

DEFINING BOUNDARIES AND DYNAMICS OF URBANIZED AREAS ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA

Andrii MARUSHCHYNETS

*Institute of Geography of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
securiti89@meta.ua*

Abstract: The article is devoted to the original approach of defining continuously built-up urban areas as well as the dynamics of this process by means of Earth remote sensing data analysis. Basing on this approach, the spreading borders of continuously built-up urban areas of Kyiv city and its suburbs during 1976-2018 have been defined. Earth remote sensing data, as a valuable source of information on land surface in general and built-up areas in particular, provides wide range of opportunities for researching the process of spatial development of urbanized areas. Analysis of built-up territories during significant period of time allows defining spatial development vectors of urbanized regions, modern continuously built-up areas and their borders. The review of similar researches has revealed that the most convenient sources of Earth remote sensing data for defining the area of built-up territories are represented by multispectral space footages of Landsat space program of the USA. The deciphering of space footages and defining of built-up areas has been conducted involving spectral indexes, which is the most precise method of deciphering the Earth remote sensing data. Thus, we managed to define built-up and non-built-up areas as well as water objects of Kyiv city and its suburbs for 1976, 1985, 2002 and 2008. A set of illustrating schematic maps has been created, depicting borders of built-up area. A continuously built-up urban area has amalgamated Kyiv city and a number of surrounding settlements into a highly-urbanized core. During 1976-2018, the area of continuously built-up urban territory of Kyiv expanded 1,5 times and mostly southwestwards.

Key words: Earth remote sensing, urbanization, built up territory, multispectral snapshots, spectral index, decryption.

DOI: <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2020.83.46-52>

UDC: 911.3

Received: March 6, 2020.

Revised: May 8, 2020.

Accepted: May 11, 2020.

ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ТА ДИНАМІКИ СУЦІЛЬНОЇ ЗАБУДОВИ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ЗА ДАНИМИ ДЗЗ

Андрій МАРУЩИНЕЦЬ

*Інститут географії НАН України, Київ, Україна
securiti89@meta.ua*

Анотація: У статті сформовано методику визначення ареалів поширення та динаміки суцільної забудови урбанізованих територій за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та виділено межі та динаміку суцільної забудови Києва і його приміської зони впродовж 1976-2018 років.

Широкі можливості для дослідження просторового розвитку урбанізованих територій мають дані (ДЗЗ), як джерела отримання інформації про земну поверхню, зокрема про забудову населених пунктів. Аналіз забудованих територій у різні часові проміжки протягом достатньо довгого часового періоду – дає змогу виявити вектори територіального розвитку урбанізованих регіонів, сучасні ареали суцільної забудови та їх межі. Аналіз подібних досліджень показав, що оптимальними джерелами даних ДЗЗ для визначення площі забудованих територій є мультиспектральні космічні знімки американської космічної програми Landsat. У дослідженні дешифрування космічних знімків та виділення забудованих територій було зроблено з використанням спектральних індексів, як одних з найточніших методів дешифрування даних ДЗЗ. Таким чином, нами було виділено забудовані, незабудовані території та водні об'єкти Києва та приміської зони за 1976, 1985, 2002 та 2018 рр., побудовано відповідні картосхеми та визначено межі забудови. Встановлено, що формувалась суцільна зона міської забудови, що об'єднала Київ та ряд міст та сіл навколо в єдине високоурбанізоване ядро. За 1976-2018 рр. площа суцільної міської забудови Києва зросла більш як у півтора рази, найпотужнішим вектором росту є південно-західний.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, урбанізація, забудовані території, мультиспектральні знімки, спектральний індекс, дешифрування.

Актуальність дослідження

Однією з тенденцій сучасного розвитку суспільства є стрімкий розвиток міст та урбанізованих територій. Крім зростання кількості міського населення відбувається фізичне укрупнення міст, злиття близько розташованих населених пунктів, розширення урбанізованих площ. Не виключенням є Україна, де особливо швидкими темпами зростає забудова безпосередньо міста Києва та його приміської зони, формуючи потужний урбанізований регіон.

Київський урбанізований регіон виступає сильним соціально-економічним центром, справляє значний вплив на прилеглу територію. Він охоплює як міські поселення так і міжміський простір, які тісно взаємопов'язані. В урбанізованих регіонах формуються ареали суцільної забудови, які в більшості випадків, є ядром агломерації чи метрополісного регіону. Визначення реальних просторових меж урбанізованих регіонів та ареалів їх суцільної забудови є складною науковою задачею, і дане дослідження є початковим етапом у вирішенні цього завдання.

