



## Original researches

**Physiognomic Vegetation Types and their Identification by Using the Decryption of Digital Images**

 O. V. Zhukov<sup>1</sup>, D. V. Kovalenko<sup>2</sup>, K. P. Maslykova<sup>3</sup>
<sup>1</sup>Oles Gonchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup>Bohdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, Melitopol, Ukraine

<sup>3</sup>Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

 Received: 10 December 2018  
 Revised: 25 December 2018  
 Accepted: 26 December 2018

 Oles Honchar Dnipro National University,  
 Gagarina av., 72, Dnipro, 49010, Ukraine

 Bohdan Khmelnytsky Melitopol State  
 Pedagogical University, Hetmanska Str., 20,  
 Melitopol, Zaporizhzhia oblast, 72312, Ukraine

 Dnipro State Agrarian and Economic  
 University, Serhii Efremov Str., 25, 49600,  
 Dnipro, Ukraine

 Tel.: +38-056-374-98-00  
 +38-061-944-04-64  
 +38-098-507-96-82

 E-mail: zhukov\_dnipro@ukr.net  
 dashuliakovalenko30@gmail.com  
 mkaterina@ukr.net

 Cite this article: Zhukov, O. V., Kovalenko,  
 D. V., & Maslykova, K. P. (2019).  
 Physiognomic vegetation types and their  
 identification by using the decryption of digital  
 images. *Agrology*, 2(1), 18–23.  
 doi: 10.32819/2617-6106.2019.21003

**Abstract.** The algorithm of the physiognomic vegetation types and the dead grass cover and the soil surface decryption using digital images is presented for further quantitative assessment of projective cover. The collection of material was held at the remediation site within Nikopol manganese ore Basin in city Pokrov. As objects of study were chosen following tehnosols: pedozems, sod-lithogenic soils on losses-like loam, on red-brown clay and gray-green clay. The visual analysis of the digital images of the surface areas studied revealed several types of images. This open surface soil, dead plants, grasses, plants *Seseli campestre*, *Lactuca tatarica* and legumes. The discriminant analysis allowed to accurately classify these objects by color characteristics. In the whole sample classification accuracy was 65.39%. The analysis only color without spatial context (especially form) reduces the accuracy of classification. In addition, structurally homogeneous object can be represented significant range of color values, reflections, shadows, mutual superposition of different objects, which significantly reduces the quality of classification. The following algorithm of the classification was proposed: 1) it is necessary to conduct cluster analysis (classification without training) a plurality of pixels. The number of clusters established must exceed the number of physiognomic types; 2) to analyze the correspondence between physiognomic types and clusters. Stop at that decision, when each physiognomic type corresponds to at least one cluster; 3) the decision to hold the cluster discriminant analysis, on which to perform differentiation pixels in images (classification of training); 4) conduct a segmentation of the image – to unite in clusters corresponding physiognomic types; 5) evaluate physiognomic structure cover experimental plots. The accuracy of the proposed classification algorithm was 91.66%. The physiognomic types of vegetation can act as quantitative characteristics of the vegetation and can be considered as ecogeographic variables to describe the environmental conditions that other components of the ecosystem.

**Keywords:** reclamation; vegetation; discriminant analysis; classification; pattern recognition.

**Фізіономічні типи рослинності та їх ідентифікація за допомогою дешифрування цифрових знімків**

 O. V. Жуков<sup>1</sup>, Д. В. Коваленко<sup>2</sup>, К. П. Масликова<sup>3</sup>
<sup>1</sup>Дніпровський національний університет імені Олеса Гончара, м. Дніпро, Україна

<sup>2</sup>Державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького, м. Мелітополь, Україна

<sup>3</sup>Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

**Анотація.** У роботі розроблено алгоритм ідентифікації фізіономічних типів рослинності за допомогою дешифрування цифрових знімків трав'яного та мертвого покриву і поверхні ґрунту з подальшою кількісною оцінкою їх проективно-го покриття. Збір матеріалу проводився на ділянці рекультиватії Нікопольського марганцеворудного басейну в м. Покров. Як об'єкти дослідження обрані технозоми: педоземи, дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках, на червоно-бурих глинах і на сіро-зелених глинах. Візуальний аналіз цифрових зображень поверхні досліджуваних ділянок дозволив виявити декілька типів образів. З-поміж них – відкрита поверхня ґрунту, мертві рослини, злаки, рослини *Seseli campestre*, *Lactuca tatarica* та бобові. Дискримінантний аналіз дозволив досить точно класифікувати вказані об'єкти за кольоровими характеристиками. У цілому по вибірці точність класифікації становить 65,39%. Аналіз тільки кольору без просторового контексту (особливостей форми) значно знижує точність класифікації. Крім того, структурно однорідний об'єкт може бути представлений значним діапазоном колірних значень, відблисків, тіней, взаємним накладенням різних об'єктів, що суттєво знижує якість класифікації. Запропонований такий алгоритм класифікації: 1) проведення кластерного аналізу (класифікації без навчання) множини пікселів. Кількість встановлених кластерів має перевищувати кількість фізіономічних типів; 2) аналіз відповідностей між фізіономічними типами та кластерами. Зупинитися на такому рішенні, коли кожному фізіономічному типу відповідає не менше одного кластера; 3) для кластерного рішення проведення дискримінантного аналізу, на основі якого виконати розрізнення пікселів на знімках (класифікація з навчанням); 4) сегментація знімка – об'єднати кластери у відповідні фізіоно-

