



8. *Error Analysis of Terrestrial Laser Scanning Data by Means of Spherical Statistics and 3D Graphs* [Електрон. ресурс] / A. Cuartero, J. Armesto, P. Rodriguez, P. Arias // SENSORS. – 2010. – № 10. – P. 10128-10145. – <http://www.mdpi.com/1424-8220/10/11/10128>
9. *Förstner, W. Mathematical concepts in photogrammetry*. [In: Manual of Photogrammetry, 5th ed.] / W. Förstner, B. Wrobel, J.C. McGlone [et al.]. – Bethesda, MD, USA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. – 1151 p.
10. *Gruen, A. Calibration and Orientation of Cameras in Computer Vision* / A. Gruen, T.S. Huang. – New York, 2001. – Springer Science & Business Media. – P. 163-164.
11. *Improvement to and Comparison of Static Terrestrial LiDAR Self-Calibration Methods* [Електрон. ресурс] / J.C.K. Chow, D.D. Lichti, C. Glennie, P. Hartzell // SENSORS. – 2013. – № 6. – P. 7224-7249. – <http://www.mdpi.com/1424-8220/13/6/7224>
12. *Lichti, D. A review of geometric models and self-calibration methods for terrestrial laser scanners* / D. Lichti // Boletim de Ciências Geodésicas. sec. Artigos, v. 16, no 1. – Curitiba, 2010. – P. 3-19.
13. *Lichti, D. Experiences with terrestrial laser scanner modelling and accuracy assessment* / D.D. Lichti, M.G. Licht // The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 5). – Newcastle upon Tyne, 2006. – P. 155-160.
14. *Lichti, D. Modelling, calibration and analysis of an AM-CW terrestrial laser scanner* / D. Lichti // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – Amsterdam, 2007. – 61. – P. 307-324.
15. *Lichti, D. Self-Calibration and Analysis of the Surphaser 25HS 3D Scanner* / D. Lichti, S. Brustle, J. Franke // Proceedings of the Strategic Integration of Surveying Services, FIG Working Week, Hong Kong, China, 13-17 May 2007. – P. 31-44.
16. *Miri, M. Evaluating parameters affecting the georeferencing accuracy of terrestrial laser scanners* / M. Miri, M. Varshosaz // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-5/W16, 2011 ISPRS Trento 2011 Workshop, 2-4 March 2011, Trento, Italy. – P. 387-390.
17. *Reshetyuk, Y. Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning: Doctoral thesis in Infrastructure* / Y. Reshetyuk // Geodesy. Royal Institute of Technology (KTH), Department of Transport and Economics, Division of Geodesy, Sweden, Stockholm, January 2009. – 173 p.
18. *Rietdorf, A. A Concept for the Calibration of Terrestrial Laser Scanners* / A. Rietdorf, F. Gielsdorf, L. Gruendig. – TS26 Positioning and Measurement Technologies and Practices II – Laser Scanning and Photogrammetry at FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27, 2004. – P. 2-11.
19. *Schultz, T. Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy: Dissertation for the degree of Doctor of Sciences* / T. Schultz. – ETH Zurich. – Zurich, 2007. – 172 p.

Надійшла 16.02.15

* * *

УДК 621.396.933:629.783:332.3

Л. В. Гебрин, Ю. Ю. Бандурович

ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ТА НАЗЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Исследовано современное состояние почв Мукачевского района Закарпатской области. Проанализировано информативность спектральных снимков спутника Landsat 8 OLI и Landsat 7 ETM. Обосновано оптимальный выбор каналов для решения конкретных задач оценки состояния почв (определение степени засоленности, гумификации, влажности) с помощью алгоритма, который основан на анализе динамики вегетационных индексов, определяемых по мультиспектральным космическим снимкам.

The current state of soils of Mukachevo district of Transcarpathian region has been examined. The informational content of the spectral satellite images from Landsat 8 OLI and Landsat ETM 7 are analyzed. The optimal channel selection for specific tasks of soil assessment (determining the salinity degree, humification, humidity) applying the algorithm based on the analysis of the dynamics of vegetation indices and defined by the multispectral satellite images has been motivated.