Динаміку та основні напрями розвитку урбанізованих територій найдоцільніше визначити на основі виявлення забудованих територій (території під населеними пунктами). Саме аналіз цих територій у різні часові проміжки протягом достатньо довгого часового періоду – дасть змогу виявити вектори територіального розвитку урбанізованих регіонів, сучасні ареали суцільної забудови та їх межі.

Широкі можливості для вирішення цього завдання мають дані дистанційного зондування землі (ДЗЗ), як джерела отримання інформації про земну поверхню, зокрема про динаміку забудови населених пунктів. Дані ДЗЗ на відміну від статистичної інформації несуть інформацію про реальний стан розвитку фізичних меж населених пунктів на чітко визначений момент часу. Дані ДЗЗ є оперативними, об'єктивними та незалежними і несуть інформацію на великі за площею території, охоплюють значний часовий проміжок (з 70-х років ХХ ст. і по наш час) і дозволяють здійснювати дослідження, не контактуючи безпосередньо з територією дослідження. За допомогою ГІС-технологій є можливість обробки даних ДЗЗ та побудови картосхем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В останні десятиліття у наукових дослідженнях все ширше та активніше використовуються матеріали дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), як джерела отримання інформації про земну поверхню. Передовою установою в Україні, яка займається даними питаннями, є Державна установа «Науковий Центр Аерокосмічних Досліджень Землі Інституту Геологічних Наук Національної Академії Наук України». Проте, більшість досліджень направлені на використання методів ДЗЗ у геології, геоecології, екології. Серед праць, які стосуються суспільної географії, можна виділити роботу

Lyalko et al. (2018), де на основі даних про інтенсивність нічного освітлення території України були оцінені соціально-економічні умови в окремих областях та їхні зміни протягом 1992–2012 рр., в тому числі і у Київській області. Попередні напрацювання з виділення забудованих територій засобами ДЗЗ представлені в роботі автора (Marushchynets, 2018). Аналізуючи використання методів ДЗЗ у дослідженнях урбанізаційних процесів, збільшення та поширень міст та забудованих територій, можна виділити праці азійських та європейських науковців. Теоретичні аспекти обробки та дешифрування даних ДЗЗ представлені наступними дослідженнями: методика конвертації даних супутникових знімків Landsat (Svidzinska, 2014; Bondarenko & Smirnov, 2015; Naas, 2016); спектральні індекси їх алгоритми та апробація (Kawamura et al., 1996; Zhaet al., 2003; Xu et al., 2006; Assyakur et al., 2012; Kaimaris & Patias, 2016). Динаміка зростання забудованих територій та ретроспективний аналіз змін за даними ДЗЗ найбільше відображена в працях вчених Китаю та Індії, де зростання забудованих площ змінюється надзвичайно швидкими темпами. Зокрема, у працях Tamilenth et al. (2015) та Taubenböck et al. (2009) проаналізовано зміни забудови в урбанізованих регіонах Індії; праця Yin et al. (2011) присвячена змінам забудованих площ Шанхаю впродовж 1979–2009 рр., у праці Wang et al. (2012) колектив китайських вчених проаналізував зміни забудови найбільших міст Китаю впродовж 1990–2010 рр.

Виклад основного матеріалу. Найбільш поширеними матеріалами дистанційного зондування землі є супутникові знімки, які відрізняються за призначенням, роздільною здатністю, спектральними характеристиками, якістю, доступністю тощо. Аналіз подібних досліджень показав, що оптимальними джерелами даних ДЗЗ для визначення площі забудованих територій є мультиспектральні космічні знімки американської космічної програми Landsat. *По-перше*, супутникові знімки Landsat є у вільному доступі на сервісі Earth Explorer геологічної служби США (United States Geological Survey, 2020), та їх використання у наукових цілях є безкоштовним. *По-друге*, космічна програма Landsat – найтриваліший проект з отримання супутникових фотознімків планети Земля. Перший супутник цієї програми був запущений в 1972 р., тому це дає можливість проаналізувати основні тенденції та зміни впродовж тривалого періоду. *По-третє*, знімки є мультиспектральними. Мультиспектральний знімок – це набір моноспектральних зображень однієї і тієї ж сцени, отриманих одночасно, але в різних спектральних каналах (знімки програми Landsat мають спектральні канали від синього, зеленого червоного видимих до інфрачервоного та теплового невидимих). За допомогою поєднання різних спектрів можна дешифрувати ті чи інші об'єкти земної поверхні. *По-четверте*, більшість знімків системи Landsat мають роздільну здатність 30-15 метрів, що

є оптимальним для створення середньомасштабних картосхем (Malchykova, 2010; Wang et al., 2012).