мічні типи; 5) оцінка фізіономічної структури покриву експериментальних ділянок. Точність класифікації за запропонованим алгоритмом становила 91,66%. Фізіономічні типи рослинного покриву можуть виступати як кількісна характеристика рослинності, а також розглядатися як екогеографічні змінні для описання екологічних умов існування інших компонентів екосистем.

**Ключові слова:** рекультивация; рослинний покрив; дискримінантний аналіз; класифікація; розпізнавання образів.

## Вступ

В оцінці структури та функцій екосистем особлива увага приділяється рослинному покриву (Belgard, 1950). Інформативним показником стану рослинності є проективне покриття (Voronov, 1973; Bonham & Clark, 2005; Chen et al., 2009). Під проективним покриттям розуміють величину горизонтальної проекції надземних органів рослин (Буіков, 1978). Такі ключові екосистемні змінні, як наземна біомаса, біомаса листя, індекс листової поверхні (*Leaf area index* – LAI) можуть бути вірогідно оцінені за допомогою показника проективного покриття рослинністю ґрунту (Chen et al., 2009). Відзначимо, що важливим протиерозійним фактором є щільність рослинного покриву, яку кількісно можна охарактеризувати з використанням такого показника (Stredansky, 1999). У цьому зв'язку для попередження ерозії ґрунту важливе значення має розробка методу точного визначення стану проективного покриття рослинності (Olmstead et al., 2004).

Окомірне визначення проективного покриття є контекстним залежним і суб'єктивним (Rasmussen et al., 2004), однак, як і раніше, широко застосовується в практиці (Jensen et al., 2004). Розроблений також метод точкової рамки (Krebs et al., 2003; Bean & Henry, 2003; Bonham & Clark, 2005), котрий вважається об'єктивним і рекомендується як стандартний протокол (Bean & Henry, 2003), однак дуже витратним за часом – звичайно потрібно 2–3 години для вимірювань у межах однієї ділянки (Chen et al., 2009).

У ряді досліджень розглянута можливість вимірювання проективного покриття рослинного покриву за цифровими світлинами (Richardson et al., 2001; Booth et al., 2004; Lusciер et al., 2006; Laliberte et al., 2009). У роботі Balalaeв & Skrypnuck (2011) запропонований алгоритм обробки цифрових зображень поверхні з рослинним покривом для оцінки проективного покриття. У цьому алгоритмі, як і в багатьох інших (Laliberte et al., 2009), проводиться розрізнення рослинного покриву від ґрунту без диференціації функціональних або колірних різновидів у межах рослинності. Підкреслимо, що тварини-фітофаги розрізняють при поїданні вегетативні типи, які можуть включати функціональні групи або групи видів рослин (Krebs et al., 2003). У ряді досліджень було оцінено проективне покриття вегетативних категорій із задовільною точністю розрізнення (Booth et al., 2004; Lusciер et al., 2006; Laliberte et al., 2009).

Мета роботи – розробити алгоритм ідентифікації фізіономічних типів рослинності за допомогою дешифрування цифрових знімків трав'яного та мертвого покривів і поверхні ґрунту з подальшою кількісною оцінкою їх проективного покриття.