Актуальність теми дослідження. Питання розвитку аграрного сектору, зокрема раціонального використання земель сільськогосподарського призначення – одне з пріоритетних для економіки нашої країни. Інтенсивне, без дотримання екологічно обґрунтованих норм використання земель у сільському

господарстві призвело до посилення ерозійних процесів та зниження родючості ґрунтів. Ефективно використовувати сільськогосподарські землі – це не тільки збирати високі врожаї, а й стежити за станом ґрунтового покриття [6].

Відомо багато способів покращення стану ґрунтового середовища (осушення, удобрення, меліорація та ін.). Але завжди гостро стояло завдання пошуку

© Л. В. Гебрин, Ю. Ю. Бандурович, 2015



надійних джерел одержання актуальної просторової інформації про стан земельних ресурсів, сільськогосподарських угідь, ґрунтового покриву та агрометеорологічних умов, що впливають на стан земель. Наразі таку оперативну і разом з тим достовірну інформацію можна отримати з матеріалів дистанційного зондування Землі. За своїми характеристиками, інформативністю вони повністю відповідають поставленому завданню пошуку інформації для прийняття управлінських рішень у сільському господарстві, є набагато ефективнішими за інші джерела інформації. Головна їх перевага – одномоментне надання величезного обсягу інформації з необхідним просторово-часовим розрізненням і відображенням поверхні досліджуваної території у різних спектральних діапазонах випромінювання [13].

Постановка проблеми. За підрахунками експертів, при ефективному (раціональному) землекористуванні чорноземи України здатні прогодувати щонайменше 300-320 млн людей. Проте активні ґрунтово-деградаційні процеси (декальцинація, надмірне підкислення, заболочування, оглеєння, дегуміфікація, ерозія, засолення та виснаження ґрунтів) на фоні несприятливого співвідношення між екологічно стабільними (ліси, луки, пасовища) і нестійкими проти деградації угідь (рілля), недосконалих систем землекористування й агротехнологій погіршили екологічний стан орних земель та агроландшафтів і спричинили значне зниження їх продуктивності [6].

Створення ефективного інструментарію для інформаційного забезпечення і підтримання управлінських рішень з агроекологічного оцінювання стану ґрунтового покриву на основі поєднання даних наземних досліджень та мультиспектральних знімків дасть змогу підвищити ефективність сільськогосподарського виробництва.

Мета нашого дослідження – розроблення алгоритму для визначення стану ґрунтів за матеріалами наземних досліджень та виходячи з аналізу динаміки вегетаційних індексів, обчислених за різночасовими мультиспектральними космічними знімками на території Мукачівського району Закарпатської області.

Огляд попередніх публікацій. Щоб розв'язати завдання забезпечення ефективного супутникового моніторингу ґрунтового покриву, потрібно здійснити низку комплексних заходів. Наукове обґрунтування шляхів вирішення цього питання виконано у працях вітчизняних і зарубіжних вчених. Вплив коригування спектрального відбиття різночасових знімків досліджували Ю. О. Карпінський з колегами [7,8], В. В. Козодеров з колегами [9,10], В. Г. Бондур зі співавторами [3], P.S. Chavez [17] та інші.

Питання ідентифікації об'єктів навколишнього середовища на багатоспектральних знімках та оцінювання точності класифікації висвітлено в працях В. І. Лялька, М. О. Попова [2,13], С. А. Станкевича [1] та ін. Теоретичні підходи до розрахунків вегетаційних індексів та їх застосування у сфері сільського господарства обґрунтовано у публікаціях С. С. Кохан [11,12], М. В. Бабій, Е. А. Луцян,

Г. І. Жолобак, О. І. Сахацького [4], Т. С. Ямелинець [15], F. Baret, J. V. Rouse, R. E. Crippe, A. R. Huete [16, 18-20].

