

ДИСТАНЦІЙНА ОЦІНКА ЯКІСНОГО СТАНУ РОСЛИННОСТІ НА МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЯХ НА ПРИКЛАДІ НПП «ГОЛОСІЇВСЬКИЙ»

д.т.н. С. А. СТАНКЕВИЧ, доктор технічних наук,

І. О. ПЕСТОВА, О. О. ГОДИНА,

Р. С. ФІЛОЗОВ, кандидат географічних наук

Описано методику оцінки якісного стану рослинності за багатоспектральними супутниковими знімками та наземними завірковими даними. Ця методика є важливою складовою цілісної геоінформаційної технології дистанційного оцінювання стану рослинності урбанізованих територій. Продемонстровано застосування розробленої методики до оцінювання стану рослинності в межах території національного природного парку «Голосіївський» міста Києва.

Ключові слова: *якість рослинності, космічні знімки, спектральне відбиття, Red-Edge Tangent, сплайн-інтерполяція, НПП «Голосіївський»*

Внаслідок невпинного розвитку міста формується особливе урбанізоване середовище, екологічний стан якого впливає на якість умов проживання міських жителів. Для підвищення якості життя необхідне постійне оперативне прогнозування та контролювання розвитку міських територій.

Так як значну роль в поліпшенні екологічних умов відіграють зелені насадження, особливу увагу слід приділити дослідженню стану рослинності з залученням сучасних дистанційних і польових даних та геоінформаційних технологій.

На сьогодні оцінка стану рослинності є досить складним завданням. Воно складається з аналізу великого набору різнорідних, а іноді навіть суперечливих показників, необхідності залучення експертів, а отже – суб'єктивних оцінок та впливу людського фактора. Дослідження значних територій трудомістке й

витратне, тому оперативність актуалізації даних буде досить низькою. Одним зі способів пом'якшення вказаних труднощів є залучення дистанційних даних, а саме супутникових знімків середньої просторової розрізненості [7].

Стан рослинності визначається кількісно-якісними показниками, які отримують різноманітними способами. Так, більш-менш розроблені методи визначення кількості рослинності, що базуються на використанні індексу листової поверхні LAI [18]. Нами перевірено метод оцінки кількості рослинності урбанізованих територій за даними супутникової зйомки [12] і вперше для Києва побудовано регресійні залежності LAI(NDVI) [20]. Також досліджено динаміку змін кількості рослинності Київської агломерації за тривалими часовими серіями супутникових знімків [13].

Сучасні методи оцінки якості рослинності можна розділити на наземні та супутникові. Наземні методи, засновані на визначенні таксаційних даних та ландшафтній оцінці, надають усереднені показники якості, вербальні та сповнені протиріч. Методи засновані на супутникових даних використовують такі якісні показники як кількість хлорофілу, газообмін, тощо [14]. Нами була зроблена спроба перевести методи оцінки якості рослинності на геоінформаційну основу.

Мета дослідження – забезпечення об'єктивного оперативного кількісного дистанційного оцінювання і картування якості рослинності урбанізованих територій шляхом розробки необхідних моделей, алгоритмів та впровадження геоінформаційного сервісу для їх реалізації.

Матеріали і методи досліджень – Національний природний парк (НПП) «Голосіївський», який було створено Указом Президента України № 794/2007 від 27 серпня 2007 року в межах Голосіївського району міста Києва. Указом Президента України від 1 травня 2014 р. № 446/2014 територію НПП «Голосіївський» розширено на 6462,62 гектара за рахунок земель Святошинського лісопаркового господарства без вилучення в землекористувача.

НПП «Голосіївський» є багатофункціональною установою природно-заповідного фонду з такими основними напрямками роботи: природоохоронним, науково-дослідним, рекреаційним, еколого- та культурно-освітнім. Відповідно до 21 Закону України «Про природно-заповідний фонд України», на території НПП «Голосіївський» встановлено диференційований режим та проведено функціональне зонування, яке складається з чотирьох функціональних зон: заповідної, регульованої рекреації, стаціонарної рекреації та господарської. В природному відношенні територія НПП має п'ять відокремлених лісових масивів. Лісові екосистеми займають понад 90% території парку. НПП «Голосіївський» – єдина в Україні установа природно-заповідного фонду вищого рангу, яка знаходиться в межах мегаполіса.