## Матеріал та методи досліджень

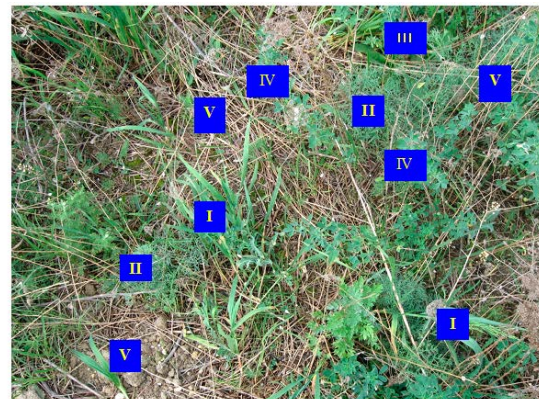
Об'єктами вивчення обрані техноземи з ділянки рекультивациі Нікопольського марганцеворудного басейну в м. Покров (раніше – м. Орджонікідзе): педоземи, дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках, на червоно-бурих глинах і на сіро-зелених глинах. Назви ґрунтів надані за Yeteravska et al. (2008). Експериментальний полігон у межах кожного типу техноземів являє собою регулярну сітку з розміром гнізд 3 м і складається зі 7 трансект по 15 проб. Відповідно їх розміри становлять 18 × 42 м. Знімки отримані за допомогою фотоапарата Canon A650 IS з роздільною здатністю 12,1 мегапікселя. Фотоапарат розміщався на висоті 1,5 м від поверхні землі; знімки розміром 3264 × 2448 пікселів.

У кожному квадраті розміром 3×3 м зроблені геоботанічні описи рослинності. Проективне покриття рослин оцінено за допомогою окомірного методу зі шкалою 0, 10, 20, ..., 90, 100%. Установлено, що рослинне угруповання на педоземах представлено 24 видами, на дерново-літогенних ґрунтах на лесоподібних суглинках – 29, на червоно-бурих глинах – 34 і на сіро-зелених глинах – 28 видами.

Проведення дискримінантного аналізу та дешифрування на його основі були проведені в середовищі Project R (R Core Team, 2017).

## Результати

Візуальний аналіз цифрових зображень поверхні досліджуваних ділянок дозволив виявити декілька типів образів (рис. 1). Насамперед, це відкрита поверхня ґрунту. Відмінність між усією поверхнею та відкритою ґрунтовою поверхнею відповідає проективному покриттю рослинності. За кольоровими характеристиками можна виділити і домінуючі рослинні види або рослинні асоціації. Результати розпізнавання окремих видів або груп видів ми називаємо фізіономічним типом.



**Рис. 1.** Знімок поверхні техноземи: I – злаки (*Bromus squarrosus* L., *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn., *Elymus repens* (L.) Gould); II – жабриця рівнинна (*Seseli campestre* Besser); III – латук татарський (*Lactuca tatarica* (L.) C.A.Mey); IV – люцерна посівна (*Medicago sativa* L.), еспарцет виколистий (*Onobrychis viciifolia* Scop.); V – сухостій; VI. – поверхня ґрунту

Окремий тип образів, які добре ідентифікуються на знімках, представляє сухостій – мертві рослини, позбавлені зеленого кольору. Відмерлі рослини є фотосинтетично не активними, але несуть у собі значну кількість речовини та енергії. На знімках сухостій чітко виділяється за характерним світлим тоном зафарбування.

Важливу групу в рослинному покриві становлять злаки. Переважними видами серед злаків є бромус розчепірений (*Bromus squarrosus* L.), житняк гребінчастий (*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.), пирій повзучий (*Elymus repens* (L.) Gould). Функціонально та візуально ця група видів є досить однорідною, тому її об'єднані в один фізіономічний тип. За габітусом та специфічним відтінком зеленого кольору значно виділяються росли-

ни жабриці рівнинної (*Seseli campestre* Besser), які виділені у відокремлений фізіономічний тип. Проективне покриття цього виду становить 12,27–14,40% у різних типах техноземів. Латук татарський (*Lactuca tatarica* (L.) C.A.Mey) і латук компасний (*Lactuca serriola* L.) характеризуються колірною специфічністю і займають 2,71–11,77% проективного покриття в різних типах техноземів. Ці види виділені в один фізіономічний тип. Важливе функціональне значення мають бобові рослини, які в техноземах здебільшого представлені люцерною посівною (*Medicago sativa* L.) і еспарцетом виколистим (*Onobrychis viciifolia* Scop.). Проективне покриття бобових варіює від 3,74 до 21,76%.

Подальша обробка зображення може здійснюватися двома способами: за допомогою безкоштовного програмного забезпечення за технологією або з використанням комерційного програмного продукту ArcGIS 10.0.

Безкоштовне програмне забезпечення з відкритим кодом доступу (Free and Open Source Software – FOSS) *Imagej* дозволяє за допомогою макросу *Colorsaver* на модельному знімку відзначити пікселі, що відповідають візуально виділеним образам, при цьому фіксуються значення кольору в *RGB*-форматі (рис. 2). Ці значення використовуються в дискримінантному аналізі для розпізнавання образів за їх кольорними властивостями.

