

ПОРІВНЯННЯ ГЛОБАЛЬНИХ ЦИФРОВИХ КАРТ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

© Лесів М.Ю., 2012

Усовершенствовано методику с элементами нечеткой логики для сравнения нескольких глобальных карт земельного покрова и проведен соответствующий анализ для территории Украины.

The methodology based on fuzzy logic to compare several global maps of land cover was improved. The comparison of the newest global land cover products was carried out for territory of Ukraine.

Постановка проблеми. Глобальні цифрові карти земельного покриття (або ж глобальні продукти земельного покриття, від англ. “global land cover products”) розробляють на основі супутникових знімків Землі уже майже два десятиліття. Вони є одним із найважливіших джерел базової наземної інформації для широкого кола застосувань, наприклад, як вхідні дані у глобальних моделях землекористування та змін у землекористуванні, кліматичних моделях, під час оцінювання наявних земельних ресурсів для виробництва біопалива, забезпечення людства продуктами тощо.

За останні роки збільшилась кількість глобальних баз даних та розроблено нові більш комплексні алгоритми для класифікації земельного покриття. GlobCover 2009 та MODIS v.5 – найновіші глобальні продукти земельного покриття. Причому GlobCover 2009 (з роздільною здатністю 300м) має краще просторове розширення порівняно з іншими аналогічними продуктами, такими як MODIS v.5 (500 м) та GLC-2000 (1 км).

Чимало наукових досліджень присвячено порівнянню глобальних продуктів земельного покриття, або один з одним, або з регіональними продуктами з вищою роздільною здатністю. Результати більшості таких досліджень є аналогічні, вони свідчать, що глобальні продукти, наприклад, добре в середньому узгоджуються чи значно відрізняються для певних класів земельного покриття або для окремих просторово розподілених територій. Ця тенденція цілком зрозуміла, якщо порівнювати точності найновіших глобальних продуктів рослинного покриття, тобто GLC – 2000, MODIS v.5 та GlobCover 2009. Загальна точність цих карт за оцінками експертів для 95 % довірчого інтервалу становить: 68,5 % (± 5 %) для GLC-2000 [1], 74,8 % ($\pm 1,3$ %) для MODIS[2] і 67,1 % для GlobCover 2009 [3]. Для окремих територій точності карт є різними.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Оцінювання точності є дуже важливою складовою процесу побудови карт земельного покриття. Виконати таке оцінювання доволі важко. Одна з найпопулярніших методик полягає у виборі карти та оцінюванні її точності на основі відомих наземних значень. Частиною процесу оцінювання точності також є порівняння різних глобальних продуктів для того, щоб визначити відмінності чи очевидні помилки. Загальною проблемою у разі порівняння різних карт землекористування, що охоплюють одну й ту ж територію, є легенди з різними класами [4]. Проте карти можуть відрізнятися на різних територіях, навіть, якщо легенди мають подібну класифікацію, та ідентифікують такий же чи подібний клас земельного покриття. Наприклад, клас “вічнозелені хвойні ліси” у GLC-2000 описано, як території з лісовим пологом більше ніж 20 % та висотою дерев більше ніж 5 м; у MODIS класу з такою ж назвою відповідають території з лісовим пологом більше ніж 60 % та висотою дерев більше ніж 2 м.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання цієї проблеми. Вперше у 2003 р. А.Хаген [5] розробив методику порівняння двох глобальних продуктів, яку, на жаль, можна застосувати лише для продуктів з однаковими легендами. У

науковій праці [6] вчені спробували порівняти карти з різними легендами, і дійшли висновку, що це неможливо зробити.

Успішною спробою порівняння карт з різними легендами є робота [7] з використанням елементів нечіткої логіки.

Невирішені частини загальної проблеми. Усі методики дають можливість порівнювати лише дві цифрові карти. Зокрема одна з найновіших методик, описана в [7], дає можливість порівнювати попарно глобальні продукти, використовуючи експертне оцінювання та елементи нечіткої логіки, але вона не розрахована для одночасного порівняння кількох продуктів.

Мета та завдання дослідження. Метою цієї роботи є удосконалення методики з використанням елементів нечіткої логіки для порівняння кількох глобальних продуктів та проведення відповідного аналізу для території України.