Парк «Голосіївський» розташований в правобережній частині м. Києва, на крайній півночі лісостепової зони. Приєднана у 2014 році територія із мішаними лісами належить до фізико-географічної області Київського Полісся. Південна частина парку – це піщані надзаплавні тераси Дніпра, вкриті переважно сосновими і сосново-дубовими лісами. У долині невеликої річки Віти, що перетинає ці тераси, зберігся значний масив лісових боліт. Північніше, у невеликому урочищі Бичок присутні широколистяні лісові природні комплекси заплави Дніпра.

У центральній частині парку є збережені ділянки широколистяних лісів фізико-географічної області Київського плато – урочища Голосіївський ліс (разом із прилеглим Голосіївським парком ім. Максима Рильського) та Теремки. Саме Голосіївський лісовий масив був обраний для проведення досліджень як найбільш відвідуваний та оточений забудовою.

У дослідженні використано фрагмент багатоспектрального космічного знімка середньої просторової розрізненості «Січ-2»/МСУ, який було отримано 1 вересня 2011 року в чотирьох спектральних діапазонах: зеленому, червоному, ближньому інфрачервоному та середньому інфрачервоному.

Також опрацьовані такі дані наземних спостережень: проект організації території Національного природного парку «Голосіївський», охорони,

відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів і об'єктів [9], а також проект організації та розвитку лісового господарства КП ЛПГ «Конча-Заспа», які включають в себе таксаційний опис, відомості поквартальних підсумків та ін. [8].

Раніше було розроблено загальну схему визначення стану рослинності за даними супутникових зйомок, яку реалізовано у вигляді цілісної геоінформаційної технології, починаючи від каліброваних космічних знімків та закінчуючи картосхемами з рекомендаціями [11]. В нашому дослідженні основну увагу приділено її найбільш складній підсистемі, що реалізує оцінювання якості рослинності (рис.1).

При використанні багатоспектральних аерокосмічних зображень якості рослинності оцінюється за вмістом пігментів, важливих для життєдіяльності. В основному це хлорофіл, а також каротиноїди, антоціани і флавоноїди [2, 6]. Аналіз спектральних характеристик відбиття рослинності у видимому та ближньому інфрачервоному спектральних діапазонах [3] є базою для дистанційного оцінювання вмісту пігментів, достовірність якого залежить від точності відновлення спектральної кривої відбиття рослинності та її похідних [5]. За відбиттям рослинного покриву в середньому інфрачервоному діапазоні та температурою визначається вологовміст рослинності [10]. Фотосинтетична активність і стрес досліджуються за допомогою спеціалізованих вегетаційних індексів [15, 17, 19] та ортогональних перетворень [16].

Під час досліджень виявлено, що за дистанційними даними кращу кореляцію з показниками якості рослинності урбанізованих територій забезпечує не положення червоного краю рослинності в спектрі REP (Red-Edge Position), яке найчастіше застосовується для такого роду задач, а екстремум першої похідної в зоні червоного краю RET (Red-Edge Tangent). RET почасти нагадує широко відомий вегетаційний індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), але на відміну від NDVI він більш точно описує криву спектрального відбиття рослинності в зоні червоного краю.

Було розглянуто такі сучасні методи визначення RET як поліноміальна інтерполяція, розкладання в ряди ортогональних функцій, регресія з NDVI, тощо. Як найбільш придатний для подальшого дослідження було обрано метод оптимальної сплайн-інтерполяції з урахуванням похідних на границях зони червоного краю, який на відміну від класичних методів є стійкішим до шумів [1]. Цей метод базується на визначенні оптимальних вузлових точок з подальшим їх поєднанням кривою, яка забезпечує в кожній точці неперервність функції, що інтерполюється, та її першої і другої похідних. Алгоритм оптимальної сплайн-інтерполяції й обчислення RET з урахуванням специфікацій спектральних діапазонів конкретного багатоспектрального сенсора (у нашому дослідженні – «Січ-2»/МСУ) реалізовано в обчислювальному середовищі SciLab. Так, для «Січ-2»/МСУ фіксація значень похідних спектральної кривої за межами зони червоного краю здійснювалася на основі значень відбиття в додаткових робочих спектральних діапазонах: зеленому ліворуч та середньому інфрачервоному праворуч.

Порядок обробки даних представлений на рис.1.