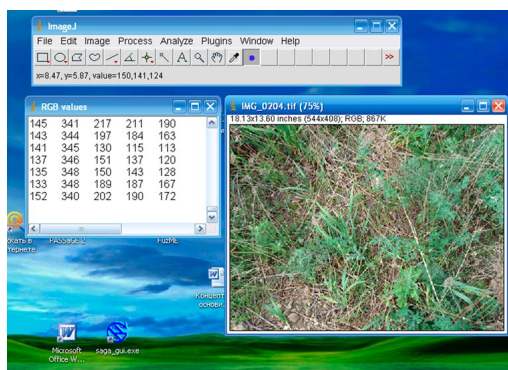


Рис. 2. Вибір і фіксація кольорних характеристик візуальних образів в *RGB*-форматі за допомогою макросу *Colorsaver* програми *Imagej*

Недоліком процедури є відсутність фіксації місця розташування відзначених контрольних точок. Цього недоліку позбавлена аналогічна процедура в програмі ArcMap 10.0 (рис. 3).



Рис. 3. Розподіл контрольних крапок у межах зображення в програмі ArcMap 10.0: I – злаки (*Bromus squarrosus* L., *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn., *Elymus repens* (L.) Gould); II – жабриця рівнинна (*Seseli campestre* Besser); III – латук татарський (*Lactuca tatarica* (L.) C.A.Mey); IV – люцерна посівна (*Medicago sativa* L.), еспарцет виколистий (*Onobrychis viciifolia* Scop.); V – сухостій; VI – поверхня ґрунту

Для проведення процедури екстракції *RGB*-значень до кожного типу технозему підбирали знімок поверхні, який містив усі шість фізіономічних типів. Якщо такого знімка підібрати не вдалося, то проводили відбір двох знімків для окремого типу технозему. Усього зроблена екстракція значень в 4210 пікселях.

Дискримінантний аналіз належить до групи класифікаційних статистичних процедур з навчанням. Колірний характеристики об'єктів дозволяють класифікувати їх досить точно (табл. 1).

Таблиця 1. Класифікаційна матриця фізіономічних типів за результатами дискримінантного аналізу

Фізіономічний тип (спостережуваний)	% правильної класифікації	Фізіономічний тип (класифікація)					
		I	II	III	IV	V	VI
I	43,88	233	87	95	108	5	3
II	54,78	95	355	91	88	11	8
III	53,95	121	133	355	21	13	15
IV	85,94	22	46	20	538	-	-
V	58,93	1	6	2	-	386	260
VI	81,14	-	-	-	-	206	886
Усього	65,39	472	627	563	755	621	1172

У цілому по вибірці точність класифікації становить 65,39%. За фізіономічними типами точність варіює від 43,88 до 85,94%. Аналіз розміщення об'єктів, які класифікуються у просторі дискримінантних функцій, показує, що відкрита ґрунтова поверхня та мертві рослини добре відрізняються від живих рослин за кольоровими ознаками (рис. 4).

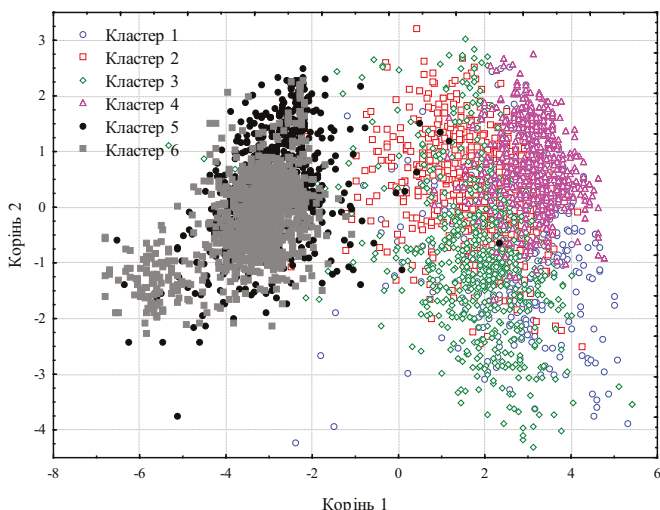


Рис. 4. Розміщення експериментальних точок у просторі дискримінантних функцій

Ґрунт у 18,86% випадків може бути помилково класифікований як сухостій, тоді як сухостій можна прийняти за ґрунт в 41,07% випадків. З-поміж рослинних типів найбільш чітко (85,94%) диференціюється тип 4 – бобові. Злаки, які зустрічаються на кожному експериментальному сайті, можуть бути помилково віднесені з високим ступенем імовірності до будь-якого іншого з розглянутих рослинних фізіономічних типів.