Виклад основного матеріалу проблеми. Глобальна база даних GLC-2000 створена Відділенням глобального моніторингу рослинності в Об'єднаному дослідному центрі (Global Vegetation Monitoring Unit of the Joint Research Center – JRC) Європейського Союзу в співпраці з партнерами з різних частин світу. Метою цього проекту було створення глобальної бази даних земельного покриття для 2000 р. При цьому використано дані щоденного спостереження за 14 місяців спеціальним інструментом Vegetation на борту супутника SPOT4. Експерти створили карти 19 регіонів, проте з різними легендами, які пізніше були узагальнені, використовуючи Систему класифікації земельного покриття (LCCS) [8]. Ця Система класифікації є стандартизованою системою апріорної класифікації, призначеною для задоволення конкретних потреб користувачів, зокрема, побудови карт незалежно від масштабу або використаних засобів. Класифікація ґрунтується на великій кількості незалежних діагностичних критеріїв, які дозволяють виявити кореляцію з наявними класифікаціями і легендами. Оцінювання точності отриманих карт проведено порівняно з супутниковими знімками Landsat TM для Африки, Південної Америки, Канади [1]. Також зроблено порівняння з даними національної статистики лісів Росії [9]. Це порівняння показало, що отримана карта Північної Євразії, яка покриває територію Росії (а також й України), доволі добре узгоджується з даними національної статистики Росії.

Moderate Resolution Imaging Spectoradiometer (MODIS) був запущений у 1999 р. на борту супутника Terra. Це основний сенсор для моніторингу екосистем для NASA Earth Observing System з розширенням 250–1000 м. На відміну від GLC-2000, глобальний продукт земельного покриття MODIS, який розроблено в Бостонському університеті, використовує підхід “згори–донизу” і його було застосовано для створення глобальних продуктів з розширенням 500 м (MODIS v.5) на основі серії знімків за 2005 р. [2].

З роздільною здатністю 300 м GlobCover 2009 мав би бути кращим продуктом порівняно з іншими. Ця цифрова карта створена для оновлення і доповнення уже існуючих глобальних продуктів земельного покриття. Очікувалося, що більш високе просторове розширення забезпечить поліпшення точності продукту, оскільки загальне число класів, що попадає в один піксель зменшиться. Порівняно з GLC-2000, алгоритми побудови цифрових карт у MODIS та GlobCover є автоматизованими, а це означає, що вони легко можуть бути оновлені і вироблятися регулярно. Детальнішу інформацію про ці дані можна знайти в [4,10].

Порівняння карт земельного покриття проводимо у три етапи:

- 1) порівняльний аналіз легенд глобальних карт;
- 2) оцінювання невизначеностей класифікації земельного покриття експертами для конкретних територій;

3) об'єднання результатів порівняння легенд карт земельного покриття та оцінок експертів для створення кінцевої карти порівняння (описано нижче).

Усі три продукти GLC-2000, MODIS, GlobCover 2009 мають різну роздільну здатність. За основу для побудови карти порівняння вибрано GlobCover 2009, який має найвищу роздільну здатність, тобто є детальнішим. Створено проміжні продукти з розширення та прив'язкою до GlobCover 2009, де кожному пікселю присвоєно значення класу іншого продукту за принципом найбільшої площі перетину. За допомогою цих карт проведено попиксельний аналіз.

Ця методика не дає відповіді на питання, яка карта краща. Вона дає можливість ідентифікувати території та класи, для яких потрібно прикласти більше зусиль для покращення результатів глобальних продуктів землекористування.

Нижче детальніше описано кожен з етапів побудови карт порівняння (або карти збігу).

Порівняльний аналіз легенд глобальних продуктів. Карта GLC-2000 для Північної Євразії охоплює територію України. Легенда цього продукту складається з 29 класів, не всі з яких за означенням є притаманними для території України (наприклад, тундра, вічні сніги, пальми тощо). Легенда MODIS складається з 17 класів, з них савани та вічні сніги не притаманні рослинному покриттю України. Легенда GlobCover 2009 складається з 22 класів, де в Україні явно не можуть бути постійні сніги.