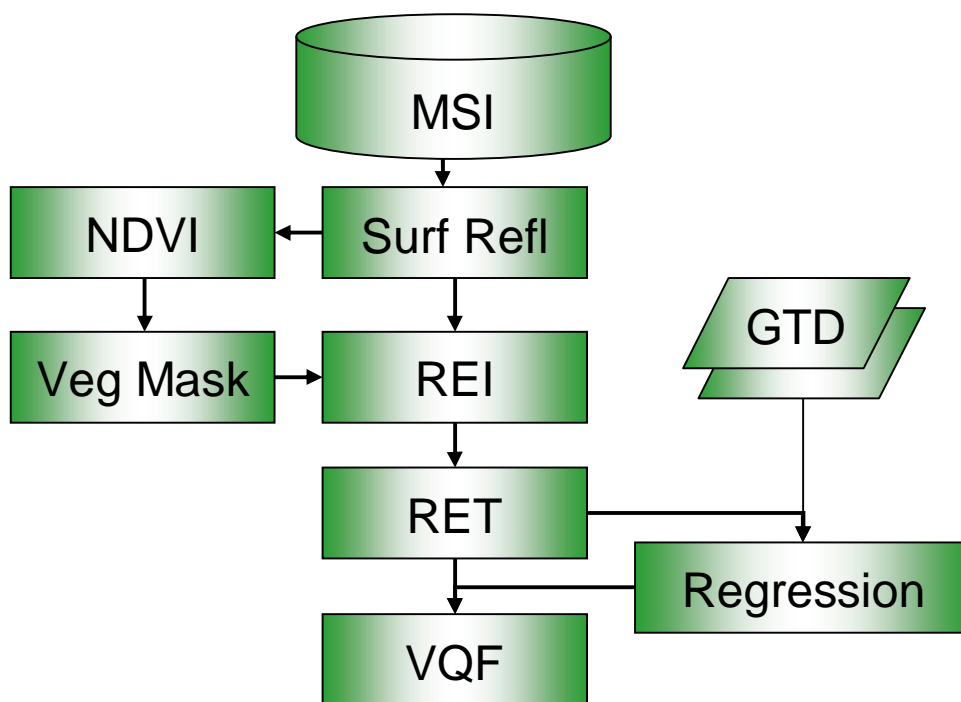


Рис.1. Схема послідовності операцій оцінювання якості рослинності за багатоспектральним зображенням

Спершу виділено фрагмент каліброваного космічного знімку «Січ-2»/МСУ, що відповідає території дослідження (MSI). Виконано атмосферну корекцію зональних зображень, їх перераховано на відповідні коефіцієнти відбиття земної поверхні (Surf Refl). Далі за пороговим значенням NDVI побудовано маску рослинності (Veg Mask) та відокремлено елементарні ділянки рослинних угруповань (виділи), на які є дані наземної завірки (GTD). За алгоритмом оптимальної сплайн-інтерполяції (REI) визначено піксельні значення RET у межах маски рослинності, потім для кожного виділу було визначено його середнє значення.

На основі показників ландшафтної оцінки проведено нормалізацію статистичних вибірок і побудовано робастну регресійну залежність (Regression), показану на рис.2 з відомими класами якості рослинності, які було описано безрозмірним процентним показником VQF (Vegetation Quality Factor). Одержана регресія дозволила обчислити значення VQF в тих частинах знімку, де наземні завіркові дані відсутні.

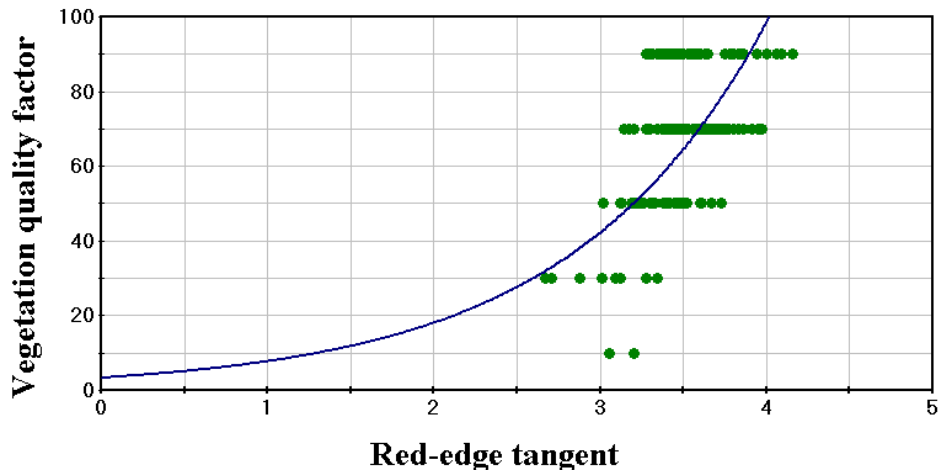


Рис.2. Регресійна залежність VQF(RET)