На основі дешифрування та аналізу знімків Landsat можна дослідити земний покрив (рослинний покрив, водні об'єкти, території під населеними пунктами), зокрема і забудовані території, та проаналізувати динаміку змін урбанізованих площ в різні часові проміжки. Як свідчить аналіз наукової літератури, забудовані території найдоцільніше виділити за допомогою розрахунків спектральних індексів, як одних з найточніших методів дешифрування даних ДЗЗ. Спектральний індекс – кількісний показник, що розраховується в результаті математичних операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) супутникового знімку.

Таким чином, за даними ДЗЗ космічної програми Landsat, які були дешифровані за допомогою спектральних індексів, нами визначено забудовані території та основні вектори територіального розвитку суцільної забудови Києва та його приміської зони впродовж 1976–2018 рр. Нами сформовано алгоритм дослідження і методичний аспект роботи та виділено 4 основні етапи дослідження (Рис. 1).

На першому етапі сформовано інформаційну базу дослідження. З сервісу Earth Explorer геологічної служби США (U.S. Geological Survey, 2020) були отримані мультиспектральні знімки території Київської області за 1976, 1985, 2002 та 2018 роки. Всі знімки, взяті в роботу, були з хмарністю до 10% та зроблені у теплий період року.

Другий етап присвячений конвертації кожного з каналів мультиспектральних знімків. Для отримання достовірних та зіставних даних необхідно провести певні корекції. Для супутників Landsat 1-7, для кожного з каналів мультиспектрального знімка була проведена корекція світності (radiance) L_γ та корекція відбивальності (reflectance) P_γ (Chander & Markham 2003; Svidzinska 2014).

$$L_\gamma = \left(\frac{L_{max_\gamma} - L_{min_\gamma}}{\theta_{calmax} - \theta_{calmin}} \right) (\theta_{cal} - \theta_{calmin}) + L_{min_\gamma}$$

де, L_γ – спектральна густина енергетичної світності на апертурі сенсора,

θ_{cal} – дискретизовані та калібровані значення пікселів стандартного продукту (DN); θ_{calmin} – мінімальне дискретизоване каліброване значення пікселя, що відповідає L_{min_γ} [DN]; θ_{calmax} – максимальне дискретизоване каліброване значення пікселя, що відповідає L_{max_γ} [DN]; L_{min_γ} – спектральна світність на сенсорі, яке масштабується до θ_{calmin} ; L_{max_γ} – спектральна світність на сенсорі, яке масштабується до θ_{calmax} :

$$P_\gamma = \frac{\pi L_\gamma d^2}{E_{sun_\gamma} \cos \theta_{sz}}$$

Де, P_γ – планетарна TOA-відбивальність; π – математична константа; L_γ – спектральна густина енергетичної світності на апертурі сенсора; d – відстань між Землею та Сонцем (астрономічні одиниці), встановлюється індивідуально для кожної сцени на основі дня знімання за Юліанським календарем; E_{sun_γ} – середнє екзоатмосферне сонячне освітлення; θ_{sz} – зенітна відстань, як дуга вертикалу між зенітом та світилом [°], розраховується за формулою $\theta_{sz} = 90^\circ - \theta_{se}$, де θ_{se} – висота світила, задана параметром в файлі метаданих.

Для супутників Landsat 8 OLI конвертації кожного з каналів проводилася за формулами (Landsat 8 Data Users Handbook).

На третьому етапі проведено обрахунок спектральних індексів та дешифрування космічних знімків. Для виділення забудованих територій, в залежності від року та якості знімків, було використано наступні спектральні індекси: NDBI (Normalised Difference Built-Up Index) (Zha et al., 2003) – нормалізований індекс забудови; UI (Urban index) (Kawamura et al., 1996) – індекс забудови; EBBI (Enhanced Built-Up and Bareness Index) (Assyakur et al., 2012) – покращений індекс забудови; Built-up Index (BUI) (Kawamura et al., 1996) – індекс забудови. Також, з допомогою нормалізованого