Деякі класи легенд глобальних продуктів земельного покриття є ідентичні, деякі частково перетинаються, а деякі – визначені тільки в одному з глобальних продуктів. Це означає, що безпосереднє порівняння карт глобальних продуктів земельного покриття не можливе. Тому потрібно проаналізувати означення класів легенд всіх досліджуваних карт і визначити для кожної пари карт, які з класів за означенням відповідають один одному або частково перетинаються. Наприклад, такий клас, як ліс з пологом більш як 15 % (GLC-2000) може збігатися з саванами та деревними саванами, означеними в MODIS. Отже, один клас з одного продукту може відповідати кільком з іншого. Для прикладу, фрагмент матриці відповідності GlobCover 2009 та MODIS наведено в табл. 1, де на перетині двох відповідних класів поставлено одинички (перший стовпчик – класи легенди GLC-2000, перший рядок – класи легенди MODIS).

Побудовано таблиці для кожної пари карт земельного покриття з інформацією про збіг між класами легенд для GLC-2000, MODIS та GlobCover 2009.

Оцінювання невизначеностей класифікації земельного покриття експертами. Для оцінювання невизначеностей класифікації земельного покриття необхідні експертні оцінки, у цій роботі використано результати заповнення анкет експертами з Міжнародного інституту прикладного системного аналізу, Австрія. Кожен експерт мав дати відповідь наскільки важко визначитися між двома класами земельного покриття у шкалі: 1) дуже легко; 2) легко; 3) середньо; 4) важко; 5) дуже важко. Наприклад, дуже легко визначитися між такими класами, як водою та луками, і дуже важко – між змішаними та хвойними лісами. Експерти заповнили відповідні анкети для легенд трьох продуктів GLC-2000, MODIS та GlobCover 2009 (табл. 2).

Таблиці з оцінками експертів перетворено у відповідні матриці за таким принципом: якщо експерт оцінив, що визначитися між двома класами дуже легко, тобто поставив 1, то це відповідає 0 у матриці, тобто 0 % збігу; якщо експерт оцінив, що визначитися між двома класами легко, середньо, важко чи дуже важко – це відповідає “станам часткового збігу” 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 [7]. Наприклад, майже всі експерти, оцінили, що легко визначитись між лісами та територіями без рослинного покриття, це 0 % збігу цих двох класів. І навпаки, якщо важко визначитись між мішаними та хвойними лісами, і один з експертів оцінив це в 5, тоді у відповідність буде поставлено – 0.8.

Таблиця 1

Фрагмент матриці відповідності легенд GlobCover 2009 та MODIS

	Во- да	Вічно- зелені хвойні ліси	Вічно- зелені широко- листяні ліси	Листо- падні хвойні ліси	Листо-падні широко- листяні ліси	Мі- шані ліси	За- криті чагар- ники	Від- криті чагар- ники	Дерев- ні сава- ни	Са- вани
Угіддя, що живляться дощовими опадами	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Мозаїка: рослинність (луки, чагарники, ліси) (50–70 %)/ угіддя (20–50 %)	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Майже відкриті (>15 %) широколистяні вічнозелені та напівлистопадні ліси	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Закриті (>40 %) листопадні широколистяні ліси(>5м)	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
Відкриті (15–40 %) листопадні широколистяні ліси (>5м)	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
Закриті (>40 %) вічнозелені хвойні ліси (>5м)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Таблиця 2

Фрагмент таблиці експертної оцінки легенди MODIS

Класи легенди Modis	Вода	Вічнозелені хвойні ліси	Вічнозелені широколистяні ліси	Листопадні хвойні ліси	Листопадні широколистяні ліси	Мішані ліси
Вода		1	1	1	1	1
Вічнозелені хвойні ліси			2	2	2	4
Вічнозелені широколистяні ліси				2	2	3
Листопадні хвойні ліси					2	2
Листопадні широколистяні ліси						4
Мішані ліси						

Отже, отримано матриці з інформацією про рівень відповідності між класами для кожного глобального продукту: $A_{i,k}$ – матриця розмірністю $n_1 \times n_1$, де $k = \overline{1, k_1}$ – номер експерта, що оцінював легенду GLC-2000; $n_1 = 29$ – кількість класів легенди земельного покриття в GLC-2000;

$A_{2,k}$ – матриця розмірністю $n_2 \times n_2$, де $k = \overline{1, k_2}$ – кількість експертів, що оцінювали легенду MODIS, $n_2 = 17$ – кількість класів легенди земельного покриття MODIS; $A_{3,k}$ – матриця розмірністю $n_3 \times n_3$, де $k = \overline{1, k_3}$ – кількість експертів, що оцінювали легенду GlobCover 2009, $n_3 = 24$ – кількість класів легенди земельного покриття GlobCover 2009.

