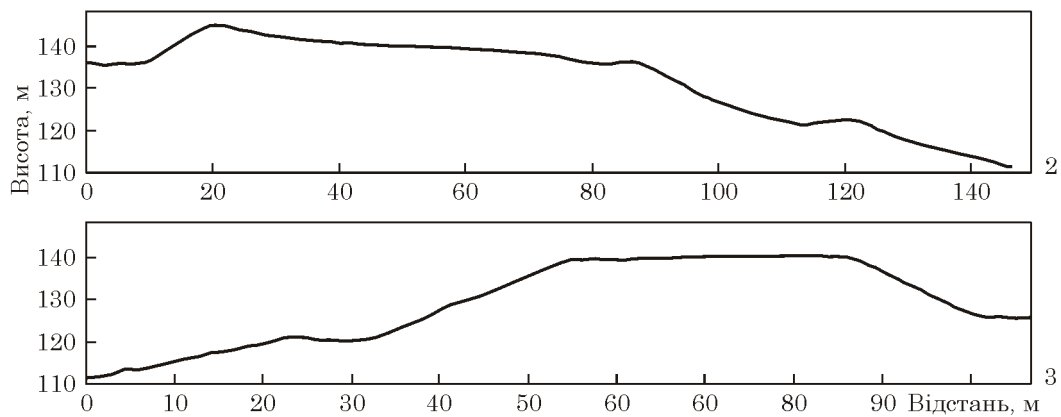
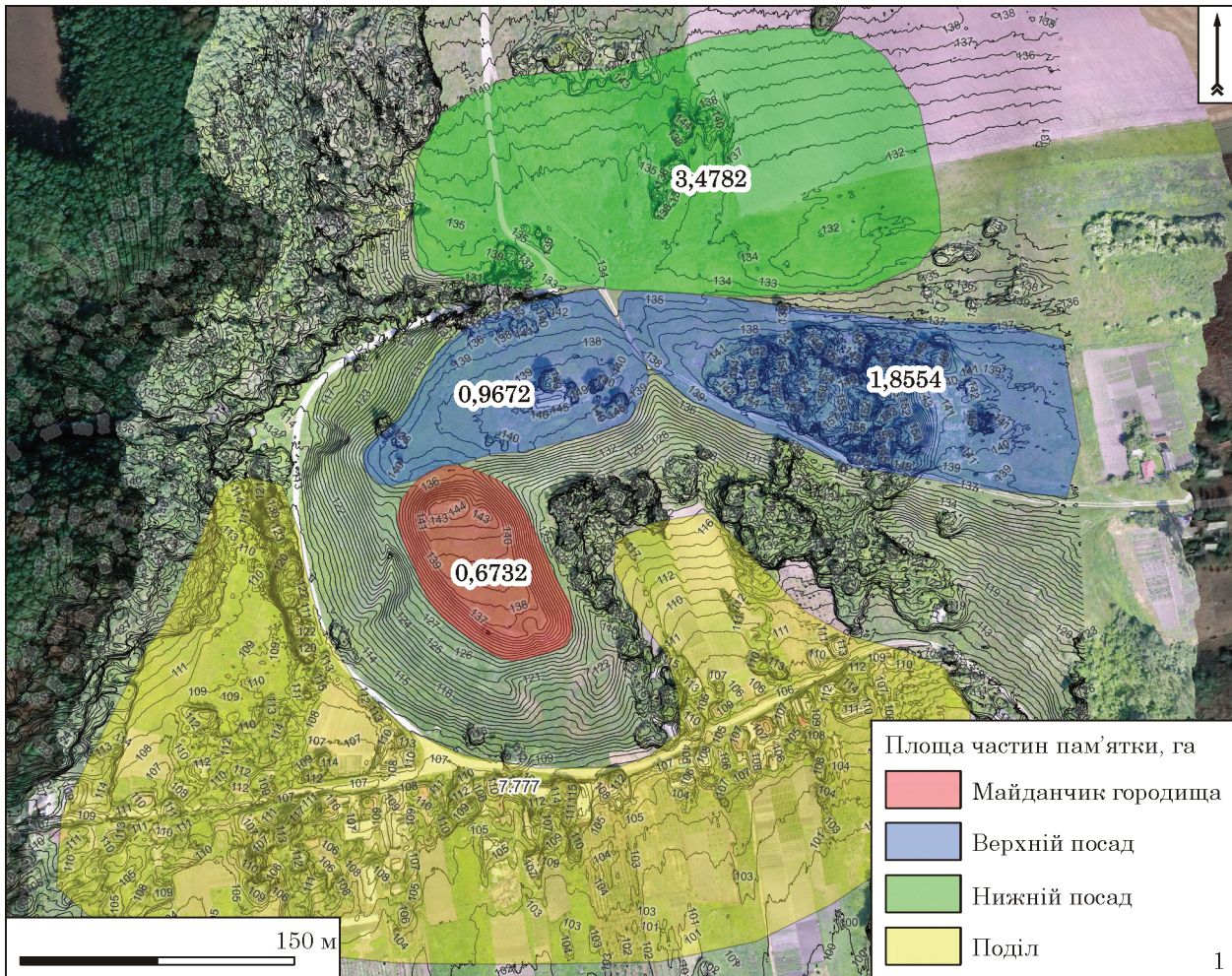


