

Національний авіаційний університет

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КУРОЧКІН ВІКТОР МИХАЙЛОВИЧ

УДК 004.93:528.74 (043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОД ТА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ
АЕРОФОТОЗЙОМКИ З ГЕОГРАФІЧНОЮ ПРИВ'ЯЗКОЮ**

05.13.06 Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В. М. Курочкін

Науковий керівник:

Приставка Пилип Олександрович
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри прикладної математики
Національного авіаційного університету

Київ 2017

АНОТАЦІЯ

Курочкін В. М. Метод та технологія автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». – Національний авіаційний університет, Київ, 2017.

Розвиток напрямку обробки і аналізу цифрових зображень набуває особливої актуальності за рахунок розвитку та розповсюдження безпілотних літальних апаратів, що надають можливість відносно дешево отримувати оперативні дані високої деталізації. Створення ефективних і інформативних методів аналізу цифрового зображення може ліквідувати необхідність ручного збору зразків на місцях у випадку землеробства, що є кропіткою, дорогою та довгою процедурою, таким чином економлячи час і вартість процесів моніторингу посівних територій та забезпечити оперативність реагування на зміни в процесах розвитку культури.

Дисертаційна робота становить собою закінчене наукове дослідження, в якому розв'язано актуальну науково-технічну задачу зі створення геоінформаційної технології автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою, що призначена для забезпечення інформацією процесів прийняття рішень шляхом організації неперервних спостережень та обробки їх результатів, стимулювання впровадження інформаційних технологій та автоматизації моніторингу в області сільського господарства.

Проведено дослідження існуючих методів роботи з цифровим зображенням та основних завдань на аналіз зображення, що дозволили визначити основні перспективні напрямки цифрової обробки зображення в контексті роботи з даними аерофотозйомки, а саме фільтрацію зображення лінійними B-сплайнами близькими до інтерполяційних у середньому, лінійні оператори покращення зображення, та ймовірнісний підхід кластерного аналізу

без вчителя для подальшого аналізу та обґрунтувати і поставити завдання дослідження.

Запропоновано неперервну пошарову модель зображення на основі кластерного аналізу та локальної сплайн-апроксимації, що описує розподіл інтенсивності неоднорідного цифрового зображення у вигляді суміші розподілів складових з діапазону бачення, та на відміну від інших на різних ділянках цифрового зображення має вагові коефіцієнти, що дозволяє більш адекватно описувати локальні особливості окремих складових цифрового зображення. А також запропоновано метод оцінки пошарових складових цифрового зображення, який на відміну від інших використовує нову пошарову модель зображення, що дозволяє побудову просторової апроксимації складових текстур зображення. Адекватність запропонованого методу підтверджується можливістю використання локальних поліноміальних сплайнів на основі B-сплайнів, що близькі до інтерполяційних у середньому в якості моделі аналогового зображення. Основний зміст запропонованих моделі та методу у наступному.

Нехай маємо дані аерофотозйомки посівних площ у вигляді функції інтенсивності $f(x, y)$, де $x = \overline{0, W-1}$ та $y = \overline{0, H-1}$ - координати пікселів зображення, W, H - ширина та висота зображення відповідно.

Представимо функцію інтенсивності освітлення неоднорідного зображення у вигляді наступної лінійної комбінації: $f(x, y) = \sum_{k=1}^A \beta_k(x, y) \cdot f_k(x, y)$, де $f_k(x, y)$ - окремі сегментовані складові зображення, або складові освітлення об'єктів. A - кількість складових, $\beta^{(k)}(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) = f_k(x, y) \\ 0, & f(x, y) \neq f_k(x, y) \end{cases}$ - індексна функція, що за своїм призначенням та виглядом відповідає формулі порогової кластеризації.

Розглянемо складну багатшарову функцію щільності розподілу інтенсивності освітлення зображення у вигляді: $p(f(x, y)) = \sum_{k=1}^A \alpha_k(x, y) \cdot p(f_k(x, y))$,

де $\alpha_k(x, y)$ - визначає частку k -ої складової інтенсивності освітлення в довільній точці (x, y) , таку що $\sum_{k=1}^A \alpha^{(k)}(x, y) = 1$, $x = \overline{0, W-1}$; $y = \overline{0, H-1}$.

Метод оцінки пошарових складових зображення $\alpha_k(x, y)$, $k = \overline{1, A}$ $k = \overline{1, A}$ які сукупно визначають неперервну пошарову модель зображення, що описує його складові з діапазону бачення на основі кластеризації та локальної сплайн апроксимації полягає в знаходженні кількості однорідних складових складної текстури A та оцінки $\alpha_k(x, y)$ - часток кожної складової, значення індексних функцій β_k з складових текстури $\forall(x, y) \quad x = \overline{0, W-1}$, $y = \overline{0, H-1}$.

На основі отриманої апроксимації $\hat{\alpha}^{(k)}(x, y)$ можна побудувати ізолінії, що будуть описувати ділянки, що належать певній складовій текстурі. Особливістю даної задачі є необхідність обчислення ізоліній у вигляді послідовності координат пікселів контуру ділянок, які потім конвертуються в географічні координати. Для цього необхідно для кожного шару $\hat{\alpha}^{(k)}(x, y)$ $k = \overline{1, A}$ зображення обчислити зріз $\alpha^{(k)}(x, y) \geq a^*$, де a^* - деяке порогове значення.

Створено геоінформаційну технологію автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою Vagabond, що на відміну від інших використовує нові пошарову модель цифрового зображення та оцінки числових характеристик посівних площ, та дозволяє автоматизувати роботи з побудови завдання для наземної техніки на основі даних аерофотозйомки у вигляді цифрового опису ділянок з географічною прив'язкою, що входять до технології багаторівневого моніторингу на локальному рівні (мікрорівні). Практична цінність запропонованих технології підтверджено актами впровадження на підприємствах. Створена технологія призначена для забезпечення інформацією процесів прийняття рішень шляхом організації неперервних спостережень та обробки їх результатів та являє собою комплекс наступних методів та засобів: засоби повітряного моніторингу (безпілотні літальні апарати, дрони, оснащені фотоапаратурою); ГІС автоматизованої обробки даних аерофотозйомки VagabondGIS; керовані технічні засоби роботи, що оснащені пристроями GPS.

Процес організації неперервних спостережень та обробки їх результатів для забезпечення інформацією процесів прийняття рішень, проходить наступним чином: засобами повітряного моніторингу збираються та передаються у ГІС дані аерофотозйомки, що проходять інтелектуально-аналітичну обробку та візуалізуються для користувача, який на їх основі приймає рішення про застосування певних дій до виділених ділянок, та на основі сформованого цифрового опису ділянок неоднорідності з географічною прив'язкою створює задачу для наземної техніки. Після виконання задачі процес повторюється.

В результаті робота ГІТ поділяється на 4 основні етапи: проведення повітряного моніторингу; попередня та інтелектуально-аналітична обробка результатів спостереження; прийняття рішень на основі візуалізації результатів обробки та формування задачі для наземної техніки; проведення робіт на ділянці згідно поставленої задачі.

Вдосконалено оцінки числових характеристик посівної площі, які на відміну від інших побудовані на основі нового методу оцінки пошарових складових та відомих підходів до кластерного аналізу, що дозволяє обчислити оцінки коефіцієнтів врожайності та пересушення, суміші агрокультур та наявності аномальних утворень. Адекватність запропонованих евристичних оцінок врожайності підтверджується безпосередньо перевіркою на місцевості, наданої фахівцями в даній області.

Розроблено локальну ГІС VagabondGIS, що є частиною геоінформаційної технології автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою Vagabond, що відрізняється від інших своєю доступністю, наявністю програмної реалізації нових оцінок числових характеристик посівної площі та дозволяє проводити інтелектуально-аналітичний аналіз даних аерофотозйомки для забезпечення підтримки прийняття рішень в сфері землеробства та формувати цифровий опис ділянок з географічною прив'язкою. Використання системи на підприємстві дозволило скоротити час на планування робіт на 13% та вдвічі зменшити час на підготовку завдання для наземної техніки за рахунок автоматизації побудови цифрового опису ділянки з географічною прив'язкою.

Розроблено нові алгоритми та модифікації існуючих підходів до обробки цифрового зображення, практична цінність яких підтверджена актом впровадження в навчальний процес Національного авіаційного університету.

Проведені експериментальні дослідження інтелектуально-аналітичної обробки запропонованої в роботі на основі оцінок, в реалізації ГІС VagabondGIS та проведено аналіз отриманих результатів з консультантом з предметної області, що постановили що розробки мають потенціал застосування в сільському господарстві для економії витрат пов'язаних з автоматизацією повітряного моніторингу посівних територій.

Ключові слова: пошарова модель, оцінка пошарових складових, обробка цифрового зображення, кластерний аналіз, сегментація, інтелектуально-аналітична обробка, геоінформаційна технологія, ГІС.

ABSTRACT

Kurochkin V. M. Method and technology of automated processing of geo-referenced aerial photography. – Manuscript copyright.

Thesis for candidate of technical sciences degree in speciality 05.13.06 – informational technologies. – National Aviation University, Kyiv, 2017.

Development of the processing and analysis of digital images is of particular relevance due to the development and dissemination of drones, enabling to relatively cheap obtain operational data of high detail. Creating effective and informative methods of digital image analysis may eliminate the need for manual collection of samples in the case of agriculture, which is painstaking, expensive and lengthy procedures, thus saving time and cost of cultivated areas monitoring and ensuring responsiveness to changes in the processes of culture development. The thesis is a complete scientific study which solved the actual scientific and technical problem to create GIS technology of automated processing of geo-referenced aerial photography of which is designed to provide information to decision-making processes through continuous observation and of processing their results, stimulate integration of IT and monitoring automation in agriculture.

A study of existing methods of digital imaging and fundamental problems in image analysis, allowed to identify the main promising areas of digital image processing in the context of data aerial photography, such as image filtering with linear B-splines close to interpolation in average, linear operators to improve image and probabilistic approach in cluster analysis without a teacher for further analysis, also to prove and put the objectives of the study.

Proposed a continuous layered image model based on cluster analysis and local spline approximation describing the intensity distribution of inhomogeneous digital images as a mixture of components distribution from a range of vision, and unlike others in different parts of the digital image there are weights that can more adequately describe local features of individual components of the digital image. Also proposed the method of assessment of layered components of a digital image that unlike the others uses a new continuous layered image model, allowing the construction of spatial approximation of image texture components. The adequacy of the proposed method is confirmed by the possibility of using local polynomial spline-based B-splines that are close to the average interpolation as a model of analog image. The main content of the proposed model and method as follows.

May we have aerial photography as a function of intensity $f(x, y)$, where $x = \overline{0, W-1}$ and $y = \overline{0, H-1}$ - coordinates of image pixels, W, H - image width and height respectively.

Let's present the function of light intensity of nonuniform image as the following linear combination: $f(x, y) = \sum_{k=1}^A \beta_k(x, y) \cdot f_k(x, y)$, where $f_k(x, y)$ - segmented image individual components, or components of lighting of objects. A - number of components, $\beta^{(k)}(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) = f_k(x, y) \\ 0, & f(x, y) \neq f_k(x, y) \end{cases}$ - indexed function, its purpose and appearance corresponds to the formula of clustering threshold.

Let's consider a complex multi-layered density distribution function of images light intensity as: $p(f(x, y)) = \sum_{k=1}^A \alpha_k(x, y) \cdot p(f_k(x, y))$, where $\alpha_k(x, y)$ - determines the

amount of k -component light intensity at any point (x, y) , such that $\sum_{k=1}^A \alpha^{(k)}(x, y) = 1$,
 $x = \overline{0, W-1}$, $y = \overline{0, H-1}$.

Method of evaluation of image layer components $\alpha_k(x, y)$, $k = \overline{1, A}$ $k = \overline{1, A}$ which collectively define a continuous layered image model that describes its components from a range of vision, based on clustering and local spline approximation is to find the number of homogeneous components within complex texture and evaluation of $\alpha_k(x, y)$ - amount of each component, the value of the indexed function β_k of the texture components $\forall(x, y) \ x = \overline{0, W-1}$, $y = \overline{0, H-1}$.

Based on the approximation $\hat{\alpha}^{(k)}(x, y)$ you can build contours that will describe the areas belonging to a specific component texture. The peculiarity of this problem is the need for calculate contour as a series of coordinate points of objects contour, which are then converted to geographical coordinates. It is necessary for each image layer $\hat{\alpha}^{(k)}(x, y) \ k = \overline{1, A}$ to evaluate selection $\alpha^{(k)}(x, y) \geq a^*$, where a^* - certain threshold.

Created new GIS technology of automated processing of geo-referenced aerial photography “Vagabond”, that unlike the others uses layered image model and evaluations of numerical characteristics of the crop, and automates the work of building tasks for the machinery based on aerial photography in the form of a digital georeferenced description of geographic areas included to multilevel monitoring technology at the local level (micro level). The practical value of the proposed technology approved with enterprise integration. Created technology is designed to provide information to decision-making processes through continuous observation and of processing of their results and defines a set of methods and tools: the means of air monitoring (unmanned aircraft, drones, with photo equipment); GIS of automated processing of geo-referenced aerial photography “VagabondGIS”; managed hardware machinery equipped with GPS devices.

The process of continuous observation and processing of its results is aimed to provide information for decision-making as follows: by means of air monitoring the aerial data collected and transferred to GIS where intellectually-analytically processed

and displayed to the user who decides to use certain action to isolated areas, and based on the digital georeferenced description of geographic areas creates tasks for machinery. Then the process is repeated.

As a result, GIS-technology is divided into four main stages: conducting of air monitoring; previous and intellectual-analytical processing of the results of observation; making decisions based on the results and visualization, processing and creating tasks for machinery; work at the site according to the task.

Improved estimates of numerical characteristics of cultivated area, which unlike other are based on a new method for assessing the layers and components and known approaches to cluster analysis, allows evaluation of factors to calculate yields and dryness, estimate a mixture of agriculture mixtures and abnormal formations. The adequacy of the proposed heuristic yield estimates confirmed by checking directly on the ground, provided by experts in the field.

Developed local GIS of automated processing of geo-referenced aerial photography “VagabondGIS”, which is part of GIS technology of automated processing of geo-referenced aerial photography “Vagabond”, which differs from others for its affordability, availability of new estimates of numerical characteristics of the cultivated area implementation and for its intellectual-analytical analysis of aerial photographs to support decision making in the field of agriculture and or generating digital georeferenced description of geographic areas. Integrated to the company has reduced the time for planning in 13% and reduced by half the time for preparation of machinery tasks by automating the creating of a digital georeferenced description of the areas. Created new algorithms and modifications of existing approaches to digital image processing, which practical value is confirmed by act on integration to the educational process of the National Aviation University.

Experimental research of intellectual and analytical processing presented in work, based on implementing in GIS “VagabondGIS” and the analysis of the results from the consultant on the subject area, which agreed that development has the potential application in agriculture for cost savings with automating air sowing areas monitoring.

Keywords: layered model, evaluation of layer components, digital image processing, cluster analysis, segmentation, intellectual and analytical processing, GIS technology, GIS.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. В. Курочкін, та П. Приставка, «Оцінка пошарових складових цифрового зображення на основі кластерного аналізу та сплайн-апроксимації», *Проблеми інформатизації та управління*, т. 57, № 1, с. 62 – 68, 2017.
2. В. Курочкін, та П. Приставка, «Аналіз неоднорідних текстур посівних площ на основі оцінки суміші розподілів», *Наукоємні технології*, т. 28, № 4, с. 305 – 310, 2015.
3. В. Курочкін, «Геоінформаційна система обробки та аналізу даних повітряного моніторингу Vagabond для потреб сільського господарства», *Проблеми інформатизації та управління*, т. 55, № 3, с. 56 – 61, 2016.
4. V. Kurochkin, «Cluster Analysis In Agricultural Decision Support Systems Development», *Proceedings of the National Aviation University*, vol. 68, no. 3, pp. 62 – 68, 2016.
5. В. Курочкін, «Дослідження інформативності кольорових складових зображення в інформаційній системі Ranger», *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій*, т. 20, с. 23 – 30, 2016.
6. В. Курочкін, «Система «ElfinTest» обробки моніторингу довкілля на основі кластеризації», *Наукоємні технології*, т. 26, № 2, с. 127 – 133, 2015.
7. В. Курочкін, «Аналіз та перспективи розвитку сучасних геоінформаційних рішень для оптимізації ведення сільського господарства», *Проблеми інформатизації та управління*, т. 52, № 4, с. 74 – 82, 2016.
8. В. Курочкін, «Геоінформаційна технологія на основі повітряного моніторингу, використання керованої наземної техніки та обробки зображень», на *III Міжнар. наук.-практ. конф. Winter InfoCom Advanced Solutions 2016*, Київ, 2016, с. 21 – 23.

9. В. Курочкін, «Застосування кластерного аналізу до даних аерофотозйомки про посівні території», на *XVI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів. Політ. Сучасні проблеми науки*, Київ, 2016, с. 148.

10. V. Kurochkin, «Geoinformational technology for aerial data analysis», на *VII World congress Aviation in the XXI-st century*, Kyiv, 2016, pp. 1.8.24 – 1.8.27.

11. В. Курочкін, «Дослідження інформативності кольорових складових зображення при застосуванні кластерного аналізу», на *XIV Міжнар. наук.-практ. конф. Математичне і програмне забезпечення інтелектуальних систем*, Дніпро, 2016, с. 118 – 120.

12. В. Курочкін, «Секторний кластерний даних аерофотозйомки», на *V Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики*, Київ, 2016, с. 89.

13. В. Курочкін, «Оцінка врожайності на основі аерофотозйомки», на *XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Політ. Сучасні проблеми науки*, Київ, 2015, с. 78.

14. В. Курочкін, «Оцінка врожайності за даними аерофотозйомки на основі гістограми розподілу колірної у-компоненти», на *XIII Міжнар. наук.-практ. конф. Математичне і програмне забезпечення інтелектуальних систем*, Дніпро, 2015, с. 120 – 121.

15. В. Курочкін, «Обробка даних моніторингу довкілля на основі аерофотозйомки», на *XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Політ. сучасні проблеми наук*, Київ, 2014, с. 86.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	12
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	15
ВСТУП	16
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ РОБОТИ З ЦИФРОВИМ ЗОБРАЖЕННЯМ ТА ГЕОГРАФІЧНИМИ ДАНИМИ	22
1.1 Обробка цифрових зображень в точному землеробстві	23
1.2 Методи і засоби роботи з геоданими	29
1.2.1 Геоінформаційні системи та їх призначення.....	29
1.2.2 Огляд сучасних геоінформаційних систем.....	32
1.2.3 Системи географічних координат	38
1.2.4 Аналіз геоінформаційних систем в контексті точного землеробства	45
1.3 Методи та засоби роботи з цифровим зображенням	46
1.3.1 Представлення та обробка цифрового зображення.....	46
1.3.2 Сегментація зображення.....	55
1.3.3 Кластерний аналіз і класифікація.....	62
1.4 Огляд дисертацій та патентів в сфері геоінформаційних технологій.....	70
1.5 Висновки та постановка задачі на дослідження	75
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПОСІВНИХ ПЛОЩ [10, 97-100]	77
2.1 Математична постановка задачі	78
2.2 Метод оцінки пошарових складових цифрового зображення на основі кластерного аналізу на сплайн-апроксимації.....	80
2.3 Секторна кластеризація	84

	13
2.4 Рівномірна кластеризація	87
2.5 Оцінка врожайності ділянки	88
2.6 Оцінка пересушених ділянок	92
2.7. Оцінка аномальних явищ на посівній площі.....	95
2.8 Аналіз неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів.....	97
2.9 Висновки	100
РОЗДІЛ 3 ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ АЕРОФОТОЗЙОМКИ [105-107]	101
3.1 Технологія автоматизованої обробки даних аерофотозйомки Vagabond ...	101
3.2 Геоінформаційна система автоматизованої обробки даних аерофотозйомки «VagabondGIS»	108
3.3 Інтерфейс користувача VagabondGIS	113
3.3.1 Вікно перегляду мапи	114
3.3.2 Вікно вивчення ділянки	115
3.4 Програмна реалізація VagabondGIS	117
3.4.1 Модуль введення вхідних даних	118
3.4.2 Модуль обробки та аналізу ЦЗ	121
3.5 Висновки	132
РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ .	133
4.1. Довідник користувача ГІС VagabondGIS	133
4.2 Дослідження прикладів обробки цифрових фотографій агропромислових територій	140
4.2.1 Оцінка врожайності ділянки	140
4.2.2 Оцінка пересушених ділянок на основі кластерного аналізу.....	143
4.2.3 Оцінка аномальних явищ на посівній площі.....	146

4.2.4 Аналіз неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів.....	147
4.3 Висновки	150
ВИСНОВКИ.....	151
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	154
ДОДАТКИ.....	166

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

GPS	Global Position System (глобальна система позиціонування)
NDVI	normalized difference vegetation index (нормалізований відносний вегетативний індекс)
PA	Precision agriculture (точне землеробство)
SSCM	Site specific crop management (характерне відносно ділянки керування врожаєм)
UML	Unified Modeling Language (уніфікована мова моделювання)
БПЛА	Безпілотний літальний апарат
ВЧ	Високо-частотний
ГІС	Геоінформаційна система
ГІТ	Геоінформаційна технологія
ДЗЗ	Дистанційне зондування Землі
ЕД	Елемент дослідження
ІТ	Інформаційна технологія
НЧ	Низько-частотний
ПЗ	Програмне забезпечення
СГ	Сільське господарство
ЦЗ	Цифрове зображення

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах глобальних проблем перенаселення та прогнозів скорочення продовольчих ресурсів, актуальним є питання оптимізації ведення сільського господарства, для збільшення і покращення врожаю на одиницю площі за рахунок використання сучасних інформаційних технологій. Особливої цінності набувають геоінформаційні системи (ГІС) для розвитку точного фермерства (РА – precision agriculture), які створюють умови для спеціалістів в розробці ефективних систем ведення сільського господарства оптимізації та автоматизації процесів посіву, вдобрення, моніторингу, збору врожаю, необхідних даних для аналізу і побудови прогнозів.

Розвиток напрямку обробки і аналізу цифрових зображень набуває особливої актуальності за рахунок розвитку та розповсюдження безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що надають можливість відносно дешево отримувати оперативні дані високої деталізації. Створення ефективних і інформативних методів аналізу цифрового зображення (ЦЗ) може ліквідувати необхідність ручного збору зразків на місцях, що є кропіткою, дорогою та довгою процедурою, таким чином економлячи час і вартість процесів моніторингу врожаю. Оперативність реагування на зміни в процесах розвитку культури напряму впливають на якісні характеристики кінцевого результату.

Розробка зручних і доступних ГІС є також актуальною на фоні досить низького рівня інтеграції інформаційних технологій в сільське господарство в Україні, попри необхідність підвищення якості та зниження вартості галузі.

Значний внесок в розвиток ГІС систем внесли такі компанії як ESRI, Centigon Solutions, Caliper, що встановили загальний вид, функціональність ГІС, разом з такими проектами з вільним кодом як QuantumGIS та DIVA-GIS, що зробили ГІС доступними. Обробкою цифрових зображень та геоінформаційними технологіями займалися такі вчені як Hijmans R., Guarino L., Szeliski R., Forsyth D. Jähne B., Jain A., а також Приставка П. О., Куссуль Н. М., Шелестов А. Ю., Бусигін Б. С., Лигун А. А. та інші.

Разом з тим не вирішеною є науково-технічна задача зі створення геоінформаційної технології автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою для забезпечення інформацією процесів прийняття рішень для ефективної експлуатації земельних ресурсів. Тому актуальним є дослідження за вказаною темою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано згідно з планом наукових досліджень кафедри прикладної математики Національного авіаційного університету: № 939-ДБ14 «Розробка дистанційно-керованої авіаційної системи та її експериментальне випробування відповідно до сертифікаційного базису» за напрямом «Дослідження питання автоматизації оперативної обробки інформації цільового призначення з борту безпілотного повітряного судна»; за темою №1062-ДБ16 «Автоматизація розпізнавання та класифікації цільових об'єктів за відеоданими з камер безпілотного повітряного судна»; за темою №781-ДБ12 Науково-дослідної частини НАУ.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розв'язання актуальної науково-технічної задачі зі створення геоінформаційної технології автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі для підтримки прийняття рішень, впровадження інформаційних технологій та автоматизації моніторингу в області сільського господарства.

Відповідно до мети визначені наступні завдання дослідження:

1. Дослідити існуючі методи роботи з цифровим зображенням та основні завдання на аналіз зображення, що властиві сільському господарству;
2. Розробити метод аналізу цифрового зображення на основі поєднання попередньої обробки та аналізу цифрового зображення з подальшою інтерпретацією результатів з точки зору землеробства, зокрема для оцінки врожайності посівної площі, пересушення ділянок, неоднорідності текстур та наявності аномальних явищ та об'єктів;
3. На основі запропонованого методу створити геоінформаційну технологію для обробки даних аерофотозйомки посівних площ для підтримки прийняття рішень в області сільського господарства;

4. На основі запропонованої геоінформаційної технології та методів обробки цифрового зображення посівних площ розробити геоінформаційну систему обробки даних аерофотозйомки посівних площ для автоматизації процесів підтримки прийняття рішень в області сільського господарства;

5. Провести експериментальні дослідження запропонованих методів та геоінформаційної системи на реальних даних.

Об'єкт дослідження є процеси аналізу цифрових зображень з прив'язкою до географічних координат.

Предмет дослідження є моделі, методи та засоби обробки цифрових зображень та геоінформаційні технології роботи з даними аерофотозйомки.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач використано такі методи, як масштабування та перетворення ЦЗ для зручної роботи з даними аерофотозйомки, первинний статистичний аналіз для визначення найбільш загальних характеристик зображення; кластерний аналіз для визначення основних присутніх класів текстур на ЦЗ; теорії апроксимації для побудови вихідної форми відображення результатів аналізу ЦЗ розділеного на рівні сектори; експеримент для визначення відповідності результатів аналізу до реальних значень; системний аналіз для проектування цілісної ГІС та програмування для побудови допоміжних автоматизованих засобів дослідження та нової ГІС на основі ГІТ та методів обробки і аналізу ЦЗ посівних площ.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропоновано неперервну пошарову модель зображення на основі кластерного аналізу та локальної сплайн-апроксимації, що описує розподіл інтенсивності неоднорідного цифрового зображення у вигляді суміші розподілів складових з діапазону бачення, та на відміну від інших на різних ділянках цифрового зображення суміш має вагові коефіцієнти, яка дозволяє більш адекватно описувати локальні особливості окремих складових цифрового зображення.

2. Вперше запропоновано метод оцінки пошарових складових цифрового зображення, який на відміну від інших використовує нову пошарову

модель зображення, що дозволяє побудову просторової апроксимації складових текстур зображення.

3. Вперше запропоновано геоінформаційну технологію автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою Vagabond, що на відміну від інших використовує нові пошарову модель цифрового зображення та оцінки числових характеристик посівних площ, та дозволяє автоматизувати роботи з побудови завдання для наземної техніки на основі даних аерофотозйомки у вигляді цифрового опису ділянок з географічною прив'язкою, що входять до технології багаторівневого моніторингу на локальному рівні (мікрорівні).

4. Удосконалено оцінки числових характеристик посівної площі, які на відміну від інших побудовані на основі нового методу оцінки пошарових складових та відомих підходів до кластерного аналізу, що дозволяє обчислити оцінки коефіцієнтів врожайності та пересушення, суміші агрокультур та наявності аномальних утворень.

5. Набули подальшого розвитку функціональні можливості геоінформаційних технологій та систем, які відрізняються можливостями побудови цифрового опису з географічною прив'язкою неоднорідних ділянок в межах цілого географічного об'єкта, що дало можливості автоматизувати процеси створення завдань для технічних засобів з пристроями геолокації.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих в дисертаційній роботі основана на використанні сучасного математичного апарату обробки ЦЗ, кластерного аналізу, теорії розпізнавання образів та підтверджено за допомогою експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження полягали в використанні реальних зображень посівних площ з апріорі відомими вадами, та співвідношенні результатів аналізу до реального стану ділянок.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблено нову локальну ГІС VagabondGIS, що є частиною геоінформаційної технології автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з

географічною прив'язкою Vagabond, що відрізняється від інших своєю доступністю, наявністю програмної реалізації нових оцінок числових характеристик посівної площі та дозволяє проводити інтелектуально-аналітичний аналіз даних аерофотозйомки для забезпечення підтримки прийняття рішень в сфері землеробства та формувати цифровий опис ділянок з географічною прив'язкою;

2. Розроблено алгоритмічні засоби обробки даних аерофотозйомки у вигляді ЦЗ, а саме алгоритми секторної кластеризації, рівномірної кластеризації на основі існуючих методів кластерного аналізу та алгоритм побудови полігонів;

3. На основі оцінок характеристик посівної площі, таких як визначення врожайності, пересушення, аномальних об'єктів та аналіз неоднорідних текстур, отримано конкретні результати за реальними даними аерофотозйомки посівних площ в ГІС VagabondGIS, що дає можливість оцінити результати інтелектуально-аналітичної обробки даних аерофотозйомки;

4. Розроблені алгоритми та засоби обробки даних аерофотозйомки в повній мірі чи частково можуть мати використання в інших областях, таких як екологічний, топографічний, геологічний моніторинг, при обліку водних та рослинних ресурсів.

5. Результати дисертаційних досліджень впроваджено на підприємстві «Геосканес» та «Агрорегіон» для розв'язання практичних задач аналізу даних аерофотозйомки та в навчальний процес кафедри прикладної математики Національного авіаційного університету.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження автора. Здобувачу належить вибір методів дослідження, теоретичні розробки і практична реалізація результатів наукових досліджень

В роботах, виконаних із співавторами, автору належить: [10] – розробка методу аналізу пошарових складових цифрового зображення на основі кластерного аналізу та локальної сплайн-апроксимації; [11] – програмна

реалізація методу аналізу неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів та його адаптація та дослідження результатів для ЦЗ СГ територій.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на: XIV, XV, XVI Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених і студентів "Політ. Сучасні проблеми науки" (м. Київ, 2014, 2015, 2016), XIII, XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Математичне і програмне забезпечення інтелектуальних систем» (м. Дніпро, 2015, 2016), VII Міжнародному конгресі «Авіація в XXI-ому столітті» (м. Київ, 2016), III Міжнародній науково-практичній конференції Winter InfoCom Advanced Solutions (м. Київ, 2016), V Міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів «Проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики» (м. Київ, 2016).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 16 друкованих роботах (у тому числі 14 без співавторів), серед яких 8 статей у виданнях, що входять до переліку фахових науково-технічних видань (6 без співавторів), 8 – тез доповідей на конференціях (8 без співавторів).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 112 найменувань. Загальний обсяг дисертації, без урахування додатків, становить 152 сторінки, з яких 140 сторінок основного тексту та 12 сторінок використаних джерел. Робота містить 54 рисунки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ РОБОТИ З ЦИФРОВИМ ЗОБРАЖЕННЯМ ТА ГЕОГРАФІЧНИМИ ДАНИМИ

За останні роки великого розповсюдження набуло використання цифрових мап. Основними причинами цього є: розвиток цифрових технологій, портативність, доступність та якість відображаючих пристроїв, таких як смартфони, планшети та ноутбуки; доступність і потужність ліній зв'язку, зокрема розвиток технології інтернету, особливо бездротового інтернету 3 та 4 покоління; простота та доступність цифрових мап, що є складовою частиною найбільш розповсюдженої операційної системи для портативних додатків Google Android [12]; розвиток веб-технологій, що дозволяють легко і без необхідності інсталювання додаткового програмного забезпечення мати зручний інтерфейс до необхідних сервісів.

Вище перераховане надало поштовх розвитку і розповсюдженню бізнес рішень на основі цифрових мап - геоінформаційних систем, що, хоч і існували давно (однією з перших комерційних ГІС є ESRI ArcGIS [13], перша версія якої вийшла в 1999 році), проте лише відносно недавно набули великого розповсюдження.

Коли мова йде про сучасне сільське господарство, це завжди пов'язано з мапами територій, так як сутність сільського господарства в ефективному управлінні земельними ділянками та отриманні максимальної кількості та якості продукту з одиниці посівної площі. Таким чином ГІС є необхідним інструментом для ефективного розпорядження територіями, аналізу та прогнозування.

Розділ складається з 5-ти підрозділів та висновків. В підрозділі 1.1 йде мова про розвиток SSCM, його задачі та не вирішені питання. В підрозділі 1.2 – про ГІС, які є одним з основних ІТ інструментів, що використовуються при SSCM, Підрозділ 1.3 описує методи і засоби роботи з ЦЗ. В підрозділі 1.4 підведено підсумки та сформульована постановка задачі на дослідження.

1.1 Обробка цифрових зображень в точному землеробстві

Особливої уваги вартий напрямок розвитку сільського господарства, відомий як precision agriculture (PA, precision farming, точне землеробство), що заснований на SSCM (site specific crop management) та гіпотезі про наявності неоднорідності в межах одного поля [14].

Згідно даних FAO (Food and Agriculture Organization) до 2050 року населення планети зросте до 9,6 мільярдів, що спричинить серйозне навантаження на агропромисловий сектор, адже продуктивність має зрости на 70% до 2050 року незважаючи на обмеженість орних земель, зростаючу необхідність в свіжій воді (агропромисловість використовує 70% світових запасів свіжої води) та інші менш прогнозовані фактори, такі як зміна клімату, які, в свою чергу, за даними ООН (Організація Об'єднаних Націй) можуть привести до змін в сезонних явищах життєвого циклу рослин та тварин [15].

Таким чином одним з підходів до покращення якісних і кількісних характеристик агропромислової продукції є використання вимірювальних технологій, щоб зробити сільське господарство більш раціональним, що і є призначенням SSCM. Корпорації та ферми, здебільшого в розвинутих країнах світу, вже збирають інформацію про врожайність, складають ґрунтові мапи, мапи внесення добрив, дані про погоду, використовують спеціалізовану техніку тощо. ЄС (європейський союз) спонсорує декілька проектів за темою в ході своєї Framework Programme (програма досліджень та технологічного розвитку) та зараз, під час програми Горизонт 2020 [15], до якого також у 2015 році долучили Україну [16]. Деякі приватні компанії також активізувалися у даному напрямку, такі як Anemon (Швейцарія), eCow (Великобританія), Connected Cow, Medria Technologies та Deutsche Telekom, тощо [15].



Рис. 1. 1 Схематичне зображення реалізації SSCM

Важливою технологією для реалізації SSCM є GPS, мережа супутників, що здатна визначати розташування та слідкувати за пересуваннями об'єктів, наприклад, агропромисловою технікою. Разом з деякими додатковими технологіями, такими як RTK (Real Time Kinematic), визначення розташування відбувається з точністю до сантиметрів, що задовольняє потреби SSCM [17].

Наступним важливим елементом є здібність збирати дані про ґрунт та стан врожаю. Маючи такі дані, є можливість сформувати мапи врожаю поєднуючи позиціонування машини для збору врожаю та вимірів врожайності. Після чого згідно методології SSCM ці мапи використовуються разом з додатковими даними для контролю застосування хімікатів, згідно розподілу добрив, гербіцидів та пестицидів до різних умов розвитку сільськогосподарських культур та полів [18].

Вище перераховане надає можливості реалізувати автоматизацію процесів посівів, додавання добрив тощо. Спеціалізована техніка що обладнана GPS модулем та системою керування здатна самостійно виконувати встановлені маршрути, таким чином ліквідується ризик людської помилки і продовжується денний час роботи. Для прикладу, в [19] згадано великі фермерські угіддя в Хейлунцзян, Китай, де зафіксовано ріст на 40% машинної продуктивності за

рахунок роботи обладнання при низькому освітленні та вночі. Також збільшення періоду оперування дає змогу виконувати задачі при оптимальних ґрунтових, посівних та погодних умовах.

Маючи змогу керувати позиціонуванням та оперуванням обладнання на полі, РА покладається на знання про те, що саме відбувається на полі, як на посіви впливають ґрунтові умови, шкідники та хвороби, погода. Поєднуючи GPS позицію машини до записів про кількісні характеристики врожаю під час збору можна сформувати мапу врожайності, як зазначалося раніше. Відмінність типів ґрунту, нахил поля та інші фактори можуть впливати на процес розвитку та кінцевий врожай. Що важливо, мапи врожайності дають фермерам дані про оцінку величини відмінності врожаю в межах одного поля. Мапи врожаю можуть поєднуватись з іншими даними, такими як мапами ґрунту (відмінності ґрунту, вміст піску, солі та глини), для того, щоб визначити розподіл добрив, що наносить обладнана GPS машина під час проходження маршруту по полю. Прикладом реалізації такого підходу, що застосовується на практиці вже досить давно, є використання нітрогенів на основі мап врожайності минулих років. Таким чином, кількість домішків обчислюється на основі продуктивності ділянок в минулій ітерації.