Об'єднання результатів порівняння легенд та оцінок експертів. Результати отримані на етапах 1 та 2 об'єднано у матриці, що відображають рівень узгодженості між легендами продуктів, які нижче використано для просторового порівняння. Позначимо, $B_{1,2,k}[n_1, n_2]$ – матриця порівняння легенд GLC-2000 та MODIS для k -го експерта, що оцінював легенду GLC-2000, де $k = \overline{1, k_1}$, а нижні індекси – 1 відповідає GLC-2000, 2 – MODIS; аналогічно інші матриці – $B_{2,1,k}[n_2, n_1]$, $k = \overline{1, k_2}$ – для експертів, що оцінювали легенду Modis, $B_{1,3,k}[n_1, n_3]$, $k = \overline{1, k_1}$ – матриця порівняння легенд GLC-2000 та GlobCover 2009 для k -го експерта, що оцінював легенду GLC-2000 (нижній індекс 3 відповідає продукту GlobCover 2009), $B_{3,1,k}[n_3, n_1]$, $k = \overline{1, k_3}$ – матриця порівняння легенд GLC-2000 та GlobCover 2009 для k -го експерта, що оцінював легенду GlobCover 2009, $B_{3,2,k}[n_3, n_2]$, $k = \overline{1, k_3}$ – матриця порівняння легенд GlobCover 2009 та Modis для k -го експерта, що оцінював легенду GlobCover 2009, $B_{2,3,k}[n_2, n_3]$, $k = \overline{1, k_2}$ – матриця порівняння легенд GlobCover 2009 та MODIS для k -го експерта, що оцінював легенду MODIS.

Нехай $L_{1,2}[n_1, n_2]$ – матриця відповідності, в якій містяться результати порівняння легенд GLC-2000 та MODIS (отримана на етапі 1). Тоді матриці $B_{1,2,k}[n_1, n_2]$, $k = \overline{1, k_1}$ знаходимо поетапно:

1) Для k -го експерта, що оцінював легенду GLC-2000:

1.1. Для кожного елемента $B_{1,2,k}[n_1, n_2]$ визначаємо відповідні класи легенди GLC-2000, що еквівалентні класам легенди MODIS на основі інформації з $L_{1,2}[n_1, n_2]$, яку записуємо у рядок $x[n_1]$. Для i -го рядка ($i = \overline{1, n_1}$) та j -го стовпця ($j = \overline{1, n_2}$):

$$x[n_1] = A_{1,k}[i, n_1] \circ L[n_1, j]^T, \quad (1)$$

де $\circ$ – операція поелементного множення.

1.2. Застосовуємо оператор максимуму (тобто вибираємо найбільше значення) до рядка $x[n_1]$ і записуємо результат у $B_{1,2,k}[i, j]$. При застосуванні оператора максимуму, враховуємо найгірші випадки. Наприклад, при порівнянні класу легенди одного продукту йому відповідає три класи легенди другого продукту зі значеннями 0.2, 0.4, та 0.6, що відображають рівень “нечіткої” згоди. При використанні оператора максимуму вибираємо значення 0.6.

1.3. Повторюємо кроки кожного i -го рядка ($i = \overline{1, n_1}$) та j -го стовпця ($j = \overline{1, n_2}$).

2) Повторюємо кроки 1.1–1.3 для всіх експертів.

При знаходженні матриці $B_{2,1,k}[n_2, n_1]$, $k = \overline{1, k_2}$ формула (1) має вигляд

$$x[n_2] = A_2[j, n_2] \circ L[i, n_2]. \quad (2)$$

Аналогічно знаходимо матриці $B_{1,3,k}[n_1, n_3]$, $k = \overline{1, k_1}$, $B_{3,1,k}[n_3, n_1]$, $k = \overline{1, k_3}$, $B_{3,2,k}[n_3, n_2]$, $k = \overline{1, k_3}$, $B_{2,3,k}[n_2, n_3]$, $k = \overline{1, k_2}$.