Рис. 7. Археологічний комплекс Зарічне I: 1 — обчислення площ його частин; профілі за перетинами: 2 — північ—південь; 3 — захід—схід

щення, що збираються у процесі завдань космічного польоту NASA (Rodriguez et al. 2005, p. 10—11).

При використанні вказаної карти висот для побудови планів місцевостей наших пам'яток отримаємо низьку деталізацію окремих об'єктів, навіть таких масивних, як мис городища. На загальній карті висот середньої течії Десни в обраному регіоні можна прослідкувати систему річок і ярів (рис. 3: 1), але при збільшенні масштабу до точки городище Феськівка — карта стає невиразною і непридатною для топооснови (рис. 3:

2). Ідентична ситуація і з готовою картою висот у регіоні городища Зарічне I (рис. 3: 3).

На основі ортофотопланів створено детальні карти висот обох археологічних пам'яток, які стали базою створення їх топографічних основ (рис. 4). Особливістю фотограмметричної карти висот, на відміну від супутникової чи LiDAR-зйомки, є зображення реальної ситуації місцевості. Тобто, на модель, ортофотоплан і карту висот будуть нанесені всі видимі об'єкти, як-то рослинність, із даними їх висот і положень від-

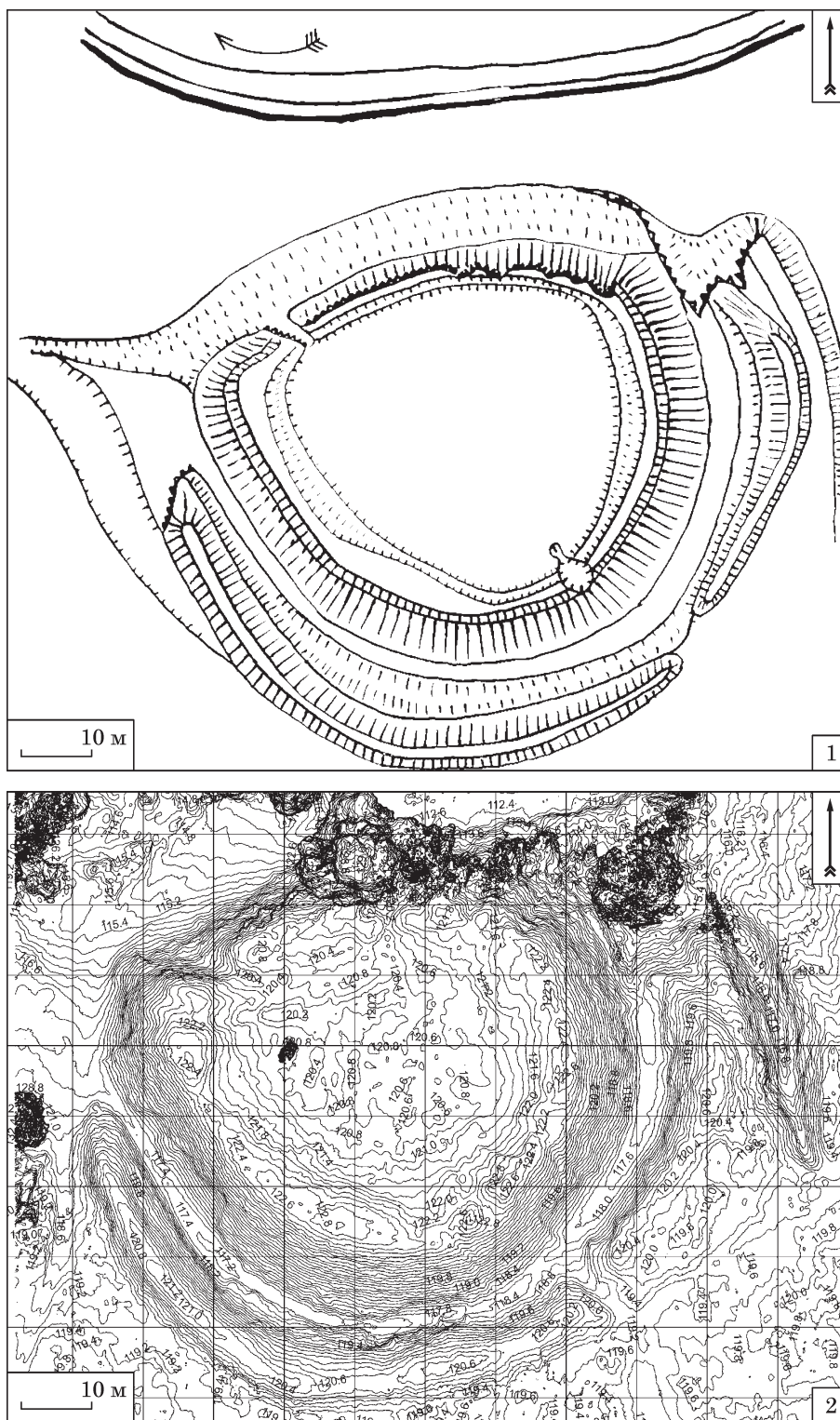


Рис. 8. Плани городища Феськівка: 1 — за М. П. Кучерою й О. В. Сухобоковим; 2 — фотограмметричний план

носно один одного. Недоліком цього методу є певне неавтентичне відображення абсолютної висоти ділянок пам'ятки із густою травою, що корегується на власне висоту рослинності. У той же час загальні форми і розміри об'єктів зберігаються і передаються коректно.

Для зручності графічного відображення і сприйняття на карти висот накладено теплокар-

ти, а також ізолінії з відмітками за Балтійською системою висот (рис. 5). Таким чином, на цьому етапі було створено готові топографічні основи археологічних пам'яток за послідовністю: 1) фотограмметрична фіксація місцевості; 2) створення 3D-моделі; 3) створення ортофотоплану; 4) створення карти висот; 5) зручне графічне зображення топографічної карти.

На готовій топографічній основі пам'ятки можна виконати будь-які метрологічні виміри за допомогою цифрових інструментів у відповідних програмах.