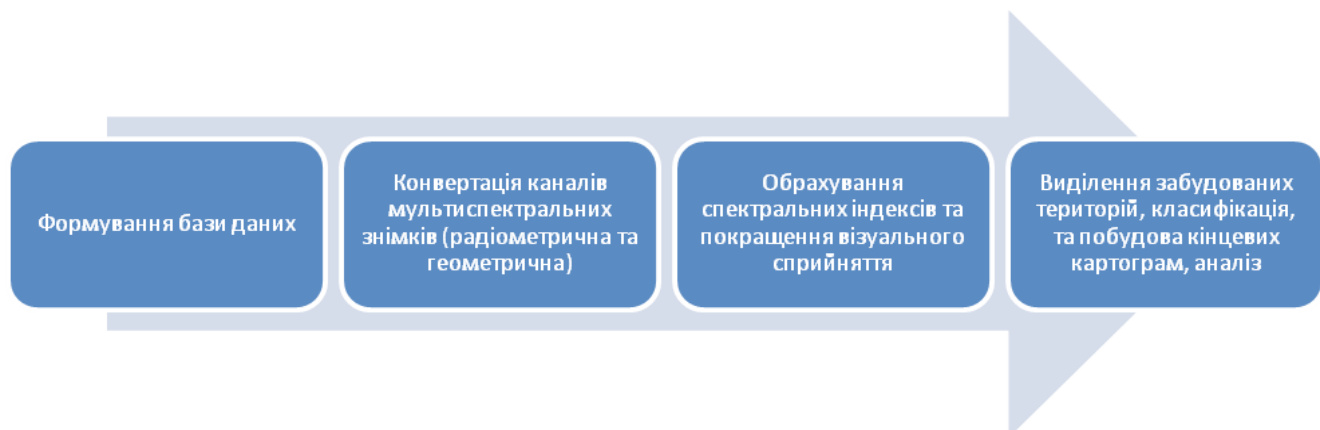


Рис. 1. Алгоритм дослідження територій під забудовою за допомогою ДЗЗ.

індексу води NDWI (Normalized Difference Water Index) (Xu et al., 2006) були дешифровані водні об'єкти. Дешифрування та автоматизована обробка космічних знімків проводилися засобами ГІС технологій, зокрема, ArcGis.

Четвертий етап дослідження присвячений виділенню забудованих територій, класифікації, побудові картосхем та аналізу за кожен з досліджуваних років.

Таким чином, нами було виділено забудовані, незабудовані території та водні об'єкти за 1976, 1985, 2002 та 2018 рр. та побудовано відповідні картосхеми (рис. 2).

Як видно з рисунків, впродовж досліджуваного періоду постійно збільшувалася площа забудованих територій, особливо в місті Київ та його приміській зоні. Також, за кожен з досліджуваних років (1976, 1985, 2002 та 2018 рр.) нами було виділено території під забудовою міста Києва та визначено межі суцільної забудови, де враховувалися тільки ті території, розриви між забудованими площами яких склали не більше ніж 500 метрів.

Аналізуючи зміну меж суцільної міської забудови міста Київ, можна констатувати, що вона постійно зростала і вже у 2002 р. її фізичні межі суттєво вийшли за адміністративний кордон міста. У 2018 р. спостерігається найбільша площа суцільної міської забудови, що об'єднала ряд міст та сіл навколо Києва. Тобто, це нерозривна міська забудова, яка умовно починається в центрі міста і продовжується у всіх напрямках. Фактично сформувалося високоурбанізоване ядро, навколо якого активно розвивається Київська агломерація.

Якщо розглянути зміни меж суцільної забудови Києва (таблиця 1) в числових показниках, то за аналізований період вона зросла більше як в 1,6 рази, з 323 км² у 1976 р. до 509 км² в 2018 р. В адміністративних межах Києва площа суцільної забудови збільшилася на 21%, а от за адміністративними кордонами Києва – зросла аж на 120 км² (на 1001 %) з 12,6 км² у 1976 р. до 132 км² у 2018 р. Тобто, близько 26% Києва фізично є частиною міста (розриви між забудованими територіями складають менше ніж 500 метрів), проте знаходиться за його адміністративними межами.