Результати дослідження. Отримано картосхему нормованого розподілу якості рослинності VQF території дослідження за супутниковими даними. Для покращення візуального сприйняття вона розподілена на п'ять класів та порівняна з розподілом такого показника ландшафтної оцінки як стадія рекреаційної дигресії, тому що рекреаційне навантаження суттєво впливає на стан рослинності [4].

Аналіз отриманих розподілів показує, що середні значення RET невеликих виділів (I) достатньо чітко корелюють з наземними даними (рис.3). Це пояснюється узгодженістю просторового розрізнення знімка та картосхеми, а також тим що в межах декількох пікселів не спостерігається значної варіабельності значень RET.

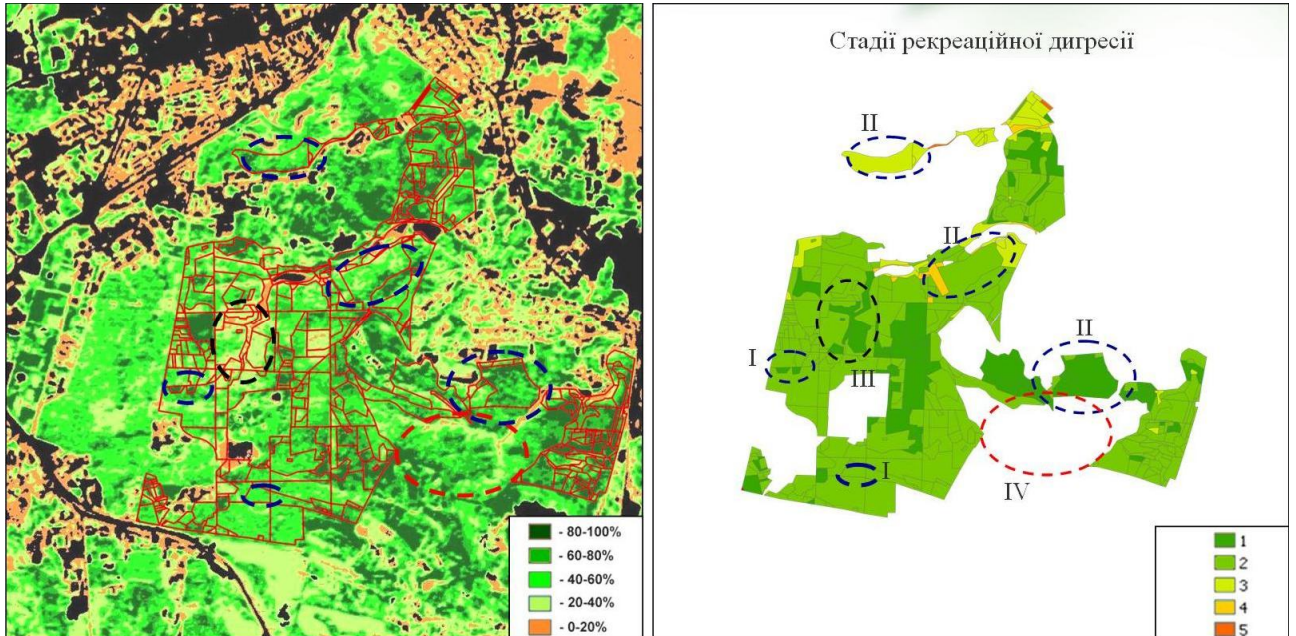


Рис.3. Картосхема розподілу показників стану рослинності за супутниковими даними та даними наземних спостережень

На наступних ділянках (II) можна зазначити значну відповідність наземним даним. Разом із тим очевидною перевагою результатів отриманих за супутниковими даними є виявлення неоднорідності якості великих виділів порівняно з узагальненими показниками ландшафтної оцінки. Це зумовлено як видовою різноманітністю в межах виділу, так і наявністю невеликих за розміром проблемних ділянок, які важко визначаються візуально на місцевості та/або не враховуються за інтегральної експертної оцінки.