Топооснова дозволяє виділяти та автоматично обчислювати площі обраних частин пам'ятки, фіксувати і наносити зони поширення культурного шару тощо, що необхідно для пам'яткоохоронної документації. Для прикладу обчислено загальну площу городища Феськівка (0,65 га) та окремо її центральний майданчик (0,12 га; рис. 6: 1). Для Заріченського археологічного комплексу застосовано такі ж обчислення з чітким виділенням кордонів поширення культурного шару за топографічними межами, а також на основі розвідок та шурфування (рис. 7: 1). Окрім площ також можна виміряти об'єми окремих об'єктів та, знаючи їх щільність, розрахувати вагу. Наприклад, об'єм напольного валу городища Зарічне I у сучасному вигляді складає майже 1200 м³.

Одна з функцій дозволяє створити перетини об'єктів у будь-яких заданих параметрах. За перетином захід—схід городища Феськівка добре помітно форми і розміри обох ліній валів, рову та природного ярку (рис. 6: 3); за перетином північ—південь додатково зафіксовано, що внутрішній майданчик городища в середньому на 0,5 м вище за рівень денної поверхні поля на південь від зовнішнього валу (рис. 6: 2), що пов'язано з наявністю культурного шару та ерозією валів. Перетин захід—схід городища Зарічне I демонструє ескарпування схилів мису (рис. 7: 3); перетин північний схід—південний захід фіксує напольний вал і рів, влаштовану круглу западину від водозбірної споруди (колодязя?) на південному краї майданчика, ескарп та відрізану стрілку мису з боку берега Ворскли (рис. 7: 2).

На основі фотограмметричної фіксації також створюється план-основа пам'ятки з необхідним масштабом, деталізацією та маркерами. Для прикладу за допомогою ізоліній з кроком висоти в 0,2 м зроблено план городища Феськівка (рис. 8) і наведено порівняння з інструментальним планом минулого сторіччя. Такий план використовується для систематизації та фіксації попередніх досліджень, а також для планування майбутніх. Програма дозволяє створити єдину постійну сітку квадратів території дослідження (на плані для прикладу використано розмірами 10 × 10 м). Майбутні межі розкопів визначаються на місці за допомогою GPS-приладів.