Однак, незважаючи на значні доробки в питаннях створення ефективного інструментарію інформаційного забезпечення і підтримання управлінських рішень у галузі сільського господарства, досі не розроблено єдиного алгоритму використання даних ДЗЗ для оцінювання стану ґрунтів.

Виклад основного матеріалу. За даними ДУ "Держґрунтохорона", у Мукачівському районі Закарпатської області було відібрано ґрунтові зразки на площі 41,17 тис. га станом на 01.01.2013 року. У розрізі сільськогосподарських угідь обстежено: рілля – 29,90 тис. га (73 %), сіножатей – 1,82 тис. га (4 %) і пасовищ – 5,77 тис. га (14 %), а також багаторічних насаджень 3,68 тис. га (9 %). Відібрано 8 460 зразків ґрунту. За даними досліджень було складено дві картограми агрохімічних характеристик ґрунтового покриву (мал.1 і 2) [5,14].

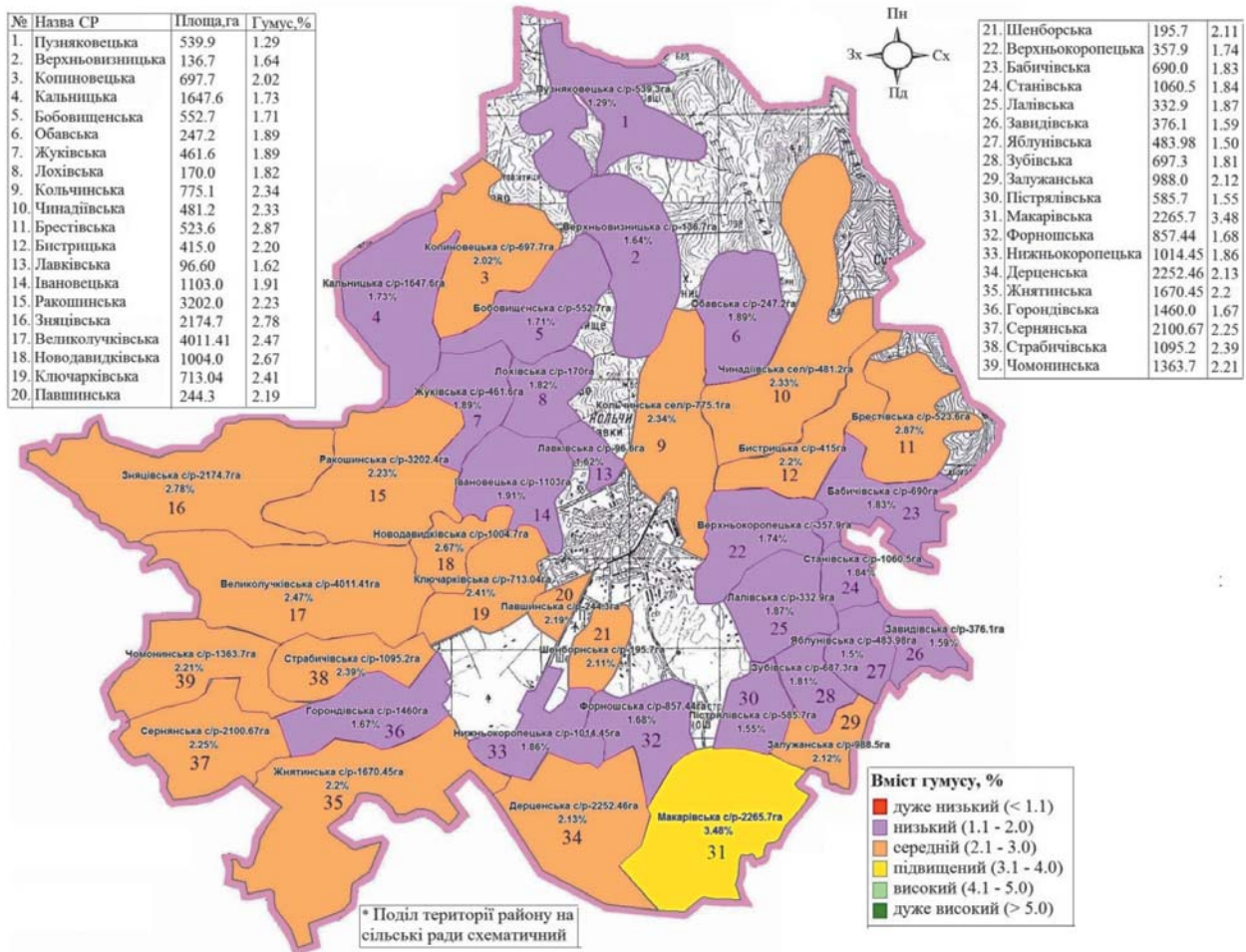
Під час дослідження виявлено, що з кожним роком ґрунтовий покрив втрачає поживні речовини і вміст гумусу, що може призвести у недалекому майбутньому до повної втрати ґрунтом родючості. Якщо не вжити належних заходів запобігання і мінімізації прояву негативних тенденцій, можна повністю втратити потенціал родючості ґрунтів. Це потребує розробки відповідних методик досліджень. Але наземне вивчення стану ґрунтів вимагає значних ресурсів і часу. Зазначене підтверджує актуальність теми нашого дослідження, яке ставить за мету розроблення алгоритмів оцінювання стану ґрунтів на основі даних дистанційного зондування.