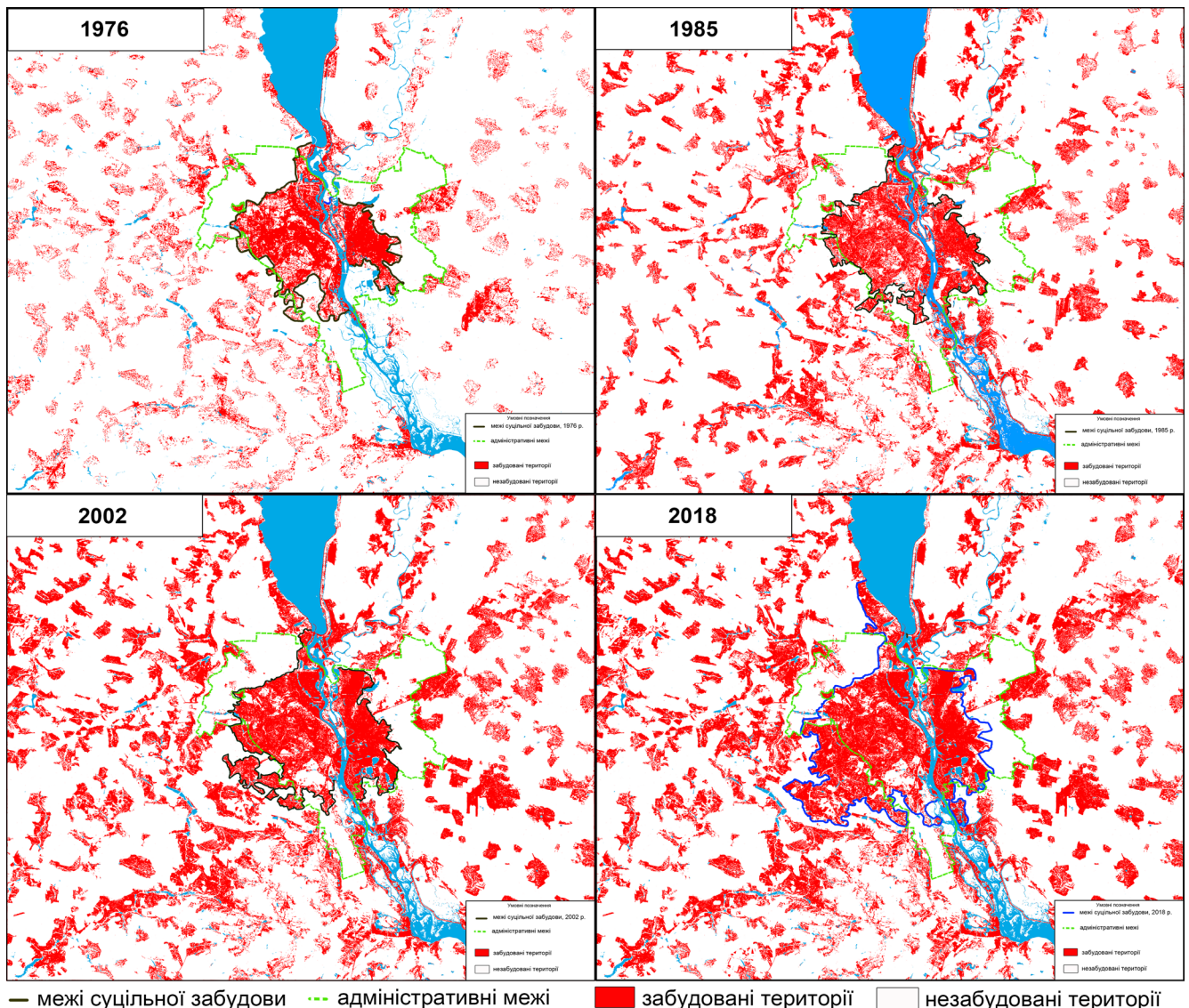


Рис. 2. Суцільна забудова Києва та його приміської зони 1976-2018 рр.

Таблиця 1.

Межі суцільної забудови міста Київ за 1976-2018 рр.

| | 1976 | 1985 | 2002 | 2018 | 1976-2018, % |
|----------------------------------------------------------------------|-------|------|------|-------|--------------|
| Суцільна забудова Києва, км ² | 323,1 | 357 | 420 | 509 | 157 |
| Суцільна забудова в адміністративних межах, км ² | 311,5 | 325 | 358 | 377 | 21 |
| Суцільна забудова Києва за адміністративними межами, км ² | 12,6 | 32 | 62 | 132,2 | 1001 |

Порівнявши зміни суцільної забудови (високо урбанізованого ядра) міста Київ за 1976–2018 рр., нами були виділені основні вектори та напрями зміни забудованих площ (Рис. 3).

Найпотужнішим вектором росту суцільної забудови Києва є південно-західний. Особливо швидкими темпами зростання забудови тут відбувається з 2000 року. Населені пункти цього вектору увійшли до складу високо урбанізованого ядра Київської агломерації – від Кільцевої дороги до Боярки й Віти Поштової у південно-західному напрямку та до Хотова у південному. Крім цих населених пунктів до складу високо урбанізованого ядра увійшли Софіївська Борщагівка, Петро-

павлівська Борщагівка, Святопетрівське, Вишневе Крюківщина, Чабани, Гатне, Новосілки, Тарасівка та інші.