За візуального розпізнавання об'єктів урахується не тільки й не стільки колір, скільки форма об'єкта. Облік форми та кольору об'єкта дозволяє виділити фізіономічні типи. Аналіз лише кольору, без просторового контексту (особливостей форми), значно знижує точність класифікації. Крім того, структурно однорідний об'єкт може бути представлений значним діапазоном колірних значень, відблисків, тіней, взаємним накладенням різних об'єктів, що негативно впливає на якість класифікації.

Можемо припустити, що об'єкт, структурно однорідний, є неоднорідним у колірному відношенні та представлений мозаїкою об'єктів, кожний з яких може розглядатися як однорідний. Це положення дозволило сформулювати такий алгоритм.

1) проведення кластерного аналізу (класифікація без навчання) множини пікселів. Кількість встановлених кластерів має перевищувати кількість фізіономічних типів;

2) аналіз відповідностей між фізіономічними типами та кластерами. Зупинка на такому рішенні, коли кожному фізіономічному типу відповідає не менше одного кластера.

3) для кластерного рішення проведення дискримінантного аналізу, на основі якого виконати розрізнення пікселів на знімках (класифікація з навчанням);

4) сегментація знімка – об'єднати кластери у відповідні фізіономічні типи;

5) оцінити фізіономічну структуру покриву експериментальних ділянок.

Кластерний аналіз проведено за допомогою EM-алгоритму (Dempster et al., 1977). Цей підхід дає кращий результат, ніж кластеризація за допомогою методу k-середніх, як це запропоновано в роботі Balalaev & Skrypnyuk (2011). Перевага полягає в тому, що кластерні рішення за EM-алгоритмом, які досить добре відповідають спостережуваним фізіономічним типам, виникають за набагато меншої кількості кластерів, ніж у випадку k-середніх.

Результати дискримінантного аналізу кластерного рішення дають значно більш високу точність, ніж у випадку класифікації безпосередньо фізіономічних типів (табл. 2).

У цілому по вибірці точність класифікації становила 91,66% з досить вузьким діапазоном варіювання по кластерах (85,31–97,85%). Це закономірний результат, оскільки кластерний аналіз за своєю природою виділяє гомогенні групи об'єктів, тоді як виділення фізіономічних типів виконано суб'єктивно. В останньому випадку відбувається об'єднання в межах класу різномірних елементів, одночасне виділення як одного класу

об'єктів з високою точністю неможливе. Таким чином, кластерний аналіз дає розбивку об'єктів, яка вельми точно може бути формалізована у вигляді дискримінантних правил.

Важливим етапом аналізу є необхідність показати відповідність між виділеними кластерами та фізіономічними типами. Це завдання вирішено зі застосуванням множинного аналізу відповідностей. На рис. 5 у вставках показані об'єкти під різними ракурсами щоб уникнути їх накладення.

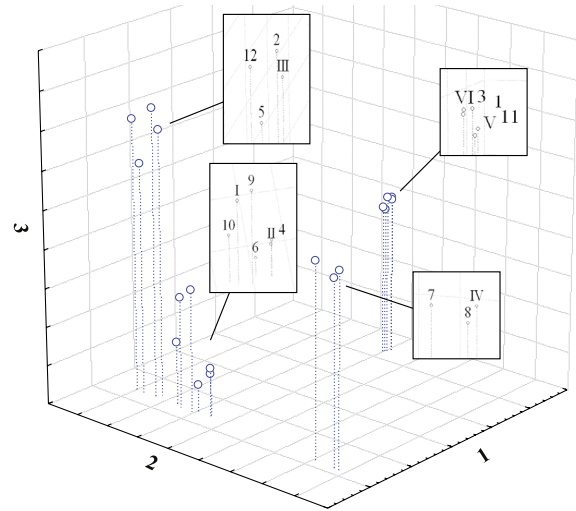


Рис. 5. Аналіз відповідностей фізіономічних типів рослинності, ґрунтової поверхні та кластерного рішення: I, ..., VI – фізіономічні типи; 1, ..., 12 – кластери

Статистичний аналіз дозволив установити високий рівень відповідності між окремими фізіономічними типами та кластерами. Фізіономічному типу I відповідають кластери 9 і 10; типу II – 4 і 6; типу III – 2, 5, 12; типу IV – 7, 8; типу V – 11; типу VI – 1 і 3. Таким чином, одному типу відповідають три кластери, чотирьом типам – по два кластери й одному типу – один кластер. Зазначені відповідності відбивають ступінь колірної однорідності фізіономічних типів. Класифікація кластерів, як компонентів фізіономічних типів, дає високий рівень точності,

Таблиця 2. Класифікаційна матриця кластерного рішення за результатами дискримінантного аналізу