Експериментальні матеріали. У вироблення концепції алгоритму оцінювання стану ґрунтового покриву за різночасовими даними мультиспектральних зображень покладено принцип аналізу динаміки вегетаційних індексів згідно з методикою, описаною в праці [3].

На першому етапі досліджень із безкоштовного сервера Glovis було отримано мультиспектральні знімки з супутника Landsat 8 OLI і 7 ETM з 15-30-метровим просторовим розрізненням. У програмі ENVI IDL ми здійснили попереднє оброблення знімків, а саме радіометричну та атмосферну корекцію за алгоритмом Quick Atmospheric Correction, що значно підвищило точність одержаної інформації. Далі було проаналізовано інформативність спектральних каналів супутників відповідно до часу зйомки та їх оптимальності для конкретних завдань оцінювання стану ґрунтів (визначення ступеня засоленості, загумусованості, вологості) у програмному комплексі Erdas Intergraph. Комбінація ближнього, середнього інфрачервоного та червоного видимого каналів дала можливість проаналізувати вологість ґрунту (чим вища вологість ґрунту, тим темнішого кольору територія на знімку, що пояснюється поглинанням водою променів ІЧ-діапазону). Проаналізувавши мультиспектральні знімки у відомій комбінації каналів, можна зробити висновок, що ґрунти Мукачівського району досить перезволожені (це підтверджують наземні дані з джерела [5]).



Мал. 1. Картограма агровиробничих груп ґрунтів Мукачівського району Закарпатської області



Мал. 2. Картограма ґрунтів Мукачівського району Закарпатської області за вмістом гумусу



За отриманим зображенням та за формулою з праці [3] можемо розрахувати індекс засоленості (RSI):

$$RSI = \frac{1}{350} \sqrt{b_1^2 + b_3^2},$$

де b_1, b_3 – коефіцієнт спектральної яскравості пікселя на 1-му і 3-му каналах для супутника Landsat 7.

Для супутника Landsat 8 OLI формула має інший вигляд:

$$RSI = \frac{1}{350} \sqrt{b_2^2 + b_4^2}.$$

За динамікою зміни індексів можна простежити зміни стану ґрунтів за період 2002-2014 рр.

Територія Закарпатської області характеризується низьким ступенем засоленості, що і підтверд-

жується в дослідженні [5].

Потім було розраховано індекс умов розвитку стану рослинності (VCI) за формулою [3]

$$VCI = \frac{2 \cdot b_4}{2(b_3 + b_4)},$$

де b_4, b_3 – коефіцієнти спектральної яскравості пікселя на 4 і 3-му каналах для супутника Landsat 7.