Південно-східний вектор зміни суцільної забудови Києва спостерігається на лівому березі Дніпра. Особливо швидкими темпами зростання забудови тут відбувалося у 80-90-х роках ХХ століття. Зокрема, багатоповерхова забудова характерна для Позняків, Осокорків, Харківського масиву. Значну площу суцільної забудови утворили дачні поселення та садово-городні кооперативи – Нижні сади. Варто зауважити, що на сьогодні частина цих територій перетворилася на постійне житло та елітні садиби.

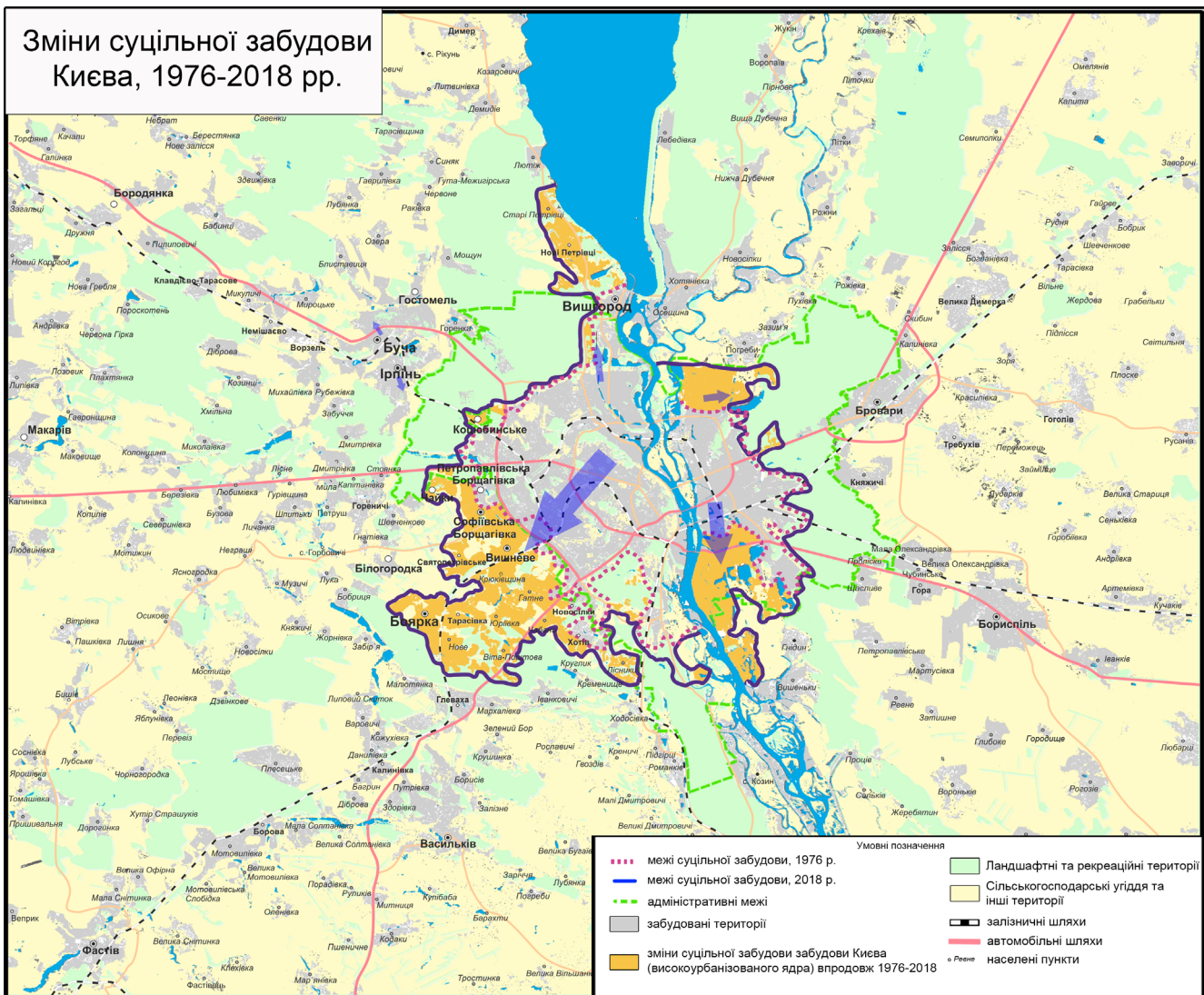


Рис. 3. Напрями та вектори змін суцільної забудови м. Київ, 1976-2018 рр.