Отримані результати об'єднуємо в матриці $D_{1,2,\max}[n_1, n_2]$, $D_{1,3,\max}[n_1, n_2]$, $D_{3,2,\max}[n_3, n_2]$, використовуючи оператор максимуму для песимістичнішого результату, та матриці $D_{1,2,\min}[n_1, n_2]$, $D_{1,3,\min}[n_1, n_2]$, $D_{3,2,\min}[n_3, n_2]$ з оператором мінімуму для отримання оптимістичних результатів. Відповідно за оператором максимуму елементи матриці $D_{1,2,\max}[n_1, n_2]$ шукаємо за формулою

$$D_{1,2,\max}[i, j] = \max(B_{1,2,1}[i, j], B_{1,2,2}[i, j], \dots, B_{1,2,k_1}[i, j]; B_{2,1,1}^T[i, j], B_{2,1,2}^T[i, j], \dots, B_{2,1,k_2}^T[i, j]), \quad (3)$$

де $i = \overline{1, n_1}$ – відповідає класам легенди GLC-2000 та $j = \overline{1, n_2}$ – класам легенди MODIS.

За оператором мінімуму

$$D_{1,2,\min}[i, j] = \min(B_{1,2,1}[i, j], B_{1,2,2}[i, j], \dots, B_{1,2,k_1}[i, j]; B_{2,1,1}^T[i, j], B_{2,1,2}^T[i, j], \dots, B_{2,1,k_2}^T[i, j]). \quad (4)$$

На основі цих матриць будемо зведені матриці $D_{\max}[n_1, n_2, n_3]$ та $D_{\min}[n_1, n_2, n_3]$, кожен елемент якої визначаємо за формулою

$$D_{\max}[i, j, l] = \min(D_{1,2,\max}[i, j], D_{1,3,\max}[i, l], D_{3,2,\max}[l, j]), \quad (5)$$

де $i = \overline{1, n_1}$ – відповідає класам легенди GLC-2000; $j = \overline{1, n_2}$ – класам легенди MODIS; $l = \overline{1, n_3}$ – класам легенди GlobCover 2009.

Аналогічно для $D_{\min}$:

$$D_{\min}[i, j, l] = \min(D_{1,2,\min}[i, j], D_{1,3,\min}[i, l], D_{3,2,\min}[l, j]). \quad (6)$$

Для побудови матриць $D_{\max}[n_1, n_2, n_3]$ та $D_{\min}[n_1, n_2, n_3]$ використано оператор мінімуму, що дає можливість визначити для кожного тріо класів з усіх продуктів стан, який “перетинається” з відповідними станами попарного порівняння.

Суть цієї методики полягає в тому, щоб під час порівняння продуктів врахувати невизначеності класифікації земельного покриття: чим менша невизначеність класифікації земельного покриття одного продукту, тим менша кількість станів часткового збігу у кінцевій матриці порівняння продуктів, і чим більша невизначеність класифікації, тим більша кількість станів часткового збігу з класами легенди інших продуктів. Запропоновану методику можна застосувати до порівняння більшої кількості глобальних продуктів.

Матриці $D_{\max}[n_1, n_2, n_3]$ та $D_{\min}[n_1, n_2, n_3]$ використано для попиксельного порівняння продуктів GlobCover 2009, MODIS 2005, GLC-2000. Оскільки точність цих продуктів низька (67–74 %), то їх не можна використати для аналізу змін у землекористуванні, які є доволі невеликими порівняно з похибкою карт.

Результати. Глобальні продукти GLC-2000, MODIS та GlobCover 2009 порівняно попарно та разом для створення карти просторового порівняння. У табл. 3 наведено результати порівняння глобальних продуктів попарно.

У разі попарного просторового порівняння GLC-2000 та MODIS найбільша кількість пікселів з повною згодою виявлена для класу орних земель, а також мозаїки орних земель та лісів, а найбільші відмінності при комбінації класів вологих луків (GLC-2000) та орних земель (MODIS).

У разі попарного порівняння GlobCover2009 та MODIS найбільша кількість пікселів з повною згодою виявлена теж для класу орних земель, а також мозаїки орних земель та іншої рослинності, а найменша згода під час комбінації класу широколистяних лісів (GlobCover2009) та мозаїки орних земель з іншою рослинністю (MODIS).

У разі попарного порівняння GlobCover2009 та GLC2000 найбільша кількість пікселів з повною згодою виявлена теж для класу орних земель, а найбільша кількість незбігів – для широколистяних лісів (GlobCover2009) та мозаїки лісу та орних земель (Modis).