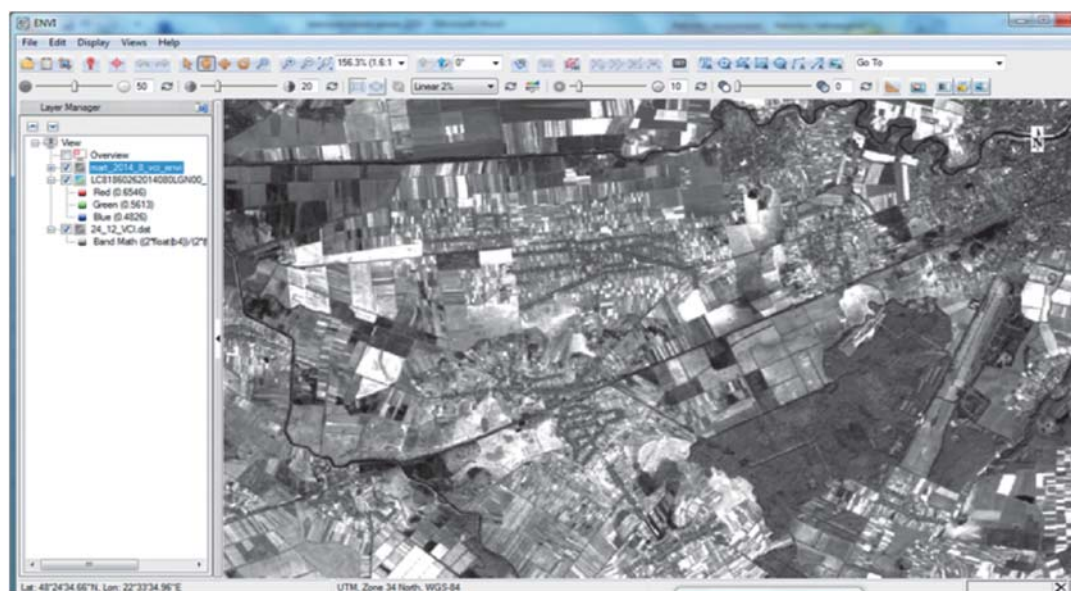
Для супутника Landsat 8 OLI формула має такий вигляд:

$$VCI = \frac{2 \cdot b_5}{2(b_4 + b_5)}.$$

Для визначення наявності рослинності на поверхні було розраховано індекс умов розвитку стану рослинності за період 2002-2014 рр. (мал. 3, 4).



Мал. 3. Картохема індексності умов розвитку стану рослинності на березень 2002 р.



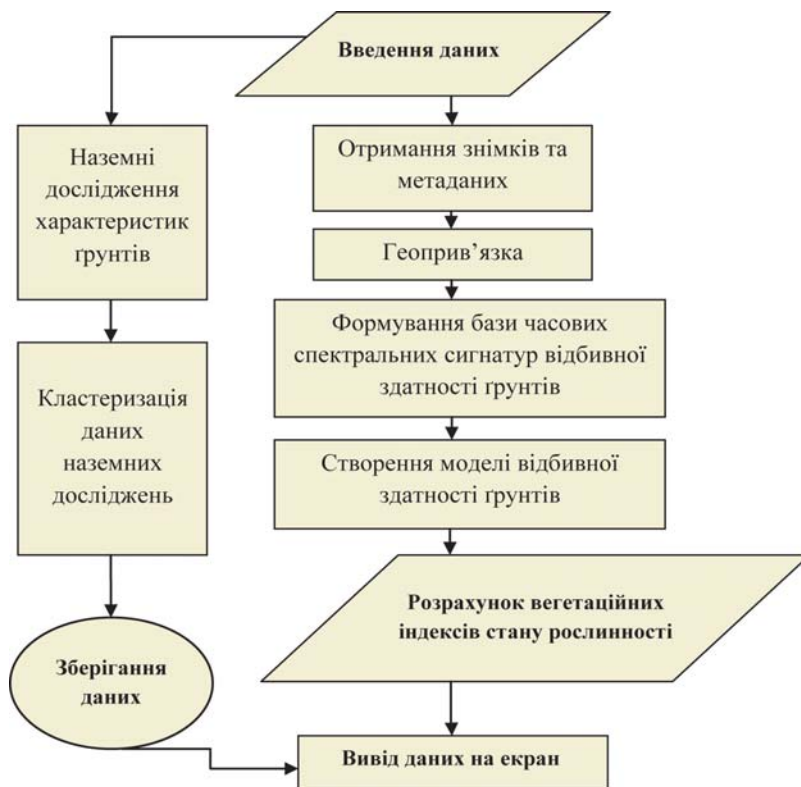
Мал. 4. Картохема індексності умов розвитку стану рослинності на березень 2014 р.