Північно-східний вектор зростання суцільної забудови Києва найбільших змін зазнав у 80-90-х роках ХХ століття. Зокрема, в цей період були збудовані великі спальні райони Троєщина та Райдужний масив.

Північний вектор росту високо урбанізованого ядра Київської агломерації йде вузькою смугою по правому березі Дніпра. Суцільна забудова продовжується від Вишгорода і закінчується Старими Петрівцями. Також входять Нові Петрівці, дачні поселення та садово-городні кооперативи.

Спостерігається значне зростання площ забудови і за межами високо урбанізованого ядра Київської агломерації, особливо у найближчих містах-супутниках Києва – Ірпіні, Бучі, Гостомелі, Броварах, Борисполі.

Крім цього, зростання площ забудованих територій впродовж 1976–2018 рр. відбувалося вздовж основних транспортних автомобільних та залізничних шляхів.

Варто зауважити, що основним чинником, який лімітує розростання високоурбанізованого ядра, є лісові масиви та природоохоронні об'єкти. Саме їх відсутність і визначила потужність зростання суцільної забудови в тих напрямках, де ці об'єкти відсутні.

У функціональному плані забудовані площі, які утворилися впродовж періоду дослідження, отримали переважно поселенську функцію, перетворивши все ще самостійні населені пункти в «спальні райони» Києва. Це спричинило ряд проблем: дорожня інфраструктура вже не справляється з постійно зростаючим транспортним потоком; об'єкти соціальної інфраструктури будуються повільніше за житло, тому відбувається перевантаження існуючих закладів освіти, дитячих садків; збільшується навантаження на житлово-комунальне господарство та інженерну інфраструктуру. В найближчій перспективі це зумовить низку серйозних соціально-економічних проблем та потенційно може створити конфліктні ситуації.

Крім фізичних змін забудованих територій відбуваються постійні трансформації міського простору, які проявляються в деіндустріалізації, реіндустріалізації, метрополізації, терціарізації, фрагментації, джентрифікації, субурбанізації, будівництві нових котеджних містечок та перетворенні садово-дачних кооперативів на постійне житло тощо. Ці та інші процеси просторового розвитку Київського урбанізованого регіону потребують більш детального вивчення.

Проведене дослідження дозволило зробити наступні **висновки**:

Дані дистанційного зондування Землі є ефективними для аналізу просторового розвитку урбанізованих територій, зокрема при дослідженні динаміки забудови населених пунктів. Встановлено, що оптимальними джерелами даних ДЗЗ для визначення площі забудованих територій є мультиспектральні космічні знімки американської космічної програми Landsat. На основі дешифрування та аналізу знімків Landsat можна дослідити земний покрив (рослинний покрив, водні об'єкти, території під населеними пунктами), зокрема і забудовані території, та проаналізувати динаміку змін урбанізованих площ в різні часові проміжки.

Під час дослідження було розроблено та апробовано методіку визначення динаміки та векторів територіального розвитку урбанізованих територій із застосуванням даних дистанційного зондування Землі. Сформовано алгоритм дослідження і методичний аспект роботи та виділено 4 основні етапи дослідження.

Нами було виділено забудовані, незабудовані території та водні об'єкти Києва та приміської зони за 1976, 1985, 2002 та 2018 рр., побудовано відповідні картосхеми та визначено межі забудови. Встановлено, що формувалась суцільна зона міської забудови, що об'єднала Київ та ряд міст та сіл навколо в єдине *високоурбанізоване ядро*. За 1976-2018 рр. площа суцільної міської забудови Києва зросла більш як у півтора рази, аналізуючи зміну меж суцільної міської забудови міста Київ, можна констатувати, що вона постійно зростала і вже у 2002 р. її фізичні межі суттєво вийшли за адміністративний кордон міста. Тобто, близько 26% Києва фізично є частиною міста, проте знаходиться за його адміністративними межами.

Найпотужнішим вектором росту суцільної забудови (високоурбанізованого ядра) є південно-західний, дещо меншою мірою виділяються північний, південний та північно-східний вектори. Спостерігається значне зростання площ забудови і за межами високо урбанізованого ядра Київської агломерації, особливо у найближчих містах-супутниках та вздовж основних транспортних автомобільних та залізничних шляхів.

Основним чинником, що лімітує розростання цього високоурбанізованого ядра є лісові масиви та природоохоронні об'єкти, відсутність яких і визначила південно-західний вектор його росту.