Результати попарного порівняння показали, що найбільш погоджені між собою карти глобальних продуктів GLC-2000 та MODIS, що цілком зрозуміло, оскільки валідація продукту MODIS проводилась на основі GLC-2000. Доворлі великі відмінності між GLobCover2009 та MODIS, а також GlobCover2009 та GLC2000. Це пов'язано з набагато кращим просторовим розширенням продукту GlobCover2009 порівняно з іншими. Потрібно відзначити, що на території великих міст карти GLC-2000 та MODIS не ідентифікують паркові зони, а GlobCover2009 їх виділяє.

У табл. 4 наведено результати порівняння всіх трьох продуктів GlobCover2009, MODIS та GLC2000, а на рисунку проілюстровано отримані карти просторового погодження цих трьох продуктів (справа), а також наведено фрагменти карт (зліва), отриманих за принципом максимуму (згори) та мінімуму (знизу).

Таблиця 3

Результати попарного попиксельно порівняння глобальних продуктів

Співпадіння/ к-сть пікселів	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	всього	Рівень співпадіння, %
GLC2000/Modis								
max	99214	62577	455205	413062	0	3222427	4252485	86,18 %
min	923400	170	106488	0	0	3222427	4252485	76,78 %
GlobCover2009/GLC2000								
max	979055	40568	632295	3398049	5	4518261	9567625	71,26 %
min	3478067	1008801	561380	1724	0	4518261	9567625	51,69 %
GlobCover 2009/Modis								
max	685347	3951985	508019	108712	0	4314169	9568232	56,15 %
min	5138713	86372	28978	0	0	4314169	9568232	45,39 %

Таблиця 4

Результати просторового порівняння GlobCover2009/ MODIS /GLC2000

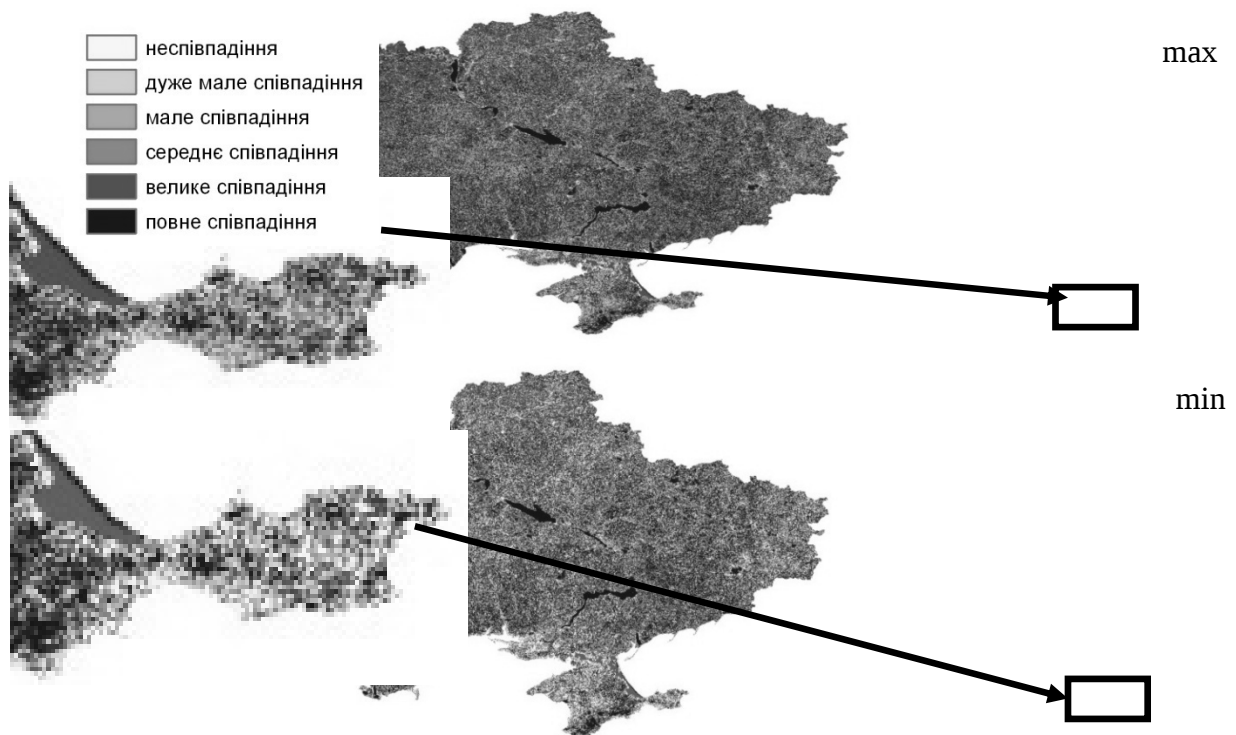
Рівень згоди/кількість пікселів	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	Всього пікселів	Згода, %
max	410604	2109115	3438175	26960	0	3353261	9568232	55.33
min	2625898	5540	3353416	0	0	3353261	9568232	50.29