Третій варіант (III) – це суттєва розбіжність результатів за супутниковими та наземними даними. Цей випадок є підставою для додаткового наземного обстеження проблемної ділянки та визначення природи розбіжності оцінок якості.

І нарешті перевагою використання супутникових даних є можливість отримати відносні показники якості рослинності на територіях (IV) де не

проводились роботи з ландшафтної оцінки. Так, у цьому випадку, це територія заповідної зони Національного природного парку «Голосіївський», де збереглися природні рослинні угруповання, а також рослини та тварини, які занесені до Червоної Книги України.

Узагальнена оцінка точності виконувалась шляхом порівняння класів рекреаційної дигресії виділів за наземними задвірковими даними з дистанційно отриманими величинами нормованого показника якості рослинності VQF, продискретизованого на відповідні уніфіковані класи ландшафтної оцінки.

Загальна узгодженість показників якості рослинності за наземними та дистанційними даними по виділах така:

Частка узгоджених виділів, %	Розбіжність, %
52,2	0
42,4	20
4,6	40
0,5	60
0,3	80

Усереднена за усіма виділами точність оцінки якості рослинних угруповань становить 89,14%, що є цілком задовільним для дистанційного визначення якості рослинності на міських територіях.

Висновки

1. Розроблено методику дистанційної оцінки якості рослинності, яка є важливою і найбільш складною підсистемою цілісної геоінформаційної технології оцінки стану рослинності. Методику перевірено на даних наземних досліджень в межах НПП «Голосіївський» та отримано задовільні результати.

2. Достовірність одержуваних оцінок характеризувалася величинами коефіцієнтів детермінації відновлених регресійних залежностей, які для різних типів рослинних угруповань знаходяться у діапазоні 0,36-0,68. Неповна відповідність та суперечливість результатів пояснюються неоднозначною експертною оцінкою, тому доцільним кроком у подальших дослідженнях має бути розробка пропозицій щодо уточнення й уніфікації параметрів якісної

оцінки рослинності. Тим не менше, розроблена методика забезпечує 89 % точності збігу результатів з наземними завірковими даними, що дозволяє використовувати її в практиці моніторингу стану міських зелених насаджень.

3. Отримані оцінки є разовими і не можуть описувати загальний якісний стан рослинності повною мірою, тому для більш обґрунтованих оцінок варто застосовувати довготривалі часові серії космічних знімків для згладжування статистичних викидів та виключення впливу фенологічних циклів через видову різноманітність рослинних угруповань досліджуваної території.

4. Для більш однозначних оцінок необхідно проводити оцінку різних класів чи видів окремо. Це вирішується злученням гіперспектральних знімків з наземними завірками польовим спектрометром та космічних знімків високої просторової розрізненості.

Список літератури

1. Бакиров Н. К. Асимптотически оптимальный кубический сплайн / Н. К. Бакиров // Известия вузов. Математика.– 2011.– № 4.– С.8–14.
2. Бранд А. Б. Оптические параметры растительных организмов / А. Б. Бранд, С. В. Тагеева.– М.: Наука, 1967.– 302 с.
3. Выгодская Н. Н. Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности / Н. Н. Выгодская, И. И. Горшкова.– Л.: Гидрометеиздат, 1987.– 248 с.
4. Дацюк В. В. Вивчення змін лісових екосистем під впливом рекреаційних навантажень на території національного природного парку «Голосіївський» / В. В. Дацюк, О. О. Година. – Цілі збалансованого розвитку для України. Матеріали Міжнародної конференції (Київ, 18-19 червня 2013).– К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2013.– С.197–200.
5. Кочубей С. Н. Спектральные свойства растений как основа методов дистанционной диагностики / С. Н. Кочубей, Н. И. Кобец, Т. М. Шадчина.– К.: Наукова думка, 1990.– 136 с.