References:

1. Assyakur, A. R., Adnyana, I. W. S., Arthana, I. W., & Nuarsa, I. W. (2012). Enhanced built-up and bareness index (EBBI) for mapping built-up and bare land in an urban area. *Remote Sensing*, 4, 2957–2970.
2. Bondarenko, E., & Smirnov, Ya. (2014). Geoinformation mapping algorithm of Chernivtsi region land resources on the basis of spatial data infrastructures. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography*, 1(63), 59–64 [in Ukrainian]. [Бондаренко Е., Смірнов Я. Методичні особливості дешифрування даних дистанційного зондування землі для геоінформаційного картографування земельних ресурсів Чернівецької області // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2014. №1. С. 53–59.]

3. Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 2674–2677.
 4. Haas, J. (2016). *Remote Sensing of Urbanization and Environmental Impacts*. Department of Urban Planning and Environment, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm. Retrieved from: https://www.kth.se/polopoly_fs/1.688332.15501587731/Remote%20Sensing%20of%20Urbanization%20and%20Environmental%20Impacts.pdf.
 5. Kaimaris, D., & Patias, P. (2016). Identification and area measurement of the built-up area with the built-up index (BUI). *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 5, 1844–1858.
 6. Kawamura, M., Jayamana, S., & Tsujiko, Y. (1996). Relation between social and environmental conditions in Colombo Sri Lanka and the urban index estimated by satellite remote sensing data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 31(Part B7), 321–326.
 7. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook (2019). Department of the Interior U.S. Geological Survey: Version 5.0. EROS. Sioux Falls, South Dakota.
 8. Lyalko, V. I., Apostolov, A. A., Elistratova, L. A., & Khodorovsky A. Ya. (2018). The assessment of the social-economic elaboration of the Ukraine in independent years within the dmsp/ols satellite data about the night lighting. *Ukrainian journal of remote sensing*, 16, 27–33. [In Ukrainian]. [Лялько В. І., Апостолов О. В., Єлістратова Л. О., Ходоровський А. Я. Оцінка соціально-економічного розвитку областей України зороки незалежності на підставі даних супутника DMSP/OLS про нічне освітлення // Український журнал дистанційного зондування Землі. 2018. № 16. С. 27–33.]
 9. Malchykova, D. S. (2010). GIS/RS-technologies in the study of land use territorial structure of region. *Problems of continuous geographic education and mapping*, 12, 123–128. [In Ukrainian]. [Мальчикова Д. С. Використання ГІС/ДЗЗ-технологій для вивчення територіальної структури землекористування регіону // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. 2010. Вип. 12. С. 123–128.]
 10. Marushchynets, A. V. (2018). Determining the directions of territorial development of the Kyiv metropolitan region based on the Earth remote sensing data. In: City economy and urban planning. Kyiv: KNEU, 74–78. [In Ukrainian]. [Марущинець А.В. Визначення напрямів територіального розвитку Київського метрополісного регіону за допомогою даних дистанційного зондування Землі / Економіка міста та урбаністика: матеріали Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. К.: КНЕУ, 2018. С. 74–78.]
 11. Svidzinska, D. V. (2014). Geo-environmental research methods: a geo-information practicum on the basis of an open GIS SAGA. Kyiv. [In Ukrainian]. [Свідзінська Д. В. Методи геоєкологічних досліджень: геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA: навчальний посібник. К.: 2014.]
 12. Tamilenthir, S., Punithavathi, J., Baskaran, R., & Chandra Mohan, K. (2011). Dynamics of urban sprawl, changing direction and mapping: A case study of Salem city, Tamilnadu, India. *Scholars Research Library Archives of Applied Science Research*, 3(1), 277–286.
 13. Taubenböck, H., Wegmann, M., & Roth, A. (2009). Urbanization in India – Spatiotemporal analysis using remote sensing data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(3), 179–188.
 14. U.S. Geological Survey (2020). Access mode: <https://www.usgs.gov/>
 15. Wang, L., Li, C., Ying, Q., Cheng, X., Wang, X., Li, X., Hu, L., Liang, L., Yu, L., Huang, H., & Gong, P. (2012). China's urban expansion from 1990 to 2010 determined with satellite remote sensing. *Chinese Science Bulletin*, 57(22), 2802–2812.
 16. Xu, H. (2006). Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 3025–3033.
 17. Yin, Z., Zhong, H., Xu, S., Hu, X., Wang, J., & Wu, J. (2011). Monitoring urban expansion and land use /land cover changes of Shanghai metropolitan area during the transitional economy (1979–2009) in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 177(1), 609–621.
 18. Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583–594.
-
-