Сьогодні агрономи використовують сенсори супутників, легкі авіаційні апарати, або агропромисловою техніку для створення мап стану посіву, аналізуючи червоне та біля інфра-червоне відбиття для визначення індексу вегетації NDVI (normalized difference vegetation index). Більш детально цей аналіз розглянуто в [20]. Спектральна характеристика рослинності залежить від здоров'я рослини, внутрішньої структури листка, вмісту хімічних речовин, тощо (Рис. 1. 2).

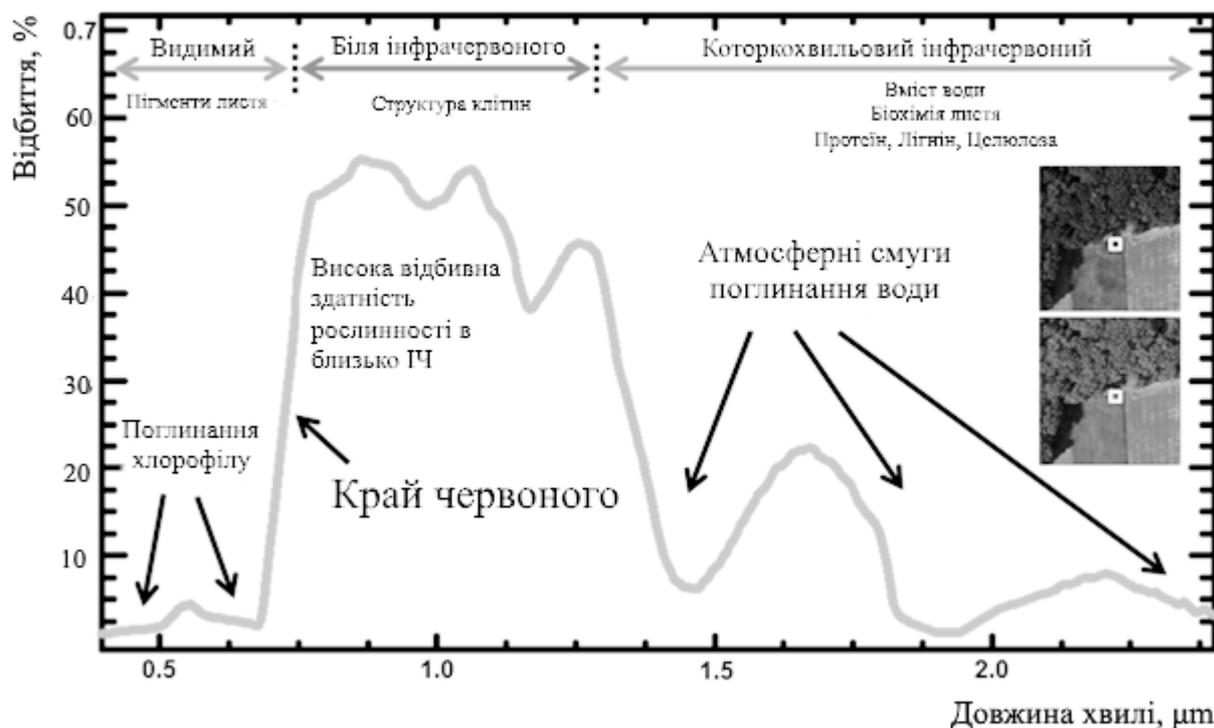


Рис. 1. 2 Графік з поясненнями спектральної характеристики рослинності, на основі якої обчислюється вегетативний індекс

В сільському господарстві широко використовується ДЗЗ (дистанційне зондування Землі) для різних потреб. За допомогою даних з супутників визначаються ознаки і оцінки гео-біофізичних властивостей земної поверхні. Використовуються просторові, спектральні та залежні від часу дані, до яких застосовуються аналітичні методи з використанням цифрової обробки зображень, змішуванням даних з різних джерел. Дані ДЗЗ надають інформацію про підземні води, що допомагає в іригації, управлінні паводками, дають змогу зробити оцінку навколишнього середовища та проводити моніторинг стихійних лих, погоди, тощо. За використанням розпізнавання образів проводиться оцінка потенціалу посівних площ досліджуваного регіону, інвентаризація. Оптичні та мікрохвильові дані використовуються для класифікації посіву. Проводиться дискримінація культур з використанням візуальної, або цифрової інтерпретації даних, тощо. В [21] вивчають також і можливості розв'язання задач виявлення вмісту бур'яну на основі методів виявлення границь, кольору, класифікації, сортування, тощо.

Дистанційне зондування за допомогою авіації та супутників має ряд недоліків, одним з яких є відносна дороговизна, залежність від погоди та ймовірність того, що хмари затьмарять землю в найбільш не підходящий час.

Останнім часом набули розповсюдження малі БПЛА, відомі ще як дрони, для збору даних з повітря. БПЛА можуть літати нижче хмар, швидко скануючи поля та передаючи дані на станцію. Все більше багато-моторних гелікоптерів використовують для збору даних з повітря [22]. Також одним з показників поширення використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для різних цілей є розвиток законодавства. Не так давно в законодавстві України було визначено правовий статус БПЛА, таким чином безпілотне повітряне судно – повітряне судно, призначене для виконання польоту без пілота на борту, керування польоту якого і контроль за яким здійснюється за допомогою спеціальної станції керування, що розташована поза повітряним судном [23].

Компанія URSULA Agriculture використовує БПЛА для сканування посівних територій. Вони забезпечують агрономів інформацією про проблему бур'яну та можуть прогнозувати врожаї таких культур як салат і цибуля. Компанія також досліджує формування мап хвороби в посівах картоплі та намагається ідентифікувати ділянки стійного лисохвосту в посівах салату. Задача постає в тому, щоб доставити пестициди до їх цілей більш ефективно, та знизити використання хімікатів [19].

ОАО «Газпром» [24] запропоновано побудову комплексної системи моніторингу об'єктів на основі використання БПЛА, де на систему покладаються наступні задачі: виробничий та екологічний моніторинг, геофізичні дослідження, картографування, охорона, пошукові та рятувальні роботи, льодова розвідка, тощо. В задачах моніторингу для цивільного використання не завжди є необхідність отримання і обробки інформації в реальному часі, достатнім є доставка даних на базову станцію, де починається їх обробка, та про результати доповідається за необхідності до відповідних служб.

Яскравим прикладом нового технічного мислення є компанія PrecisionHawk [25], що надають комплексні послуги з моніторингу, що

включають в себе БПЛА, створення електронних мап та аналітика. За обробку оперативних даних з БПЛА відповідає програмний комплекс DataMapper, що є набором інструментів для керування, зберігання та аналізу даних з повітря. Таким чином, алгоритм роботи сервісу є наступним: скануються необхідні ділянки за допомогою повітряних дронів; дані з апарату доступні відразу після польоту, що принципово, в даному варіанті нема потреби в інтернет з'єднанні; аналіз на основі обробки цифрових зображень високої роздільної здатності доступні в програмі; дані завантажуються в хмарне сховище.

Нижче наведено декілька прикладів використання БПЛА, що реалізовані на практиці. Це моніторинг здоров'я посіву в проміжку між сезонами. Задача визначення вегетативного індексу з повітря, або за допомогою біля інфрачервоних сенсорів як правило виконувалась людьми, що записували дані збираючи по полю. Зараз це реалізується за допомогою БПЛА, що швидше, дешевше і точніше, оскільки ліквідує ризик людської помилки.

Моніторинг обладнання іригації. Керування багатьма зрошувальними механізмами є досить важкою задачею, що ускладнюється зі збільшенням кількості полів [26].

Ідентифікація бур'яну в полі. За допомогою сенсорів NDVI та визначення висоти рослин за допомогою обробки даних аерофотозйомки створюються мапи бур'яну, за допомогою якої можна визначити найбільш зарослі ділянки [27].

Коефіцієнт родючості територій. Незважаючи на деякі сумніви щодо точності визначення засобами обробки зображень, це є практичний спосіб для визначення ділянок, що потребують додаткових добрив, чи інших дій [28].

Моніторинг стад великої рогатої худоби. Дрони є надійним варіантом для моніторингу поголів'я худоби, відстежуючи їх кількість та рівень активності. Особливо корисними проявляють себе БПЛА в нічний час, коли людському оку важче слідкувати за віддаленими об'єктами [29].

У статті [30] наведено детальний опис поточного стану ринку БПЛА для СГ з приведенням списку постачальників дронів та комплексних сервісів повітряного моніторингу, за результатами дослідження автора спостереження

ділянок менших за 50 гектарів, дрони є більш вигідним способом спостереження у порівнянні з керованими літальними апаратами, зборами на місці та навіть супутниковим спостереженням.

У зв'язку з вищесказаним, постає задача автоматизації процесів обробки цифрових даних ДЗЗ та повітряного моніторингу, тобто, створення геоінформаційної системи спостереження, що поєднує повітряний моніторинг з апаратом обробки та аналізу оперативних даних для отримання стану підлеглих територій в реальному часі, що на сьогоднішній день не є реалізованою в повній мірі. Також дані ДЗЗ та повітряного моніторингу не мають великої практичної цінності без прив'язки до реального світу, тобто без географічної прив'язки. Адже маючи дані спостереження та результати аналізу, для реалізації практичної цінності цих даних необхідно розуміти, якої ділянки територій вони стосуються. Для розв'язання задача роботи з геоданими створені ГІС.

1.2 Методи і засоби роботи з геоданими

Підрозділ присвячений огляд типів ГІС та основних комерційних рішень, що доступні на сьогодні на ринку ІТ. Підрозділ складається з 4 параграфів: 1.2.1 – дає визначення ГІС та описує основні типи та призначення систем, 1.2.2 – представляє собою огляд сучасних ГІС, що використовуються сьогодні, 1.2.3 – аналіз географічних систем, 1.2.4 – основні питання та задачі для ГІС з точки зору сільського господарства та SSCM.

1.2.1 Геоінформаційні системи та їх призначення

Новий поштовх у розвитку геоінформаційних систем зумовлений розповсюдженням та покращенням технологій створення і обробки цифрового зображення, доступністю карт високої якості, наприклад Google Maps, швидкістю передачі даних через мережу інтернет, розвитку самих інтернет технологій та мобільності персональних комп'ютерів, планшетів та смартфонів.

Основні напрямки розробки в сучасних ГІС є: наочна візуалізація геоданих; створення мап, на основі існуючих; зберігання результатів на хмарних сховищах та доступ через мережу інтернет з планшетів, комп'ютерів та смартфонів. Кросплатформеність є однією з важливих ознак сучасних ГІС. Перераховані вище властивості роблять ГІС зручним та ефективним інструментом для оптимізації ведення сільського господарства, та, зокрема, РА. Проте можна зазначити відсутність, або непоширеність спеціалізованих продуктів, для вирішення конкретних задач галузі, що не потребують вивчення складного апарату ГІС, в тому числі вбудованих можливостей перетворень та недооцінення можливостей оперативного аналізу цифрових фотознімків, особливо враховуючи розвиток безпілотної авіатехніки.

Призначення ГІС є введення, збереження, обробка та вивід геопросторової інформації за запитом користувача. Таким чином, ГІС інтегрується з: системами збору інформації (дистанційне зондування, геодезична зйомка, моніторинг оточуючого середовища); з системами збереження інформації (інформаційно-пошукові системи, бази даних); з системами обробки інформації (обробка зображень, моделювання, генералізація); з системами відображення інформації (комп'ютерна графіка, електронні мапи).

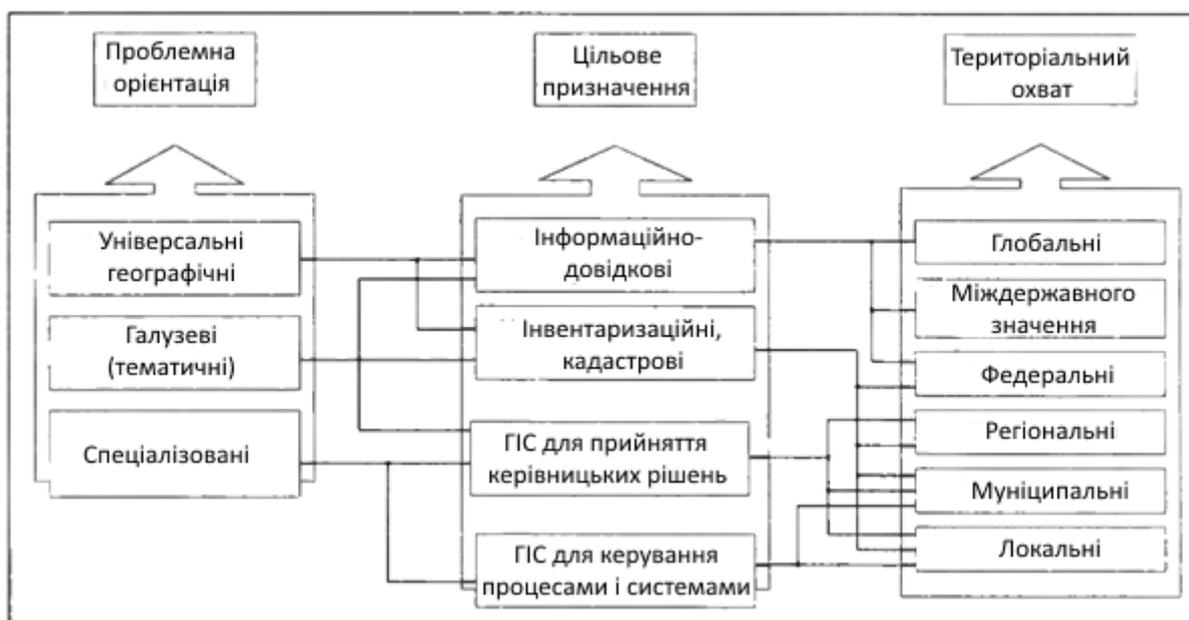


Рис. 1. 3 Схема основних методів класифікації ГІС

Існують різні методи класифікації ГІС (Рис. 1. 3). Згідно проблемної орієнтації можна виділити наступні [31]:

1. Універсальні географічні (комплексні, або багатоцільові) для розв'язання загальних задач. Це інтегровані ГІС, що поєднують системи цифрової обробки зображень з функціональними можливостями по моделюванню та багатофакторному аналізу даних в єдиному інтегрованому середовищі. Такі системи використовуються в сферах регіонального управління і планування.

2. Галузеві (тематичні), що розв'язують проблеми оптимального взаємного розташування і визначення розташування, розподілення об'єктів і ресурсів, класифікацію і поділу на райони територій, вибору оптимального маршруту. Можуть вирішувати наступні задачі: інвентаризація ресурсів (в тому числі кадастр), аналіз, оцінка, моніторинг, управління і планування, підтримка прийняття рішень.

3. Спеціалізовані, предметом розгляду яких можуть бути надра, природо-використання, екологія, транспорт, зв'язок, соціально-економічні показники, політологія, міське господарство.

4. Інформаційно-довідникові, для довідкових, туристичних, освітніх цілей.

5. Інвентаризаційні, кадастрові – для обліку та ведення земельного, лісного, водного, екологічного та інших видів кадастру, а також систем муніципального управління.

6. ГІС для прийняття управлінських рішень – для отримання оперативних даних в процесі прийняття рішень.

7. ГІС для управління процесами та системами – допомагають оперативно керувати ресурсами, планувати роботу транспорту, зв'язку і т.д.

Як правило, основу ГІС складають топодані (топокарти). За територіальним охоптом ГІС розділяють на декілька рівнів:

1. Глобальні. Масштаб базових карт за якими створюється ГІС 1 : 4 000 000 та дрібніші, система координат – географічна.

2. Міждержавні (субконтинентальні). Об'єднання декількох держав за територіальним принципом. Масштаб від 1 : 4 000 000 до 1 : 200 000. Загалом мають інформаційно-довідкових характер.

3. Федеральні (загальнонаціональні, державні). Масштаб від 1 : 4 000 000 до 1 : 1 000 000.

4. Регіональні і субрегіональні. ГІС на основі топографічних і картографічних даних. Масштаб 1 : 100 000 і 1 : 200 000.

8. Муніципальні. Масштаб 1 : 10 000 та 1 : 25 000.

9. Локальні. Масштаби 1 : 10 000 та крупніші.

Функції ГІС визначаються в процесі створення. Акцент на функції визначає конфігурацію ГІС. Різні аспекти використання ГІС можуть бути зведені до наступних груп функцій ГІС: збір, кодування та введення інформації – забезпечення формування цифрового представлення просторових об'єктів та явищ; редагування, оновлення, ефективне збереження даних, реорганізація в різні форми, контроль правильності і якості даних, підтримка системи на актуальному рівні; отримання інформації – в первинному і узагальненому вигляді (в тому числі генералізованому, сумарному та усередненому) та у вигляді результатів аналізу, моделювання і інтегрування різного роду інформації; запити різного роду під час аналізу (додаткової інформації та даних з рідних додаткових джерел інформації); виведення результатів у вигляді документів – таблиць, карт, діаграм.

1.2.2 Огляд сучасних геоінформаційних систем

Сьогодні існує безліч програмних реалізацій ГІС, згідно [32], провідними в галузі є наступні: CMaps Analytics by Centigon Solutions, Mapitude by Caliper, Map Business Online by MapBusinessOnline.com, Rosmiman IWMS by Rosmiman Software Corporation, та окремої уваги вартий ArcGIS by ESRI, що була створена в 1999 році від Environmental Systems Research Institute (ESRI), що були серед чи

не найперших розробників подібних систем та займає лідируючі місця до сьогодні.

Широко використовується термін Location Intelligence, що означає процес отримання від геопросторових даних та їх взаємозв'язків значущих даних для розв'язання певних задач. Саме це є основною метою сучасних ГІС.

СMaps Analytics (від американської компанії Centigon Solutions) [33] – система, що позиціонує себе, як зручний засіб візуалізації, на основі популярних та доступних електронних мап Google Maps. Основною метою продукту є створення доступного і простого Location Intelligence. Тобто використання багат шарових візуалізацій, на основі хронологічних, або різного типу даних для кращого сприйняття і подальшого аналізу.

Система являє собою веб сервіс (Рис. 1. 4), з можливістю працювати з побудованими мапами в інших системах, наприклад ArcGIS. Основною характеристикою програмного комплексу є велика кількість додатків та розширень для різних продуктів, залежно від потреб, та зручний доступ через інтерфейс браузеру де є інтернет з будь-якого пристрою.

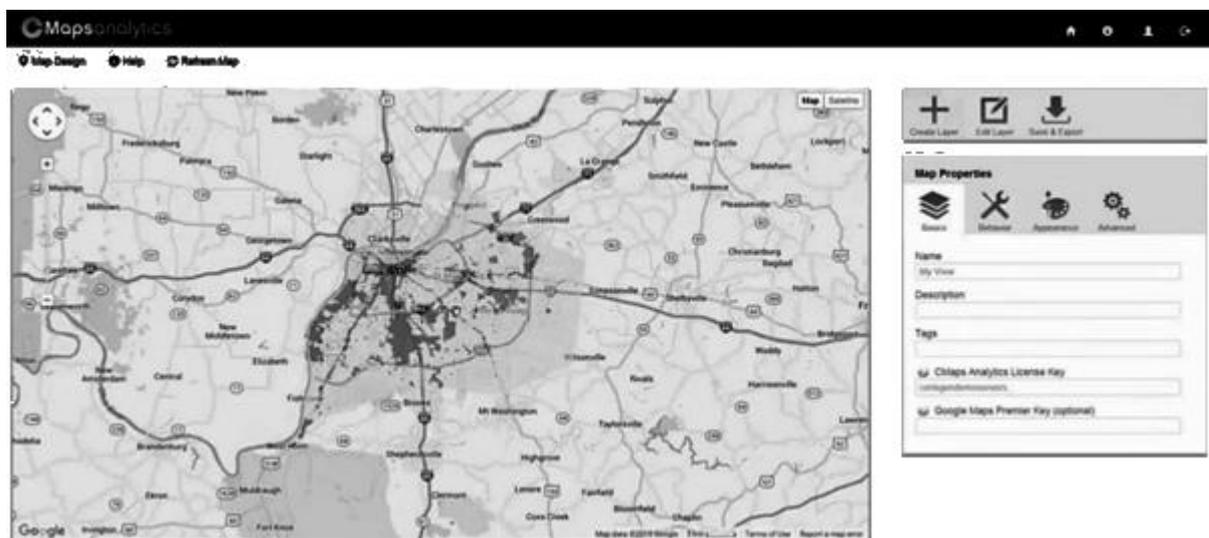


Рис. 1. 4 Інтерфейс веб-додатку СМАР Analytics з прикладом додаткового шару, що відображає географічний розподіл деяких величин

Проект є комерційним, тож доступ до ресурсу є платним, проте, є можливість спробувати обмежену версію продукту на деякий час. Цінова політика закрита, визначається під час переговорів з клієнтом. Також, для більш

типових задач ГІС пропонується використовувати Quantum GIS - систему з відкритим вихідним кодом, для якого компанією розроблено спеціальний плагін (розширення).

Quantum GIS [34] – графічна інформаційна система з відкритим кодом, що розповсюджується під GNU General Public License. Це проект Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) який працює на Linux, Unix, Mac OSX, Windows, Android, підтримує велику кількість векторних та растрових форматів, баз даних, та має широкі можливості аналізу та представлення геопросторових даних.

QGIS є багатофункціональним рішенням для розв’язання широкого спектру задач, наслідком чого перевантажений великою кількістю інструментів і налаштувань (Рис. 1. 5). Присутній деякий набір аналізу растрового зображення, проте, основний наголос на роботі з растровими та векторними шарами, базами даних, та різними типами даних, такими як Oracle GeoRaster, Oracle Spatial, WMS\WMTS (Web Map Service), WCS (Web Coverage Service), WFS (Web Feature Service), CSV (Comma-Separated Values) і т. д.

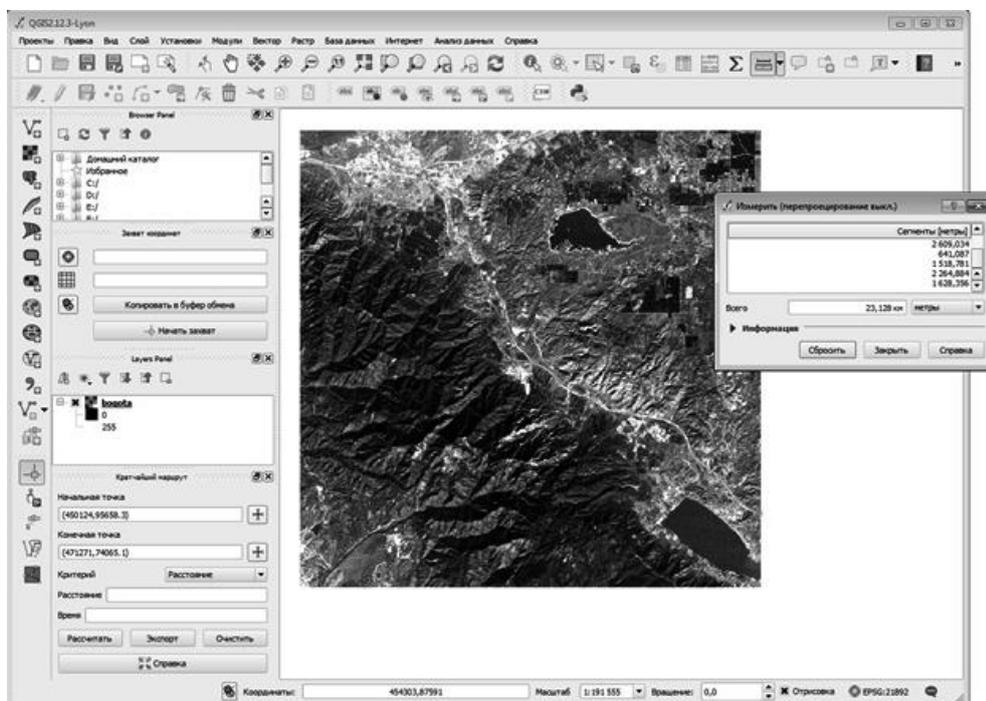


Рис. 1. 5 Інтерфейс ГІС Quantum GIS під час роботи з GeoTiff зображенням

Система підтримує можливість додавання модулів (плагінів) для розширення функціональності, таким чином, можна використовувати програму

як графічну оболонку з широкими можливостями інтеграції для реалізації необхідних перетворень.

Основні можливості: перегляд даних, накладання один на одного векторних і растрових даних в різних форматах і проекціях без перетворення у внутрішній, або загальний формат; дослідження даних і створення мап; керування даними: створення, редагування і експорт; аналіз просторових даних на просторових базах даних та інших форматах, що підтримуються системою. Це включає в себе: векторний аналіз, відбір, геообробка, геометрія і управління базами даних і не тільки. Розмір пакету складає 1,3 Гб дискового простору.

ArcGIS (від американської компанії ESRI) [Помилка! Джерело посилення не знайдено.] – одне з найпопулярніших сучасних геоінформаційних рішень, що наочно відображає загальну тенденцію щодо розробки ГІС-подібних систем. ArcGIS являє собою цілий комплекс програмних додатків. Надає змогу перетворювати необроблені дані за допомогою розширеного аналізу та вузькоспеціалізованих додатків. Допомогає інтегрувати всі типи даних про навколишнє середовище та застосувати складні аналітичні методи. Представляє результати у вигляді карт і графіків.

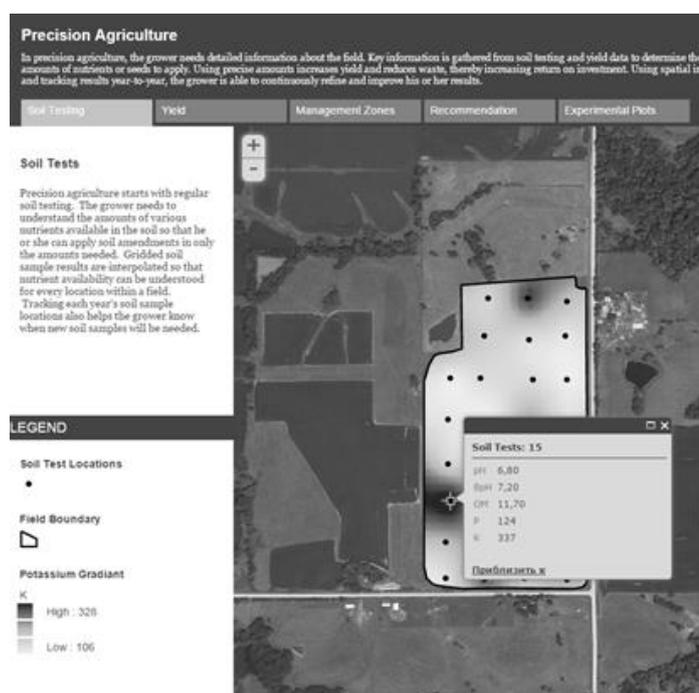


Рис. 1. 6 Інтерфейс веб-додатку ArcGIS з спеціалізованими методами для потреб РА

Геообробка включає в себе велику кількість інструментів для розв'язання ГІС-задач, починаючи з простої побудови буферу і накладання полігонів до комплексного регресійного аналізу і класифікації зображень. Приклади задач, які розв'язуються за допомогою системи – моделювання і аналіз комплексних просторових відносин для розрахунку оптимального маршруту через транспортну сітку, прогнозування розповсюдження природних пожеж, аналіз і пошук закономірностей і розташуванні місць скоєння злочинів, прогнозування повені в наслідок зливи, тощо. Обробка геопросторових даних базується на загальних принципах перетворення даних. Стандартний інструмент обробки реалізує операції з набором даних (просторові дані, растр, таблиця) і створює новий набір даних як результат.

Особливої уваги заслуговують присутні спеціалізовані методи для аналізу посівних площ що є актуальними для використання у РА (Рис. 1. 6). Наприклад такі, що представлені нижче:

Аналіз ґрунту. Визначення кількості поживних речовин у ґрунті, для визначення необхідності у добривах.

Урожайність. Детальна інформація збирається протягом збору врожаю. Важливі дані, для визначення норм висівання, добрив для ґрунту, допомагає слідкувати за результатами та визначити історично більш врожайні зони.

Історично врожайні зони. Зображення зон, що зберігають тенденції до більшої врожайності, порівнюючи з сусідніми.

Рекомендації. На основі багатьох факторів визначаються рекомендації щодо покращення ґрунту. Такі як нутрієнти, цілі, тип попереднього врожаю, попередній збір.

Слідування за тестуванням на окремих ділянках, тощо.

Система створена для величезної кількості застосувань, з широким арсеналом візуалізації та аналізу даних. Набір методів роботи з растровим зображенням досить невеликий і представлений модулем Spatial Analyst (Рис. 1. 7), в основному операції з двома растрами.

Згідно сучасних тенденцій, система забезпечує хмарне сховище та додатки для ПК, мобільних пристроїв та веб клієнт.

ArcGIS є цілою платформою для візуалізації, аналізу і зручного зберігання та розповсюдження даних, на основі зібраних. Цінова політика закрита, проте присутні декілька комплектацій: продвинута, стандартна і базова, але слід зауважити, що розширений аналіз і конвертація даних присутня лише в продвинутій, тобто найдорожчій ліцензії.

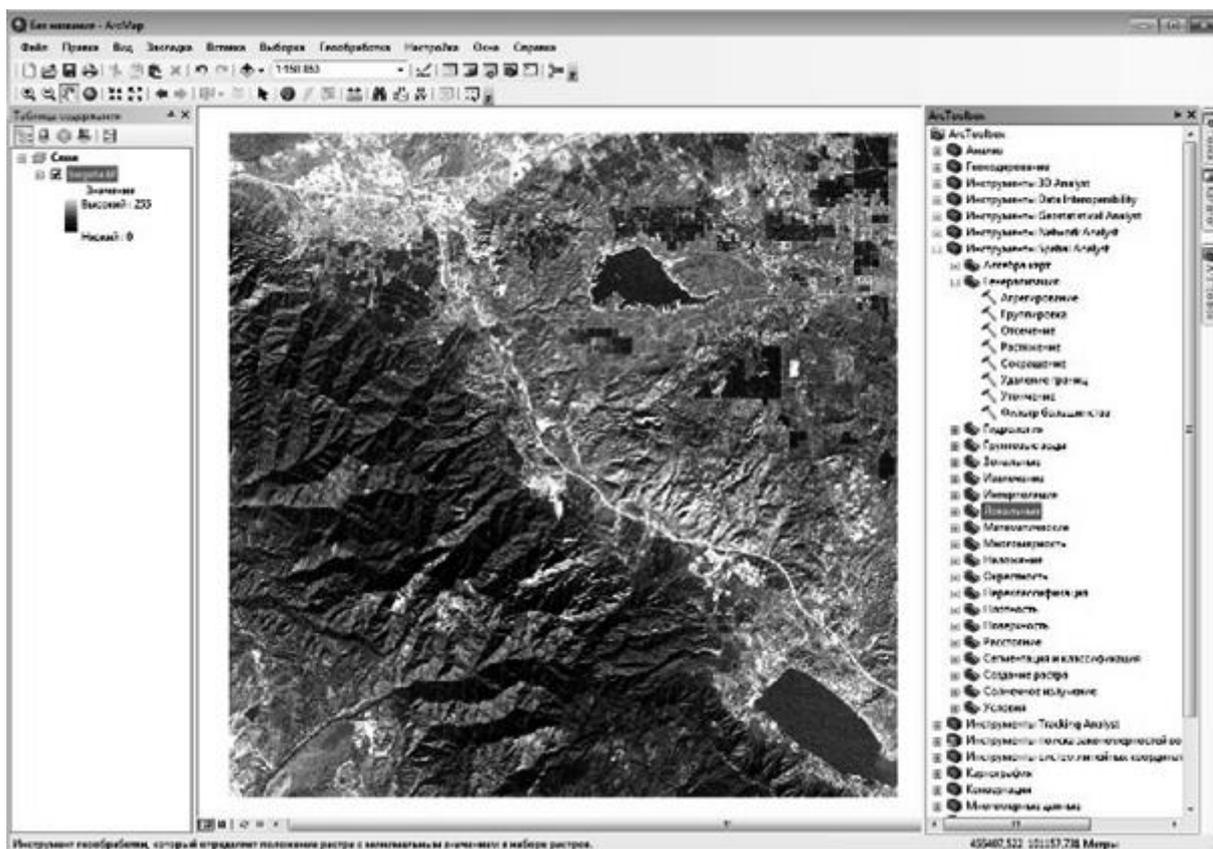


Рис. 1. 7 Інтерфейс додатку ArcGIS для настільних комп'ютерів та ноутбуку з відкритою панеллю інструментів та методів роботи з растровими даними

DIVA-GIS – ще одна система з відкритим кодом, над останніми версіями якої працював Роберт Хіджманс [35]. Основною цілю розробки є створення вільно розповсюдженої системи для вивчення розподілу біорізноманіття. Початок роботи над цією ГІС був підтриманий декількома інститутами CGIAR, такими як Bioversity International, the International Potato Center, the International Rice Research Institute, та University of California, Berkeley, Museum of Vertebrate Zoology та іншими.

Загальне враження від програми співпадає з враженням від роботи з QGIS, програма зосереджена на роботі з зібраними даними, методи обробки зображення відсутні. Присутні можливості роботи з шарами, популярними форматами геоданих, побудови гістограми, регресії, моделювання та інше [36].

Розробники надають документацію, навчальні матеріали та тренувальні дані. Для нового користувача система складає враження не дуже зрозумілої та потребує час на навчання, для досвідченого користувача ГІС потрібно значно менше часу для вивчення, проте ознайомитися з базовою інформацією необхідно.

В статті [37] спеціалістом з області географії та ГІС було проведено аналіз змін в цінній політиці розробників ГІС. В межах 2010 рр. ціни на мобільні і веб ГІС додатки досягали в 20 000, 30 000 доларів США, в той час як лідер ринку ArcGIS коштував до 50 000 доларів США. Проте зараз з збільшенням спеціалістів в області ГІС, існує багато альтернатив, навіть безкоштовних, хоча їх функціонал і не відповідає вимогам РА. Веб сервіс ArcGIS Online зараз коштує від 2 500 доларів США, та надає можливості на рівні окремого додатку для ПК [37]. За неофіційними даними ціни на настільні додатки Esri ArcGIS в діапазоні від 4 000 до 16 000 доларів США.

Узагальнюючи вищеназване (див. дод. 1), можна вказати такі тенденції до розробки ГІС подібних систем: універсальні комплексні системи; переважно для роботи з різними масштаби від глобальних до локальних; орієнтація на роботу з базами даних, результатами зібраних даних для аналізу; можливість багат шарової роботи; відсутність, або невеликий набір для аналізу та обробки цифрового зображення; закрита цінова політика.

1.2.3 Системи географічних координат

Працюючи з цифровими географічними даними, неодмінно постає питання збереження та передачі інформації, тобто необхідності кодування і декодування даних. В умовах великої кількості конкурентних програмних

продуктів є необхідність формування деякого стандарту, для уникнення складності конвертації форматів між різними середовищами роботи.

Компанією ESRI запропоновано використання так званого world file [38]. Основна ідея формату – супроводжуючий універсальний ASCII файл, що містить прив'язку основного файлу до географічних координат. Зручність ідеї в тому, що його легко створити, зберігається, як прийнято, за наступними правилами: повна назва основного файлу з додаванням до розширення букви “w” (image.jpg та image.jpgw), проте через деякі обмеження кількості букв розширення додатку ArcIMS, також використовується правило заміни останньої букви розширення у випадку, якщо кількість символів розширення 3, або більше (image.jpg та image.jpw).

World file створюється за наступним форматом:

1. Рядок 1: A: розмір пікселю в x-напряму в розмірності мапи на піксель;
2. Рядок 2: D: поворот за y-віссю;
3. Рядок 3: B: поворот за x-віссю;
4. Рядок 4: E: розмір пікселю в y-напряму в розмірності мапи на піксель;
5. Рядок 5: C: x-координата центру верхнього лівого пікселю;
6. Рядок 6: F: y-координата верхнього лівого пікселю.

Слід зауважити, що значення E 4 строки майже завжди буде від'ємні, це пов'язано з тим, що на географічній мапі прийнято вести відлік з нижнього лівого кута, на відміну від растрового зображення, де відлік починається з верхнього лівого кута.