Простежується динаміка зміни рослинного покриття (за джерелом [12] значення VCI не повинно перевищувати 0,15).

Розрахунки підтвердили динаміку зміни стану ґрунтового покриття, виявлену на основі вегетаційних індексів для території Мукачівського району Закарпатської області. Подібні розрахунки можна проводити для будь-якої території.

На основі проведених розрахунків пропонується удосконалена схема побудови алгоритму оцінювання стану ґрунтів за даними наземних досліджень та дистанційного зондування [3] (мал. 5).



Мал. 5. Алгоритм визначення стану ґрунтів на основі аналізу динаміки вегетаційних індексів, установлених за мультиспектральними космічними знімками

Алгоритм оцінювання стану ґрунтів ми удосконалили в частині наземних спостережень, а саме здійснили кластеризацію даних. Пропонується класифікувати ґрунти за видами відповідно до показників, що характеризують дану тему (вид ґрунту – проблема, що прослідковується, – характерні особливості проблеми). Формування бази часових спектральних сигнатур оптимізує вибір вегетаційних індексів для оцінювання стану ґрунтів та побудови моделі їх відбивної здатності.

Висновки та перспективи дослідження. Проведене дослідження стану ґрунтового покриття Мукачівського району Закарпатської області дає змогу зробити такі висновки:

1. Якісні характеристики ґрунтів і стан земель у регіоні наближаються до критичних значень. Збереження такої тенденції може становити велику

загрозу і спричинити в майбутньому значні втрати у сільськогосподарському виробництві в результаті виведення з обороту немалих площ. За даними наземних досліджень ґрунтів, які здійснюються раз на 5 років ДУ "Держґрунтохорона", виявлено за 2008-2013 рр. зменшення вмісту гумусу 2,4 % та зниження поживних властивостей ґрунту: N – 81,3 %, P₂O₅ – 83,0 %, K₂O – 122,5 %.

2. Для оцінювання загального та окремого показника вологості ґрунтового покриття Мукачівського району за березень 2002 р. і за березень 2014 р. прийнято за оптимальну комбінацію спектральних каналів 5-6-4 для Landsat 8 OLI та 4-5-3 для Landsat 7. Розраховано вегетаційні індекси стану рослинності VCI та RSI, які показали негативну динаміку рослинності та підтвердили наземні дані про низькі значення показника засоленості території.

3. Алгоритм визначення стану ґрунтів за результатами аналізу змін вегетаційних індексів за мультиспектральними космічними знімками доповнено такими елементами: 1) щодо наземних спостережень введено кластеризацію наземних досліджень; 2) щодо даних дистанційного зондування – сформовано базу часових спектральних сигнатур відбивної здатності ґрунтів з наступним створенням моделі цього показника. Предметом подальших досліджень має стати удосконалення даної методики у частині залучення фізичних та хімічних показників ґрунтів.