Кластер (спостережуваний)	% правильної класифікації	Кластер (результат класифікації)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	86,02	363	0	43	0	0	0	0	0	0	1	15	0
2	92,65	0	290	0	6	3	0	0	4	10	0	0	0
3	97,60	7	0	651	1	0	0	0	0	0	0	8	0
4	76,74	0	9	2	198	0	5	14	28	0	0	2	0
5	86,45	0	11	0	0	185	0	0	0	15	0	0	3
6	90,20	0	0	0	6	0	267	5	12	4	0	2	0
7	87,01	0	0	0	9	0	3	268	28	0	0	0	0
8	96,44	0	0	0	0	0	1	6	406	8	0	0	0
9	90,93	0	4	0	0	3	5	0	20	321	0	0	0
10	85,31	0	1	0	0	1	8	0	0	14	151	0	2
11	97,85	13	0	0	1	0	1	0	0	0	0	682	0
12	91,67	0	0	0	0	5	0	0	0	0	2	0	77
Усього	91,66	383	315	696	221	197	290	293	498	372	154	709	82

який після операції об'єднання кластерів по типах переноситься на класифікацію фізіономічних типів.

Дискримінантні правила класифікації можуть бути застосовані для всього цифрового зображення поверхні, в результаті чого може бути проведена його дешифрування, тобто встановлення належності кожного пікселя до одного з фізіономічних типів. Виділені фізіономічні типи мають також функціональне значення, яке підтверджується наявністю зв'язку з показниками екологічного середовища, що впливають на інтенсивність біотичних процесів. До важливих екологічних факторів належить температура, з якою встановлений зв'язок фізіономічних типів (рис. 6).

Між проєктивним покриттям рослинного покриву та температурою поверхні ґрунту існує від'ємна залежність. Чим більша частина поверхні ґрунту, на якій нема рослинного покриву, тим більша температура його поверхні. Для фізіономічних типів I, II, V залежність має майже лінійний характер. Для типів II та IV залежність має нелінійний характер: за малих значень проєктивного покриття навіть незначне його збільшення викликає різке зниження температури поверхні ґрунту, але за помірних та високих рівнів проєктивного покриття вплив на температуру цих фізіономічних типів слабкий. Загалом фізіономічна структура рослинного покриву здатна пояснити 72% варіабельності температури поверхні ґрунту в рамках лінійної моделі (табл. 3).

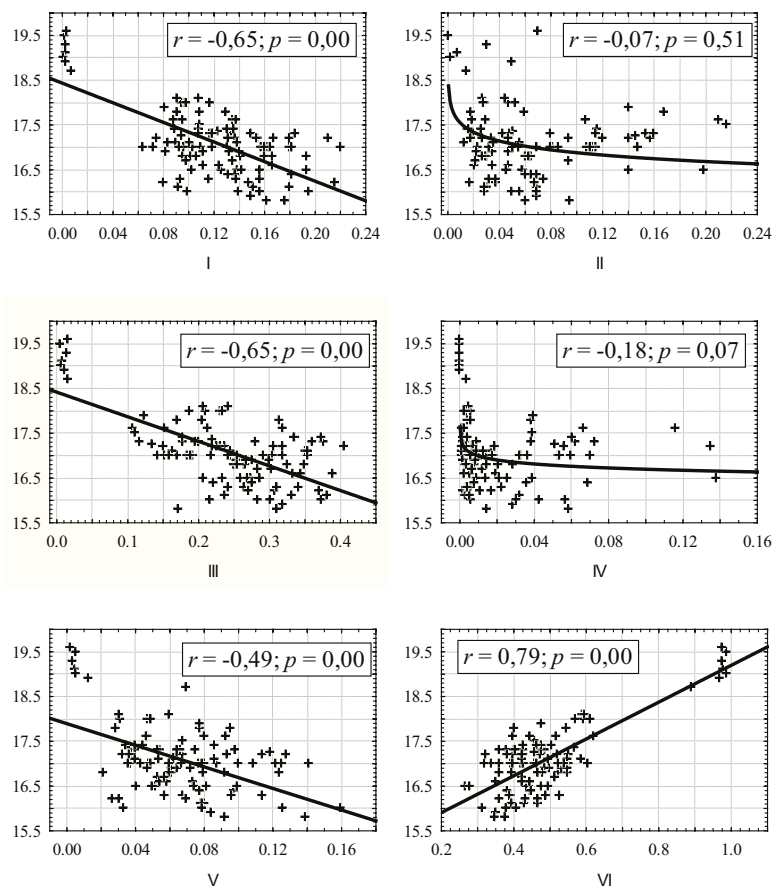


Рис. 6. Залежність температури верхнього ґрунтового шару (вісь ординат, 28 травня 2012 р., 11 год) від проєктивного покриття фізіономічних типів (вісь абсцис)