Приклад такого файлу:

1. 20.17541308822119 – A, розмір пікселю;
2. – D, поворот за y-віссю;
3. – B, поворот за x-віссю;
4. -20.17541308822119 – E, розмір пікселю в y-напряму;
5. 424178.11472601280548 – C, x-координата верхнього лівого пікселю;
6. 4313415.90726399607956 – F, y-координата верхнього лівого пікселю.

Для обчислення географічних координат точки растру (x, y) використовується наступна система:

$$\begin{cases} x' = Ax + By + C \\ y' = Dx + Ey + F \end{cases} \quad (1.1)$$

де (x', y') - це географічні координати точки (x, y) на растровому зображенні.

Відповідно, для знаходження ширини і довжини пікселю в одиницях географічної системи використовують наступні вирази:

$$\begin{cases} w = \sqrt{A^2 + D^2} \\ h = \sqrt{B^2 + E^2} \end{cases}, \quad (1.2)$$

де (w, h) - ширина і довжина пікселю в одиницях мапи, а A, B, D, E відповідні параметри World File.

Вказаний формат описує мапу в системі UTM (Universal Transverse Mercator) [39] та загально прийнято виконує наступні умовності: D та B зазвичай рівні 0, так як зображення мають бути центровані відносно UTM сітки; C означає UTM рух на схід; F означає UTM рух на північ; одиниці мапи це метри на піксель.

Таким чином, даний формат має суттєвий недолік. Особливість UTM системи в тому, що планета поділена на 60 секторів і для однозначного визначення геолокації даних файлу необхідно визначити номер сектору, проте файл не дає такої можливості. Таким чином з'являється необхідність задавати сектор вручну.

Одним з найпоширеніших форматів для растрових зображень є TIFF (Tag Image File Format) [40] зображення. Особливістю даного формату є гнучка схема інформаційних полів закодованих разом з растром. На основі даного формату створено і найбільш розповсюджений формат для геопозиціонованих зображень, а саме GeoTiff [41], що являє собою TIFF зображення з набором тегів, що містять всю необхідно інформацію про геопозиціонування зображення.

Призначення GeoTiff в однозначному визначенні геопозиціонованих розташувань всередині растрового набору даних. В загальному випадку це реалізовано методом прив'язки координат растрового простору $R(I, J, K)$ до

координат простору моделі координатної системи M (X, Y, Z). В термінах GeoTiff «геоприв'язка» відноситься до власне прив'язки растрового простору R до простору моделі M , коли «геокодування» - до того, як простір моделі M співвідносить координати з точками на мапі.

Зв'язок між просторами R та M описують наступні теги в GeoTiff файлі, що необхідні для однозначного визначення геолокації зображення: ModelPixelScaleTag, ModelTiepointTag, ModelTransformationTag.

Для більшості застосувань, перетворення між растром та простором моделі може бути визначене набором растр-до-моделі контрольних точок та параметрами масштабу. Наступні два теги використовуються для цих цілей:

ModelTiepointTag з набором властивостей: Tag = 33922 (8482.H); Type = DOUBLE (IEEE Double precision); $N = 6 * K$, K = кількість контрольних точок; Alias: GeoreferenceTag; Owner: Intergraph. Тег містить набір растр-до-моделі контрольних точок наступного виду: ModelTiepointTag = (... I, J, K, X, Y, Z, \dots), де (I, J, K) це точка растру (I, J) зі значенням K , що відповідає вектору (X, Y, Z) простору моделі. В більшості випадків простір моделі є двовимірним, в цьому випадку K та Z мають бути рівні 0. Третя змінна існує на випадок майбутньої підтримки трьохвимірного відображення. В такому випадку ця змінна буде відповідати висотному рівню точки на мапі.

ModelPixelScaleTag з набором властивостей Tag = 33550; Type = DOUBLE (IEEE Double precision); $N = 3$; Owner: SoftDesk. Призначення тегу – задання розміру растрового пікселю відносно простору моделі. Містить три значення (ScaleX, ScaleY, ScaleZ), де ScaleX та ScaleY дають горизонтальні та вертикальні розміри, тобто ширину та довжину пікселю в одиницях виміру простору M . ScaleZ відповідає за висотний рівень, тому в двовимірному випадку рівний 0.

Одна контрольна точка в ModelTiepointTag разом з ModelPixelScaleTag однозначно визначає зв'язок між растром та простором моделі. У випадку, коли зображення містить параметри повороту для визначення зв'язку растру з моделлю використовується наступний більш узагальнений тег:

ModelTransformationTag з набором властивостей Tag = 34264 (85D8.H); Type = DOUBLE; N = 16; Owner: JPL Cartographic Applications Group. Цей тег задає матрицю перетворення між простором растру та моделлю. Містить значення (a,b,c,d,e....m,n,o,p), що використовуються для формування наступного рівняння:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & c & d \\ e & f & g & h \\ i & j & k & l \\ m & n & o & p \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I \\ J \\ K \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (1.3)$$

традиційно, без втрати загальності наступні параметри будуть завжди однаковими $m = n = o = 0, p = 1$. Таким чином матриця перетворень буде мати наступний вигляд:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & 0 & d \\ e & f & 0 & h \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I \\ J \\ K \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (1.4)$$

У випадку наявності тегів ModelTierpointTag та ModelPixelScaleTag ця матриця не має використовуватись. Якщо задано одну контрольну точку ModelTierpointTag (I,J,K, X,Y,Z) та визначено ModelPixelScaleTag (Sx, Sy, Sz), то наступні рівняння мають місце:

$$\begin{cases} Tx = X - I * Sx \\ Ty = Y + J * Sy, \\ Tz = Z - K * Sz \end{cases} \quad (1.5)$$

де $-Sy$ від'ємне через оберненість відліку мапи та растрового зображення.

Загалом, використовуються дві системи координат в цифровій геолокації. Це найбільш звична система довготи та широти, та UTM система.

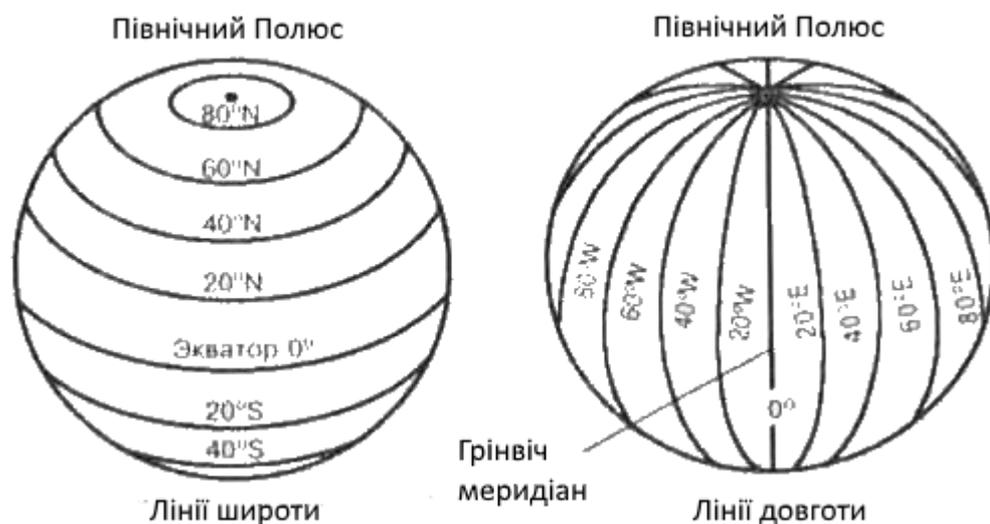


Рис. 1. 8 Схематичне зображення розділення землі по широтам і довготам

Система широти і довготи є найпоширенішою і відомою системою для визначення географічних координат. Вона представляє розташування у вигляді двох цифр: широта це кут центру Землі до деякою захід-схід лінії на поверхні землі; довгота це кут з центру Землі до північ-південь лінії на поверхні Землі. Відображають широту і довготу як десяткові дробні значення градусів (DD), або роздільно на градуси, хвилини та секунди (DMS).

Земля розділена екватором (0° широти) на Північну та Південну півкулю та 0° довготи (уявна лінія від Північного Полісу до Південного Полісу, що проходить через Грінвіч у Великобританії) на Східну та Західну півкулі. Північна півкуля містить широти від 0° до 90° , Південна, відповідно, від 0° до -90° . Східна півкуля знаходиться між 0° та 180° , а Західна між 0° та -180° (Рис. 1. 8).

На відміну система UTM представляє собою метод визначення координат на основі сітки. Земля розділена на 60 зон, кожна на основі поперечної проекції. Проекція мапи в картографії це спосіб представлення двовимірної кривої поверхні на площині (Рис. 1. 9).



Рис. 1. 9 Схематичне зображення перетворення поверхні землі на двовимірну мапу

UTM зони по довготі пронумеровані від 1 до 60, більшість зон займають простір шириною в 6° зі сходу на захід та покривають всю поверхню землі між широтами 80° на 84° . Є 20 UTM зон по широті, 8° висоти кожна, та пронумеровані латинськими літерами від С до Х (з пропущеними літерами І та О). Зони А, В, Y та Z існують поза системою та покривають Антарктичний та Арктичний регіони. Зона 32V розширена з метою покриття Норвегії, тоді як 31V звужена, щоб покривати лише відкриту воду (Рис. 1. 10).

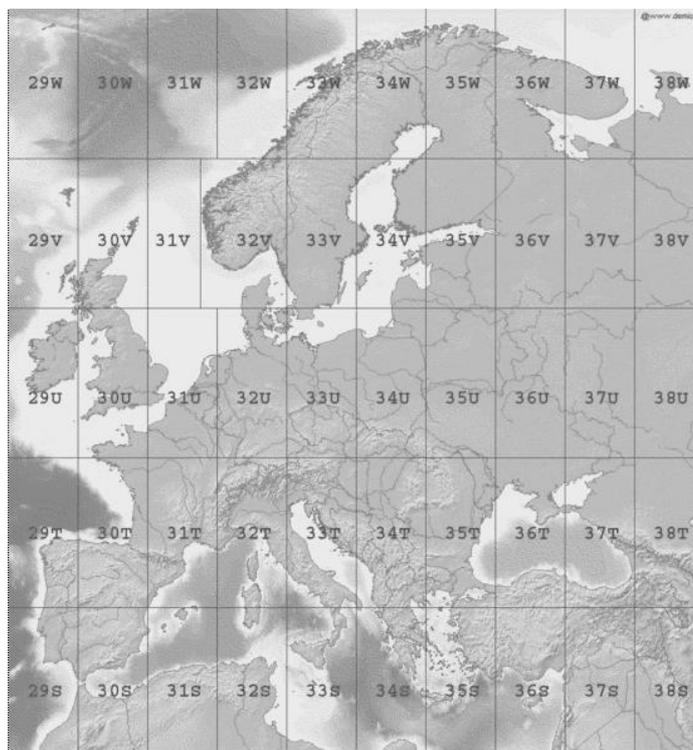


Рис. 1. 10 Зображенні UTM зон певної ділянки Земної поверхні

UTM зони представляються в форматі «зона довготи, зона широти, рух на схід, рух на північ», де рух на схід це проекційна відстань від зони довготи центрального меридіану а рух на північ – проекційна відстань від екватору. Значення обох рухів дано в метрах.

Для більш узагальненого представлення та зручності користувача треба мати можливість відображати дані геолокації в зручній для користувача системі, тому актуальним є питання конвертації між цими системами. Проте найбільш загально зрозумілою системою є система широти і довготи, тож є сенс орієнтуватися в першу чергу на цю систему при побудові ГІС.

1.2.4 Аналіз геоінформаційних систем в контексті точного землеробства

Підсумовуючи вище описаний аналіз ГІС, приходимо до висновків, що існуючий їх функціонал надає можливості для введення, збереження, обробки та виводу геопросторової інформації. Особливої уваги заслуговують присутні в ArcGIS спеціалізовані методи для аналізу посівних площ, такі як аналіз ґрунту, врожайність, визначення історично врожайних зон, надання рекомендацій, тощо. Зручною для використання в РА є можливість використання хмарного сховища і мобільних додатків, що збільшує мобільність і можливості інтеграції для спеціалізованого обладнання.

Проте з недоліків можна зауважити все ще досить велику ціну, особливо для українського ринку, де у зв'язку з коливанням курсу валют, ціни на зарубіжні продукти можуть бути зависокими. Досить обмежений вибір продуктів, що надають спеціалізовані методи роботи з посівними площами. В огляд потрапив лише один продукт від Esri, що має спеціалізований функціонал. Також апарат обробки зображення майже відсутній, або досить специфічний та загальний, що не підпадає під опис повноцінного методу, а є більше набором інструментів. Спеціалізовані ж методи зав'язані не на результати аналізу ЦЗ, а на табличні результати опрацьованих зібраних зразків ґрунту, тощо. Отже, існуючі

геоінформаційні рішення не підходять для оперативного аналізу даних повітряного моніторингу самостійно.

Таким чином, актуальним є дослідження сфери обробки ЦЗ та розробка методів аналізу даних аерофотозйомки посівних площ, а також розробка локальних оперативних ГІТ автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівних площ.

1.3 Методи та засоби роботи з цифровим зображенням

Підрозділ складається з 2-ох параграфів: Параграф 1.3.1 дає визначення ЦЗ та основні методи обробки, в 1.3.2 - йде мова про кластерний аналіз та класифікацію ЦЗ.

1.3.1 Представлення та обробка цифрового зображення

Згідно [42] зображення можна визначити як двовимірну функцію $f(x, y)$, де x та y - координати в просторі (на площині), а значення f в довільній точці, що задана парою координат (x, y) , називається інтенсивністю, рівнем сірого у випадку чорно-білого зображення. Цифровим зображенням є така функція $f(x, y)$, де величини x та y приймають кінцеве число дискретних значень, це елементи зображення, або пікселі, кожен з яких розташований у конкретному місці та набуває певного значення.

На сьогодні ЧБ (чорно-білі) зображення цінуються більше в художній фотографії, ніж в обробці, адже колір містить в собі багато інформації, яка втрачається при використанні ЧБ ЦЗ.

Зі всіх існуючих колірних моделей найбільш популярні наступні представлення [43]:

- RGB – модель змішування кольорів (базова комп'ютерна модель),
- СМΥК – модель віднімання кольорів (використовується при друці),

- YIQ, YUV, YCrCb – модель з 3 компонентів: яскравість та двоє штучних кольоро-різнецевих (використовується у відео-системах).

Проте, жодна з цих моделей не дає інтуїтивний опис через тональність (hue), насиченість (saturation) і яскравість (brightness). Для такого роду опису кольорів використовуються інші моделі, такі як HSL і HSV. Проте колір, представлений у такий спосіб, залежить від апаратної частини пристрою, що буде його відображати. Для отримання коду кольору, що не залежить від пристрою, використовується Lab простір [44].

Найпоширенішою в комп'ютерній графіці моделлю є модель змішування трьох базових кольорів – червоного, зеленого та синього. Використовуючи різні пропорції змішування можна отримати всю палітру кольорів.

Через те, що у відтінках сірого світлі тони більш інтенсивні, ніж темні, для перетворення кольорів з простору RGB у відтінки сірого використовується наступна формула:

$$R_g = G_g = B_g = \frac{1}{256} \cdot (77 \cdot R + 150 \cdot G + 29 \cdot B + 128). \quad (1.6)$$

Модель кольорів СМΥК (Cyan - блакитний, Magenta - пурпуровий, Yellow - жовтий, black - чорний) реалізується на пристроях, які використовують принцип поглинання кольорів. Оскільки чорний виходить при поглинанні всіх, що важко реалізувати на практиці, то в цій моделі використовується ще чорний колір. Якщо всі компоненти кодуються від 0 до 255, то таблиця конвертації має наступний вигляд:

$$\begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 255 - R \\ 255 - G \\ 255 - B \end{pmatrix}. \quad (1.7)$$

Популярність RGB моделі пояснюється тим, що відображення кольорову реалізується змішуванням базових кольорів. А особливістю YIQ, YUV, YCrCb систем – наявність однієї кольорної компоненти, що несе основне інформаційне навантаження – люмінесцентна складова (яскравість зображення). Для доповнення люмінесцентної складової до оригінального сигналу існують два

колірні компоненти, структури яких залежать від конкретної моделі даного сімейства.

У системі YIQ Y компонента відповідає за яскравість, в той час, як інформація про тон і насиченість представляється за допомогою лінійних комбінацій різниць червоного, зеленого і синього кольорів і значення Y. Координата I (синфазний сигнал) відповідає кольорам від помаранчевого до зеленого, тобто «теплим» тонам, Q (інтегрований сигнал) – від зеленого до пурпурового, тобто всім іншим.

Зв'язок між RGB та YIQ описує рівність:

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B \\ 0.596 \cdot R - 0.275 \cdot G - 0.3216 \cdot B \\ 0.212 \cdot R - 0.523 \cdot G + 0.311 \cdot B \end{pmatrix}, \quad (1.8)$$

та обернений зв'язок:

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y + 1.14 \cdot V \\ Y - 0.395 \cdot U - 0.581 \cdot V \\ Y + 2.032 \cdot U \end{pmatrix}, \quad (1.9)$$

Відповідно, маємо наступні діапазони: Y – 0 до 255, U – від 0 до ± 112 , V – від 0 до ± 157 . Слід зауважити, що формула Y компоненти (1.8) є по суті представленням формули (1.6).

Також існує зв'язок між компонентами I, Q та U, V, який описаний наступним чином:

$$\begin{bmatrix} I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos 33^\circ & \sin 33^\circ \\ -\sin 33^\circ & \cos 33^\circ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ V \end{bmatrix}, \quad (1.10)$$

Колірний простір YCrCb (люмінесцентна складова, хроматичний червоний та хроматичний синій) є найбільш поширеним серед комп'ютерних стандартів. Саме цей колірний простір використовується в таких форматах, як JPEG, MPEG, Kodak`s Photo YCC [45]. Простір є масштабованим YUV (по байту для кожної компоненти).

Існує декілька модифікацій даної системи, так наприклад YcrCb-HDTV має наступні рівності [43]:

$$\begin{pmatrix} Y \\ Cr \\ Cb \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.213 \cdot R + 0.715 \cdot G + 0.1072B \\ -0.117 \cdot R - 0.394 \cdot G + 0.511 \cdot B + 128 \\ 0.511 \cdot R - 0.426 \cdot G - 0.047 \cdot B + 128 \end{pmatrix}, \quad (1.11)$$

та

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y + 1.54 \cdot (Cr - 128) \\ Y - 0.459 \cdot (Cr - 128) - 0.183 \cdot (Cb - 128) \\ Y + 1.816 \cdot (Cb - 128) \end{pmatrix}, \quad (1.12)$$

де Y займає 8 біт та змінюється від 16 до 235, область зміни Cr і Cb від 16 до 240.

Модель HSV базується на інтуїтивно близьких людині поняттях тону H (hue) – довжина хвилі домінуючої компоненти в спектрі світлового потоку, насиченості S (saturation) – частина білого кольору (частина спектру, в якому присутні всі частоти видимого діапазону), інтенсивності V (value) – загальна кількість світлового потоку.

Гістограмою цифрового зображення є графік статистичного розподілу ЦЗ з різною інтенсивністю\яскравістю, на якому вздовж горизонтальної осі представлена яскравість, а вздовж вертикальної – відносне число пікселів з конкретним значенням яскравості.

Інтенсивність уздовж осі V зростає від 0 до 1 на верхній грані, де вона максимальна для всіх кольорів. Насиченість визначається відстанню від вісі, а тон – кутом (від 0° до 360°), що відлічується від червоного кольору. Значення H вимірюється в градусах у порядку стадії нагрівання – червоний, жовтий, зелений, блакитний, синій, пурпуровий.

Цифровою обробкою зображення є обробка цифрових зображень за допомогою цифрових обчислювальних машин (комп'ютерів).

Виділяють комп'ютеризовані процеси низького, середнього та високого рівня [42]. До процесів низького рівня відносять примітивні операції передобробки з ціллю зменшення шуму, збільшення контрасту та чіткості зображення. До середнього – сегментація, класифікація, стиск зображення. А третій рівень охоплює задачі «осмислення» набору розпізнаних об'єктів, як це

робиться в аналізі зображень, та, в граничному представленні, реалізація пізнавальних функцій, які прийнято пов'язувати з зором.

Задачі низького рівня обробки виконують методи побудовані на основі поелементних перетворень, або локальних лінійних згорток, та відіграють важливу роль у процесі роботи з зображенням, так як недостатня чіткість, або наявність великої кількості шумів та вад зображення різного типу може сильно вплинути на результат подальшої роботи з зображенням.

Явною перевагою поелементних перетворень є їх простота, а отже швидкість виконання. Разом з тим, багато з них приводять до очевидного суб'єктивного покращення візуальної якості.

Сутність поелементної обробки в наступному. Нехай $x(i, j) = x_{i,j}$, $y(i, j) = y_{i,j}$ - значення інтенсивності вхідного і вихідного після обробки зображення в точці кадру відповідно, що має декартові координати i (номер строки) та j (номер стовпчика). Поелементна обробка означає, що є функціональна залежність між цими інтенсивностями:

$$y_{i,j} = f_{i,j}(x_{i,j}), \quad (1.13)$$

що дозволяє по значенню вхідного сигналу визначити значення вихідного. В загальному випадку, функція $f_{i,j}(\cdot)$, що описує обробку, залежить від поточних координат. Проте, обробка може бути як однорідною, так і неоднорідною [46].

Лінійне контрастування зображення. Задача контрастування пов'язана з відповідністю динамічного діапазону зображення та екрану, на якому виконується візуалізація. Якщо для цифрового представлення зображення на кожний елемент відводиться 1 байт, то дані сигналу може приймати одне з 256 значень. Нехай мінімальна і максимальна інтенсивності зображення рівна x_{\min} та x_{\max} відповідно. Якщо один, або обидва параметри суттєво відрізняються від граничних значень діапазону інтенсивності, то зображення виглядає ненасиченим, деталі можуть бути втраченими. При лінійному контрастуванні використовується поелементне перетворення виду:

$$y = a \cdot x + b, \quad (1.14)$$

параметри якого a і b визначаються бажаними значеннями y_{\min} та y_{\max} вихідної інтенсивності, в результаті отримаємо наступну функцію обробки:

$$y = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot (y_{\max} - y_{\min}) + y_{\min}, \quad (1.15)$$

де, в загальному випадку, $\begin{cases} y_{\min} = 0, \\ y_{\max} = 255. \end{cases}$

Соляризація зображення. При даному виді обробки маємо наступну функцію:

$$y = k \cdot x, \quad (1.16)$$

де x_{\max} - значення максимальної інтенсивності вхідного зображення; k - константа, що дозволяє керувати динамічним діапазоном перетворюваного зображення.

Сенс соляризації в тому, що ділянки вхідного зображення, що мають рівень білого, чи близький до нього, після обробки мають рівень чорного. Рівень чорного зберігається, проте рівень білого отримують ділянки, що мають на вході середній рівень інтенсивності.

Проте, обробка тільки окремих пікселів зображення за допомогою точкових перетворень не забезпечує такою інформацією, як аналіз просторових співвідношень рівнів інтенсивності в малому околі. Операції такого виду відносяться до загального класу операцій над сусідніми елементами, або фільтри.

Результатом такого перетворення, як і поелементних перетворення, є зображення, але задачі даного типу здатні вирішувати більш складні питання. Згідно [47] такі операції розв'язують наступні задачі:

- виділення простих локальних структур, таких як контури, кути, лінії та області постійного рівня інтенсивності;
- визначення руху;
- аналіз структури;

- реконструкція зображення, отриманих непрямыми методами формування зображення (наприклад, томографія);
- відновлення зображень, що мають погану якість (через дефокусування, розмитість через рух, тощо);
- корекція порушень, викликаних небажаними змінами при отриманні зображення, чи передачі.

Одним з найбільш вживаних операцій над сусідніми елементами є лінійний фільтр, де вихідне значення в точці обчислюється на основі зваженої суми значень пікселів вхідного зображення (Рис. 1. 11) [48]:

$$g(i, j) = \sum_{k,l} f(i+k, j+l) \cdot h(k, l), \quad (1.17)$$

де g - вихідне зображення; f - зображення на вході; h - матриця вагових коефіцієнтів.

Значення вагового ядра, або маски $h(k, l)$ часто називають коефіцієнтами фільтра.

45	60	98	127	132	133	137	133	*	0.1	0.1	0.1	=	69	95	116	125	129	132	
46	65	98	123	126	128	131	133		0.1	0.2	0.1		68	92	110	120	126	132	
47	65	96	115	119	123	135	137		0.1	0.1	0.1		66	86	104	114	124	132	
47	63	91	107	113	122	138	134		0.1	0.1	0.1		62	78	94	108	120	129	
50	59	80	97	110	123	133	134						57	69	83	98	112	124	
49	53	68	83	97	113	128	133						53	60	71	85	100	114	
50	50	58	70	84	102	116	126												
50	50	52	58	69	86	101	120												
$f(x,y)$											$h(x,y)$			$g(x,y)$					

Рис. 1. 11 Схематичне зображення процесу фільтрування, де справа наліво зображено результат згортки зображення, маска фільтра, ділянка зображення

Вираз (1.17) по суті є формулою дискретної згортки, яка має наступне позначення:

$$g = f * h, \quad (1.18)$$

де h - імпульсна перехідна функція, адже згортка h та імпульсного сигналу $\delta(i, j)$ (зображення, де 0 всюди окрім початку) буде рівна h , $h * \delta = h$.

Лінійний фільтр може виконувати різні задачі, такі як згладжування, контрастування, покращення різкості, стабілізація, високочастотна фільтрація. Застосування фільтрів реалізується методом ковзного вікна [48].

Один з недоліків операцій над сусідніми елементами це проблема граничного ефекту. Адже на границях зображення не вистачає елементів для побудови повноцінного блоку. Цей недолік можна обійти вирішити декількома шляхами:

- занулення: всі пікселі, які виходять за межі зображення встановлюються рівними 0;
- константа: всі пікселі, які виходять за межі зображення встановлюються рівними деякому заданому значенню;
- повторення: повторення значень граничного пікселю;
- зациклення: пікселі за границею зображення рівні пікселям з протилежної границі;
- віддзеркалення: дзеркальне відображення граничних пікселів;
- розширення: обчислення значень пікселів за межами зображення за допомогою формул екстраполяції:

$$\begin{cases} p(i-1) = \frac{1}{3} \cdot (4 \cdot p(i) + p(1+1) - 2 \cdot p(1+2)), \\ p(i+1) = \frac{1}{3} \cdot (4 \cdot p(i) + p(1-1) - 2 \cdot p(1-2)). \end{cases} \quad (1.19)$$

Для розфокусування зображення, зменшення шуму використовуються згладжуючі фільтри. Розфокусування може використовуватися як крок попередньої обробки, наприклад для видалення дрібних особливостей при виявленні великих об'єктів, чи для позбавлення розривів в лініях, чи деталях.

Задача фільтрів даного типу усереднити значення пікселю на основі значень сусідніх пікселів. Дану задачу можна вирішити різними підходам. Так на Рис.1.12 а) зображено однорідний усереднюючий фільтр, в той час як на Рис.1.12 б) – маска що дає зважене середнє.

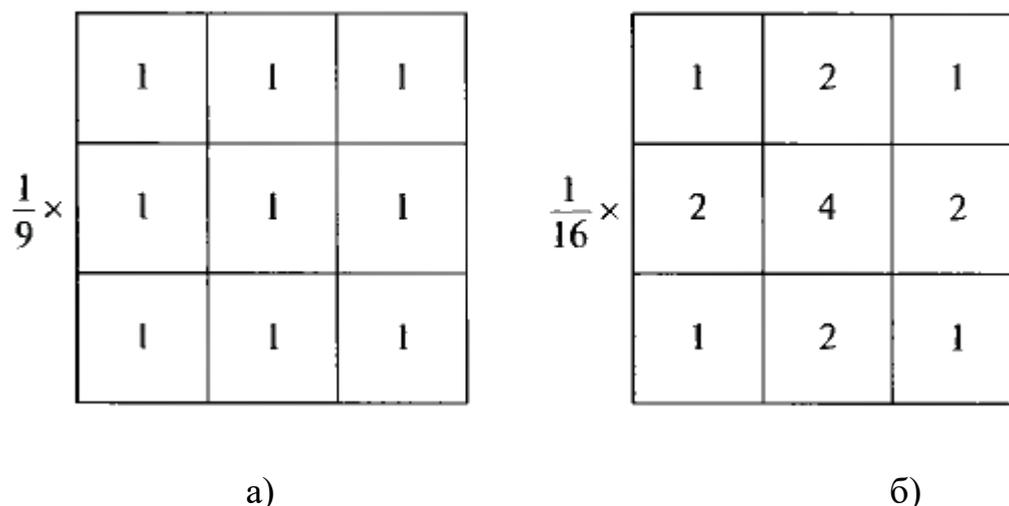


Рис. 1. 12 Приклади простих згладжуючих фільтрів розміру 3x3

Загальна формула фільтрації зображення $M \times N$ фільтром зваженого середнього за околom $m \times n$ (m та n непарні) буде мати наступний вигляд:

$$g(i,j) = \frac{\sum_{s=-m}^m \sum_{t=-n}^n w(s,t) \cdot f(i+s, j+t)}{\sum_{s=-m}^m \sum_{t=-n}^n w(s,t)}, \quad i = \overline{0, M}, j = \overline{0, N}, \quad (1.20)$$

де $w(s,t)$ - вагова матриця.

Таким чином рівень згладжування можна збільшувати збільшуючи розмір маски, проте, з тим зростати буде і обчислювальна складність, а отже час обробки.

З цією та іншими задачами відмінно справляються фільтри побудовані на основі В-сплайнів [49]. Оптимальною формою з точки зору швидкості обробки є форма розкритої згортки, що забезпечує мінімальну кількість операцій при обчисленнях:

- $\frac{1}{64} \begin{pmatrix} 1 & 6 & 1 \\ 6 & 36 & 6 \\ 1 & 6 & 1 \end{pmatrix}$ - маска низькочастотного фільтра на основі сплайну 2-

го порядку;

- $\begin{pmatrix} -1 & -6 & -1 \\ -6 & 28 & -6 \\ -1 & -6 & -1 \end{pmatrix}$ - маска високочастотного фільтра на основі сплайну 2-

го порядку;

$$\bullet \quad \frac{1}{289} \begin{pmatrix} \frac{1}{4} & -2 & 12 & -2 & \frac{1}{4} \\ -2 & 16 & -96 & 16 & -2 \\ 12 & -96 & 576 & -96 & 12 \\ -2 & 16 & -96 & 16 & -2 \\ \frac{1}{4} & -2 & 12 & -2 & \frac{1}{4} \end{pmatrix} - \text{маска контрастного фільтра на основі}$$

сплайну 2-го порядку;

$$\bullet \quad \frac{1}{3132} \begin{pmatrix} 1 & 8 & -74 & 8 & 1 \\ 8 & 64 & -592 & 64 & 8 \\ -74 & -592 & 5472 & -592 & -74 \\ 8 & 64 & -592 & 64 & 8 \\ 1 & 8 & -74 & 8 & 1 \end{pmatrix} - \text{маска фільтра-стабілізатора.}$$

Обробка зображення є важливим етапом роботи з аерофотозйомкою, проте остаточною метою є інтерпретація зображення. Тобто аналіз і класифікація зображення для отримання конкретної інформації, що цікавить користувача.

1.3.2 Сегментація зображення

Сегментація – це процес розділення цифрового зображення на сегменти, за певними правилами. Мета сегментації полягає у спрощенні, або зміні представлення зображення для полегшення його аналізу. Зазвичай сегментацію зображень використовують для виділення об'єктів та меж певних ділянок зображення. В результаті кожному пікселю зображення присвоюється мітка, таким чином, що пікселі з однаковими мітками мають спільні візуальні характеристики.

Сегментацію ЦЗ використовують в медицині (виявлення пухлин та патологій, обсягу тканин, хірургія за допомогою комп'ютера, підтримка при діагностиці, тощо), виділення об'єктів на супутникових знімках, розпізнавання обличчя, відбитків пальців, тощо.

Як правило, алгоритми сегментації зображення ґрунтуються на одному з двох базових властивостей сигналу яскравості: розривності та однорідності. В першому випадку, підхід заключається в тому, що зображення розбивається на

сегменти на основі різних змін яскравості, таких як перепади яскравості на зображенні. Друга категорія методів використовує розбиття зображення на області, однорідні в розумінні визначених попередньо критеріїв. Прикладами таких методів можуть бути порогова обробка, вирощування областей, зливання та розбиття областей [42].

Порогова обробка, мабуть, найпростіший метод сегментації. Метод орієнтований на обробку зображень, окремі однорідні ділянки яких різняться середньою яскравістю. Найпростішим и разом з тим часто застосованим видом сегментації є бінарна сегментація, коли є тільки два типи однорідних ділянок. При цьому перетворення кожної точки вхідного зображення $f(i, j)$ в вихідне $g(i, j)$ виконується по правилу:

$$g(x, y) = \begin{cases} g_0, & f(i, j) \leq f_0 \\ g_1, & f(i, j) > f_0 \end{cases},$$

де f_0 - єдиний параметр обробки, що називається порогом. Рівні вихідної яскравості g_0 та g_1 можуть бути довільними, вони лише виконують функції міток, за допомогою яких виконується розмітка отриманої карти – віднесення її точок до класів H_0 , або H_1 , відповідно. Якщо утворений апарат застосовується для візуального сприйняття, то часто їх значення відповідають рівням білого та чорного. Якщо існує більше двох класів, то при пороговій обробці має бути задано сімейство порогів, що розділяє яскравості різних класів один від одного.

Центральним питанням порогові сегментації є визначення порогів, яке має виконуватись автоматично. Різноманіття методів достатньо широке, проте в основному вони ґрунтуються на аналізі гістограми вхідного зображення.

Нехай $w(x), 0 \leq x \leq 255$ - гістограма вхідного цифрового зображення. Нехай його діапазон буде обмежений границями від 0 (рівень чорного) до 255 (рівень білого). Первісна ідея гістограмного методу визначення порогу ґрунтувалася на припущенні про те, що розподіл ймовірностей для кожного класу унімодальні (містять по одному піку), а точки меж, що розділяють ділянки різних класів на зображенні, малочисельні. Цим припущенням має відповідати гістограма, яка

має багатомодальний характер. Окремі моди відповідають різним класам, а впадини, що розділяють їх - малочисельні по кількості вхідних в них точок граничним ділянкам. Пороги сегментації знаходяться згідно положення впадин, як показано на Рис. 1.13 у випадку двох класів. Проте в дійсності скористатися такими простими міркуваннями вдається досить не часто. Проблема постає в тому, що реальні гістограми зазвичай сильно порізані. Це перша перешкода для визначення точок мінімуму. Другою перешкодою є те, що границі між однорідними ділянками на зображенні бувають розмиті, внаслідок чого рівень гістограми в тих його частинках, які відображають точки границі, зростає. Вочевидь, це призводить до зменшення провалів в гістограмі, чи, навіть, їх зникнення.

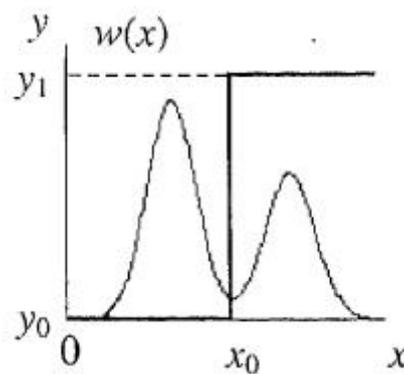


Рис. 1.13. Приклад двомодальної гістограми

Одним з ефективних шляхів подолання цих труднощів полягає у визначенні порогу на основі так званого дискримінантного критерію [42].

Виділяють три основних види *розривів яскравості*, що зустрічаються на цифровому зображенні: точки, лінії та перепади. Найбільш загальним способом пошуку розривів є обробка зображень за допомогою ковзної маски. Процедура ґрунтується на обрахунку лінійної комбінації коефіцієнтів маски зі значеннями яскравості елементів зображення, що покриває маска. Іншими словами, при використанні такої маски, відгук в кожній точці зображення задається виразом

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9 = \sum_{i=0}^9 w_i x_i ,$$

де z_i - значення яскравості пікселя, що відповідає коефіцієнту w_i маски. Зазвичай, відгук маски приписується позиції її центрального елемента.