Топооснова слугує базою для цифрової фіксації археологічних досліджень — як розкопів загалом, так і окремих об'єктів і кожної індивідуальної знахідки, що дозволяє проводити просторовий аналіз планувальної структури, розкладання об'єктів та матеріалу за контекстом і горизонтами, просторовий аналіз концентрації матеріалу в окремому об'єкті тощо.

Інструменти ГІС надають досліднику можливість поєднання баз даних міждисциплінар-

них фіксацій, дозволяючи створити реалістичну модель, яка аналізує пам'ятку з різних сторін. Як приклад, поєднання результатів топографічної зйомки та геофізичних досліджень городища Лисуха (Канів) та Пастирського городища з метою виявлення ймовірного місця розташування об'єкту (Манігда, Гнера 2019, рис. 3; 8).

Отже, за допомогою фотограмметричних методів можливо достатньо швидко створити та інтегрувати в інструменти ГІС топографічну основу пам'ятки, що має абсолютну метрологічну точність, розширює інформативну базу та дозволяє проводити додаткові дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

Жигола, В. С., Моця, О. П., Скороход, В. М. 2020. Розвідки на Заріченському археологічному комплексі. *Археологічні дослідження в Україні 2019 р.*, с. 261.

Жигола, В. С., Скороход, В. М. 2019. Новітні методи фіксації в археології. *Археологія*, 1, с. 118-130.

Кучера, М. П., Сухобоков, О. В. 1971. *Звіт про роботу Лівобережного розвідзагону Інституту археології АН УРСР за 1971 р.* НА ІА НАН України, ф. 64, 1971/17а.

Ляпушкин, И. И. 1961. *Днепровское лесостепное Левобережье в эпоху железа*. Материалы и исследования по археологии СССР, 104. Москва; Ленинград: АН СССР.

Манігда, О. В., Гнера, В. А. 2019. Переваги використання геоінформаційних технологій при фіксації археологічних об'єктів. *Археологія і давня історія України*, 1 (30), с. 218-230.

Махортих, С. В., Котова, Н. С., Джос, В. С., Радченко, С. Б. 2020. Нові поховально-ритуальні комплекси доби ранньої Бронзи поблизу Кам'яної Могили. *Археологія і давня історія України*, 4 (37), с. 226-239.

Никоненко, Д. Д., Радченко, С. Б., Волков, А. В. 2017. Вітовтова вежа за даними сучасних фотограмметричних досліджень. *Археологія*, 4, с. 120-129.

Осадчий, Є. М. 2011. *Пам'ятки військової історії Північно-Західної Слобожанщини XVII ст.* Суми: Джерело.

Сергеева, М. С., Жигола, В. С. 2020. Художня різьблена кістка із с. Зарічне. *Археологія*, 4, с. 82-89.

Скороход, В., Манігда, О., Зоценко, І., Степаненко, С. 2019. Топографічна зйомка городища, посаду та подолу в ур. Коровель біля с. Шестовиця (обстеження, обміри та аналіз стану пам'ятки). *Археологічні дослідження в Україні 2017 р.*, с. 339-342.

Третьяков, П. М. 1947. Стародавні слов'янські городища у верхній течії Ворскли. *Археологія*, I, с. 123-140.

Rodriguez, E., Morris, C. S., Belz, J. E., Chapin, E. C., Martin, J. M., Daffer, W., Hensley, S. 2005. *An assessment of the SRTM topographic products*. Technical Report Jet Propulsion Laboratory, D-31639. Режим доступу: https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_D31639.pdf (Дата звернення 30 серпня 2022).

REFERENCES

Zhyhola, V. S., Motsia, O. P., Skorokhod, V. M. 2020. Rozvidky na Zarichnenskomu arkheolohichnomu kompleksii. *Arkheolohichni doslidzhennia v Ukraini 2019 r.*, s. 261.

Zhyhola, V. S., Skorokhod, V. M. 2019. Novitni metody fik-satsii v arkheolohii. *Arkheolohiia*, 1, s. 118-130.

Kuchera, M. P., Sukhobokov, O. V. 1971. *Zvit pro robotu Livoberezhnoho rozvidzhanu Instytutu arkheologii AN URSSR za 1971 r.* NA IA NAN Ukrainy, f. 64, 1971/17a.

Liapushkin, I. I. 1961. *Dneprovskoe lesostepnoe Levoberezhie v epokhu zheleza. Materialy i issledovaniia po arkheologii SSSR*, 104. Moskva; Leningrad: AN SSSR.

Manihda, O. V., Hnera, V. A. 2019. Perevahy vykorystannia heoinformatsiinykh tekhnologii pry fiksatsii arkheolohichnykh ob'ektiv. *Arkheolohiia i davnia istoriia Ukrainy*, 1 (30), s. 218-230.