У разі просторового порівняння глобальних продуктів GlobCover 2009, MODIS та GLC-2000 встановлено, що покриття на 65 % території України можна оцінити правильно, натомість для решти 35 % необхідно удосконалювати алгоритми створення продуктів земельного покриття.

Важко виділити конкретні території, де рівень погодженості карт є дуже низький. З аналізу карт на рисунку видно, що це переважно невеликі ділянки, які розкидані по всій території України. При цьому в Закарпатті та на морському узбережжі таких ділянок найбільше. Більш-менш добре узгоджуються річкові об'єкти, лісові масиви Кримських гір, а також орні землі.

Висновки. Наведено методику порівняння глобальних продуктів земельного покриття з різними легендами з врахуванням елементів нечіткої логіки. Ця методика дає можливість просторово порівнювати кілька глобальних продуктів з метою виявлення територій, де продукти показують різні класи земельного покриття, які ні повністю, ні частково не збігаються за оцінками

легенд. Цю методику можна також використовувати як один з етапів побудови гібридної карти земельного покриття. Здійснено числові експерименти для порівняння трьох найновіших продуктів земельного покриття GlobCover2009, MODIS та GLC-2000. У результаті такого порівняння отримано растрову карту узгодженості продуктів земельного покриття для території України з роздільною здатністю 309м x 204 м.



Порівняння GlobCover2009/ MODIS /GLC2000 за операторами мінімуму та максимуму

Подяка. Ця робота виконана в межах проекту GESAPU (Marie Curie Project n°247645 FP7-PEOPLE-2009-IRSES): “Геоінформаційні технології, просторово-часові підходи та оцінювання повного вуглецевого балансу для підвищення точності інвентаризацій парникових газів” (2010–2014 pp.).

1. Mayaux P. Validation of the global land cover 2000 map IEEE / Mayaux P et al // Trans. Geosci. Remote Sensing. –44. – 2006. – P. 1728–1737. 2. Friedl M. MODIS Collection 5 global land cover: algorithm refinements and characterization of new datasets / Friedl M. et al // Remote Sensing Environ. – 114. – 2010. – P. 168–182. 3. Bontemps S. GLOBCOVER 2009: Products Description and Validation Report (ESA and UCLouvain)/ Bontemps S et al //2011 (available online at http://ionia1.esrin.esa.int/docs/GLOBCOVER2009_Validation_Report_2.2.pdf). 4. Fritz S. Identifying and quantifying uncertainty and spatial disagreement in the comparison of global land cover for different applications / Fritz S. and See L. // Glob. Change Biol. – 14. – 2008. – P. 1057–1075. 5. Hagen A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps / Hagen, A. // International Journal of Geographical Information Science. – 2003. – V. 17, Is. 3. – P. 235–249. 6. Comber A. Integrating land cover data with different ontologies: identifying change from inconsistency / Comber A., Fisher P., Wadsworth R. // International Journal of Geographical Information Science. – 18(7). – 2004. – P. 691–708. 7. Fritz S. Comparison of land cover maps using fuzzy agreement / Fritz S., See L. // Int. GIS. – 2005. – №19. – P. 787–807. 8. Land Cover Classification System: Classification Concepts and User Manual / Di Gregorio A. and Jansen L. – 2000. – 190 p. 9. Bartholomé E. GLC2000: a new approach to global land cover mapping from earth observation data / Bartholomé E. and Belward A. S. // Int. J. Remote Sensing. – 26. – 2005. – P. 1959–1977. 10. Fritz S. Highlighting continued uncertainty in global land cover maps for

the user community / Fritz S., See L. et al // Environ. Res. Lett. – 6. – October-December 2011, 044005 (available at: <http://iopscience.iop.org/1748-9326/6/4/044005/fulltext/#erl403921bib15>).