Визначення перепадів. У відповідності з моделлю ідеального перепаду на Рис. 1.14, а, ідеальний контурний перепад – множина з'єднаних пікселей (в даному випадку по вертикалі), кожен з яких розташований біля прямокутного стрибка яскравості. На практиці, оптичні обмежування, дискретизація, недосконалість інших елементів системи реєстрації зображення приводять до отримання розмитих перепадів яскравості, як показано на Рис. 1.14, б.

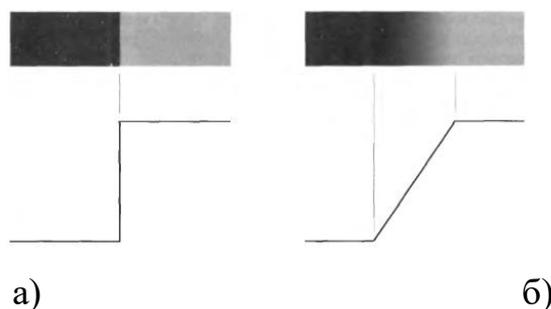


Рис. 1.14. Моделі перепадів: а – модель ідеального перепаду, то його горизонтальний профіль яскравості, б – модель нахиленого перепаду з горизонтальним профілем

На Рис. 1.15, справа показано зображення, ділянка якого крупним планом була показано на Рис. 1.14, б, а зліва приведений горизонтальний профіль перепаду яскравості між двома ділянками. На цьому рисунку також показані перша та друга похідні такого профілю яскравості. При русі вздовж профілю зліва направо, перша похідна має розрив на початку та в кінці нахиленої ділянки, постійне додатне значення протягом нахилу, та рівня нулю на ділянках постійної яскравості. Друга похідна додатна в точці переходу від темної ділянки нахиленої, від'ємна в точці переході від нахиленої до світлої та дорівнює нулю на лінійному нахилі та ділянках постійної яскравості.

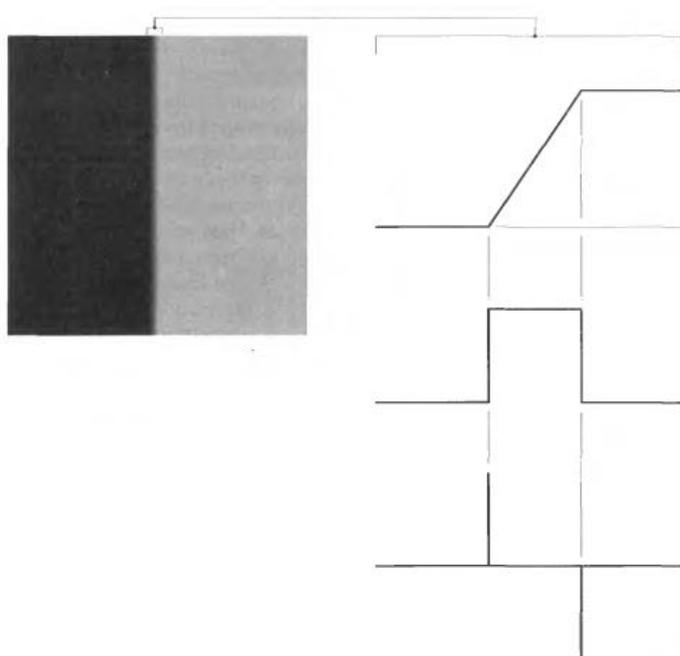


Рис. 1.15. Дві ділянки, розділені вертикальним перепадом яскравості та горизонтальний профіль яскравості біля перепаду разом з двома похідними.

Отже, з проведеного розгляду можна заключити, що значення першої похідної можна використовувати для виявлення перепаду яскравості в кожній точці зображення (тобто визначити, чи знаходиться точка на перепаді). Аналогічно, знак другої похідної дозволяє визначити, чи лежить піксель, що на перепаді, на темній, чи світлій його стороні. Також виявлено двоє додаткових властивостей другої похідної біля перепаду яскравості: вона дає два ненульових значення (додатного та від'ємного) для кожного перепаду; уявлена пряма лінія, що поєднує максимальне додатне, та від'ємне значення другої похідної біля перепаду, перетинає нульовий рівень приблизно в середині перепаду. Властивість перетину нульового рівня другої похідної досить корисне для локалізації середини широких перепадів. Також слід відмітити, що в деяких моделях перепаду яскравості використовуються нахилені ділянки з плавними переходами на початку та кінці. Тим не менш, зроблені вище висновки залишаються справедливими і для такого випадку. В даному розгляд використовувалися локальні оцінки.

На перепадах, що показані на Рис. 1.14 та Рис. 1.15 шум відсутній. Приведені в першому стовпчику на Рис.1.16 збільшені фрагменти зображення

представляють собою чотири варіанти перепадів яскравості між чорною ділянкою зліва та білою – справа. Верхнє зображення не містить шуму, всі інші три зображення цього стовпчика спотворені адитивним гаусовим шумом з нульовим середнім та стандартними відхиленнями 0.1, 1.0 та 10.0 градацій яскравості відповідно.

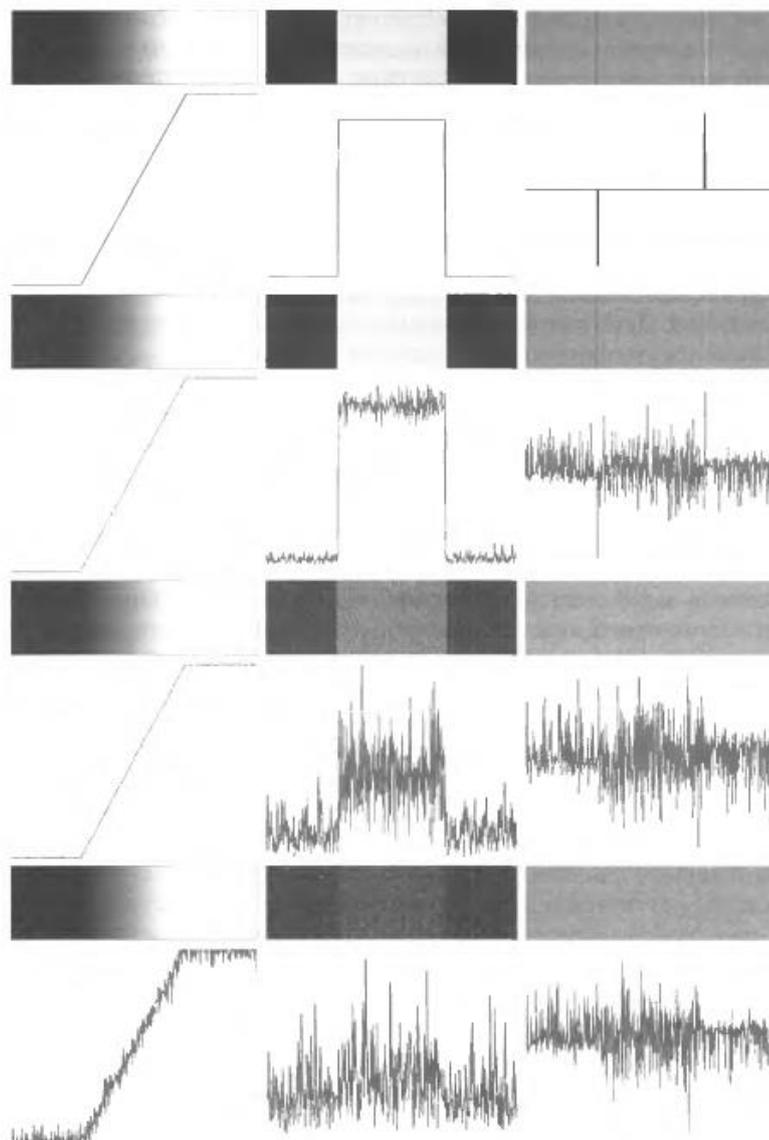


Рис. 1.16. Перепади та їх горизонтальні профілі з двома похідними з різним рівнем шуму.

На другому стовпчику на Рис. 1.16 приведені зображення перших похідних відповідних зображень зліва. Розглянемо, наприклад, верхнє зображення другого стовпчика. Похідна дорівнює нулю на чорній та білій ділянках постійної яскравості. На зображенні першої похідної їм відповідають дві області чорного

кольору. На нахиленій ділянці перша похідна це константа, що дорівняє її крутизни. Ця ділянка на зображенні має сірий колір. Рухаючись вниз по другому стовпчику рисунка похідні все більше відрізняються від випадку без шуму. Останній профіль стовпчика важко спів ставити з лінійним перепадом. Цей результат цікавий тим, що на вхідних зображеннях в лівому стовпчику шум майже непомітний. На останньому зображенні присутня легка зернистість, проте ці спотворення майже непомітні. Дані приклади є гарною ілюстрацією чутливості похідних до наявності шуму.

Очікувано, друга похідна ще більш чутлива до шуму, як видно на Рис. 1.16 у третьому стовпчику. Зображення похідної для випадку без шуму приведено в правому верхньому кутку. Тонкі чорна та біла лінії – додатна та від’ємна складові, пояснені вище. Середній рівень яскравості зображень другої похідних обрано так, що сірий фон відповідає нульовому значенню. Можна помітити, що єдине з зашумлених зображень другої похідної, яке хоч якось нагадує випадок без шуму – при рівні шуму зі стандартним відхиленням 0.1 градацій яскравості. Інші два зображення других похідних та їх профілі очевидно ілюструють те, що насправді важко знайти ті два імпульси (додатній та від’ємний), які, згідно властивостям другої похідної, є істинними показниками початку і кінця перепаду.

Беручи все вищесказане до уваги, можна прийти до наступного висновку: для впевненого класифікування точки, як тієї, що знаходиться на перепаді яскравості, зміна яскравості, що асоціюється з даною точкою, має бути суттєво більшою, ніж допустима зміна яскравості в точці фону. Оскільки ми маємо справу з локальними обрахунками, спосіб визначення того, яке значення є суттєвим, а яке – ні, полягає у визначенні порогу. Отже, ми визначаємо точку зображення, як точку перепаду, якщо її двовимірна похідна першого порядку перевищує деякий заданий поріг. Зв’язну множину таких точок з відповідністю з попередньо заданим критерієм зв’язності є перепад яскравості. Протяжний перепад яскравості називають контуром. Термін «ділянка контуру» зазвичай використовується, коли протяжність перепаду мала у порівнянні з розмірами

зображення. Головна задача при сегментації полягає в тому, щоб зібрати з ділянок контуру більш довгі контури. Опираючись на поведінку другої похідної, можна дати альтернативне визначення точок перепаду яскравості, як точок перетину нульового рівня другою похідною зображення. При цьому визначення перепаду яскравості і контуру залишаються незмінними. Похідні першого порядку в зображення обчислюються за допомогою градієнта, а другого порядку – лапласіан.

Важливим підходом до сегментації зображення є сегментація на основі кластерного аналізу. Кластерний аналіз і класифікацію буде розглянуто в наступному підрозділі.

1.3.3 Кластерний аналіз і класифікація

Кластерний аналіз є одним з найбільш досліджуваних прикладів обробки зображення [50-53], який використовується в задачах, пов'язаних з обробкою даних, один з процесів «інтелектуального аналізу даних» (Data Mining) [54] та може мати використання в задачах обробки даних повітряного моніторингу СГ територій.

Постановка задачі на кластеризацію можна сформулювати наступним чином. Є вибірка об'єктів дослідження $s = \{o^{(1)}, \dots, o^{(N)}\}$, яка сформована в результаті відбору деяких представників генеральної сукупності Ω . Необхідно сформувати $K \geq 2$ класів (груп об'єктів). Кожен об'єкт генеральної сукупності описана за допомогою набору змінних, що може включати змінні різних типів (кількісні і якісні, номінальні, булеві, порядкові).

Кластерний аналіз це корисний інструмент дослідження в галузі вивчення шаблонів, групування, прийнятті рішень, машинного навчання, пошуку документів, сегментації зображення та розпізнавання образів [55]. Розв'язуючи задачі даного роду, часто потрапляємо в умови невеликої кількості апріорних даних, проте апарат прийняття рішень має зробити мінімальну кількість

допущень. За цих обмежень кластерна методологія підходить для вивчення взаємозв'язків між елементами даних для оцінки їх структури.

Типовий алгоритм кластеризації включає наступні кроки (Рис. 1.):

- представлення зразків (може включати в себе визначення, вибір та виділення ознак);
- визначення міри відстані, близькості зразків, що відповідає типу даних;
- кластеризація, або групування;
- абстрагування даних, якщо необхідне;
- оцінка результату, якщо необхідна.



Рис. 1. 17 Блок-схема алгоритму повного циклу кластеризації

В процесі кластеризації також може бути присутнім зворотний зв'язок, коли результат групування може спричинити повторення циклу визначення ознак та визначення схожості зразків.

Представлення зразків відноситься до кількості класів, кількості доступних зразків та кількості, типу та масштабу ознак придатних для алгоритму кластеризації. Деяка інформація може бути неконтрольованою дослідником. Вибір ознак - це процес ідентифікацій найбільш інформативних ознак серед присутніх для кластеризації. Виділення ознак - це використання однієї, або більше трансформації наявних ознак для отримання нових суттєвих ознак. Жодна, або обидві операції можуть бути використані для отримання адекватного набору ознак для аналізу.

Немає вказівок, які дають можливість знайти оптимальні ознаки для зразків в кожній конкретній ситуації. Зразки, як правило, не залежать від користувача, роль користувача в представленні зразків у тому, щоб зібрати всі

факти та здогадки про дані, провести оптимальний вибір та виділення для формування вектору ознак, придатного для процесу кластеризації. Через складність представлення зразків, традиційно прийнято вважати що представлення апріорно задано для кластеризації. Тим не менш, докладне та обережне вивчення доступних ознак та трансформацій (навіть простих) може значно покращити результати кластеризації. Гарне представлення зразків може привести до простого та зрозумілого процесу кластерного аналізу; в той час як погане представлення приводить до складного процесу аналізу, справжню структуру якого важко досягти.

Зразком може бути як фізичний об'єкт (наприклад, стіл), так і абстрактне поняття (наприклад, почерк). Зразки традиційно представляються у вигляді багатомірних векторів, де кожен вимір являє собою ознаку. Ознаки можуть бути як кількісні, так і якісні [56]. Наприклад, вага (число) та колір (наприклад, чорний). Ознаки можна розділити на наступні види:

- 1) кількісні ознаки:
 - a) неперервні значення (вага);
 - b) дискретні значення (кількість комп'ютерів);
 - c) інтервальні значення (тривалість події).
- 2) якісні ознаки:
 - a) номінальні, або неупорядковані (колір);
 - b) порядкові (військове звання, якісне визначення температури, або інтенсивності звуку).

Близькість зразків зазвичай вимірюється функцією відстані між парою зразків. Використовується багато різних мір відстані [57]. Евклідова відстань може використовуватись для визначення несхожості двох зразків, коли інші міри можуть використовуватися для визначення концептуальної близькості між зразками.

Розглянемо найбільш відомі міри відстані для неперервних ознак.

$$d_2(X_i, X_j) = \left(\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right)^{1/2} = \|X_i - X_j\|_2 \quad (1.21)$$

що є частковим випадком ($p = 2$) відстані Мінковського [58, 59]:

$$d_p(X_i, X_j) = \left(\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^p \right)^{1/p} = \|X_i - X_j\|_p \quad (1.22)$$

Проблемою відстані Мінковського є те, що ознаки з більшим масштабом будуть домінувати. Рішення цієї проблеми включає в себе нормалізацію неперервних ознак (до спільного діапазону значень), або інші вагові схеми. Лінійна залежність між ознаками також може спотворювати результат обчислень. Це спотворення можна нівелювати використовуючи певні трансформації над даними, або використовуючи відстань Махаланобіса [60]:

$$d_m(X_i, X_j) = (X_i - X_j) \Sigma^{-1} (X_i - X_j)^T \quad (1.23)$$

де ознаки X_i та X_j вважаються вектором-рядком, та Σ коверіаційна матриця [61] зразків, або відома коверіаційна матриця процесу генерації зразків; $d_m(\cdot, \cdot)$ призначає різні ваги різним ознакам, на основі їх дисперсії та попарної лінійної кореляції.

Групування може бути реалізовано різними шляхами. Результат кластеризації може бути чітким (розділ зразків на групи), або нечітким (кожен зразок має різний рівень приналежності до кожного кластеру). Ієрархічні алгоритми видають вкладені серії розділів використовуючи підхід поєднання та розділення кластерів на основі схожості. Неієрархічні алгоритми виділяють розділи що оптимізують (зазвичай локально) критерій кластеризації. Також є алгоритми для групування на основі ймовірнісного підходу, теорії графів, тощо.

Обчислення відстаней між зразками які містять не неперервні ознаки є досить складною задачею, оскільки ознаки різних типів не порівнювальні та поняття близькості стає бінарним для номінально-масштабованих ознак. Проте, є окремі практичні рішення, на зразок модифікованої метрики Мінковського для неперервних ознак та відстань основана на підрахунку (популяції) номінальних

атрибутів та різноманіття інших запропонованих методик для обчислення схожості між зразками представленими як кількісними, так і якісними ознаками.

Згідно теореми Ватанабе про бридке качення [61]:

«Якщо ми використовуємо обмежений набір предикатів, які здатні відрізнити будь які два об'єкти, число предикатів, які розділяють будь які два такі об'єкти є константою, що не залежить від вибору об'єктів.»

Отже, можливо зробити два довільних об'єкта рівними, закодувавши їх досить великою кількістю ознак. Як наслідок, будь які два довільних зразка рівно схожі, якщо ми не будемо використовувати додаткову інформацію про оточення. Наприклад, згідно концептуальної кластеризації схожість між X_i та X_j визначена рівністю (1.24) де ξ це набір наперед визначених концептів.

Абстрагування даних це процес отримання простого та компактного представлення набору даних. В контексті кластеризації типовим абстрагування є компактний опис кожного кластеру, зазвичай в термінах кластерних прототипів, або типового зразка, наприклад центроїду.

Всі алгоритми кластеризації на виході будуть видавати кластери, незважаючи на те, чи наявні вони в даних, чи ні. Якщо в даних є кластери, деякі алгоритми видаватимуть «краще» розбиття ніж інші. Є декілька аспектів оцінки процедури кластеризації [63, 64]. Перший, це, власне, оцінка вхідних даних – дані, що не містять кластерів не мають проходити процес кластеризації. Валідність кластеризації, навпроти, це оцінка результату кластеризації. Зазвичай, ця оцінка використовує специфічний критерій оптимальності, проте ці критерії, як правило, суб'єктивні.

Є три типи валідації:

- зовнішня оцінка адекватності кластеризації порівнює вихідну структуру даних з апріорно заданою;
- внутрішня намагається визначити чи є вихідна структура адекватною для вхідних даних;

- відносна порівнює дві структури та вимірює їх відносну корисність на основі деяких індексів [58]

Кластерний аналіз та методи розпізнавання образів мають широкий спектр застосування [65]. Є необхідність в розробці спеціалізованих програмних рішень, нових алгоритмів та інформаційних систем, що здатні частково замінити людину, або забезпечити їй необхідну підтримку для зведення впливу «людського фактору» до мінімуму та запобігти можливим помилкам через втомленість, неуважність тощо.

Одними з суттєвих задач сучасного кластерного аналізу є наступні:

1. Задача обґрунтування якості результатів аналізу.
2. Задача аналізу великої кількості різнотипних факторів.
3. Нелінійність взаємозв'язків, наявність пропусків, похибок вимірювання змінних.
4. Задача стійкості групуючи рішень, тощо.

Існує велика кількість алгоритмів кластерного аналізу та їх модифікацій. Опис деяких з них наведено нижче.

Простий алгоритм виявлення кластерів [66]. Нехай задана множина N образів $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$. Також, нехай центр першого кластеру z_1 співпадає з будь-яким з заданих образів та задана довільна невід'ємна порогова величина T . Не зменшуючи загальності, нехай $z_1 = x_1$. Необхідно обчислити відстань D_{21} між образом x_2 та центром кластеру z_1 за формулою Евклідової відстані між довільними векторами:

$$D_{21} = \|z_1 - x_2\| = \sqrt{(z_1 - x_2)'(z_1 - x_2)}. \quad (1.26)$$

Якщо ця відстань більша за значення порогової величини T , створюється новий центр кластера $z_2 = x_2$. В іншому випадку образ x_2 включається в кластер, центром якого є z_1 .

Таким чином, виконуються послідовне обчислення відстаней кожного образу множини N з центрами усіх кластерів, з подальшим порівнянням значень з пороговою величиною T , після чого образ або зараховується до кластеру,

відстань від якого найменша, або створюється новий кластер з центром у поточному образі.

Результати описаної процедури визначаються вибором першого кластеру, порядком перебору образів та значення порогової величини T , а також, звичайно, геометричними характеристиками даних. Незважаючи на очевидні недоліки даного методу, він дозволяє просто і швидко отримати оцінку основних характеристик заданого набору даних.

Алгоритм максимінної відстані [66]. Метод, заснований на принципі максимально-мінімальної відстані, що використовує Евклідову відстань. Відмінність від попереднього методу в основному в тому, що він в першу чергу виявляє найбільш віддалені кластери. Першим кроком є визначення центру першого кластеру z_1 . Не зменшуючи загальності, нехай $z_1 = x_1$. Наступним кроком є пошук найбільш віддаленого образу від центру першого кластеру, що позначається центром другого кластеру z_2 . Наступним кроком є послідовне обчислення відстаней наступних образів від центрів існуючих кластерів, кожен раз вибираючи мінімальну відстань. З мінімальних відстаней обирається максимальна відстань, нехай це образ x_i , де $0 < i < N$. Якщо мінімальна відстань між x_i та центрами кластерів z_1, z_2 більше за деяке порогове значення T , (наприклад половина значення відстані між z_1 та z_2), то створюється кластер $z_3 = x_i$, та продовжується виконання алгоритму. В протилежному випадку, алгоритм припиняється. Даний метод також став основою для модифікацій інших відомих методів кластерного аналізу, таких як, наприклад, метод K -середніх [67].

Алгоритм K -середніх [68]. Даний алгоритм мінімізує показник якості, визначений як сума квадратів відстаней всіх точок, що входять в кластерну область, до центру кластеру. Ця процедура, що заснована на обчисленні K всерединігрупових середніх складається з наступних кроків [66]: крок 1 – вибираються K початкових кластерів $\{z_i\}_{0 < i < K}$. Цей вибір виконується довільно, зазвичай, в якості початкових центрів використовуються перші K значень з

заданої множини образів $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$; крок 2 – на k -ому кроці ітерації задана множина образів $\{x\}$ розподіляється по K кластерам за наступним правилом:

$$x \in S_j(k), \text{ якщо } \|x - z_j(k)\| < \|x - z_i(k)\|. \quad (1.27)$$

для всіх $i=1,2,\dots,K, i \neq j$, де $S_j(k)$ - множина образів, що входять в кластер з центром $z_j(k)$. У випадку рівності в (1.27) рішення приймається довільним чином; крок 3 – на основі результатів кроку 2 визначаються нові центри кластерів $z_j(k+1), j=1,2,\dots,K$, виходячи з умови, що сума квадратів відстаней між всіма образами, що належать множині $S_j(k)$ і новим центром кластеру має бути мінімальна. Тобто необхідно мінімізувати показник якості:

$$J_j = \sum_{x \in S_j(k)} \|x - z_j(k+1)\|^2, j=1,2,\dots,K. \quad (1.28)$$

Центр $z_j(k+1)$, що забезпечує мінімізацію показника якості, є, по суті, вибірним середнім, визначеним за множиною $S_j(k)$. Відповідно нові центри кластерів визначаються як:

$$z_j(k+1) = \frac{1}{N_1} \sum_{x \in S_j(k)} x, j=1,2,\dots,K, \quad (1.29)$$

де N_1 - число вибірних образів, що входять в множину $S_j(k)$; крок 4 – рівність $z_j(k+1) = z_j(k)$ при $j=1,2,\dots,K$ є умовою збіжності алгоритму, і за його досягнення, виконання алгоритму припиняється. В іншому випадку, переходимо до кроку 2.

Якість алгоритмів, заснованих на обчисленні K внутрішньогрупових середніх залежить від числа вибраних центрів кластерів, вибору початкових центрів кластерів, від послідовності перегляду образів та, звичайно, геометричних особливостей даних. В більшості випадків, практичне використання цього алгоритму потребує проведення експериментів, пов'язаних вибором різних значень параметру K та початкового розштанування центрів кластерів.

В статті [69], алгоритм k -середніх пропонується як швидка альтернатива методам кластерного аналізу з навчанням, та зазначено певні особливості та обмеження використання методу з ЦЗ, а саме попередня обробка даних, та використання центрів за допомогою розподілу Гауса, тощо.

Алгоритм ІСОМАД [70]. Загалом, дана процедура аналогічна до методу K -середніх, проте вибірккові середні обираються ітеративно, а також в процедурі присутні широкий набір допоміжних евристичних процедур, вбудованих в схему ітерації. Базовий алгоритм описано також в [66]. Даний алгоритм є досить популярним, та має модифікації і адаптації для різних застосувань, як приведено в [67], [68], де розглянуто використання методу ІСОМАД для зображення, представленого Гамма розподілом, та для великих масивів даних, як альтернатива методам аналізу «з вчителем».

Існує ряд програмних рішень, що реалізують велику кількість різних методів кластеризації, такі як R [71], Matlab [72], системи ГІС (геоінформаційна система) з різноманітними можливостями налаштування. Проте для розв'язання конкретних практичних задач автоматизованого аналізу вони не підходять, через необхідність налаштування з кожним новим зображенням, і для таких задач як наприклад обробка даних БПЛА (безпілотний літальний апарат) є необхідність в розробці спеціалізованого програмного забезпечення згідно поставлених задач.

Такими задачами можуть бути: визначення типу місцевості, виділення однотипних текстур для підрахунку площі, оцінки якості врожаю методами аналізу посівних площ; виділення неоднорідних об'єктів, такі як військова техніка, або наслідки аварій, ознаки небезпеки для упередження катастроф (такі як дим над лісовою зоною, або нафтові плями в морі).

1.4 Огляд дисертацій та патентів в сфері геоінформаційних технологій

В роботі [73] обґрунтовано й розроблено методикау геоінформаційного моделювання потенційної продуктивності землеробських ландшафтів України,

створено загальну факторну модель потенційної продуктивності землеробських ландшафтів, параметризованої за продуктивністю посівів сільськогосподарських культур. Тобто сформульовано метод удосконалення моніторингу стану агроресурсів з метою оптимізації природокористування на основі використання геоінформаційних технологій.

Розробці алгоритмів, інформаційного та програмного забезпечення геоінформаційних систем присвячена робота [74]. Обґрунтовано необхідність розробки нових алгоритмів та ІТ в сфері геоінформації та на прикладі даних гідрохімічного та геохімічного моніторингу виконано алгоритмізацію відтворення поверхонь і гіперповерхонь, що базуються на використанні багатовимірних поліноміальних сплайнів на основі В-сплайнів, близьких до інтерполяційного в середньому, створено компоненту візуалізації багатовимірних даних. Реалізовано локальну ГІС, що впроваджено в спеціалізовані заклади для вирішення конкретних завдань.

В роботі [75] було досліджено задачу виявлення тліючих териконів для своєчасного реагування та ліквідації місця займання з використанням космічних знімків (ДЗЗ). Таким чином, було розроблено локальну ГІС аналізу теплового стану териконів за допомогою нових моделей та методів автоматизованої обробки даних за різний час багатоспектральних космічних знімків.

На прикладі задачі комплексного управління прибережними зонами водосховищ в роботі [76] в якості ефективного засобу інформаційної підтримки прийняття рішень розроблено модель геопросторових даних і технологію геоінформаційного моніторингу. Для проведення оцінки стану прибережних територій було проведено аналіз і обґрунтування системи індикаторів відповідних характеристик. Також, удосконалено технології збирання даних про об'єкти моніторингу на основі застосування методів ДЗЗ та побудовано локальну ГІС для розв'язання поставленої задачі.

В роботі [77] було розглянуто питання прогнозування надзвичайних ситуацій на основі математичних моделей з використанням ГІС-технологій, а

саме створені алгоритми для аналізу багатфакторних ситуацій, що реалізовані на базі ГІС Esri ArcView Gis 3.3 та ArcGIS 9.3.

В контексті застосування в сфері СГ актуальною є робота [78], де досліджено використання багатоспектрального космічного сканування (ДЗЗ) з використанням ГІС технологій для вивчення ґрунтового покриву, на прикладі Полісся України. Так було встановлено закономірності взаємозв'язку параметрів ДЗЗ з основними складовими ґрунтів та запропоновано нову методику великомасштабного ґрунтового обстеження та електронного картографування. Таким чином, реалізована можливість оперативно і точно оцінити стан ґрунтового покриву, за короткий термін охоплюючи значні території, що може бути актуальним для вибору територій, найбільш сприятливих для СГ культур і є прикладом.

Для розв'язання задачі аналізу і оцінки господарчого використання різних СГ лісорослинних територій на прикладі Нечернозем'я [79] на основі ДЗЗ і підсупутникового спостереження та використання ГІС-технологій було удосконалено теоретичні і методичні положення моніторингу СГ земель та розроблено методичні положення прогнозування і планування господарчого використання земель СГ застосування на основі природно-географічних і соціально-економічних регіональних показників з використанням ГІС-технологій.

В [80] представлено пошук нових, сучасних підходів до збору, аналізу та збереження інформації при актуалізації ґрунтових та агрохімічних досліджень для аналізу зміни рівня потенційної і ефективної врожайності ґрунтів СГ територій. В роботі було зроблено висновки про ефективність використання ГІС технологій для моніторингу врожайності ґрунтів СГ призначення завдяки точковій прив'язці до географічних координат.

В [81] було вивчено питання моніторингу земель рекреаційного призначення на базі аерофотозйомки та ДЗЗ та на основі експериментальних досліджень доведено, що такі матеріали є об'єктивними, якісними і ефективним джерелом інформації про стан територій. В роботі встановлено, що на

аерофотознімках з високим ступенем довіри розпізнаються усі основні об'єкти рекреаційної території. Супутникові зображення високої роздільної здатності дозволяють якісно фіксувати межі рекреаційних об'єктів, при необхідності можуть слугувати картографічною основою для планування обмежень, виявляти на даній території нові об'єкти, як точкові, так і лінійні. Така інформація є суттєвим інформаційним фактором, що впливає на прийняття об'єктивних управлінських рішень.

Питання підвищення якості інтерпретації зображень ДЗЗ за рахунок удосконалення методів фільтрації, реконструкції та стиску зображень розглянуто в [82], де, зокрема, досягнуто наступних результатів: розроблено метод, що дозволяє формалізувати і автоматизувати процес синтезу локальних-адаптивних фільтрів; запропоновано гібридний сигма-фільтр [83], з покращеними характеристиками придушення шуму на однорідних ділянках, а також модифікацію фільтру Лі [84]; удосконалено методи стиску, запропоновано нові методи стиску, тощо.

В роботі [85] розглянуто актуальне питання застосування БПЛА у поєднанні з ГІС для розробки системи оперативного дослідження пошкоджених насаджень на прикладі наслідків урагану 2010 року на території Сосновського лісництва в Ленінградській області РФ. Таким чином, було проведено дослідження з використанням БПЛА та порівняно з офіційними результатами досліджень, після чого зроблено висновки та сформовано рекомендації по використанню методики оперативного вивчення пошкоджених насаджень з використанням безпілотної техніки та ГІС.

Роботи [86, 87] є прикладами побудови ІТ на основі поєднання методів та засобів ДЗЗ та ГІС для розв'язання локальних задач, таких як картографування ґрунтів та розв'язання питань екології і господарчої діяльності.

В роботі [88] було звернено увагу на проблему, що виникає з інтенсивним розвитком геоінформаційних технологій, що приводить до створення великої кількості програмних комплексів, що розрізняються за функціоналом та задачами, що вони розв'язують. В результаті було розроблено методичний підхід

і єдина структура представлення геологічної інформації, що опирається на міжнародну модель GeoSciML, що забезпечує уніфікацію опису і обмін даних з інтеграцією в єдину систему, а також запропоновано програмно-технологічні засоби, що забезпечують взаємодію різних ГІС-середовищ на основі конвертації ГІС-проектів з повноцінною передачею стилів, правил візуалізації та структури проекту. Проте процес стандартизації, а особливо впровадження нових стандартів є складним процесом, що потребує високого рівня кооперації розробників і дослідників.

Розробці ІТ а задачах гідрохімічного моніторингу присвячена робота [89]. В роботі було запропоновано методи обробки даних гідрохімічного моніторингу питної води та вперше запропоновано ІТ обробки даних гідрохімічного моніторингу питної води локальних регіонів.

За темою було оформлено багато патентів, як і в Україні, так і в світі [90- 96]. Розглянемо деякі з них.

У роботі [90] описано універсальну ГІС на базі енергостанції, пристрою введення відеоінформації, користувача ПК, комутаторів та з'єднання із волокна у металевій оболонці, яка відрізняється тим, що в неї введено центр керування, що складається з багатьох серверів, таких як сервера тестування, сервера дистанційного навчання, сервера документообігу, тощо.

Патент [91] містить геоінформаційну систему моніторингу залізничного транспорту, яка містить головний блок керування, пристрій стільникового або радіозв'язку та центральний пост системи, яка відрізняється тим, що містить магнітні маркери початку ідентифікатора, тіла ідентифікатора та закінчення ідентифікатора ділянки залізничного шляху, лазерний випромінювач з оптичною системою, фотоприймач з оптичною системою, тощо.

Робота [93] цікава тим, що в ГІС введено модуль пошукової аналітичної системи визначення навігаційного стану аеропорту з використанням засобів штучного інтелекту.

Патенти [95, 96] безпосередньо пов'язанні з СГ та описують ГІС збору даних та моніторингу СГ показників за типом та використанням і методи та

засоби SSCM з використанням кінетичні реального часу (RTK) глобальні системи позиціонування (GPS).

1.5 Висновки та постановка задачі на дослідження

Підводячи підсумки розділу, можна зробити наступні висновки:

1. СГ потребує розвитку, а саме інтеграції новітніх ІТ для збільшення ефективності – кількості і якості врожаю на одиниці площі. Кроком в цьому напрямі є SSCM;

2. Базові технології РА – це GPS та ГІС, що дозволяють керувати посівними ділянками, оперуючи даними з географічною прив'язкою, що збираються засобами збору зразків на місцях, що є фінансово затратною операцією та характеризується затримкою в часі, що створює певні обмеження для постійного моніторингу територій та швидкості реагування на зміни;

3. Сучасні розповсюдженні ГІС є потужними ІТ, що характеризуються високою ціною, кроссплатформенністю та великим набором методів для оперування даними, проте бракують спеціалізованих засобів для конкретних галузей, або конкретних характеристик і особливостей господарства. Також часто потребують спеціалістів з обробки даних для ефективного використання;

4. Розробки в області безпілотної техніки набули рівня, на якому вони стають доступними та ефективними, надаючи змогу використовувати БПЛА для різного типу задач. Повітряний моніторинг набуває все більшого розповсюдження та потребує подальшого розвитку комплексних ІТ для отримання ефективних результатів;

5. Дослідження в області обробки ЦЗ та розвиток сенсорів, що здатні фіксувати дані у формі ЦЗ високої якості, дають змогу робити висновки про ефективність аналізу явищ на основі обробки та аналізу фотоснімків;

6. Розробка методів аналізу даних аерофотозйомки посівних площ СГ, таких як, наприклад, методи визначення рівня врожайності, пересушення,

наявності аномальних утворень на ділянці та вмісту бур'яну можуть значно підвищити ефективність збору інформації про ділянки;

7. Кластерний аналіз дає ефективні результати в області обробки та аналізу ЦЗ, про що свідчить велика кількість прикладів вдалого використання кластеризації ЦЗ на практиці, що свідчить про певний потенціал даного підходу для побудови методів обробки даних аерофотозйомки посівних площ для SSCM;

8. Для підвищення ефективності напряму РА, є необхідність в побудові спеціалізованої геоінформаційної технології на основі повітряного моніторингу засобами БПЛА та методів аналізу даних аерофотозйомки засобами обробки та кластерного аналізу ЦЗ.