Таблиця 3. Регресійний аналіз (загальна регресійна модель) залежності температури ґрунту від фізіономічної структури рослинного покриву ( $R^2 = 0,72$ )

Предиктор	Beta	B	t(98)	p-рівень
Константа	-	16,09±1,59	10,13	0,00
Тип I	-0,02±0,11	-0,39±1,76	-0,22	0,82
Тип II	0,23±0,14	3,82±2,28	1,68	0,05
Тип III	-0,18±0,22	-1,52±1,86	-0,82	0,42
Тип IV	-0,03±0,10	-0,85±2,90	-0,29	0,77
Тип V	-0,23±0,09	-5,58±2,26	-2,47	0,02
Тип VI	0,61±0,30	3,20±1,56	2,05	0,04

Умовні позначки: beta – нормовані регресійні коефіцієнти; B – регресійні коефіцієнти.

Аналіз результатів регресійної моделі вказує на те, що найбільш важливим предиктором температури є частина поверхні ґрунту, на якій відсутня рослинність. Серед фізіономічних типів найважливішими предикторами є типи II, III та V. Роль інших фізіономічних предикторів у визначенні температури поверхні ґрунту набагато менша.

### Обговорення

Існуючі алгоритми кількісної оцінки проективного покриття рослинного покриву вирішують завдання розрізнення поверхні, яка вкрита рослинністю від вільної від рослинності поверхні (Balalaev & Skrupnyck, 2011). Для вирішення поставленого завдання ми підійшли з позицій, аналогічних тим, які виникають під час дешифрування космічних знімків поверхні Землі. Було розширено коло завдань, які вирішуються. Очевидно, що завдання індивідуального визначення окремих видів рослин на світлинах може бути вирішеним, але ми зупинилися на оцінці проективного покриття подібних за спектральними характеристиками груп видів, які позначили як фізіономічні типи. Наголосимо, що для вирішення екологічних завдань, які виникають у прикладних галузях, наприклад, рекультивация земель, екоморфічний підхід для характеристики живого покриву є найбільш результативним (Maslikova, 2017). Фізіономічний тип рослинності за своїм змістом є наближеною категорією до концепції екоморф. З практичного аспекту фізіономічні типи швидко можуть бути кількісно оцінені за допомогою запропонованої процедури. Нами встановлений зв'язок фізіономічних типів з важливим екологічним фактором – температурою.

У подальших дослідженнях можна розглядати можливість встановлення фізіономічних типів рослинності з іншими екологічними режимами (вологість, фізичний стан ґрунту, хімічні властивості ґрунту). До важливих завдань належить і є визначення характеру зв'язку фізіономічних типів зі структурними характеристиками рослинного покриву та його екоморфічною структурою. Практична значимість фізіономічних типів може бути підтверджена, якщо довести високу інформаційну значимість цих показників як екогеографічних предикторів екологічної ніші інших живих організмів.

### Висновки

1. Фізіономічні типи, які виділені за запропонованим алгоритмом, дозволяють кількісно охарактеризувати властивості рослинного покриву. Отримані показники мають зв'язок з таксономічним аспектом структури рослинності тільки в загальному вигляді, оскільки таксономічне багатство рослинності значно вище.

2. Безумовною перевагою кількісних показників фізіономічних типів є функціональна насиченість їх змісту та формальність (об'єктивність) процедури визначення. Перевагою є також швидкість отримання польових матеріалів, можливість їх збереження на цифрових носіях, що дозволяє повернутися до них знову в разі потреби. Можливість отримувати значні обсяги польових даних у комбінації з фіксацією координат відбору проб дозволяє розглядати фізіономічні типи як важливий інструмент створення баз просторово координованих даних.

3. Фізіономічні типи рослинного покриву можуть виступати як кількісні характеристики рослинності, розглядатися як екогеографічні змінні для описування екологічних умов існування інших компонентів екосистем.

### References

Balalaev, A. K., & Skrupnyck, O. A. (2011). Predvaritelnyye rezultaty primeneniya metoda tsifrovoy obrabotki izobrazheniya dlya opredeleniya proektivnogo pokrytiya rastitelnosti kak osnovnogo indikatora sostoyaniya ekosistem [Preliminary results using the method of digital image processing to determine the

plant cover as the primary indicator of ecosystems]. *Ekologiya prirodokoristuvannya*, 14, 114–123 (in Russian).