Makhortykh, S. V., Kotova, N. S., Dzhos, V. S., Radchenko, S. B. 2020. Novi pokhvalno-rytualni komplekсы doby rannoi Bronzy poblyzu Kam'ianoi Mohyly. *Arkheolohiia i davnia istoriia Ukrainy*, 4 (37), s. 226-239.

Nykonenko, D. D., Radchenko, S. B., Volkov, A. V. 2017. Vitovtova vezha za danymy suchasnykh fotogrammetrichnykh doslidzhen. *Arkheolohiia*, 4, s. 120-129.

Osadchyi, Ye. M. 2011. *Pam'iatky viiskovoi istorii Pivnichno-Zakhidnoi Slobozhanschyny XVII st.* Sumy: Dzhherelo.

Serhieieva, M. S., Zhyhola, V. S. 2020. Khudozhnia rizble-na kistka iz s. Zarichne. *Arkheolohiia*, 4, s. 82-89.

Skorokhod, V., Manihda, O., Zotsenko, I., Stepanenko, S. 2019. Topografichna ziomka horodyshcha, posadu ta podolu v ur. Korovel bilia s. Shestovytsia (obstezhennia, obmyry ta analiz stanu pam'iatky). *Arkheolohichni doslidzhennia v Ukraini 2017 r.*, s. 339-342.

Tretiakov, P. M. 1947. Starodavni slov'ianski horodyshcha u verkhniy techii Vorskly. *Arkheolohiia*, I, s. 123-140.

Rodriguez, E., Morris, C. S., Belz, J. E., Chapin, E. C., Martin, J. M., Daffer, W., Hensley, S. 2005. *An assessment of the SRTM topographic products*. Technical Report Jet Propulsion Laboratory, D-31639. Rezhym dostupu: https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_D31639.pdf (Data zvernennia 30 serpnia 2022).

V. S. Zhyhola, V. M. Skorokhod

PHOTOGRAMMETRIC TOPOGRAPHIC BASIS OF ARCHAEOLOGICAL SITE

The publication highlights the use of photogrammetry as one of the methods of fixing the topographic base of a site and the creation of the topographic base using a series of photographs. In archaeological science, a qualitatively prepared topographic plan is the basis for combining the results of previous and subsequent works, reconstruction of a realistic model of the site, its micro-relief, a source of accurate measurements of structures and features of the site, and monitoring its current state. There are a number of methods for creating the topo-bases of archaeological sites, starting with the «classic» one using measuring devices (tape measure), a compass, an optical level or theodolite, and ending with high-tech LiDAR technologies.

One of the methods of creating a topographic base is photogrammetric recording, both on the ground and with the help of low-altitude aerial photography by drone. With the help of a series of photos and their processing in specialized programs, a 3D-model of the object is created.

The article gives an example of the creation of topobases using photogrammetry at two Old Rus hill-forts. The obtained results are compared with the plans of the middle of the 20th century, which were created by researchers by hand. On the basis of the presented orthophoto plans, detailed maps of the heights of both archaeological monuments were created, which became the basis for creating their topographic foundations. For ease of graphic display and perception, heat maps and isolines with markings according to the Baltic system of heights are superimposed on the height maps. Thus, at this stage, ready-made topographic bases of archaeological monuments were created in the following sequence: 1) photogrammetric recording of the area; 2) creation of a 3D-model; 3) creating a photo plan; 4) creating a height map; 5) convenient graphical representation of the topographic map. Topobase serves as a basis for digital recording of archaeological research — both excavations in general and individual objects and each individual find, which allows for spatial analysis of the planning structure, decomposition of objects and material by context and horizons, spatial analysis of the concentration of material in a separate area objects, etc.

Keywords: Kyivan Rus, 10th—13th centuries, hill-fort, photogrammetry, topographical basis, 3D-model.

Одержано 2.09.2022

ЖИГОЛА Віталій Сергійович, молодший науковий співробітник, Інститут археології НАН України, Київ, Україна.

ZHYHOLA Vitalii, Research Officer, Institute of Archaeology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

ORCID: 0000-0002-9420-4893, e-mail: gvjredaktor@gmail.com.

СКОРОХОД В'ячеслав Миколайович, кандидат історичних наук, старший науковий співробітник, Інститут археології НАН України, Київ, Україна.

SKOROKHOD Viacheslav, Ph.D., Senior Researcher, Institute of Archaeology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

ORCID: 0000-0001-5317-0896, e-mail: skorokhod-sv@ukr.net.