Беручи до уваги приведені вище висновки, можна сформулювати наступну постановку задачі на дослідження:

1. Дослідити існуючі методи роботи з цифровим зображенням та основні завдання на аналіз зображення, що властиві сільському господарству;

2. Розробити методи аналізу цифрового зображення на основі поєднання попередньої обробки та аналізу цифрового зображення з подальшою інтерпретацією результатів з точки зору землеробства, зокрема для оцінки врожайності посівної площі, пересушення ділянок, неоднорідності текстур та наявності аномальних явищ та об'єктів;

3. На основі розглянутих та запропонованих методів розробити геоінформаційну технологію для обробки даних аерофотозйомки посівних площ для підтримки прийняття рішень в області сільського господарства;

4. На основі запропонованої геоінформаційної технології та методів обробки цифрового зображення посівних площ розробити геоінформаційну систему обробки даних аерофотозйомки посівних площ для автоматизації процесів підтримки прийняття рішень в області сільського господарства;

5. Провести експериментальні дослідження запропонованих методів та геоінформаційної системи на реальних даних.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПОСІВНИХ ПЛОЩ [10, 97-100]

В даному розділі розв'язується задача створення нових підходів до аналізу цифрових зображень посівних площ та сільськогосподарських територій для вирішення практичних задач сільського господарства, таких як визначення врожайності, виявлення вмісту зайвих культур на посівній площі, виділення пошкоджених ділянок тощо. Новий метод побудовані на комбінованому застосуванні методів попередньої обробки, кластерного аналізу, класифікації та інтерпретації з подальшим наочним відображенням отриманих результатів.

При обробці даних аерофотозйомки необхідно враховувати особливості зображень агропромислових територій. В загальному випадку, серед задач обробки цифрових зображень агропромислових територій можна виділити наступні: виявлення посівних зон на мапі; виявлення неоднорідності в межах однієї культури; вміст зайвої культури в межах основної; оцінка основних характеристик посівної площі; виявлення аномальних ділянок на площі; визначення недоліків розвитку культури та прогнозування врожаю.

Для проведення якісного аналізу посівної площі, необхідно використовувати в обробці лише ту частину зображення, що відповідає реальним ділянкам площі для аналізу. В загальному випадку, зображення територій аерофотозйомки містить текстуру деякого типу (Рис. 2. 1), проте відрізнити ділянку поля від довільної ділянки засобами обробки зображення є окремою нетривіальною задачею з не чіткою постановкою, що не розглянута в даній роботі. У зв'язку з чим, надалі будемо вважати початкову умови визначення меж території, що підлягає обробці виконаною (наприклад, межу були визначені оператором засобами програмного забезпечення, або надані у деякому стандартному форматі).

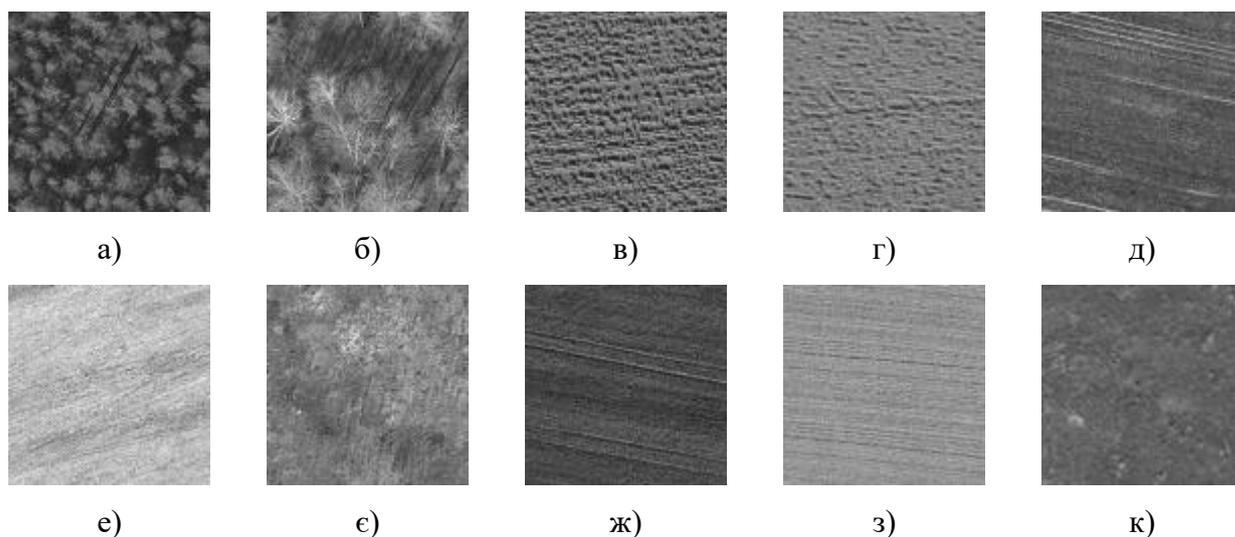


Рис. 2. 1 Приклади типових текстур для даних аерофотозйомки агропромислових територій: а) – хвойна лісова зона; б) – широколиста лісова зона; в, г, д, е, є, ж, з, к) – посівні площа різного типу

Для побудови методів аналізу цифрових зображень посівних площ, необхідно визначити наступні властивості методу: мета методу; чи є метод узагальнюючим, або вирізняючим; чи є результатом методу виділена ділянка, чи цифровий кількісний результат.

Розділ складається з 9 підрозділів. В підрозділі 2.1 викладено математична постановка задачі на дослідження, в 2.2 запропоновано новий метод аналізу пошарових складових ЦЗ на основі кластерного аналізу та сплайн апроксимації, в 2.3-2.4 описано алгоритми роботи з ЦЗ. На основі запропонованого методу та алгоритмів в підрозділах 2.5 – 2.8 представлені приклади обробки даних повітряного моніторингу та аерофотозйомки для побудови наступних оцінок: врожайності, пересушення посівної площі, аномальних явищ та аналізу сумішей текстур. В підрозділі 2.9 підведені підсумки та наведені висновки за розділом.

2.1 Математична постановка задачі

Нехай маємо дані аерофотозйомки посівних площ у вигляді функції інтенсивності $f(x, y)$, де $x = \overline{0, W-1}$ та $y = \overline{0, H-1}$ - координати пікселів зображення, W, H - ширина та висота зображення відповідно.

На основі аналізу прикладу ЦЗ посівної площі (Рис. 2.2б а) можна припустити, що на даних аерофотозйомки присутня складна текстура, що складається з декількох однорідних складових, в наведеному прикладі це культура (рослинність) і не культура (грунт). На основі вигляду гістограми відносних частот інтенсивностей зображення (Рис. 2.2 а) можна припустити, що розподіл інтенсивностей кожної окремої текстури близький до нормального.

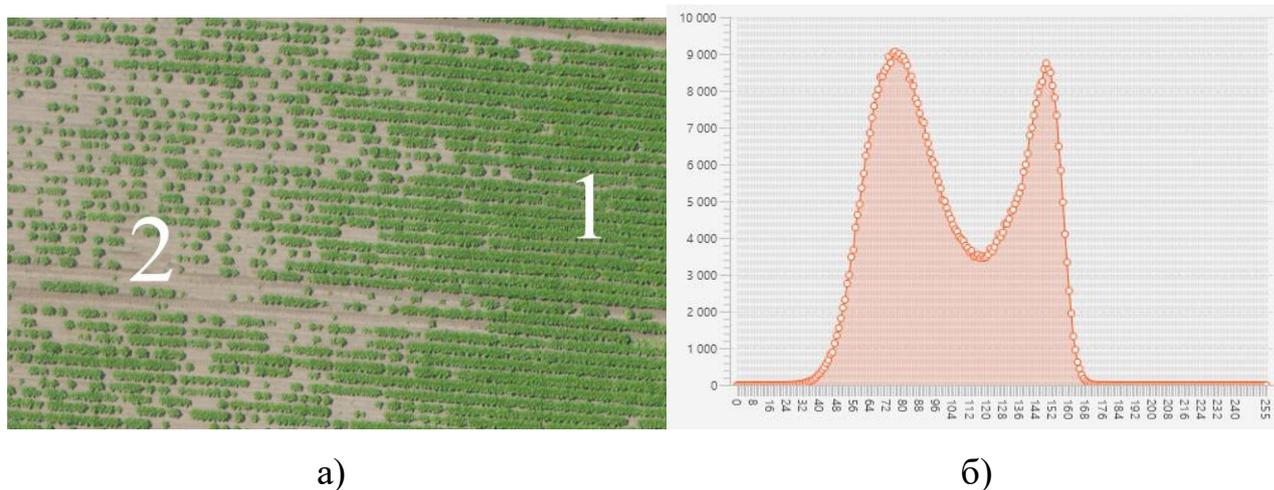


Рис. 2. 2 а) Приклад даних аерофотозйомки з двома текстурами: 1 – рослинність, та 2 – земля, б) гістограма відносних частот інтенсивностей зображення.

Тоді, якщо функції інтенсивностей зображення «культури» і «не культури» представити у вигляді $f_1(x, y)$ та $f_2(x, y)$ відповідно, то $f(x, y)$ можна подати так:

$$f(x, y) = \beta(x, y) \cdot f_1(x, y) + (1 - \beta(x, y)) \cdot f_2(x, y) ,$$

де $\beta = \begin{cases} 1, & f(x, y) = f_1(x, y) \\ 0, & f(x, y) = f_2(x, y) \end{cases}$ - індексна функція; або в загальному вигляді:

$$f(x, y) = \sum_{k=1}^A \beta_k(x, y) \cdot f_k(x, y) , \quad (2.1)$$

де $f_k(x, y)$ - окремі сегментовані складові зображення, або складові освітлення об'єктів. A - кількість складових, $\beta^{(k)}(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) = f_k(x, y) \\ 0, & f(x, y) \neq f_k(x, y) \end{cases}$ - індексна функція, що за своїм призначенням та виглядом відповідає формулі порогової кластеризації (підрозділ 1.2).

Введемо до розгляду складну багатошарову функцію щільності розподілу інтенсивності освітлення зображення у вигляді:

$$p(f(x, y)) = \sum_{k=1}^A \alpha_k(x, y) \cdot p(f_k(x, y)), \quad (2.2)$$

де $\alpha_k(x, y)$ - визначає частку k -ої складової інтенсивності освітлення в довільній точці (x, y) ;

$$\sum_{k=1}^A \alpha^{(k)}(x, y) = 1, \quad x = \overline{0, W-1}; \quad y = \overline{0, H-1}.$$

В подальшому викладенні подамо метод оцінювання функцій $\alpha_k(x, y)$, $k = \overline{1, A}$ які сукупно визначають неперервну пошарову модель зображення, що описує його складові з діапазону бачення.

2.2 Метод оцінки пошарових складових цифрового зображення на основі кластерного аналізу на сплайн-апроксимації

Отже необхідно знайти кількість однорідних складових складної текстури A та оцінки $\alpha_k(x, y)$ з (3) - часток кожної складової, значення індексних функцій β_k з (2) складових текстури $\forall(x, y) \quad x = \overline{0, W-1}, \quad y = \overline{0, H-1}$.

З цією метою, виконаємо наступну послідовність дій:

За вибраним одним з відомих підходів кластерного аналізу проведемо кластеризацію ЦЗ. Не зменшуючи загальності, використаємо алгоритм максимінної відстані [66], так як він належить до простих алгоритмів з низькою обчислювальною складністю та не вимагають попередньо заданої кількості кластерів. В такому випадку вибірка об'єктів дослідження має вигляд:

$$\Omega = \{X_1, X_2, \dots, X_{W \cdot H}\},$$

де X_k , $0 \leq k < W \cdot H$ - значення функції інтенсивності $f(x, y)$. В результаті аналізу, отримаємо Z_k , $k = \overline{1, A}$ кластерів зображення;

1) Побудуємо набір шарів зображення:

$$\hat{f}^{(k)}(x, y) = \hat{\beta}^{(k)}(x, y) \cdot f(x, y) \quad \hat{\beta}^{(k)}(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) \in Z_k \\ 0, & f(x, y) \notin Z_k \end{cases}$$

де $\hat{f}^{(k)}(x, y)$ є оцінкою $f_k(x, y)$, а $\hat{\beta}^{(k)}$ є оцінкою β_k з моделі (2).

2) Введемо розбиття Δ_{h_x, h_y} , із кроком $h_x = \left[\frac{W}{W'} \right]$, $h_y = \left[\frac{H}{H'} \right]$, де W' , H' -

кількість елементів розбиття за вертикаллю та горизонталлю відповідно. Не зменшуючи загальності, нехай W' та H' кратні W та H відповідно.

3) Для кожного елементу розбиття Δ_{h_x, h_y} знайдемо оцінку функції $p(f)$, з моделі (3), тобто отримаємо й оцінки $\hat{\alpha}^{(k)}_{ii, jj}$, $ii = \overline{0, W' - 1}$, $jj = \overline{0, H' - 1}$. Функція $p(f)$ є складною, тобто $p(f) = p(f(x, y))$, а отже й функція $\alpha = \alpha(x, y)$, залежить від аргументів x та y . З урахуванням зазначеного, будемо вважати, що має місце наступна оцінка:

$$\hat{\alpha}^{(k)}_{ii, jj} = \frac{1}{D_{\Delta ii, jj}} \int_{(ii-0.5) \cdot h_x}^{(ii+0.5) \cdot h_x} \int_{(jj-0.5) \cdot h_y}^{(jj+0.5) \cdot h_y} a^{(k)}(x, y) dx dy + \varepsilon_{\alpha_{ii, jj}}, \quad (2.3)$$

де $\alpha^{(k)}(x, y)$ - неперервна функція розподілу частки k -ої складової текстури; $D_{\Delta ii, jj}$ - площа елементу розбиття, а $\varepsilon_{\alpha_{ii, jj}}$ - деяка вада. Необхідно зауважити, що неперервна в загальному випадку $\alpha^{(k)}_{ii, jj}$, при роботі з ЦЗ є дискретною, $x = \overline{0, W' - 1}$, $y = \overline{0, H' - 1}$ і вираз (4) буде мати вигляд:

$$\hat{\alpha}^{(k)}_{ii, jj} = \frac{1}{\bar{D}_{\Delta ii, jj}} \sum_{x=ii \cdot h_x}^{(ii+1) \cdot h_x} \sum_{y=jj \cdot h_y}^{(jj+1) \cdot h_y} \hat{\beta}^{(k)}(x, y)$$

де $\bar{D}_{\Delta ii, jj} = h_x \cdot h_y$ у випадку рівномірно розбиття.

4) Тоді за даними (4) можна знайти апроксимацію функції $\alpha^{(k)}(x, y)$ - $\hat{\alpha}^{(k)}(x, y)$, на всьому зображенні за використанням локальної сплайн-апроксимації двовимірним згладжуючим, або уточнюючим В-сплайн 2-го порядку близьким до інтерполяційного у середньому [49], наприклад:

$$S_{2,0}(\alpha^{(k)}, x, y) = \sum_{ii \in Z} \sum_{jj \in Z} B_{2,h}(x - ii \cdot h) B_{2,h}(y - jj \cdot h) \cdot \alpha^{(k)}_{ii, jj},$$

$$\text{де, } B_{2,h}(z) = \begin{cases} 0, & z \notin [-3h/2; 3h/2], \\ (3+2z/h)^2/8, & z \in [-3h/2; -h/2], \\ 3/4 - (2z/h)^2/4, & z \in [-h/2; h/2], \\ (3-2z/h)^2/8, & z \in [h/2; 3h/2]; \end{cases} \quad z = \{x, y\}, \quad h = \{h_x, h_y\}.$$

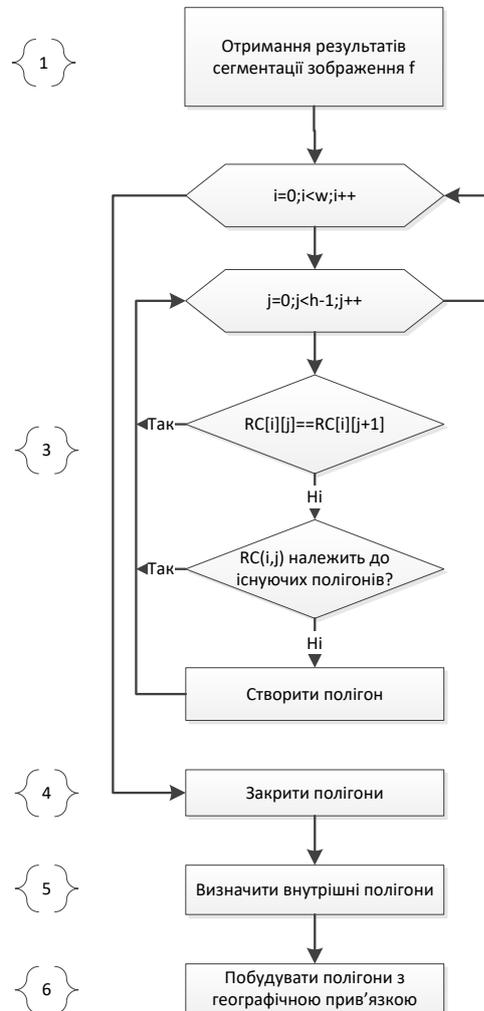


Рис. 2.3 Блок схема алгоритму побудови полігонів, що описують ділянку зображення

На основі отриманої апроксимації $\hat{\alpha}^{(k)}(x, y)$ можна побудувати ізолінії, що будуть описувати ділянки, що належать певній складовій текстурі. Особливістю даної задачі є необхідність обчислення ізоліній у вигляді послідовності координат пікселів контуру ділянок, які потім конвертуються в географічні координати (підрозділ 1.2.4), згідно вимог до ГІС обробки даних повітряного моніторингу для SSCM (підрозділ 1.5).

Для цього необхідно для кожного шару $\hat{\alpha}^{(k)}(x, y)$ $k = \overline{1, A}$ зображення необхідно обчислити зріз $\alpha^{(k)}(x, y) \geq a^*$, де a^* - деяке порогове значення. Для того, щоб побудувати послідовності координат пікселів контуру ділянок необхідно (Рис. 2.3):

Задати множину $Pl = \{pl_u\}_{u=0, \dots, U-1}$, де U - кількість присутніх на поточному шарі ізоляцій, pl_u - послідовність двійок індексів (x, y) , $x = \overline{0, \dots, W-1}$, $y = \overline{0, \dots, H-1}$;

1) Для $\forall x, y$ $x = \overline{0, W-1}$, $y = \overline{0, H-1}$, якщо $\hat{\alpha}^{(k)}(x, y) \geq a^*$ та в множині Pl не існує такої pl , що містить двійку індексів (x, y) , задати послідовність pl за алгоритмом пошуку сусідніх елементів (що описаний нижче);

2) На основі множини Pl - контурів ділянок зображення, що належать кластеру k та використовуючи дані про географічну прив'язку вхідного зображення, проведемо конвертацію двійок значень (x, y) в $(long, lat)$, де $long$ - значення довготи, lat - широти. Таким чином отримуємо контури ділянок Земної поверхні, що можна експортувати в будь-які формати географічних даних.

Побудувати послідовність pl на основі $\hat{\alpha}^{(k)}(x, y)$ та першого елементу (x_0, y_0) можна за наступним алгоритмом пошуку сусідніх елементів (Рис. 2.4):

1) Задаємо послідовність pl та додати (x_0, y_0) в якості першого елемента послідовності;

2) Задаємо локальні змінні з початковими значеннями: двійка індексів $(\bar{x}, \bar{y}) = (x_0, y_0)$ та булева $success = true$;

3) Задати цикл: поки значення змінної $success = true$, повторюємо наступне:

Задаємо значення $success = false$;

Введемо поняття сусідніх елементів. Сусідніми елементами до (\bar{x}, \bar{y}) є такі,

що задовільняють умові $\begin{cases} \bar{x} - 1 \leq x \leq \bar{x} + 1 \\ \bar{y} - 1 \leq y \leq \bar{y} + 1 \end{cases}$. Перший елемент (x', y') сусідній до (\bar{x}, \bar{y})

, такий що $\hat{\alpha}^{(k)}(x', y') \geq a^*$, та що має щонайменше один сусідній елемент

$\hat{\alpha}^{(k)}(x'', y'') < a^*$ додаємо до послідовності p_l та задаємо $success = true$, $(x, y) = (x', y')$ і повертаємо до початку пункту 3.

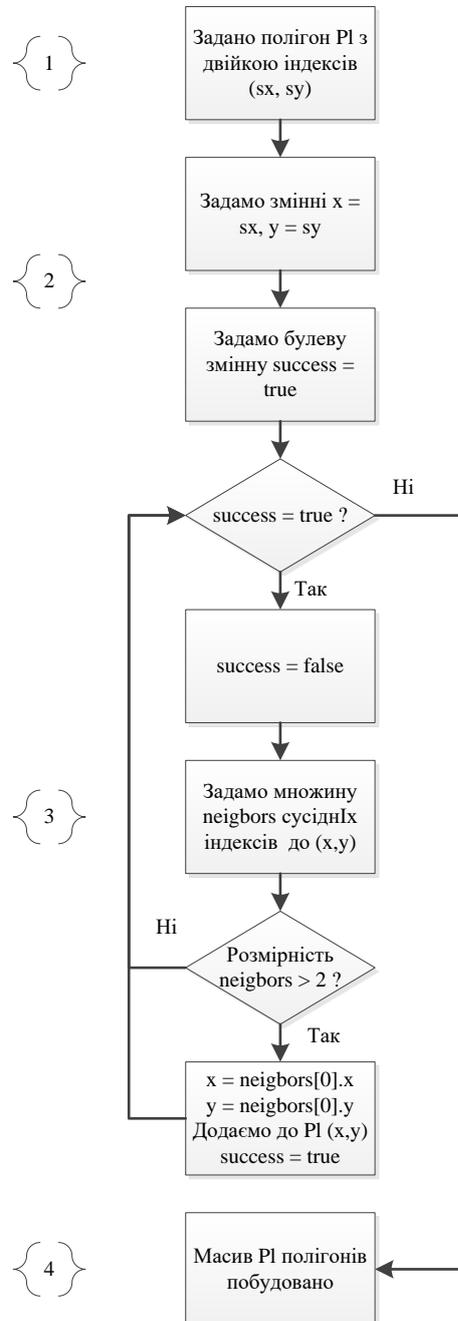


Рис. 2. 4 Блок-схема алгоритму пошуку сусідніх елементів

2.3 Секторна кластеризація

При застосуванні кластерного аналізу до ЦЗ, в якості вибірки об'єктів дослідження $s = \{o^{(1)}, \dots, o^{(N)}\}$ (підрозділ 1.3.2), в класичному представленні,

береться множина пікселів зображення $\{x_i\}_{i=0, \dots, W \cdot H}$, де W - ширина, та H - висота зображення. Вектором ознак об'єкту дослідження є вектор значень інтенсивностей складових кольорової моделі зображення. Залежно від мети та умов можна використовувати як лише значення однієї з складових моделі, так і всіх складових.

Проте при роботі з зображеннями відносно великого розрізнення та більш складними алгоритмами кластерного аналізу, кількість об'єктів дослідження в описаному вище випадку досягає завеликих значень. Що, в свою чергу, призводить до суттєвого збільшення обчислювального навантаження на систему і, як результат, час отримання результату збільшується. Крім того, інформативність одних лише значень інтенсивностей складових кольорової моделі пікселю зображення підлягає сумнівам, так як не враховуються особливості текстури, що, зазвичай, складається з певного набору кольорів та відтінків. Для розв'язання задачі аналізу ЦЗ великого розміру, запропоновано використання секторного кластерного аналізу.

Нехай маємо ЦЗ представлене двовимірним масивом значень $f(x, y)$, розмірності W та H , що представляють ширин та висоту зображення відповідно. Значення елемента масиву $f(x, y) = V$, де V - вектор ознак розмірності n . Не зменшуючи загальності, нехай $n = 1$.

Побудуємо розбиття із кроком $h_x = \left\lceil \frac{W}{W'} \right\rceil$, $h_y = \left\lceil \frac{H}{H'} \right\rceil$, де W' , H' - кількість елементів розбиття за вертикаллю та горизонталлю відповідно. Не зменшуючи загальності, нехай W' та H' кратні W та H відповідно. Отримаємо множину $\{D_{i,j}\}_{\substack{i=0, \dots, W' \\ j=0, \dots, H'}}$ фрагментів зображення $D_{i,j}[k, l]$, де $0 < k < W/2$ - ширина, $0 < l < H/2$ - висота, $i = \overline{0, \dots, W'}$ індекс за шириною, $j = \overline{0, \dots, H'}$ - індекс за висотою, елемента розбиття.

Автором запропоновано поняття сектору зображення, що представляє собою вектор ознак $S_{i,j}$ розмірності m , що складається з набору статистичних характеристик ділянки зображення $D_{i,j}$, наприклад:

$$S_{i,j} = \begin{pmatrix} \bar{m} \\ \delta \\ A \\ E \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

де \bar{m} - математичне очікування, δ - середньоквадратичне відхилення, A - коефіцієнт асиметрії та E - коефіцієнт ексцесу ділянки зображення $D_{i,j}$.

Основний зміст секторного кластерного аналізу в побудові та використанні в якості вибірки об'єктів дослідження множини $\{S_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,W' \\ j=0,\dots,H'}}$, секторів зображення $f(x,y)$. Таким чином, кількість об'єктів дослідження знижується в $k' = W \cdot H / W' \cdot H'$ разів та загальна інформативність збільшується, оскільки з використанням статистичних характеристик середньоквадратичного відхилення, коефіцієнтів асиметрії та ексцесу в процесі кластерного аналізу враховуються особливості текстури ділянки зображення, що є важливим елементом при обробці даних аерофотозйомки СГ територій.

Наслідком використання секторного кластерного аналізу є наявність ознак, що мають різні діапазони значень та значущість. Тобто якщо побудувати сектор зображення розмірності 2 - $S_{i,j} = \begin{pmatrix} \bar{m} \\ \delta \end{pmatrix}$, то необхідно враховувати, що δ ділянки зображення має значно меншу зміну значень (особливо враховуючи, що маємо справу з текстурами, розподіл інтенсивностей яких близький до нормального), на відміну від \bar{m} , що може приймати значення всього діапазону. Тобто різниця між значеннями різних секторів зображення для 1-ї і 2-ї ознаки має різний вплив на «схожість» цих секторів, чого алгоритми кластерного аналізу не враховують.

Отже, постає задача нормалізації значень вектору ознак у випадку різнотипних елементів, що є важливим етапом підготовки даних до кластеризації

з нечітким рішенням. Для розв'язання цієї задачі автором запропоновано наступний алгоритм рівномірної кластеризації (підрозділ 2.2).

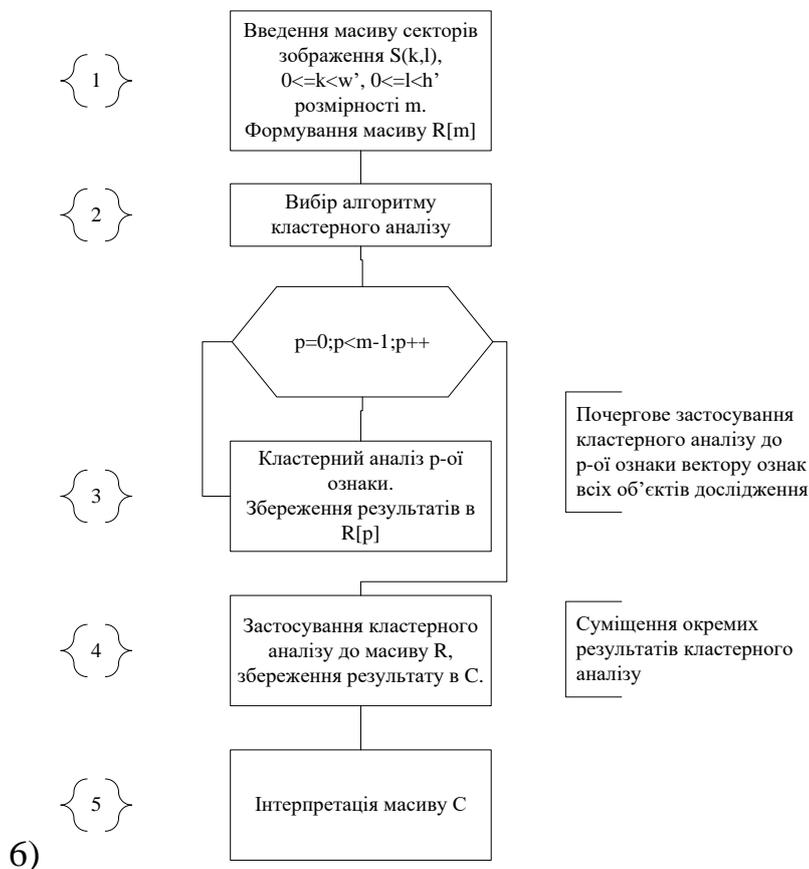
2.4 Рівномірна кластеризація

Для розв'язання поставленої в (підрозділ 2.1) задачі нормалізації значень вектору ознак (2.1) - об'єктів дослідження кластерного аналізу ЦЗ, пропонується наступний алгоритм рівномірної кластеризації, суть якого полягає в почерговій кластеризації за кожним типом ознак.

Нехай маємо ЦЗ $f(x, y)$ великого розрізнення. Необхідно проаналізувати зображення довільним методом кластерного аналізу КМ використовуючи підхід секторного кластерного аналізу (підрозділ 2.1). Для цього необхідно виконати наступні кроки (Рис. 2.3):

- 1) Побудуємо множину $\{S_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,W' \\ j=0,\dots,H'}}$ секторів зображення (підрозділ 2.1) довільної розмірності m ;
- 2) Визначимо алгоритм кластерного аналізу КМ;
- 3) Для кожної ознаки сектору зображення з множини $\{S_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,W' \\ j=0,\dots,H'}}$ побудуємо множину $\{O^p_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,W' \\ j=0,\dots,H'}}$, $0 \leq p < m$, де $O^p_{i,j}$ - значення p -ої ознаки сектору зображення $S_{i,j}$ та проведемо кластерний аналіз на основі множини $\{O^p_{i,j}\}$, результати якого збережемо в вигляді множини $\{R^p_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,W' \\ j=0,\dots,H'}}$, $0 \leq p < m$, де $R^p_{i,j}$ індекс кластеру, якому відповідає (i, j) сектор зображення, розділений на загальну кількість кластерів;
- 4) Проведемо кластерний аналіз на основі множини $\{R^p_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,W' \\ j=0,\dots,H'}}$, $0 < p < m$, що є множиною векторів ознак в діапазоні $(0,1)$ та збережемо в вигляді множини $\{C_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,W' \\ j=0,\dots,H'}}$, де $C_{i,j}$ - індекс кластеру, якому відповідає (i, j) сектор зображення;

5) Множина $\{C_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,W' \\ j=0,\dots,H'}}$ є результатом кластерного аналізу за векторами ознак $\{R^p_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,W' \\ j=0,\dots,H'}}$, що є нормалізованими векторами $\{S_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,W' \\ j=0,\dots,H'}}$.



7) Рис. 2.3 Блок-схема алгоритму рівномірної кластеризації

За допомогою алгоритму рівномірної кластеризації значення елементів вектор сектору зображення $S_{i,j}$ приведено до діапазону (0,1), таким чином розв'язуючи задачу нормалізації значень вектору ознак, поставлену в (підрозділ 2.1).

2.5 Оцінка врожайності ділянки

Нехай маємо наступне цифрове зображення посівної площі (Рис. 2.6). На зображенні можна спостерігати велику кількість прогалін посіву, особливо на ділянках 1, 2 та 3, де відсоток врожайності, тобто території покритої рослинністю, суттєво понижений. Необхідно обчислити відсоток земельної

площі, що не покрита рослинністю, та визначити межі ділянок, що потребують пересіювання.

Узагальнююча оцінка на основі аналізу кольорової складової. Необхідно отримати числову оцінку ділянки у вигляді відсотку територій покритих рослинністю, а також визначити ділянки площі, що мають відсоток покриття рослинністю нижчий за деякий заданий поріг.

Для розв'язання поставленої задачі, введемо емпіричну оцінку врожайності на ділянці

$$K_{\text{врожайності}} = \frac{N_1}{N}, \quad (2.2)$$

де N_1 - площа зображення покрита рослинністю; N - загальна площа ділянки.

Суть алгоритму полягає в розділенні пікселів зображення на ті, що належать до рослинності та ті, що належать до ґрунту, або «нерослинності». Після чого необхідно обчислити коефіцієнт врожайності, тобто співвідношення рослинності до «нерослинності», та узагальнити зображення для визначення ділянок з різним рівнем даного співвідношення.

За результатами дослідження [101] найбільш показовим каналом RGB для аналізу рослинності є синій, а кольоровою системою для аналізу є HSI, особливо використання Н (hue - відтінок) складової для виділення зеленої складової зображення, що відповідає за рослинність. У зв'язку з чим, рекомендується використання вищезгаданих даних для використання методу.



Рис. 2. 4 Цифрове зображення посівної площі з ділянками пониженої врожайності, де 1, 2, 3 – ділянки з пониженою рослинністю

Метод має наступну послідовність дій:

1. Підготовка даних

Нехай маємо ЦЗ, представлене функцією інтенсивностей кольорових складових моделі RGB $f(x, y)$, $x = \overline{0, W-1}$ та $y = \overline{0, H-1}$, де значення f в довільній точці, що задана парою координат $(x, y) \in$ вектором $(r; g; b)_{i,j}$ - вектор з трьох значень кольорових складових від 0 до 1 (в класичному представленні від 0 до 255), а W, H - значення ширини і висоти зображення у пікселях відповідно. З даної матриці необхідно вилучити значення синьої (blue) складової, або здійснивши перетворення кольорової моделі на HSI (параграф 1.3.1) вилучити значення складової відтінка (hue) та отримати матрицю $B = \{b_{i,j}\}_{\substack{i=0 \dots W \\ j=0 \dots H}}$, де $b_{i,j} = m_{i,j}(b)$, або $b_{i,j} = hsi(f(x_i, y_j), h)$ ($hsi(f(x_i, y_j), h)$ - перетворення матриці значень складових моделі RGB в модель HSI з вилученням h складової).

2. Передобробка даних

З метою покращення результатів подальшого аналізу застосовується алгоритми покращення зображення, такі як лінеаризація та еквалізація (параграф 1.3.1) до B з подальшою нормалізацією значень для збереження цілісності діапазону значень матриці від 0 до 1 (в класичному представленні від 0 до 255).

3. Застосування методу оцінки пошарових складових зображення

Оскільки умовами використання методу є посівна площа, що загалом орієнтована на ЦЗ з двома основними представленими текстурами – рослинність і ґрунт, то необхідно отримати два кластери. Для цього застосовуємо алгоритм Максимінної кластеризації (параграф 1.3.2):

$$Cp = \text{MaxMin}_T(B),$$

де $Cp = \{cp_\psi\}_{\psi=0,\dots,\Psi}$ - масив контрольних точок кластерів, які були отримані в результаті проведення $\text{MaxMin}_T(B)$ - Максимінної кластеризації, в якості T - параметру кластеризації використовуємо наступний вираз:

$$T = \bar{m}/2, \quad (2.4)$$

де \bar{m} - математичне очікування вибірки. Саме таке значення параметру кластеризації зумовлено необхідності виділення двох кластерів, таким чином, щоб відстань між ними була не менше половини середнього значення за вибіркою.

4. Визначення коефіцієнту врожайності

Маючи набір контрольних точок Cp , необхідно визначити, який кластер відповідає за рослинність. Згідно кольорової моделі HSI, складова Hue зеленого кольору знаходиться приблизно в межах значень $\{70,150\}$. Використовуючи середнє значення відтінку зеленого кольору, порівнюємо значення контрольних точок, визначаючи найближчу, не зменшуючи загальності нехай кластеру рослинності відповідає Cp_0 . За результатами кластерного аналізу підраховуємо кількість точок n_1 , що відповідають Cp_0 , ділимо на загальну кількість точок N і отримуємо коефіцієнт врожайності (2.2).

5. Визначення не врожайних ділянок

Використовуючи метод сегментації зображень на основі кластерного аналізу (підрозділ 2.2), отримуємо наближення $\alpha^{(0)}(x, y)$ вмісту зеленої маси (Рис. 2. 7).