Bean, D., & Henry, G. H. R. (2003). CANTTEX Field Manual: Part A – Setting up a basic monitoring site. Burlington, Ontario: Ecological Monitoring and Assessment Network, Environment Canada.

Belgard, A. L. (1950). *Lesnaya rastitelnost yugo-vostoka USSR* [Forest vegetation of South-East part of the USSR]. Kiev: Kiev State University (in Russian).

Bonham, C. D., & Clark, D. L. (2005). Quantification of plant cover estimates. *Grassland Science*, 51, 129–137. doi: [10.1111/j.1744-697x.2005.00018.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-697x.2005.00018.x)

Booth, D. T., Cox, S. E., Louhaichi, M., & Johnson, D. E. (2004). Lightweight camera stand for close-to-earth remote sensing. *Journal of Range Management*, 57(6), 675–678. doi: [10.2307/4004027](https://doi.org/10.2307/4004027)

Byikov, B. A. (1978). *Vvedenie v fitotsenologiyu* [Introduction into the phytocoenology]. Nauka, Alma-Ata (in Russian).

Chen, W., Li, J., Zhang, Y., Zhou, F., Koehler, K., Leblanc, S., Fraser, R., Olthof, I., Zhang, Y. S., & Wang, J. (2009). Relating biomass and leaf area index to non-destructive measurements in order to monitor changes in Arctic vegetation. *Arctic*, 62(3), 281–294. doi: [10.14430/arctic148](https://doi.org/10.14430/arctic148)

Dempster, A. P., Laird, N. M., & Rubin, D. B. (1977). Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 39(1) 1–22. doi: [10.1111/j.2517-6161.1977.tb01600.x](https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1977.tb01600.x)

Jensen, R. K., Rasmussen, J., & Melander, B. (2004). Selectivity of weed harrowing in lupin. *Weed Research*, 44(4), 245–253. doi: [10.1111/j.1365-3180.2004.00396.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00396.x)

Krebs, C. J., Danell, K., Angerbjorn, A., Agrell, J., Berteaux, D., Brathen, K. A., & Danell, O. (2003). Terrestrial trophic dynamics in the Canadian Arctic. *Canadian Journal of Zoology*, 81(5), 827–843. doi: [10.1139/z03-061](https://doi.org/10.1139/z03-061)

Laliberte, A. S., Rango, A., Herrick, J. E., Fredrickson, E. L., & Burkett, L. (2009). An object-based image analysis approach for determining fractional cover of senescent and green vegetation with digital plot photography. *Journal of Arid Environments*, 69(1), 1–14. doi: [10.1016/j.jaridenv.2006.08.016](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.016)

Luscier, J. D., Thompson, W. L., Wilson, J. M., Gorham, B. E., & Dragut, L. D. (2006). Using digital photographs and object-based image analysis to estimate percent ground cover in vegetation plots. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(8), 408–413. doi: [10.1890/1540-9295\(2006\)4%5B408:udpaoi%5D2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)4%5B408:udpaoi%5D2.0.co;2)

Maslikova, K. P. (2017). *Ekologichna struktura roslinnogo pokryvu tehnosiviv Nikopol'skogo margancevorudnogo basejnu* [The ecological structure of technosol vegetation of the Nikopol manganese ore basin]. *News of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University*, 4(46), 77–88 (in Ukrainian).

Olmstead, M. A., Wample, R., Greene, S., & Tarara, J. (2004). Non-destructive Measurement of Vegetative Cover Using Digital Image Analysis. *HortScience*. 39(1), 55–59. doi: [10.21273/hortsci.39.1.55](https://doi.org/10.21273/hortsci.39.1.55)

R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from <http://www.R-project.org/>

Rasmussen, I. A. (2004). The effect of sowing date, stale seedbed, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organic winter wheat. *Weed Research*, 44(1), 12–20. doi: [10.1046/j.1365-3180.2003.00367.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00367.x)

Richardson, M. D., Karcher, D. E., & Purcell, L. C. (2001). Quantifying turfgrass cover using digital image analysis. *Crop Science*, 41(6), 1884–1888. doi: [10.2135/cropsci2001.1884](https://doi.org/10.2135/cropsci2001.1884)

Stredansky, J. (1999). Reduction of wind erosion intensity by vegetation cover. *Ekologia*, 18, 96–99.

Voronov, A. G. (1973). *Geobotanika* [Geobotany]. Vischaya shola, Moscow (in Russian).

Yeterevska, L., Momot, G. F., & Lehtsiyer, L. V. (2008). *Rekultyvovani ґруnty: pidkhody do klasyfikatsii ta systematyky* [Reclaimed soils, approaches to classification and taxonomy]. *Soil Science*, 9(3–4), 147–150 (in Ukrainian).