6. Мовчан Я. И., Каневский В. А., Семичаевский В. Д. и др. Фитоиндикация в дистанционных исследованиях.– К.: Наукова думка, 1993.– 306 с.
7. Попов М. О., Станкевич С. А., Козлова А. О., Маркова І. О. До оперативного оцінювання забезпеченості міських територій зеленими насадженнями із застосуванням багатоспектральних аерокосмічних знімків // Науковий вісник Національного аграрного університету. – Вип.128.– К.: НАУ, 2008.– С.299–301.
8. Проект організації та розвитку лісового господарства КП ЛПГ «Конча-Заспа» м. Київ. Голосіївське лісництво. Таксаційний опис, відомості поквартальних підсумків. – Ірпінь: КП ЛПГ «Конча-Заспа», 2010.– 202 с.
9. Проект організації території національного природного парку «Голосіївський», охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів і об'єктів.– К.: НПП «Голосіївський», 2013.– 303 с.
10. Сахацький О. І. До можливостей оцінювання зволоженості земного покриття за багатоспектральними космічними зображеннями оптичного діапазону на прикладі території України / О. І. Сахацький, С. А. Станкевич // Доповіді НАН України.– 2007.– № 11.– С.122–128.
11. Станкевич С. А. Геоінформаційний сервіс оброблення даних для оцінювання рослинності урбанізованих територій / С. А. Станкевич, І. О. Пестова // Вісник геодезії та картографії.– 2014.– № 3.– С.23–26.
12. Станкевич С. А. Дистанційне оцінювання кількості рослинності в міських агломераціях / С. А. Станкевич, І. О. Пестова // Матеріали науково-практичної конференції «Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій».– К.: ІНТ НАУ, 2013.– С.75–80.
13. Станкевич С. А. Картирование изменений растительного покрова Киевской агломерации на основе долговременных временных рядов многоспектральных космических снимков Landsat / С. А. Станкевич, И. А. Пестова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.– 2014.– Т.11, № 2.– С.187–196.

14. Строчинський А. А. Таксація зелених насаджень на території міста Києва: теорія та практика. Монографія / А. А. Строчинський, В. В. Миронюк.– Корсунь-Шевченківський: ФОП Гаврищенко, 2013.– 179 с.
15. Apan A. Detecting sugarcane ‘orange rust’ disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery / A. Apan, A. Held, S. R. Phinn, J. Markley // International Journal of Remote Sensing.– 2004.– Vol.25, No.2.– P.489–498.
16. Crist E. P. The tasseled cap de-mystified / E. P. Crist, R. J. Kauth // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.– 1986.– Vol.52, No.1.– P.81–86.
17. Merzlyak M. N., Gitelson A. A., Chivkunova O. B., Rakitin V. Y. Nondestructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening // Physiologia Plantarum.– 1999.– Vol.106, No.1.– P.135–141.
18. Myneni R. B., Nemani R. °R., Running S. W. Estimation of global leaf area index and absorbed PAR using radiative transfer model // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.– 1997.– Vol.35.– No.6.– P.1380–1393.
19. Peñuelas J. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance / J. Peñuelas, F. Baret, I. Filella // Photosynthetica.– 1995.– Vol.31, No.2.– P.221–230.
20. Piestova I. Vegetation state quantitative estimation within urban area / I. Piestova // Матеріали доповідей міжнародної наукової конференції «Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки» (GEO UA-2014).– Київ: Наукова думка, 2014.– С.90–93.

**ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ
РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ НА ПРИМЕРЕ
НПП «ГОЛОСЕЕВСКИЙ»**

С.А. Станкевич, И.А. Пестова, О.О. Годына, Р.С. Филозоф

Описана методика оценки качественного состояния растительности по многоспектральным спутниковым снимкам и наземным заверочным данным.

Эта методика является важной составляющей целостной геоинформационной технологии дистанционного оценивания состояния растительности урбанизированных территорий. Продемонстрировано применение разработанной методики к оценке состояния растительности в пределах территории национального природного парка «Голосеевский» города Киева.

***Ключевые слова:** качество растительности, космические снимки, спектральное отражение, Red-Edge Tangent, сплайн-интерполяция, НПП «Голосеевский»*

VEGETATION QUALITY REMOTE ASSESSMENT IN URBAN AREA: GOLOSIIVSKY NNP CASE STUDY

S. Stankevich, I. Piestova, O. Godyna, R. Filozof

In the paper the technique for estimation of vegetation quality using multispectral satellite imagery and ground truth data is described. This technique is an important component of an integrated geoinformation technology for remote assessment of vegetation condition within urban area. The developed technique application for the vegetation condition assessment within the “Golosiivsky” Kiev National Nature Park is demonstrated.

***Key words:** vegetation quality, satellite imagery, spectral reflectance, Red-Edge Tangent, spline interpolation, NNP “Golosiivsky”*