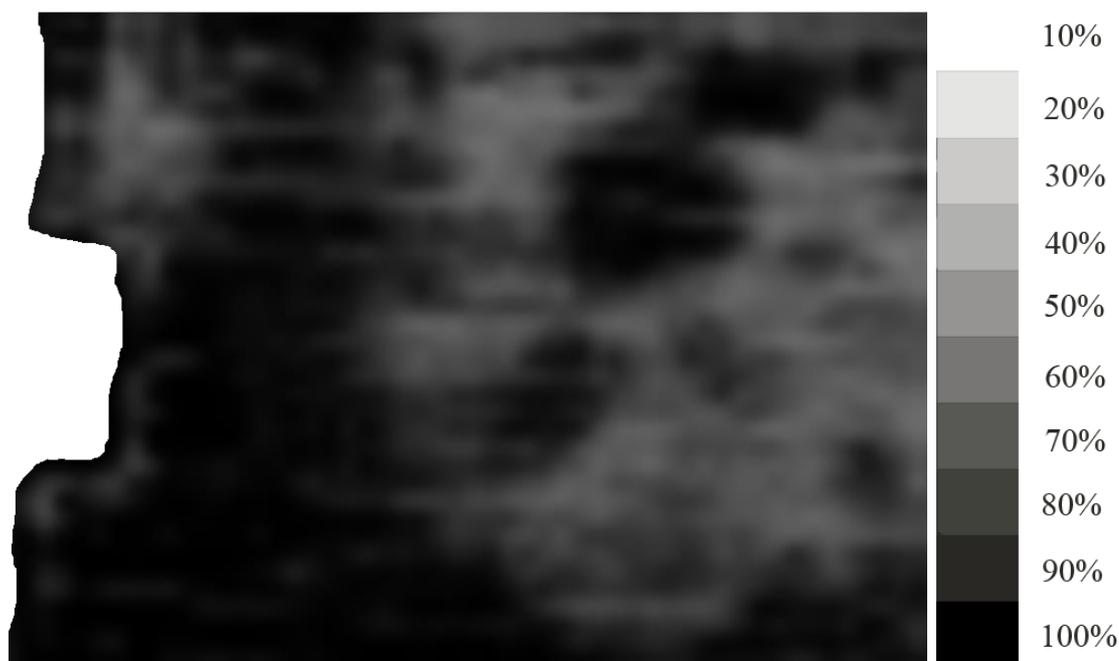


Рис. 2. 5 Результат сегментації зображення на основі кластерного аналізу, вмісту «зеленої» маси

6. Визначення географічних координат отриманих ділянок з пониженою рослинністю

На основі алгоритму побудови полігонів за результатами кластерного аналізу (2.3) побудуємо полігони, що придатні до експорту у стандартні формати геоданих, наприклад shapefile (підрозділ 1.2.3).

2.6 Оцінка пересушених ділянок

Ознаки пересушення на зображенні можна ідентифікувати опираючись на насиченість та інтенсивність кольорових складових пікселів (Рис. 2.8). Найбільш показовим в даному випадку буде використання кольорової моделі YIQ, або HSI, де інтенсивність кольору визначена окремою складовою моделі.

Призначення оцінки - визначення ділянок посівної території, що уражена пересушенням. Узагальнююча оцінка для виділення незначних відхилень інтенсивності в межах однієї текстури. Необхідно отримати ділянки з пересушеною рослинністю на основі відносного рівня зволоженості.

Суть методу полягає в виявленні відхилень від загальних характеристик поля, що у випадку пересушення полягає в різному рівні насиченості зеленого кольору, та пониженні його до рівня білого кольору. Таким чином, маючи координати ділянки з вказаним рівнем сухості можна регулювати інтенсивність поливу для зволоження ділянок.

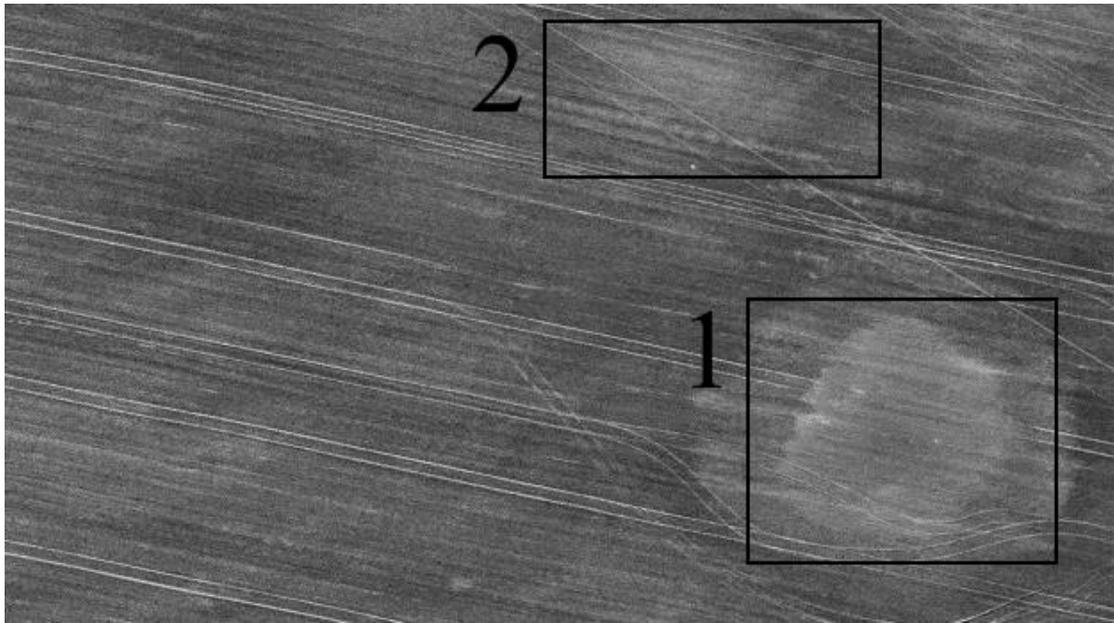


Рис. 2. 6 Ділянка посівної площі з зонами пересушення рослинності в квадратах 1 та 2

Метод виділення пересушених ділянок на основі кластерного аналізу застосовується за наступним алгоритмом:

1. Підготовка даних

Нехай маємо ЦЗ, представлене функцією інтенсивностей кольорових складових моделі RGB $f(x, y)$ (2.3). Дані в кольоровій системі RGB перетворюються для отримання значень в кольоровій системі YIQ, або HSI (підрозділ 1.3.1). Найбільш підходить кольорова система YIQ, оскільки при обчисленні інтенсивності враховуються особливості представлення кольорів, коли модель HSI використовує середнє арифметичне складових RGB в якості значень інтенсивності. Проводимо вилучення значень Y-складової моделі YIQ і отримуємо матрицю $B = \{b\}_{j=0, \dots, H}^{i=0, \dots, W}$, $b_{i,j} = yiq(m_{i,j}, y)$ ($yiq(m_{i,j}, y)$ - перетворення матриці значень складових моделі RGB в модель YIQ з вилученням Y складової).

2. Передобробка даних

З метою покращення результатів подальшого аналізу застосовується алгоритми покращення зображення, такі як лінеаризація та еквалізація (параграф 1.3.1) до B з подальшою нормалізацією значень для збереження цілісності діапазону значень матриці від 0 до 1 (в класичному представленні від 0 до 255).

3. Проведення кластерного аналізу

Оцінка будується на припущенні про наявність однієї текстури на ЦЗ, та наявності розшарованості на основі інтенсивності кольору всередині текстури, таким чином, для розв'язання поставленої задачі застосуємо Простий алгоритм кластеризації (параграф 1.3.2), що знаходить загальні класи даних представлених на зображенні. Застосовуємо процедуру кластеризації:

$$Cp = Simple_T(B),$$

де Cp - масив контрольних точок кластерів, які були отримані в результаті проведення $Simple_T(B)$ - Простої кластеризації, в якості T - параметру кластеризації використовуємо $T = \sigma$ (середньоквадратичне відхилення).

4. Визначення пересушених ділянок різного рівня

Кластери сортуються за значеннями контрольних точок Cp (0 – зволожена рослинність, 1 – пересушена рослинність). На основі методу сегментації зображень на основі кластерного аналізу (підрозділ 2.2), отримуємо наближення $\alpha^{(q)}(x, y)$.

5. Визначення географічних координат пересушених територій.

На основі алгоритму побудови полігонів за результатами кластерного аналізу (2.3) побудуємо полігони, що придатні до експорту у стандартні формати геоданих, наприклад shapefile (підрозділ 1.2.3).

2.7. Оцінка аномальних явищ на посівній площі

Для випадків, коли на посівній площі присутні об'єкти, що не є частиною поля (Рис. 2.9), може виникнути задача виділення таких об'єктів для подальшого вилучення з обробки, або вжиття відповідних до виявленої аномалії мір.

Необхідно визначити ділянки, що є неоднорідним утворенням. Вирізняюча оцінка для виділення неоднорідностей в межах одного поля у вигляді описаних ділянок.

Основна суть методу у виявленні всіх типів текстур, наявних на ЦЗ та визначити такі, що найбільше відрізняються від загальної текстури. Необхідно визначити поріг

$$P = \sigma \cdot 1.2, \quad (2.8)$$

що свідчить про достатню віддаленість ділянки для того, щоб зробити висновок про її неоднорідність.



Рис. 2. 7 Приклад зображення посівної площі з аномальними об'єктами на території

Метод реалізується наступним алгоритмом:

1. Підготовка даних

Нехай маємо ЦЗ, представлене функцією інтенсивностей кольорових складових моделі RGB $f(x, y)$ (2.3).

2. Передобробка даних

Для зменшення шумів зображення, що можуть впливати на результати кластерного аналізу, застосовуємо НЧ-фільтр (підрозділ 1.3.1) до M . Для більш

комплексного аналізу текстур, застосуємо підхід секторного кластерного аналізу і побудуємо матрицю $\{S_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,w' \\ j=0,\dots,h'}}$ (підрозділ 2.1), секторів зображення $S_{i,j} = \begin{pmatrix} m \\ \delta \end{pmatrix}$ розмірності 2.

3. Проведення кластерного аналізу

Для визначення кластерів, що присутні на зображенні застосуємо алгоритм рівномірної кластеризації (підрозділ 2.2) з алгоритмом кластерного аналізу ІСОМАД (підрозділ 1.3.2) та отримаємо масив кластерів:

$$C_p = \text{UniCl}(\text{ISODATA}_{CL,IL,SL,DL}, S),$$

де $\text{UniCl}(\text{ISODATA}_{CL,IL,SL,DL}, S)$ - рівномірна кластеризація алгоритмом ІСОМАД з параметрами CL - обмеження кількості кластерів, IL - обмеження кількості ітерацій, SL - нижня границя розміру кластеру, DL - нижня границя значення відстані між кластерами над множиною S ; а також матрицю $\{C_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,w' \\ j=0,\dots,h'}}$ індексів кластерів, яким відповідають сектори зображення $\{S_{i,j}\}_{\substack{i=0,\dots,w' \\ j=0,\dots,h'}}$. Експериментальним методом було визначено наступні оптимальні значення параметрів алгоритму ІСОМАД: $CL=5$, що забезпечує оптимальний рівень інформативності кластерів; $IL=10$, що забезпечує баланс між швидкістю і якістю результату; $SL=1\%$ від загальної кількості елементів S , що достатньо, для виявлення аномальних утворень; $DL = \sigma/2$ - половина середньоквадратичного відхилення в S .

4. Визначення неоднорідних ділянок

На основі кількісного параметру розміру кластерів C_p визначається найбільш розповсюджений кластер та приймається за основний. Не зменшуючи загальності, нехай це C_{p_0} . Обчислюються відстані всіх інших кластерів від C_{p_0} , та ті, що перевищують заданий параметр P (2.8) - $C_{p'}$, вважаються неоднорідними. На основі методу сегментації зображень на основі кластерного аналізу (підрозділ 2.2), отримуємо наближення $\alpha^{(q)}(x, y)$.

6. Визначення географічних координат пересушених територій.

На основі алгоритму побудови полігонів за результатами кластерного аналізу (2.3) побудуємо полігони, що придатні до експорту у стандартні формати геоданих, наприклад shapefile (підрозділ 1.2.3).

2.8 Аналіз неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів

У випадках, коли в полі присутня друга, інша культура, наприклад бур'ян, тощо, постає задача визначення вмісту зайвої культури та визначити зони найбільшої щільності культур. В такому випадку при аналізі гістограми ділянки поля (Рис. 2.10) можна спостерігати графік близький до графіку щільності нормально розподіленої випадкової величин із аномальним утворенням з однієї сторони графіка. Окремий випадок даної схеми (Рис. 2.11) це зображення культури та ґрунту, що також є сумішшю двох текстур. Аналіз неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілу є модифікацією методу сегментації зображення на основі кластерного аналізу (підрозділ 2.2), в якому замість кластеризації проводиться відтворення функції розподілу [102, 103].

Узагальнююча оцінка, призначена розділити складну текстуру на складові на основі функції інтенсивності, для того, щоб отримати числову оцінку вмісту ділянки у вигляді відсотку територій покритих іншою культурою, та визначення ділянок площі складових.

Для розв'язання поставленої задачі відтворення функцій розподілу будемо використовувати метод знаходження оцінок параметрів суміші двох нормальних розподілів з функцією щільності розподілу ймовірностей:

$$g(x; \vec{\theta}) = p \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left(-\frac{(x-m_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) + (1-p) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp\left(-\frac{(x-m_2)^2}{2\sigma_2^2}\right) \quad (2.9)$$

та з функцією розподілу ймовірностей:

$$G(x; \vec{\theta}) = p \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(y-m_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) dy + (1-p) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(y-m_2)^2}{2\sigma_2^2}\right) dy \quad (2.10)$$

де $\vec{\theta} = \{m_1, m_2, \sigma_1, \sigma_2, p\}$ - вектор параметрів суміші двох нормальних розподілів.

Для знаходження вектору оцінок параметрів $\bar{\theta}$ будемо пошаровий метод моментів, який ґрунтується на «розщепленні» статистичних характеристик вибірки з послідуочим порівняльним аналізом з теоретичним початковими або центральними моментами [104].

Для прикладу, відтворено суміш двох нормальних розподілів з оцінками параметрів $\hat{m}_1 = 66, \hat{m}_2 = 126, \hat{\sigma}_1 = 34, \hat{\sigma}_2 = 63, \hat{p} = 0.4$. Отже складова ґрунту займає 40% загальної площі ділянки і лише 60% приходить на рослинність.

Запропонований метод має наступну послідовність дій:

1) Нехай задано зображення $f(x, y)$ (2.3). Побудуємо розбиття із кроком $h_x = \left[\frac{W}{W'} \right], h_y = \left[\frac{H}{H'} \right]$, де W', H' -кількість елементів розбиття за вертикаллю та горизонталлю відповідно. Не зменшуючи загальності, нехай W' та H' кратні W та H відповідно.

2) Для кожної (i, j) - ділянки утвореного розбиття, де $i = \overline{1, W'}, j = \overline{1, H'}$, визначимо за методом моментів оцінку параметра суміші (1) \hat{p} , тобто відсоток зеленої маси на (i, j) -ому фрагменті зображення. В результаті отримаємо послідовність $P = \{p_{i,j}\}_{\substack{i=\overline{1, W'} \\ j=\overline{1, H'}}}$, що є дискретною оцінкою деякої неперервної функції $p(t, q)$, де $t = \overline{0, W-1}, q = \overline{0, H-1}$, що визначає відсоток зеленої маси по всій ділянці поля.

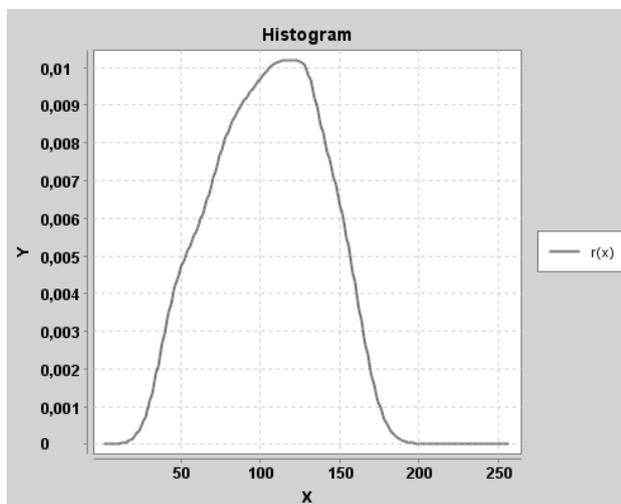


Рис. 2. 8 Гістограма ділянки поля з вмістом додаткової культури



Рис. 2. 9 Ділянка поля з двома текстурами - рослинність та ґрунт



Рис. 2. 10 Вихідна форма для відображення вмісту основної текстури для ділянок суміші двох текстур

3) За отриманою послідовністю $P = \{p_{i,j}\}_{\substack{i=1,W' \\ j=1,H'}}$ знайдемо наближення $\hat{p}(t,q)$ функції $p(t,q)$ за використанням двовимірного сплайну близького до інтерполяційного у середньому на основі В-сплайнів 2-го порядку (2.7).

4) Результат оцінки врожайності, функції $\hat{p}(t,q)$, відображено на вихідній формі (Рис. 2.12), тобто фактичний відсоток зеленої маси, згідно методу моментів, на основі оцінки параметра p .

5) На основі алгоритму побудови полігонів за $\hat{p}(t,q)$ будується полігональний опис ділянок, рівень врожайності яких нижчий за заданий поріг,

що придатні до експорту у стандартні формати геоданих, наприклад shapefile (підрозділ 1.2.3).

2.9 Висновки

1. Запропоновано новий метод сегментації цифрового зображення на основі методів кластеризації та локальної сплайн-апроксимації, який на відміну від існуючих дозволяє побудувати просторову апроксимацію складових текстур зображення;

2. Запропоновано алгоритм побудови полігонів за результатами кластерного аналізу для представлення результатів аналізу у вигляді полігонів географічних координат, що описують певну ділянку на поверхні Землі.

3. Запропоновано підхід секторного кластерного аналізу для оптимізації роботи з великими розмірами зображень та покращення результатів роботи алгоритмів кластеризації шляхом збільшення інформативності векторів ознак. Введено поняття сектору зображення, що означає вектор ознак, що складається з статистичних характеристик елементу рівномірного розбиття ЦЗ.

4. Запропоновано алгоритм рівномірної кластеризації для розв'язання задачі нормалізації значень вектору ознак різного типу та закону розподілу для уникнення помилки інтерпретації результатів роботи алгоритмів кластеризації.

5. На основі запропонованих методу розшарування, алгоритмів обробки ЦЗ та відомих підходів до кластеризації цифрового зображення вперше запропоновано оцінку врожайності посівних ділянок за даними аерофотозйомки, зокрема:

- визначення врожайності ділянки;
- визначення пересушених ділянок посівної площі;
- виявлення неоднорідних об'єктів на посівній площі;
- аналіз неоднорідних ділянок на основі аналізу сумішей текстур агрокультур.

РОЗДІЛ 3

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ АЕРОФОТОЗЙОМКИ [105-107]

На основі викладеного матеріалу в попередніх розділах сформульовано задачу побудови геоінформаційної технології, що заснована на методах та засобах роботи з даними аерофотозйомки, супутникових даних та цифровій обробці зображення з вилученням необхідної інформації про території, результати аналізу можуть бути використані у сфері землеробства в рамках впровадження інформаційних технологій для покращення ефективності, економічності та оперативності збору даних при веденні СГ. Згідно поставленої задачі було побудовано ГІТ автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі, та на основі побудованої ГІТ та методів роботи з ЦЗ посівної площі (розділ 2) було спроектовано та реалізовано ГІС VagabondGIS.

Розділ складається з 6 підрозділів та висновків. Підрозділ 3.1 описує запропоновану ГІТ автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі для потреба СГ, підрозділ 3.2 формулює вимоги та постановку задачі на розробку ГІС та підрозділ 3.3 описує побудовану ГІС. Підрозділи 3.4 та 3.5 описують програмну реалізацію інформаційної системи. Підрозділ 3.6 присвячений перспективам розвитку ІТ та підрозділ 3.6 містить висновки.

3.1 Технологія автоматизованої обробки даних аерофотозйомки Vagabond

На основі запропонованих в 2-ому розділі методу розшарування ЦЗ, алгоритмах обробки ЦЗ та оцінках посівних площ, для розв'язання задачі розробки геоінформаційної технології для обробки даних аерофотозйомки посівних площ підтримки прийняття рішень в області сільського господарства пропонується ГІТ автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівних площ Vagabond. ГІТ складається з комплексу наступних методів та

засобів (Рис. 3.1): методи обробки та аналізу ЦЗ, ГІС Vagabond та технічні засоби повітряного моніторингу та керовані засоби догляду за посівними територіями, що оснащені пристроями GPS.

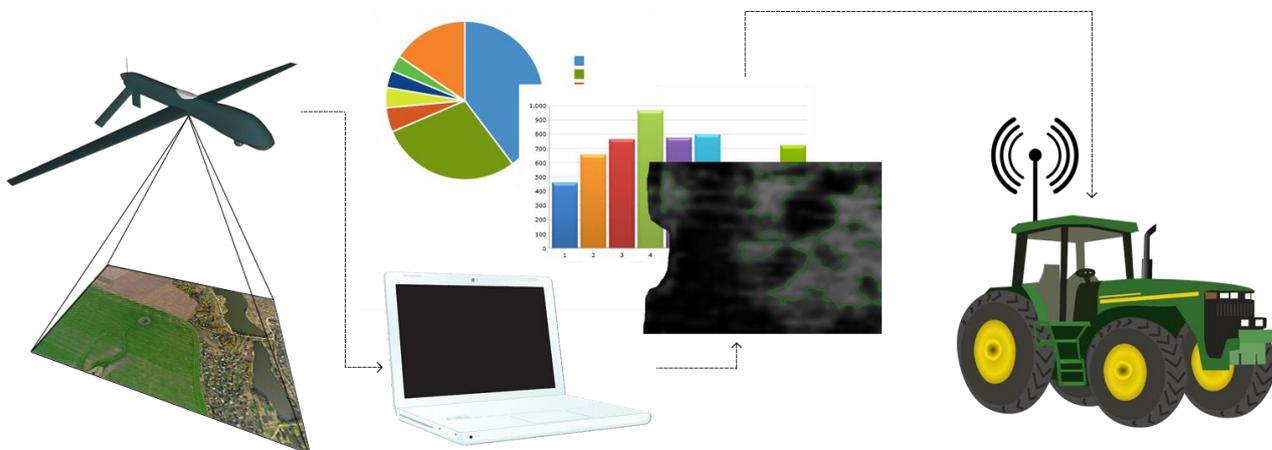


Рис. 3. 1 Загальна концепція ГІТ Vagabond

ГІТ Vagabond пов'язує (Рис. 3.2) наступні елементи: повітряний моніторинг, попередня обробки ЦЗ, інтелектуально-аналітична обробка ЦЗ, прийняття рішень на основі результатів обробки, реалізація рішень засобами СГ техніки та забезпечує наступний інформаційний потік даних: повітряний моніторинг генерує дані аерофотозйомки, які завантажуються в ГІС автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі, де проводиться аналіз та проводиться візуалізація результатів аналізу. Результати аналізу використовуються для прийняття рішень, що реалізуються після завантаження даних в техніку, що обладнана пристроями GPS.

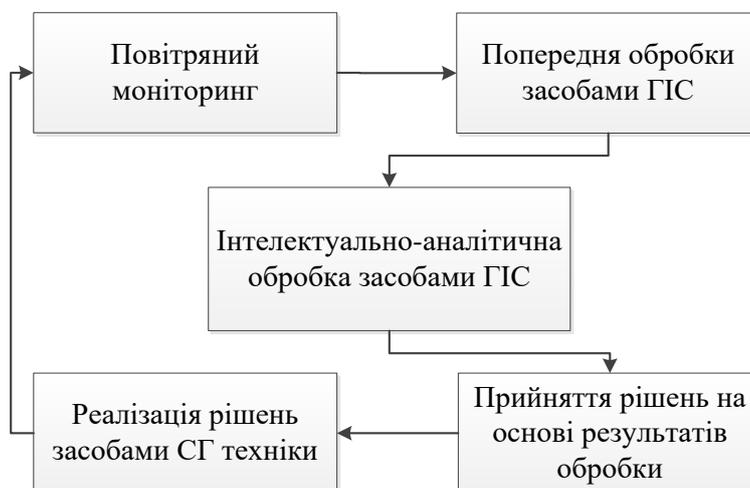


Рис. 3.2 Схема зв'язку елементів ГІТ Vagabond

В результаті робота ГІТ поділяється на 4 основні етапи (Рис. 3.3): отримання даних аерофотозйомки, попередня обробка даних, інтелектуально-аналітична обробка та прийняття рішень. Нижче наведено опис перерахованих етапів роботи ГІТ Vagabond.

Отримання даних аерофотозйомки. Після проведення повітряного моніторингу, цифрові дані необхідно обробити для отримання придатних до подальшого аналізу даних – сформувати фотоплани в форматі GeoTIFF, описи ділянок поля в форматі shapfile.

Робота з основними типами геоданих (параграф 1.2.3) є важливим елементом ГІТ. В даному випадку йдеться мова про цифрові зображення з прив'язкою до географічних координат. На сьогодні є два основних способи визначення географічної прив'язки зображення. В свій час компанією ESRI, як зазначено в розділі 1, запропоновано та розповсюджено використання World File, що йде в комплекті з зображенням. У випадку World File зображення може бути в будь-якому форматі, найпопулярнішими є .tiff, .jpeg, .bmp, .png, також використовуються так звані «сирі» формати зображень, наприклад .fff. «Сирі» зображення є результатом зйомки цифрової камери. Формат прив'язаний до розробника камери та не є стандартизованим, що утворює додаткову складність через необхідність використовувати окремі алгоритми для кожного типу формату. Так .fff є форматом зображення, що є результатом зйомки камер Hasselblad. Не зважаючи на деяку обмеженість самого World File, він є досить розповсюдженим, що спричиняє необхідність його підтримки в ГІТ. З іншого боку, GeoTiff є кроком в бік стандартизації геоданих. Використовуючи гнучкість формату .tiff, було запропоновано деякі правила, що повністю описують географічну прив'язку зображення. Також .tiff формат дозволяє зберігати інформацію на рівні з сирими форматами, що робить його найбільш зручним форматом геоданих та необхідним для підтримки ГІТ.

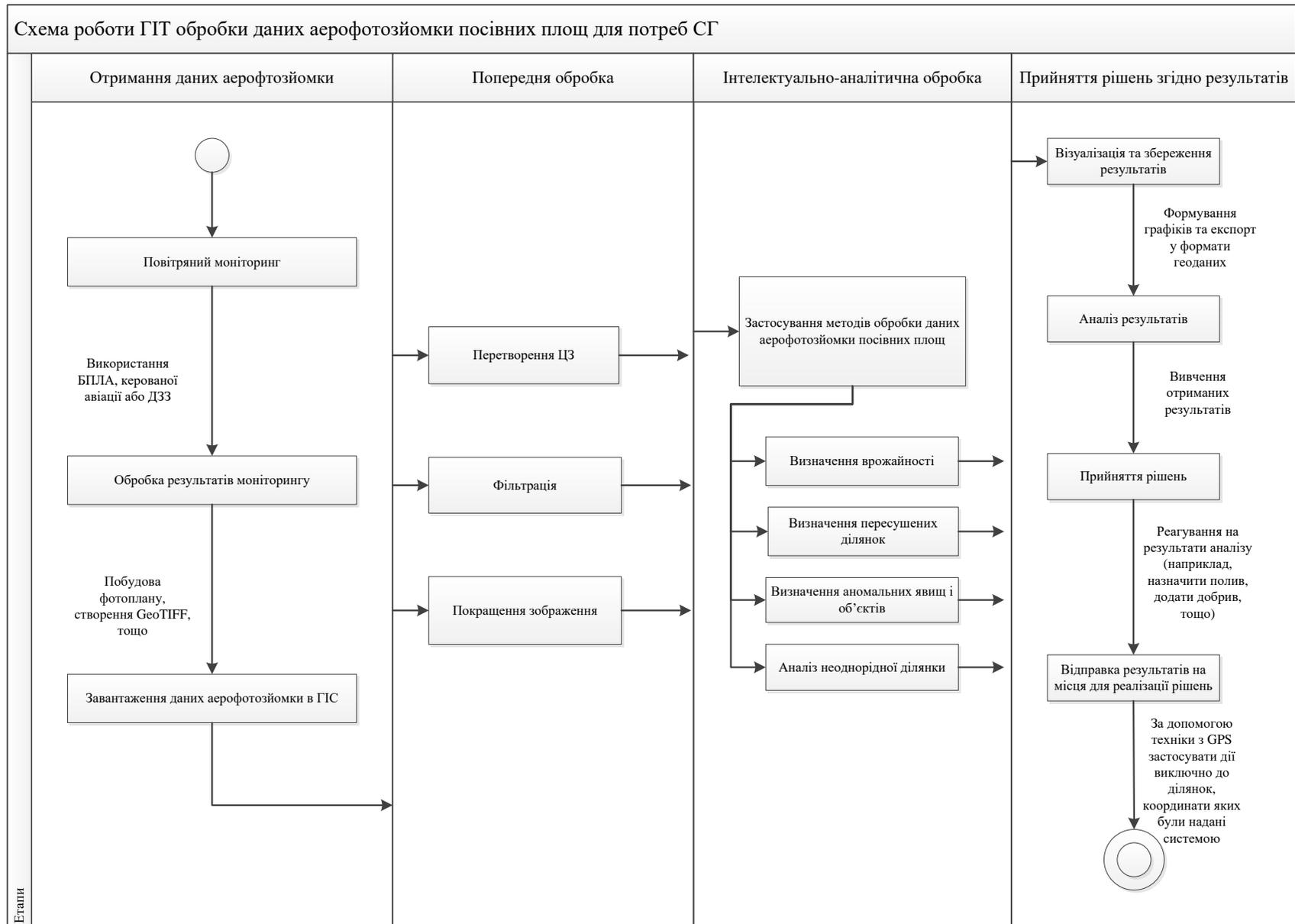


Рис. 3 3 Схема використання ГІТ обробки даних аерофотозйомки

Після підготовки даних аерофотозйомки, необхідно завантажити файли в ГІС для їх подальшого аналізу.

Попередня обробка даних. Після введення підготовлених даних в ГІС, необхідно провести попередню обробку даних. Результатом цього етапу не є аналіз, але підготовлені дані для інтелектуально-аналітичної обробки.

Для ефективного аналізу даних у вигляді ЦЗ, необхідно надати можливість зручного перегляду даних. Частіше за все в ГІС використовуються великі детальні зображення високої роздільної здатності, або взагалі сформовані мапи, що є комплексом зображень. Це обумовлює необхідність в навігації зображенням, тобто можливості змінення позиції області видимості, яка залежить від роздільної здатності дисплею та розміру вікна додатку. За тих самих причин виникає потреба в масштабуванні зображення, щоб мати змогу побачити повністю зону, що цікавить користувача у випадку, якщо вона більша за область видимості за масштабу 1:1. Виділення ділянки, що представляє інтерес користувачу для аналізу необхідно для відкидання зайвих елементів, що складають шум, з точки зору подальшої обробки, та ведуть до погіршення результатів аналізу. Для того, щоб відразу відкинути непотрібну користувачеві інформацію, що за визначенням є шумом, важливим є можливість самостійно визначити границі ділянки для аналізу. Другою причиною для обмеження ділянки обробки є збільшення швидкодії ПЗ. Деякі алгоритми обробки можуть мати експоненціальну складність, що призводить до суттєвого збільшення часу на обробку великого зображення. Додатковою можливістю може бути збереження координат ділянок для повторного використання.

З цією метою надаються методи роботи (підрозділ 1.3) з ЦЗ:

- 1) Перетворення ЦЗ:
 - масштабування;
 - зсув.
- 2) Покращення ЦЗ:
 - лінеаризація;
 - еквалізація;

- логарифмізація.
- 3) Фільтрація ЦЗ:
- НЧ-фільтрація;
 - ВЧ- фільтрація;
 - стабілізуюча фільтрація;
 - контрастна фільтрація.

Попередня обробки зображення забезпечує кращі результати подальшого аналізу та забезпечує позбавлення шумів та завад в контексті інтелектуально-аналітичної обробки.

Інтелектуально-аналітична обробки. На даному етапі проводиться головний етап ГІТ Vagabond – проведення аналізу ЦЗ за допомогою оцінок на основі запропонованого методу та алгоритмів

- оцінка врожайності посівної площі (підрозділ 2.4)
- оцінка пересушених ділянок на основі кластерного аналізу (підрозділ 2.5)
- оцінка аномальних явищ на посівній площі (підрозділ 2.6)
- оцінка неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів (підрозділ 2.7)
- секторний кластерий аналіз (підрозділ 2.1)
- рівномірна кластеризації (підрозділ 2.2).

Прийняття рішень згідно результатів. Після обробки, результати візуалізуються в зрозумілому для оператора ПС вигляді (на основі вихідної форми, запропонованої в підрозділі 2.4) та дані про ділянки експортуються в загальноприйняті формати геоданих shapefile (підрозділ 1.2) за алгоритмом побудови полігонів за результатами кластерного аналізу (підрозділ 2.3). Після прийняття рішення про застосування дій відповідних ситуації до визначених ділянок посівної площі, дані про географічні координати ділянок передаються на технічні засоби для реалізації необхідних дій. Прикладами етапу прийняття рішень згідно результату можуть бути наступні.

Приклад 1. Результати попередньої та інтелектуально-аналітичної обробки ділянки посівної площі показали, що коефіцієнт врожайності поля

дорівнює 43%. Вихідна форма (Рис. 3.4) продемонструвала геометричне розташування проблемних територій. На основі отриманої інформації та знання специфіки ведення СГ користувач приймає рішення про повторне засівання поля, в місцях пониженого рівня рослинності. Побудований полігональний опис ділянок (Рис. 3.5) надсилається на СГ техніку, для виконання засівання.



Рис. 3.4 Вихідна форма результатів інтелектуально-аналітичної обробки даних аерофотозйомки посівної площі



Рис. 3. 5 Полігональний опис ділянок з пониженою врожайністю з геоприв'язкою

Приклад 2. Результати попередньої та інтелектуально-аналітичної обробки ділянки посівної площі показали, що рівень зволоженості на території має суттєвий діапазон значень і відносний рівень загальної зволоженості 35%. Вихідна форма продемонструвала геометричне розташування проблемних територій. На основі отриманої інформації користувач приймає рішення про застосування додаткових 2 годин поливу на ділянках, що визначені системою.

Приклад 3. Результати попередньої та інтелектуально-аналітичної обробки ділянки посівної площі показали, що вміст основної культури на території складає 68%. Інші 32% поля покриті бур'яном. На основі отриманої інформації користувач приймає рішення про застосування гербіцидів виключно на ділянках, що визначені системою як найбільш уражені небажаною рослинністю.

Приклад 4. Результати попередньої та інтелектуально-аналітичної обробки ділянки посівної площі показали, що на території поля було виявлено неоднорідне утворення, яке займає 3% посівної площі. Виклик бригади за визначеними координатами показав, що неоднорідність на посівній площі є результатом використання даної ділянки в якості несанкціонованого місця утилізації сміття невідомим особами.

Всі методи, що складають основу ГІТ автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі Vagabond будуть мати практичний зміст після створення ГІС, розробці якої присвячений наступний розділ.

3.2 Геоінформаційна система автоматизованої обробки даних аерофотозйомки «VagabondGIS»

На основі запропонованої ГІТ автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі та методів роботи з ЦЗ посівної площі (розділ 2), побудовано ГІС автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі VagabondGIS. ГІС побудована на мові програмування Java 8 [108] та використовує наступні бібліотеки: JavaFX [109], JAI [110], Geotools [111]. ГІС запускається виконуючим JAR [110] файлом «vagabondGIS.jar» об'ємом 17,3

мегабайт, що запускається в операційних системах Windows XP, 7, Vista, 8, 8.1, 10, Linux-подібних та Mac OS, де встановлено віртуально машину Java, JRE 8.

Призначення ГІС автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі VagabondGIS забезпечення методами та засобами обробки даних аерофотозйомки для вирішення задач СГ.

На основі огляду (розділ 1), сформульовано наступні вимоги до ГІС:

- 1) робота з геоданими основних розповсюджених форматів (geotiff, world file, shapefile);
- 2) перегляд вхідних даних у вигляді зображень з можливістю навігації у випадку зовнішнього розміру зображення;
- 3) виділення ділянки, що представляє інтерес користувачу для аналізу;
- 4) вилучення інформації про ділянку з відображенням користувачу;
- 5) збереження вилученої інформації.

Вище зазначені вимоги реалізовано в ГІС VagabondGIS з врахуванням суб'єктивних критеріїв інтуїтивності інтерфейсу та наочності відображення інформації для зведення до мінімуму необхідного на освоєння ПЗ часу та найбільшої ефективності роботи з ГІС.

При роботі з ГІС VagabondGIS використовується поняття елемента дослідження. Елемент дослідження (ЕД) – смарт об'єкт на мапі, що містить географічні координати, назву, опис, тощо. Для спостереження за змінами на об'єктах є доречним збереження їх даних для зручності та побудови статистики за певний період.