Література

1. *Аерокосмічні знімальні системи: посібник*; за ред. Х.В. Бурштинської, С.А. Станкевича. – Л.: Вид-во Львівської політехніки. – 2013. – 292 с.
2. *Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування*; за ред. В.І. Лялька та М.О. Попова. – К.: Наук. думка. 2006. – 360 с.
3. *Бондур, В.Г.* Алгоритм расчета степени деградации почвы / В.Г. Бондур, А.А. Рихтер, А.Б. Мурунин // Технические науки в России и за рубежом: матер. II Междунар. науч. конф. – М.: Буки-Веди, 2012. – С. 8-14.
4. *Жолобак, Г.М.* Завірково-калібрувальні дані в задачах природокористування, пов'язаних із сільськогосподарськими культурами / Г.М. Жолобак, О.І. Сахацький // Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування; за ред. В.І. Лялька, М.О. Попова. – К.: Наук. думка, 2006. – С. 262-268.
5. *Звіт про виконання проектно-технологічних та науково-дослідних робіт у 2013 році*; за ред. Ю.Ю. Бандуровича. – Ужгород: Карпати, – 2014. – 91 с.
6. *Зубок, М.В.* Сучасний стан ґрунтового покриття України і невідкладні заходи з його охорони / М.В. Зубок,



- С.А. Балюк, В.В. Медведєв, В.О. Греков // Агрохімія і ґрунтознавство. Спеціальний випуск до VIII з'їзду УТГА. – К.: Наук. думка, 2010. – С. 7-17.
7. Карпінський, Ю.О. Досвід використання космічних знімків із супутника Quick Bird (Standart) для великомасштабного картографування / Ю.О. Карпінський, Л.О. Скакодуб, А.В. Єгоров // Вісн. геодез. та картогр. – 2007. – № 2. – С. 22-29.
8. Карпінський, Ю.О. Започаткування полігона дистанційного зондування Землі для топографічного картографування / Ю.О. Карпінський, Л.О. Скакодуб, А.В. Єгоров // Вісн. геодез. та картогр. – 2007. – № 2. – С. 31-37.
9. Козодеров, В.В. Обработка данных гиперспектрального аэрокосмического зондирования / В.В. Козодеров, Т.В. Кондратьев, Е.В. Дмитриев [и др.] // Исследования Земли из Космоса. – 2012. – № 5. – С. 3-11.
10. Козодеров, В.В. Аэрокосмическое зондирование почвенно-растительного покрова: модели, алгоритмическое и программное обеспечение, наземная валидация / В.В. Козодеров, Е.В. Дмитриев // Исследования Земли из Космоса. – 2010. – № 1. – С. 69-86.
11. Кохан, С.С. Вегетаційні індекси відбиття / С.С. Кохан // Наук. вісн. НАУ. – 2005. – Вип. 83. – С. 332-336.
12. Кохан, С.С. Застосування просторових поліпшувальних перетворень космічних знімків та формування похідних зображень для дослідження агресурсів / С.С. Кохан // Вісн. геодез. та картогр. – 2010. – № 3. – С. 22-27.
13. Лялько, В.І. Стан та перспективи розвитку дистанційних методів дослідження Землі в Україні / В.І. Лялько, М.О. Попов // Геол. журн. – 2011. – № 1. – С. 50-58.
14. Статистичний щорічник "Закарпаття 2011"; за ред. Г.Д. Гриник. – Ужгород: Карпати, 2012. – 543 с.
15. Ямелинець, Т.С. Застосування географічних інформаційних систем у ґрунтознавстві: навчальний посібник / Т.С. Ямелинець. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту ім. І. Франка, 2008. – 194 с.
16. Baret, F. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment / F. Baret, G. Guyot // Remote Sens. Environ. – 1991. – 35. – P. 161-173.
17. Chavez, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data / P.S. Chavez // Remote sensing of Environment. – 1988. – Vol. 24. – P. 459-479.
18. Crippler, R.E. Calculating the vegetation index faster / R. E. Crippler // Remote sensing of Environmental. – 1990. – P. 71-73.
19. Huete, A.R. Normalization of multidirectional red and near-red reflectances with the SAVI / A.R. Huete, G. Hua, J. Qi [et al.] // Remote Sens. Environ. – 1992. – 40. – P. 1-20.
20. Rouse, J.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS / J.W. Rouse, R.H. Haas., J.A. Schell, D.W. Deering // Proceedings. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351. – Greenbelt, 1974. – P. 3010-3017.

Надійшла 12.01.15