Можливості ГІС представлені на UML-діаграмі (Рис. 3.6) та складають наступні: введення даних аерофотозйомки, перетворення ЦЗ, введення опису ділянки посівної площі, створення ЕД, попередня обробка ЦЗ, кластерний аналіз ЦЗ, інтелектуально-аналітична обробка, експорт результатів.

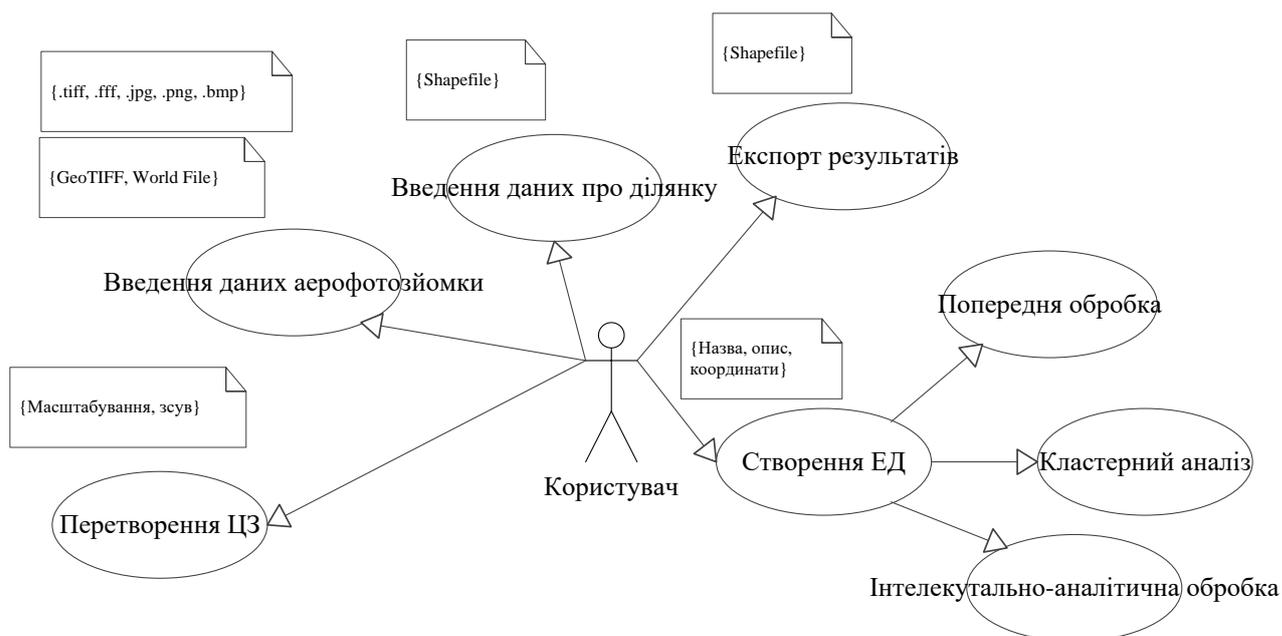


Рис. 3. 6 UML-діаграма можливостей VagabondGIS

Складові ГІС VagabondGIS (Рис. 3.7): інтерфейс користувача, модуль введення вхідних даних та аналізу географічної складової, модуль обробки та аналізу ЦЗ.

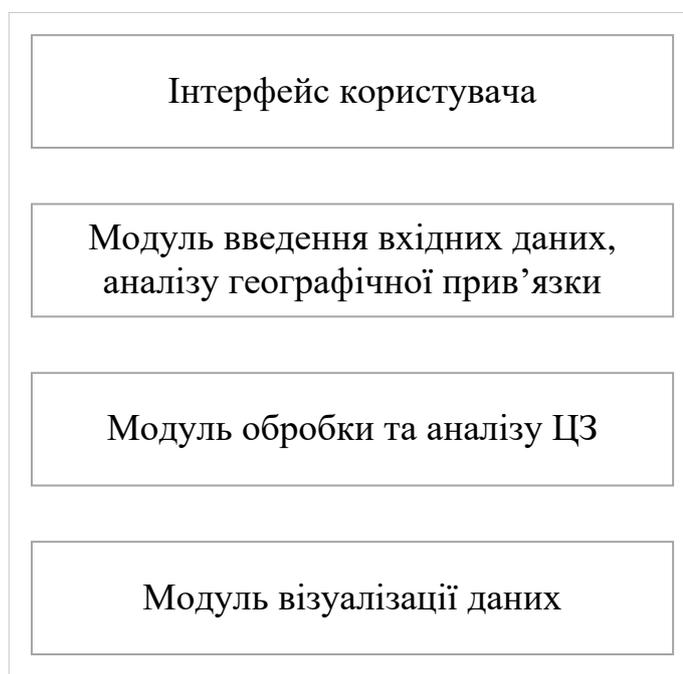


Рис. 3.7 Складові ГІС автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі VagabondGIS

Розглянемо детальніше призначення складових елементів ГІС.

Введення даних повітряного моніторингу. При введенні даних повітряного моніторингу створюється модель ЕД (Рис. 3.8), що складається з ЦЗ в одному з підтриманих форматів (.jpg, .png, .bmp, .tiff, .fff) та прив'язки до географічних координат, що реалізується використанням одним з поширених стандартів задання відповідності географічним координатам. Основним джерелом даних моніторингу є фотоплан місцевості, побудований на основі даних аерофотозйомки.

Визначення ділянки посівної площі. На цьому етапі можливі два варіанти використання. При наявності ділянки в загальноприйнятому форматі Shapefile, можливе завантаження його в ГІС після чого продовжити роботу з окремою ділянкою. За відсутності можливе задання ділянки засобами, що забезпечує ГІС – виділення прямокутником та виділення полігоном, із застосуванням масштабування та засобів навігації на ЦЗ.

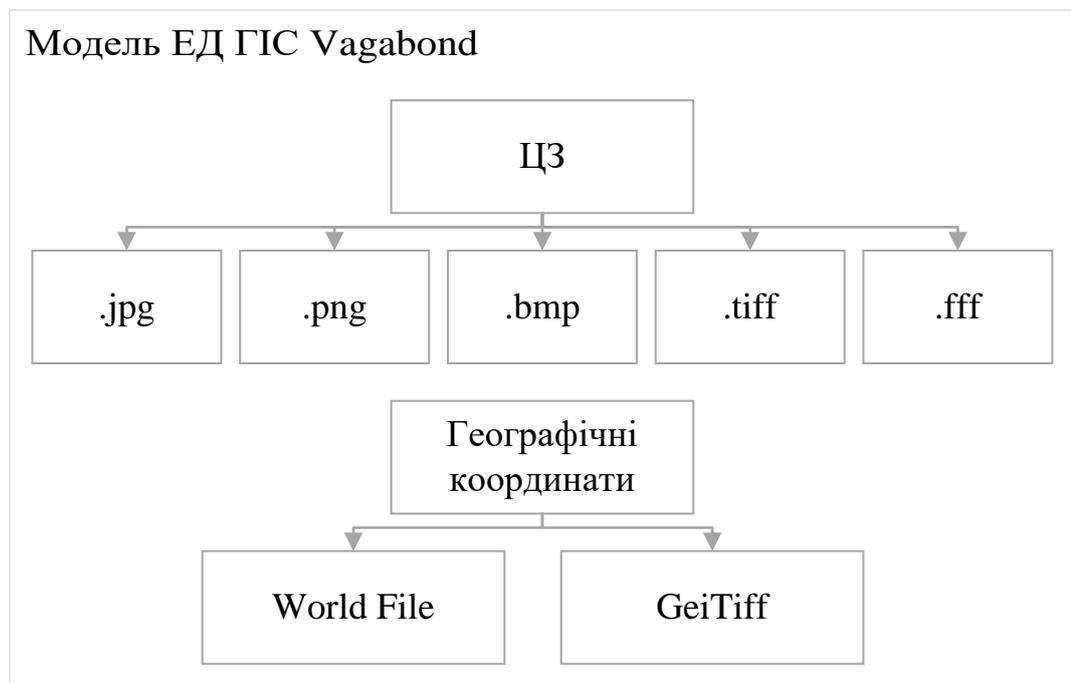


Рис. 3.8 Модель опису елемента дослідження ГІС VagabondGIS

Проведення комплексного аналізу ЦЗ виділеної ділянки. Основним етапом роботи з ГІС є комплексний аналіз виділеної ділянки (Рис. 3.9), що включає в себе застосування засобів попередньої обробки, а саме застосування низькочастотних, високочастотних, контрастних фільтрів, застосування базових

алгоритмів покращення зображення, таких як лінеаризація, еквалізація і логарифмізація (параграф 1.3.1). Використання різних методик кластерного аналізу: K-means, максимінної, простої, алгоритму ІСОМАД (параграф 1.3.2), тощо попиксельний аналіз, та секторний.

Виведення результатів для перегляду користувачу і експорт результатів.

На останньому етапі необхідно перетворити отримані в попередньому етапі дані для візуальної наочності для оцінки користувачем та підготувати до експорту.

Дані про ділянки експортуються в форматі Shapefile (параграф 1.2.3).

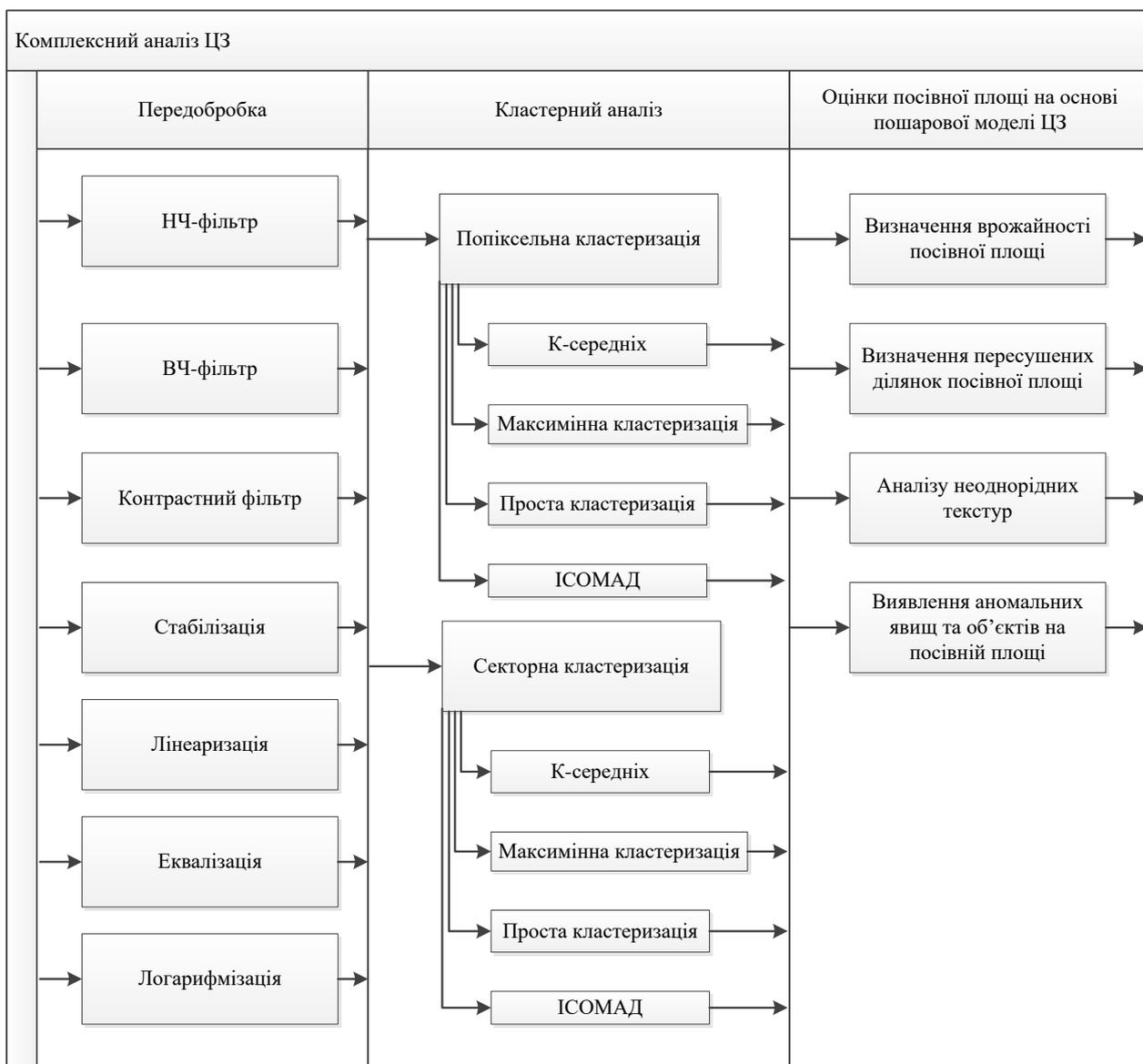


Рис. 3.9 Схема методів комплексного аналізу ЦЗ

Взаємозв'язок структурних елементів ГІС (Рис. 3.10) має один циклічний характер. Через інтерфейс користувач має доступ до модулю введення даних, за

допомогою якого виконується читання вхідних даних, що відображаються в інтерфейсі користувача. Інтерфейс користувача надає доступ також до модуля обробки та аналізу ЦЗ де до вхідних даних застосовуються методи попередньої та інтелектуально-аналітичної обробки (підрозділ 3.1), що використовує модуль візуалізації результатів обробки, який передає перетворені результати інтерфейсу користувача.

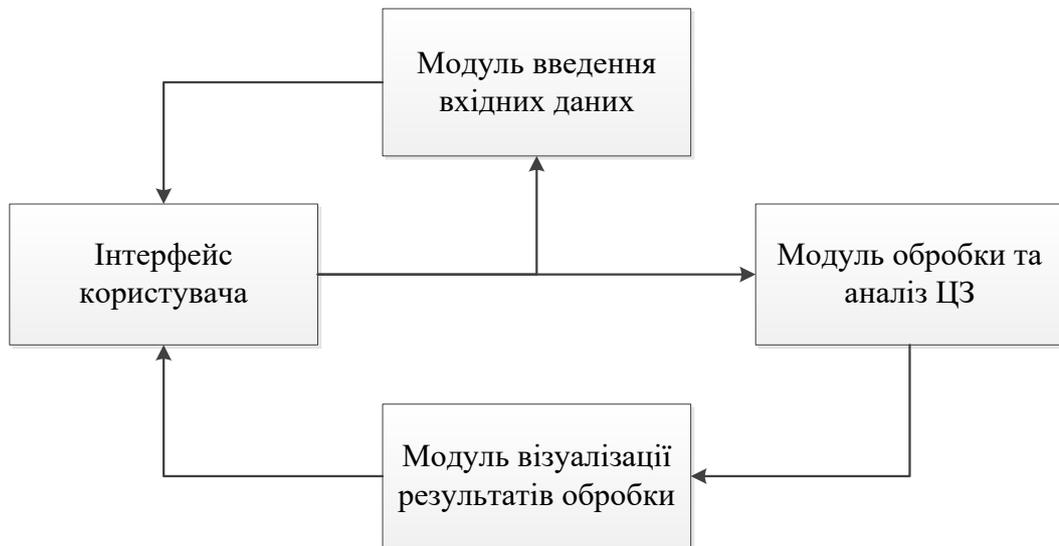


Рис. 3.10 Схема взаємозв'язку структурних елементів ГІС VagabondGIS

В наступних підрозділах викладено опис реалізації структурних елементів ГІС VagabondGIS.

3.3 Інтерфейс користувача VagabondGIS

Інтерфейс користувача «VagabondGIS» відповідає за взаємодію з користувачем та відображення інформації. Графічний інтерфейс «VagabondGIS» побудований за наступними принципами.

Максимальний робочий простір. Основу ГІС складає мапа, адже ГІС створений в першу чергу для роботи з мапою, географічними об'єктами. Отже основу робочого простору ГІС має складати саме мапа.

Лаконічність функціоналу. Однією з поширених проблем сучасних ГІС (підрозділ 1.2.2) є перевантаженість великою кількістю можливостей і методів, які не потрібні більшості, задля задоволення потреб широкого спектру

застосувань. Для побудови спеціалізованої системи для сільського господарства реалізуються лише ті методи та функції, що мають практичне застосування саме в вказаній галузі.

Інтерфейс користувача ГІС VagabondGIS складається з двох вікон – вікно перегляду мапи, та вікно вивчення ділянки, опис яких представлено в підрозділах 3.3.1 та 3.3.2 відповідно.

3.3.1 Вікно перегляду мапи

Інтерфейс вікна перегляду мапи «VagabondGIS» складається з 7 основних частин (Рис. 3.12) - мапа (1), панель інструментів (2), шари (3), панель інформації про зображення (4), панель додаткової інформації (5), головне меню (6), мініатюра мапи (7).

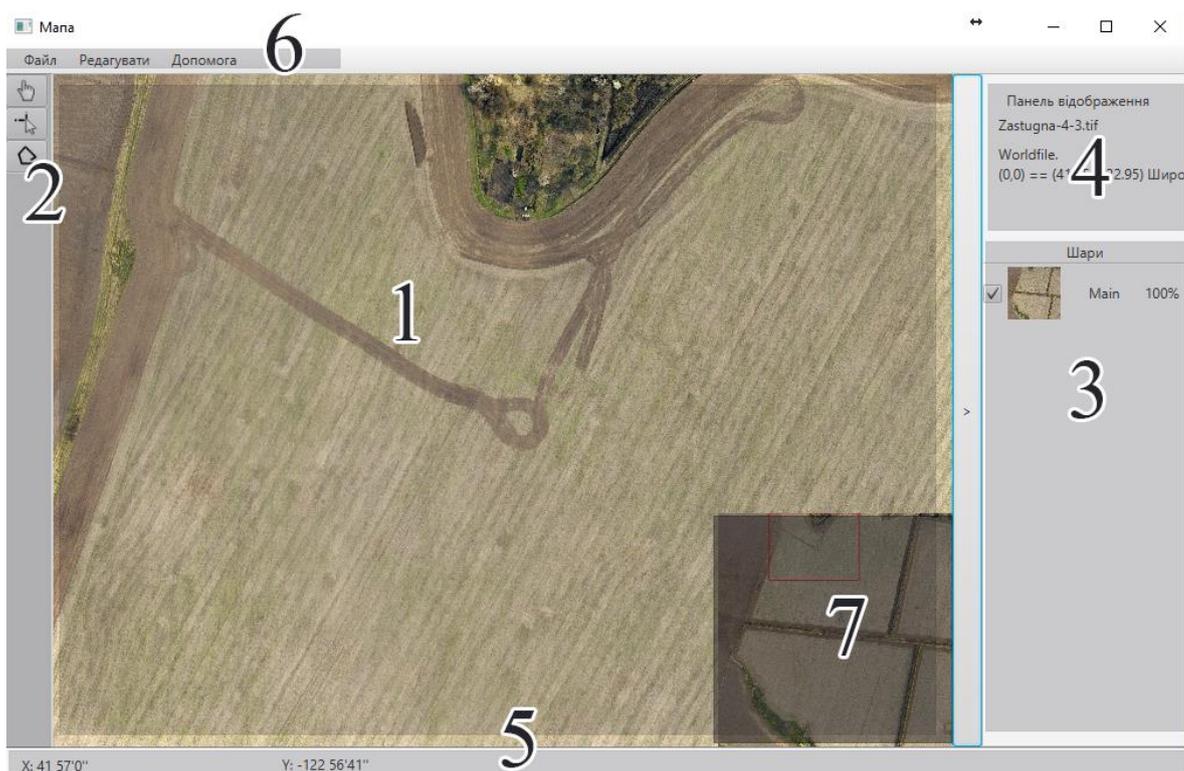


Рис. 3.12 Інтерфейс вікна перегляду мапи VagabondGIS: 1) мапа, 2) панель інструментів, 3) шари, 4) панель інформації, 5) панель додаткової інформації, б) головне меню, 7) мініатюра мапи

Мапа. Основний елемент ГІС це мапа. На мапі можна виділяти ділянки для визначення площі, створення елементів досліджень, виставляти маркери.

Панель інструментів. Панель інструментів містить основні засоби роботи з мапою. Це навігація, вибір ділянки, тощо. Ділянку можна задавати двома способами: прямокутник та послідовність відрізків та довільних форм. Навігація виконується трьома способами: перетаскування курсором; скролінг колесом миші. Також реалізовано навігацію за допомогою мініатюри мапи.

Шари. На мапі можна відображати множинні шари з додатковою інформацією, такі як результати аналізу, маркери. В панелі шарів можна ховати та змінювати прозорість шарів.

Панель інформації про шари. Панель інформації містить назву зображення та дані про геоприв'язку зображення.

Панель додаткової інформації. Ця панель призначена для відображення такої інформації, як географічні координати точки на мапі, де розташовано курсор, то площі вибраної ділянки.

Головне меню. Вибір дії, наприклад, відкрити вікно створення елемента досліджень.

Мініатюра мапи. Елемент навігації, для швидкого переходу до ділянки, цікавої користувачу та загальної оцінки місцевості.

3.3.2 Вікно вивчення ділянки

Інтерфейс вікна вивчення ділянки «VagabondGIS» (Рис. 3.13) складається з 6 основних частин: 1) зображення ділянки, 2) головне меню, 3) меню відображення полігонів, 4) меню відображення результатів, 5) опис ділянки, 6) додаткова інформація.

Зображення ділянки. Елемент відображення зображення та вихідних форм результатів обробки.

Головне меню. Меню вікна вивчення ділянки, що містить наступні пункти:

1) Файл. Містить пункти, що дозволяють зберегти зображення, експортувати ділянку в форматі shapefile (підрозділ 1.2.3), експортувати обчислені полігони (підрозділ 2.3) ділянок всередині поля, закрити вікно вивчення ділянки;

2) Попередня обробка. Включає в себе пункти покращення ЦЗ (лінеаризація, еквалізація, логарифмізація), фільтрації ЦЗ (НЧ-фільтрація, ВЧ-фільтрація, стабілізуюча фільтрація, контрастна фільтрація) (підрозділ 1.3.1), кластерного аналізу (підрозділ 1.3.3) та секторного кластерного аналізу (підрозділ 2.1) (проста кластеризація, максимінна, К-середніх, ІСОМАД);

3) Інтелектуально-аналітична обробка. Застосування методів визначення врожайності посівної площі (підрозділ 2.4), визначення пересушених ділянок на основі кластерного аналізу (підрозділ 2.5), визначення аномальних явищ на посівній площі (підрозділ 2.6) та аналізу неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів (підрозділ 2.7);

4) Допомога. Містить пункт «Про програму», де представлено коротку інформацію про програму та поштова адреса автора.

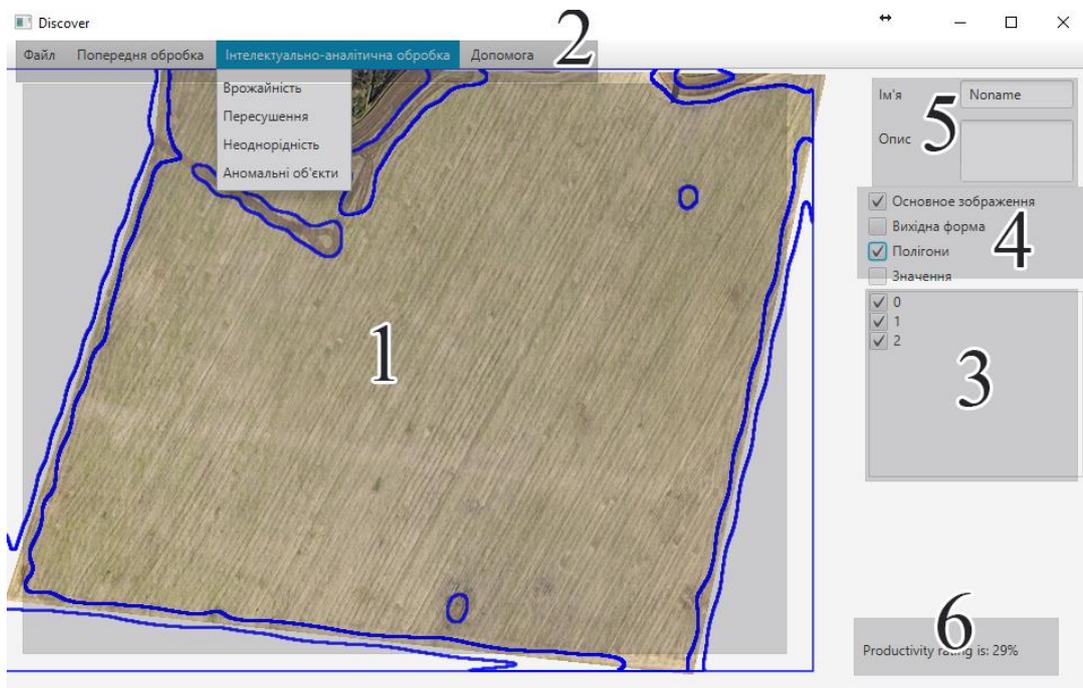


Рис. 3.13 Інтерфейс вікна вивчення ділянки: 1) зображення ділянки, 2) головне меню, 3) меню відображення полігонів, 4) меню відображення результатів, 5) опис ділянки, 6) додаткова інформація

Меню відображення полігонів. Після застосування інтелектуально-аналітичної обробки на основі результатів виявляються основні ділянки на зображенні та будуються їх полігональний опис (підрозділ 2.3). В меню відображення полігонів відображається список знайдених ділянок, та реалізована можливість приховати з відображення полігональну форму представлення вказаних ділянок.

Меню відображення результатів. Для зручності візуальної оцінки реалізовано меню, що дає змогу вибрати, які типи результату відображати: вихідну форму мапу (підрозділ 2.4), полігони на фоні мапи, чи вхідного зображення та значення, прив'язані до полігонів (тобто чисельні оцінки, яким відповідають знайдені ділянки).

Опис ділянки. Елемент опису ділянки надає можливість додати до ділянки назву та опис, для зручності керування великою кількістю ділянок на загальній мапі.

Додаткова інформація. Методи інтелектуально-аналітичної обробки мають загальний числовий результат, який відображається в полі додаткової інформації. Наприклад, при використанні методу визначення врожайності ділянки в полі додаткової інформації буде вказано значення коефіцієнту врожайності по всьому полю.

3.4 Програмна реалізація VagabondGIS

ГІС VagabondGIS запускається в класі Main.java (com.elfin.vagabond.Main) та створює екземпляр класу Vagabond.java (com.elfin.vagabond.controller.Vagabond), що є основним класом контролером програми, що поєднує між собою всі модулі.

Клас Vagabond.java містить наступні методи:

1) getInstance – статичний клас, що реалізує доступ до Vagabond з будь якого місця програми. Може існувати лише один екземпляр класу Vagabond.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: екземпляр класу Vagabond.

2) `getCurrentObj`.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: екземпляр класу MapObj (підрозділ 3.4.1).

3) `openMap` – відкриває вікно перегляду мапи.

Вхідні дані: екземпляр класу Stage (стандартний пакет JavaFX)

Вихідні дані: немає.

4) `openDiscover` – відкриває вікно вивчення ділянки.

Вхідні дані: екземпляр класу Stage.

Вихідні дані: немає.

В підрозділах 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 приведено опис програмної реалізації основних структурних елементів ГІС.

3.4.1 Модуль введення вхідних даних

Модуль введення вхідних даних (Рис. 3.14) відповідає за зчитування зображення та роботу з геоданими. Модуль підключений до загальної системи VagabondGIS за допомогою композиції основного класу Vagabond.java та FileReader.java.

Модуль введення вхідних даних містить наступні класи.

FileReader.java (*com.elfin.vagabond.utils.FileReader*). Клас утиліта для зчитування даних з жорсткого диску в формат File, що є частиною стандартного пакету Java, та Image стандартного пакету JavaFX. Містить методи:

1) `getFile` – вибір файлу з жорсткого диску з стандартним вікном вибору файлу операційної системи.

Вхідні дані: тип String, назва діалогу вибору файлу

Вихідні дані: екземпляр класу File.

2) `getImageFile` – вибір зображення з жорсткого диску з стандартним вікном вибору файлу операційної системи.

Вхідні дані: String, назва діалогу вибору файлу.

Вихідні дані: екземпляр класу File.

3) `getShapeFile` – вибір shapefile (підрозділ 1.2.3) з жорсткого диску з стандартним вікном вибору файлу операційної системи.

Вхідні дані: String, назва діалогу вибору файлу.

Вихідні дані: екземпляр класу File.

4) `getGpsInfo` – визначення типу географічної прив'язки файлу.

Вхідні дані: екземпляр класу File зображення.

Вихідні дані: екземпляр класу GPSInfo.

5) `readImage` – зчитування файлу зображення з жорсткого диску.

Вхідні дані: екземпляр класу File зображення.

Вихідні дані: екземпляр класу Image.

6) `saveData` – збереження послідовності строк у текстовий файл.

Вхідні дані: список List (стандартний пакет Java) типу String.

Вихідні дані: немає.

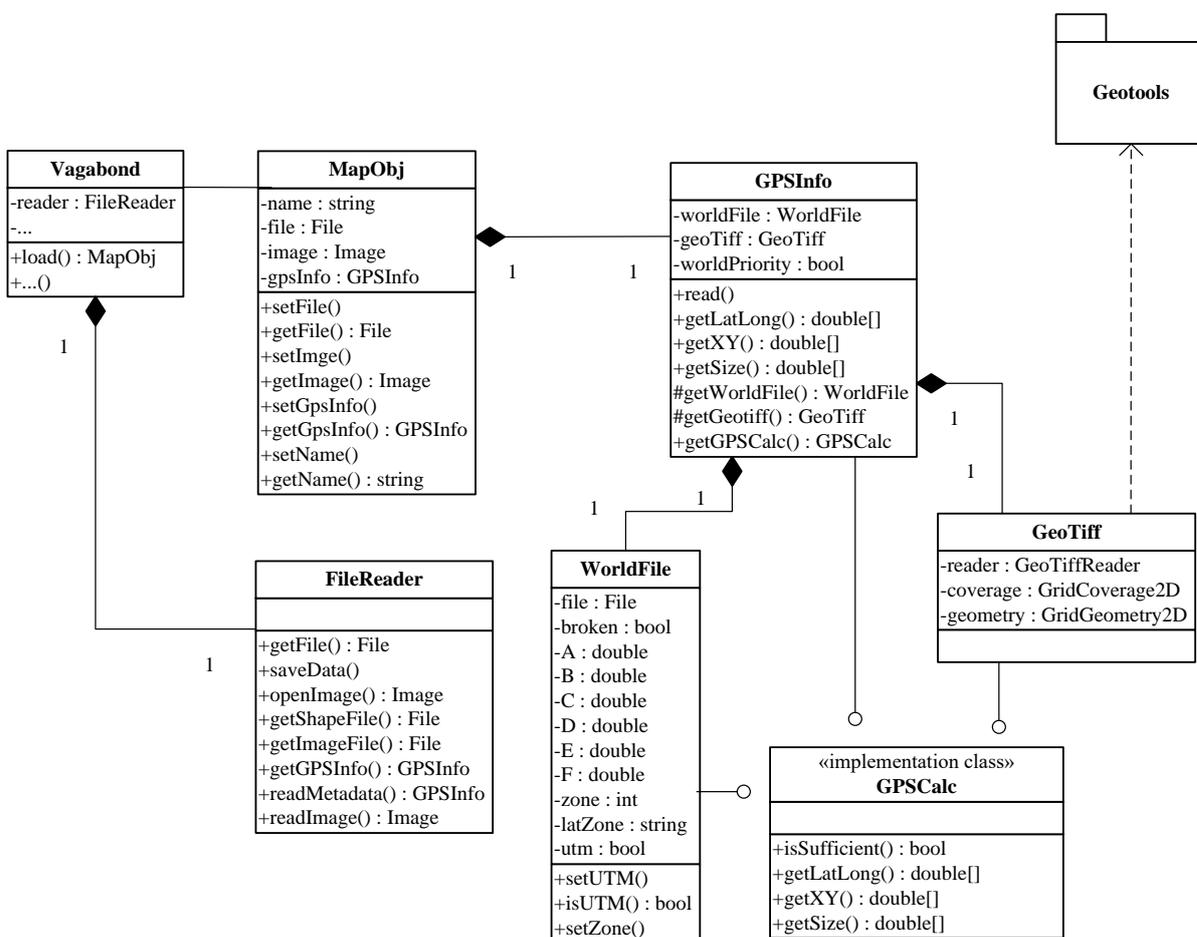


Рис. 3.14 UML-діаграма модулю введення вхідних даних

MapObj.java (*com.elfin.vagabond.components.model.MapObj*). Основний клас, що представляє зображення з географічною прив'язкою. Містить наступні основні методи:

1) `getFile` – повертає файл зображення.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: екземпляр класу `File`.

2) `getName` – повертає назву файлу.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: тип `String`.

3) `getImage` – повертає зображення.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: екземпляр класу `Image`.

4) `getGpsInfo` – повертає клас геоприв'язки зображення.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: екземпляр класу `GPSInfo`.

GPSInfo.java (*com.elfin.vagabond.utils.GPS.GPSInfo*). Клас, що надає інтерфейс до класів-аналізаторів геоприв'язки. Реалізує інтерфейс `GPSCalc`. Крім того містить методи:

1) `getWorldFile`

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: екземпляр класу `WorldFile`.

2) `getGeotiff`

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: екземпляр класу `GeoTiff`.

GPSCalc.java (*com.elfin.vagabond.utils.GPS.GPSCalc*). – інтерфейс для забезпечення доступу до геоприв'язки. Оголошує методи:

3) `isSufficient` – повертає істину, якщо клас має необхідну інформацію та готовий реалізовувати обчислення географічної прив'язки.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: тип `Boolean`.

4) `getLatLong` – проводить конвертацію індексів пікселів зображення в значення довготи та широти відносно геоприв’язки зображення.

Вхідні дані: `xPixels`, `yPixels` типу `double`.

Вихідні дані: масив типу `double`.

5) `getXY` – проводить конвертацію значень довготи і широти в індекси пікселів зображення відносно геоприв’язки зображення.

Вхідні дані: `latitude`, `longitude` типу `double`.

Вихідні дані: масив типу `double`.

6) `getSize` – розраховує площу ділянки в метрах на основі довжини та ширини ділянки в пікселях відносно геоприв’язки зображення.

Вхідні дані: `xPixels`, `yPixels` типу `double`.

Вихідні дані: масив типу `double`.

Класи `WorldFile.java` (`com.elfin.vagabond.utils.GPS.WorldFile`) та `GeoTiff.java` (`com.elfin.vagabond.utils.GPS.GeoTiff`) реалізують інтерфейс `GPSCalc` та є фактичними інтерфейсами до даних геоприв’язки зображення у форматах `WorldFile` та `GeoTIFF` (підрозділ 1.2.3) відповідно. Клас `GeoTiff.java` має залежність від пакету `Geotools` (підрозділ 3.2).

3.4.2 Модуль обробки та аналізу ЦЗ

Модуль обробки та аналізу представлений програмним компонентом `Elders`, що має просту структуру (Рис. 3.15) з двох основних пакетів - `math`, `images`, та одного допоміжного `utils` та включає в себе модуль візуалізації.

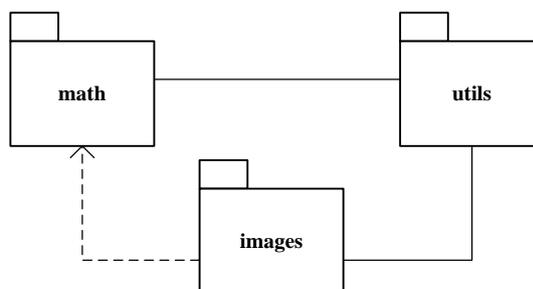


Рис. 3.15 Діаграма пакетів компонента `Elders`

Компонент Elders представляє собою незалежний JAR файл, що використовує лише стандартні пакети Java. Компонент являє собою набір класів, що наслідують абстрактний клас Elder

Основу пакету math складають 4 основні класи (Рис. 3.16), що наслідують Elder, та набір класів для кластерного аналізу (Рис. 3.17).

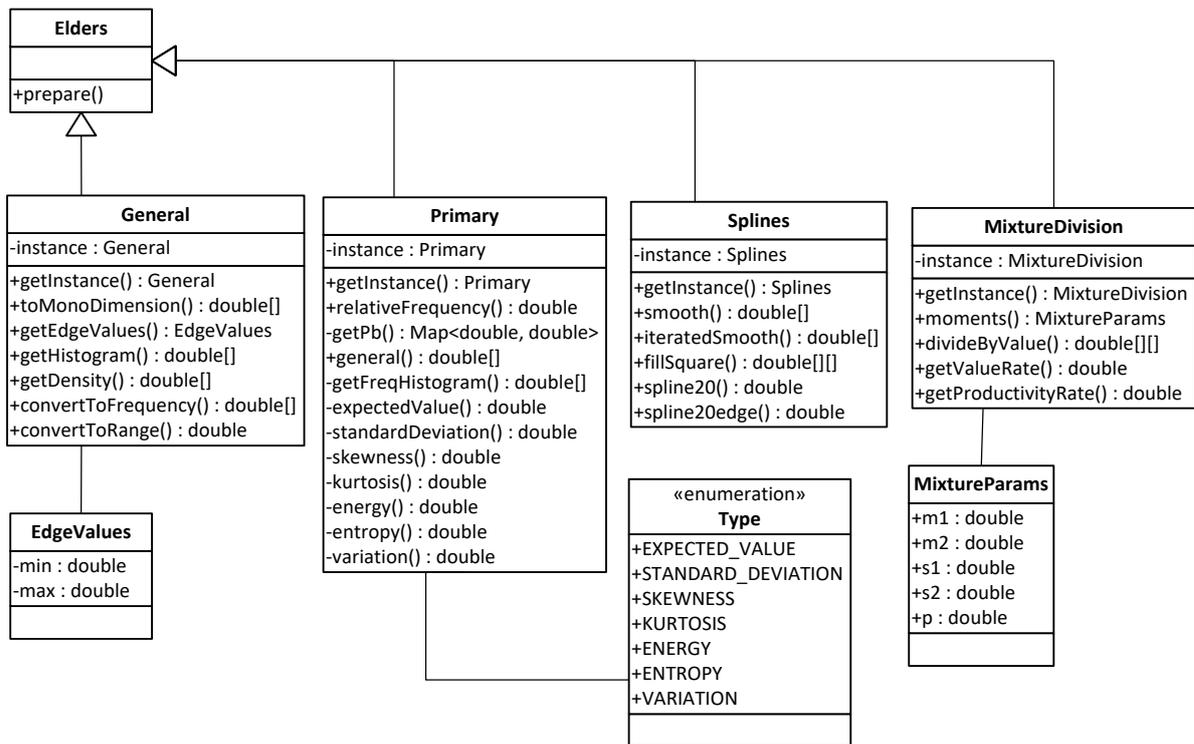


Рис. 3.15 UML-діаграма класів Elder пакету math компоненту Elders

General.java (*elders.council.math.general.General*). Клас забезпечує основними методами оперування даними, що можуть знадобитись від час обробки даних аерофотозйомки. А саме:

1) `getEdgeValues`: обчислення максимального та мінімального значення в наборі даних.

Вхідні дані: масив типу `double`.

Вихідні дані: екземпляр класу `EdgeValues` (містить поля `min`, `max` типу `double`)

2) `convertToRange` – конвертація даних з одного діапазону значень в інший.

Вхідні дані: number типу double, fromMin типу double, fromMax типу double, toMin типу double, toMax типу double.

Вихідні дані: типу double.

3) `getHistogram` – обчислення гістограми для набору даних.

Вхідні дані: масив типу double, length типу int.

Вихідні дані: масив типу double.

4) `getDensity` – обчислення щільності для набору даних

Вхідні дані: масив типу double.

Вихідні дані: масив типу double.

5) `convertToFrequency` – конвертація значень гістограми у форма частот.

Вхідні дані: масив типу double.

Вихідні дані: масив типу double.

Primary.java (elders.council.math.statistics.Primary). Клас надає методи для обчислення значень первинного статистичного аналізу:

1) `general` – обчислення значень моментів випадкової величини.

Вхідні дані: масив типу double, type типу Primary.Type (енем, що перераховує всі моменти, підтримані в компоненті).

Вихідні дані: типу double.

Primary підтримує наступні коефіцієнти: математичне очікування, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнти ексцесу, асиметрії, енергії, ентропії, варіації.

Splines.java (elders.council.math.Splines). Клас надає функціонал сплайн апроксимації, що є основним складовим елементом модулю візуалізації та містить наступні методи:

1) `iteratedSmooth` – ітеративне згладження набору даних за допомогою фільтрації на основі B-сплайну 5 -го порядку (підрозділ 1.3.1).

Вхідні дані: масив типу double, типу int.

Вихідні дані: масив типу double.

2) `fillSquare` – розширення значень двовимірного масиву на новий розмір двовимірного масиву за допомогою апроксимації на основі В-сплайнів 2-го порядку (підрозділ 1.3.1)

Вхідні дані: масив типу `double`, типу `int`, типу `int`.

Вихідні дані: масив типу `double`.

MixtureDivision.java (*elders.council.math.MixtureDivision*). Клас реалізує розділення суміші розподілів. Має наступні методи:

1) `moments` – розділення суміші розподілів в наборі даних методом моментів (підрозділ 2.7).

Вхідні дані: масив типу `double`.

Вихідні дані: екземпляр класу `MixtureParams` (містить поля типу `double` `m1`, `m2`, `s1`, `s2`, `p`, що відповідають значенням математичного очікування першої складової суміші, другої, середньоквадратичному відхиленню першої складової, другої та коефіцієнту співвідношення розподілів відповідно)

2) `divideByValue` – розділення значень інтенсивностей зображення на 0 та 1.

Вхідні дані: масив типу `double`, типу `int`.

Вихідні дані: масив типу `double`.

Класи, що реалізують функціонал кластерного аналізу (Рис. 3.16) представлені інтерфейсом `Analyzer`, що оголошує наступні методи:

1) `getMap` – надає результати кластеризації у вигляді масиву значень, що відповідають номеру кластеру.

Вхідні дані: масив типу `doble`.

Вихідні дані: масив типу `doble`.

Абстрактний клас `ClusterAnalyzer` реалізує інтерфейс `Analyzer` та відіграє роль шаблону для побудови методів кластерного аналізу та має наступні методи:

1) `getClusterNumber` – повертає кількість кластерів, що були виявлені під час аналізу.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: типу `int`.

2) `getControlPoints` – надає список всіх контрольних точок кластерного аналізу.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: типу `ControlPoint` (клас, що містить поля `value` типу `double`, `index` типу `int`, що означають значення кластеру та його порядковий номер відповідно).

Клас `Simple`, `MaxMin`, `Isodata` реалізують методи простої кластеризації, максимінної та ICOMAD, відповідно (підрозділ 1.3.2).

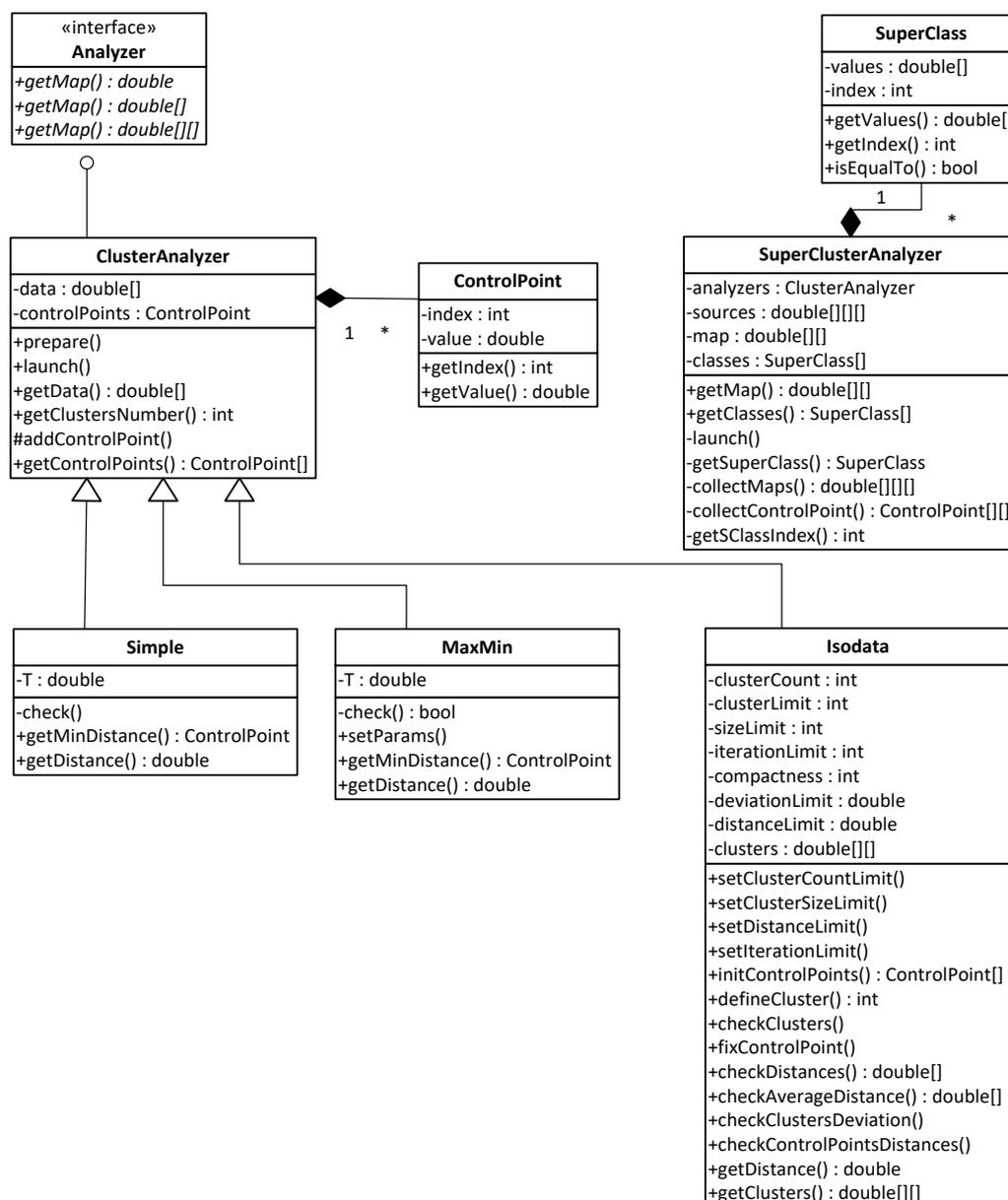


Рис. 3.16 UML-діаграма класів для кластерного аналізу пакету `math` компоненту

Класи SuperClass та SuperClusterAnalysis реалізують алгоритм рівномірної кластеризації (підрозділ 2.2). Клас SuperClusterAnalysis має наступні методи:

1) getMap – аналог методу інтерфейсу Analyzer.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: масив типу double

2) getClasses – результати рівномірної кластеризації

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: масив типу SuperClass

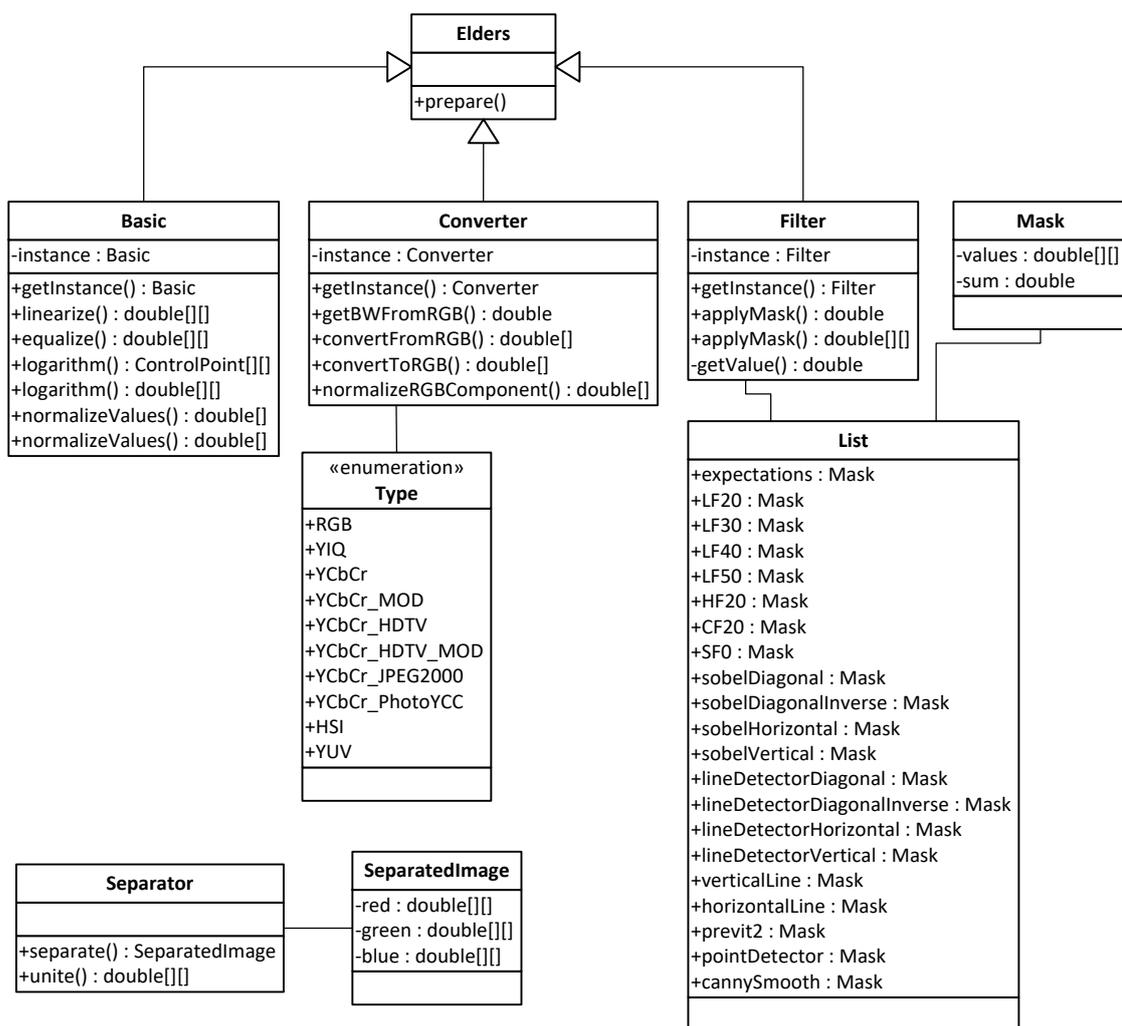


Рис. 3.17 UML-діаграма класів Elder пакету images та допоміжних класів компоненту Elders

Пакет image складається з трьох основних класів: Basic, Converter, Filter та допоміжних Mask, List, Separator, SeparatedImage (Рис. 3.17), а також набору класів інтелектуально-аналітичної обробки (Рис. 3.18).

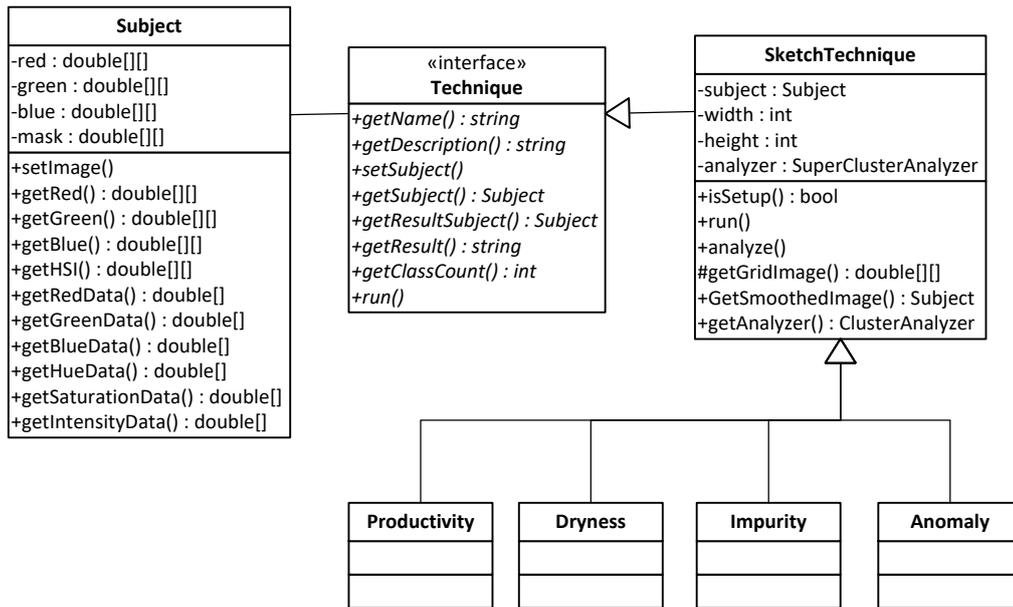


Рис. 3.18 UML-діаграма класів для інтелектуально-аналітичної обробки пакету images компоненту Elders

Basic.java (*elders.council.math.images.transformation.Basic*). Клас, що реалізує методи покращення зображення, а саме:

- 1) `linearize` – лінеаризація зображення (підрозділ 1.3.1).
Вхідні дані: масив типу `double`, типу `double`, типу `double`.
Вихідні дані: масив типу `double`.
- 2) `equalization` – еквалізація зображення (підрозділ 1.3.1).
Вхідні дані: масив типу `double`, типу `double`, типу `int`.
Вихідні дані: масив типу `double`.
- 3) `logarithm` – логарифмізація зображення (підрозділ 1.3.1).
Вхідні дані: масив типу `double`, типу `double`, типу `double`.
Вихідні дані: масив типу `double`.
- 4) `normilizeValues` – нормалізація значень інтенсивності пікселів зображення (підрозділ 1.3.1).
Вхідні дані: масив типу `double`, типу `double`, типу `double`.
Вихідні дані: масив типу `double`.

Converter.java (*elders.council.math.images.colors.Converter*). Відповідає за алгоритми перетворень для переходів між кольоровими системами. Реалізовано

наступні кольорові моделі: RGB, YUV, YCrBr, YCbCr_MOD, YCbCr_HDTV, YCbCr_HDTV_MOD, YCbCr_JPEG2000, YCbCr_PhotoYCC, HSI (підрозділ 1.3.1). Для визначення конкретної моделі створено еном Converter.Type. Реалізовано наступні методи:

1) `getBWFromRGB` – перетворення зображення в кольоровій системі RGB на зображення в градаціях сірого.

Вхідні дані: масив типу `double`.

Вихідні дані: масив типу `double`.

2) `convertFromRGB` – перетворення значення з кольорової системи RGB в іншу кольорову систему.

Вхідні дані: `r`, `g`, `b` типу `double` та `type` типу `Converter.Type`.

Вихідні дані: масив типу `double`.

3) `convertToRGB` – перетворення значення в кольорову систему RGB з іншої кольорової системм.

Вхідні дані: `u`, `v`, `w` типу `double` та `type` типу `Converter.Type`.

Вихідні дані: масив типу `double`.

Класи `SeparatedImage` та `Separator` реалізують підтримку при розділенні та поєднанні складових кольорової системи RGB. `Separator` має наступний інтерфейс:

1) `separate` – розділення на компоненти.

Вхідні дані: масив типу `double`.

Вихідні дані: масив типу `double`.

2) `unite` – поєднання компонентів.

Вхідні дані: масив типу `double`.

Вихідні дані: масив типу `double`.

Filter.java (elders.council.math.images.masks.Filter). Клас надає інтерфейс до застосування масок фільтрів до набору даних:

1) `applyMask` – застосування маски фільтру.

Вхідні дані: масив типу `double`, маска типу `List.Mask`.

Вихідні дані: масив типу `double`.

List.java (*elders.council.math.images.masks.Filter.List*) містить клас *Mask*, що описує маску фільтру полями *values* (масив *double*) та *sum* (типу *double*), та містить наступні маски фільтрів: фільтр математичного очікування 3 на 3; НЧ-фільтр 2.0, 3.0, 4.0, 5.0; ВЧ-фільтр 2.0; контрастний фільтр 2.0; стабілізуючий фільтр 2.0: фільтри Собеля (діагональні, горизонтальні, вертикальні); фільтри Превіта; фільтри Кенні; фільтри виявлення границь, точок і ліній.

Нижче описані класи що реалізують інтелектуально-аналітичну обробку.

Subject.java (*elders.council.images.technics.Subject*) – клас, що представляє зображення та надає інтерфейс до компонент кольорової системи з урахуванням маски (масив пікселів, що ігнорується при обробці):

1) *getRed*, *getGreen*, *getGreen* – повертають повне зображення по компонентам кольорової системи.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: масив типу *double*.

2) *getRedData*, *getGreenData*, *getBlueData*, *getHueData*, *getSaturationData*, *getIntensityData* – повертають зображення по компонентам з урахуванням маски.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: масив типу *double*.

Technique.java (*elders.council.images.technics.Technique*). Інтерфейс методів інтелектуально-аналітичної обробки, що оголошує наступні основні методи:

1) *getResultSubject* – вихідна форма результату обробки

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: екземпляр класу *Subject*.

2) *getResult* – результат у формі строки *String*.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: типу *String*

3) *getClassCount* – кількість класів в обробці

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: типу *int*.

4) *run* – запуск процесу обробки.

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: немає.

SketchTechnique (*elders.council.images.technics.SketchTechnique*) є шаблоном для методів обробки, та надає реалізацію наступних методів:

1) `isSetup` – перевірка готовності методу до роботи

Вхідні дані: немає.

Вихідні: типу `Boolean`.

2) `getGridImage` – підготовка до секторного кластерного аналізу (підрозділ 2.1).

Вхідні дані: немає.

Вихідні: масив типу `double`.

3) `GetSmoothedImage` – згладжування результатів для побудови вихідної форми (підрозділ 2.4).

Вхідні дані: немає.

Вихідні: екземпляр класу `Subject`.

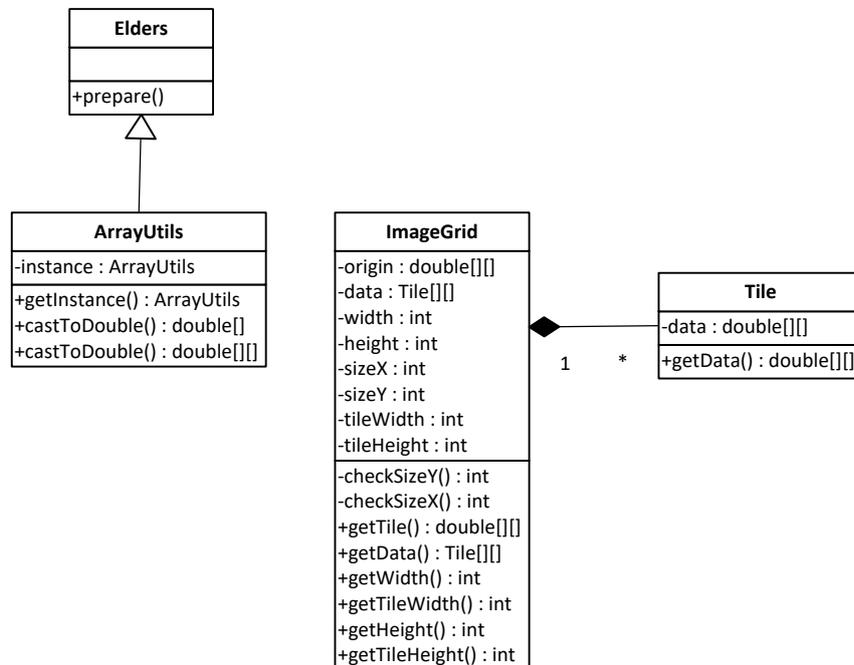


Рис. 3.19 UML-діаграма пакету `utils` компоненту `Elders`

Пакет `utils` складається з одного класу `Elder`: `ArrayUtils` та допоміжних класів `ImageGrid` та `Tile`.

ArrayUtils (*elders.council.utils.ArrayUtils*) є допоміжним класом, що усуває незручності, пов'язані з конвертацією між класом `Double` та примітивом `double` в Java методом `castToDouble`, що має варіації з масивом `Double` на вході, та масивом `double` та навпаки.

Tile (*elders.council.utils.grid.Tile*) є декларативним класом, що має поле `data` (типу масиву `double`) та метод:

1) `getData`

Вхідні дані: немає.

Вихідні дані: масив типу `double`.

ImageGrid (*elders.council.images.grid.ImageGrid*) є допоміжним методом для реалізації секторного кластерного аналізу (підрозділ 2.1) та має наступні методи:

1) `getTile` – повертає значення вказаного `Tile`.

Вхідні дані: типу `int`, типу `int`.

Вихідні дані: масив типу `double`.

2) `getData` – повертає масив `Tile`.

Вхідні дані: немає

Вихідні дані: масив типу `Tile`.

3) `getWidth` – ширина оригінального зображення.

Вхідні дані: немає

Вихідні дані: типу `int`.

4) `getTileWidth` – ширина елемента `Tile`.

Вхідні дані: немає

Вихідні дані: типу `int`.

5) `getHeight` – висота оригінального зображення.

Вхідні дані: немає

Вихідні дані: типу `int`.

6) `getTileHeight` – висота елемента `Tile`.

Вхідні дані: немає

Вихідні дані: типу `int`.

3.5 Висновки

За результатами 3 розділу можна зробити наступні висновки:

1. Запропоновано ГІТ автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі на основі розглянутих методів попередньої обробки (підрозділ 1.3.1), кластерного аналізу (1.3.2) та запропонованих методів обробки ЦЗ посівних територій, таких як: визначення врожайності посівної площі (підрозділ 2.4), визначення пересушених ділянок на основі кластерного аналізу (підрозділ 2.5), аналізу неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів (підрозділ 2.6) та визначення аномальних об'єктів на посівній площі (підрозділ 2.7), що забезпечує підтримку прийняття рішень в області СГ;
2. На основі запропонованої ГІТ та методів обробки ЦЗ посівної площі (розділ 2), а також алгоритмів секторного кластерного аналізу, рівномірної кластеризації та побудови полігонів за результатами кластерного аналізу побудовано ГІС автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі;
3. Надано опис ГІС автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі на основі запропонованої ГІТ автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі та її структурних елементів з схемами та діаграмами.

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Розділ складається з двох підрозділів. Підрозділ 4.1 – це довідник користувача ГІС автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі Vagabond; підрозділ 4.2 – перевірка роботи оцінок, запропонованих в підрозділах 2.6-2.9 на реальних даних.

4.1. Довідник користувача ГІС VagabondGIS

Після запуску `vagabondGIS.jar`, потрапивши в вікно перегляду мапи VagabondGIS (Рис. 4.1), необхідно відкрити зображення для роботи. Відкрити зображення можна вибравши меню Файл – Відкрити, або перенесенням зображення з папки розташування в центр мапи вікна.

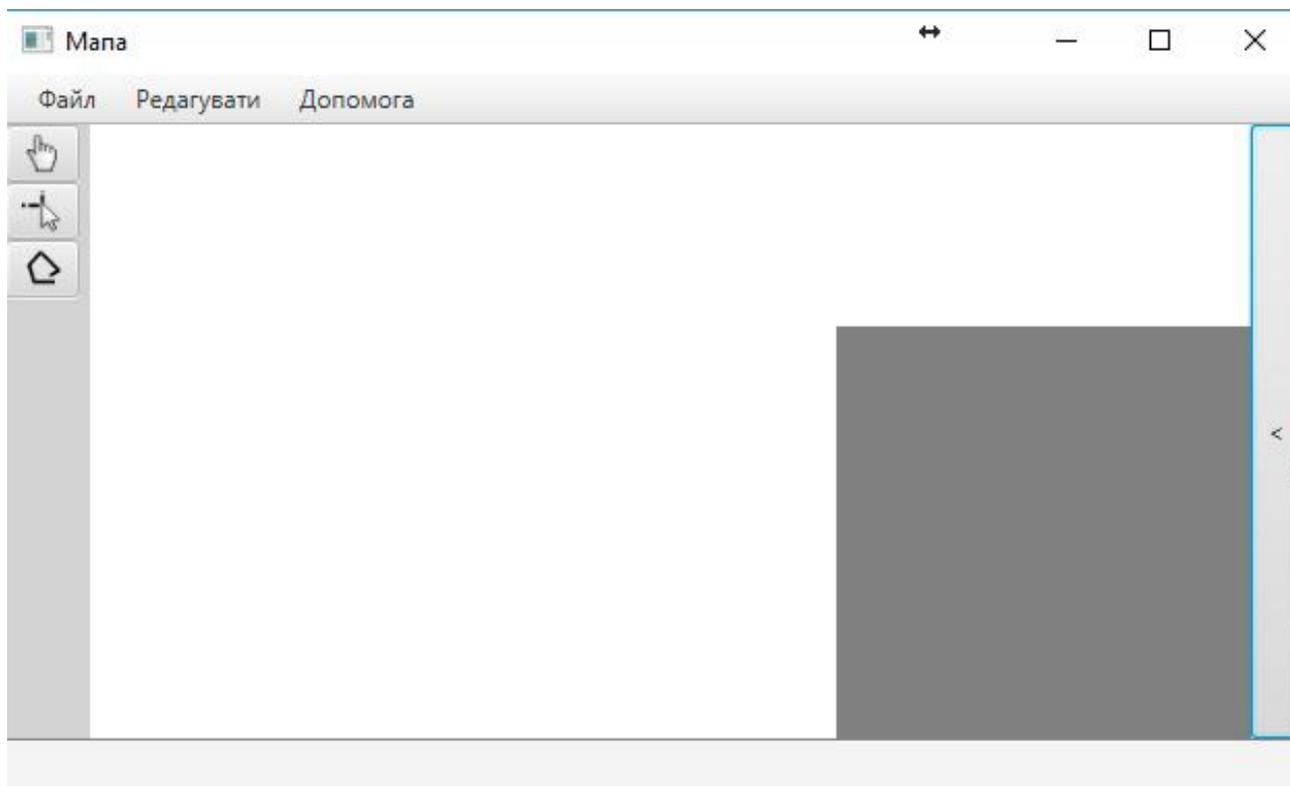


Рис. 4 1 Вікно ГІС VagabondGIS після запуску

При виявленні наявності двох джерел геоданих – GeoTiff та World File, виникає діалогове вікно вибору джерела геоданих (Рис. 4.2). Необхідно зробити

вибір, залежно від найбільш актуального джерела. Зазвичай пріоритет надається World File, проте GeoTiff є найбільш інформативним та повним форматом інформації про геоприв'язку. У випадку вибору World File, буде відкрите діалогове вікно визначення географічної системи, в якій надано дані про геоприв'язку (Рис. 4.3). Після вибору географічної системи UTM, відкривається діалогове вікно введення UTM (Рис. 4.4) зони зображення для однозначного визначення геоприв'язки. Необхідно ввести значення зони UTM.

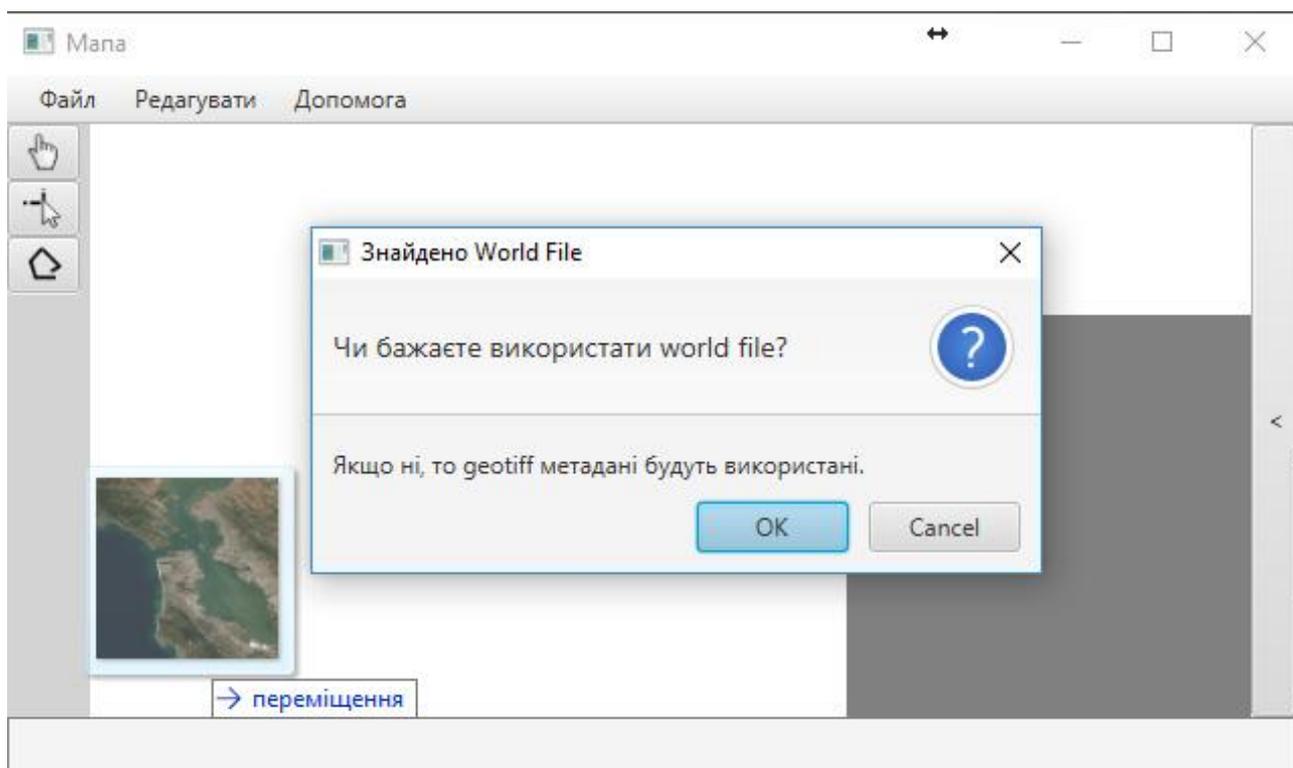
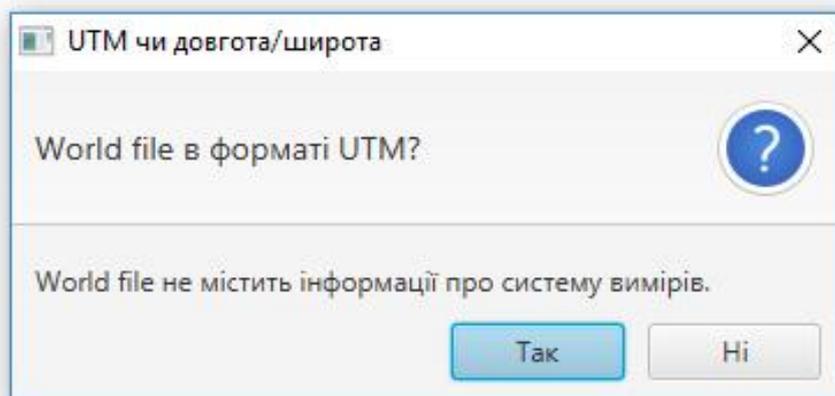


Рис. 4 2 Діалогове вікно вибору джерела геоданих



1

Рис. 4 3 Діалогове вікно вибору географічної системи, в якій задано координати

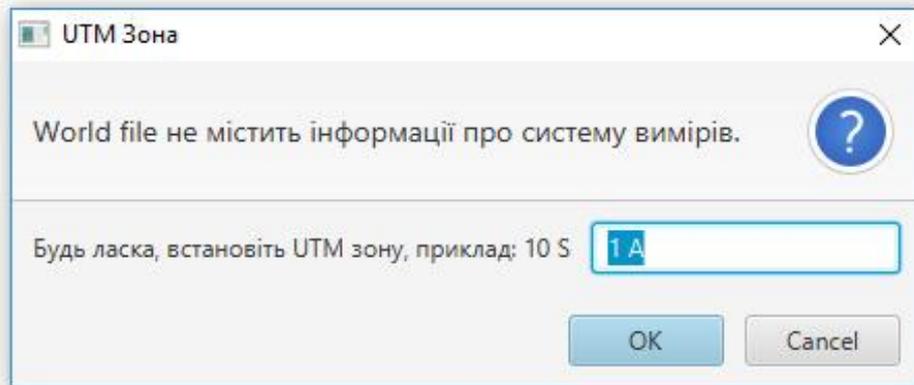


Рис. 4 4 Діалогове вікно введення UTM зони ділянки

Після завантаження зображення, використовуючи інструменти для виділення ділянки (Рис. 4.5), необхідно вибрати зону, що підлягає ретельному аналізу (Рис. 4.6). Слід зауважити, що подвійний клік правою кнопкою миші призводить до автоматичного завершення виділення поєднанням останнього вузла с першим.

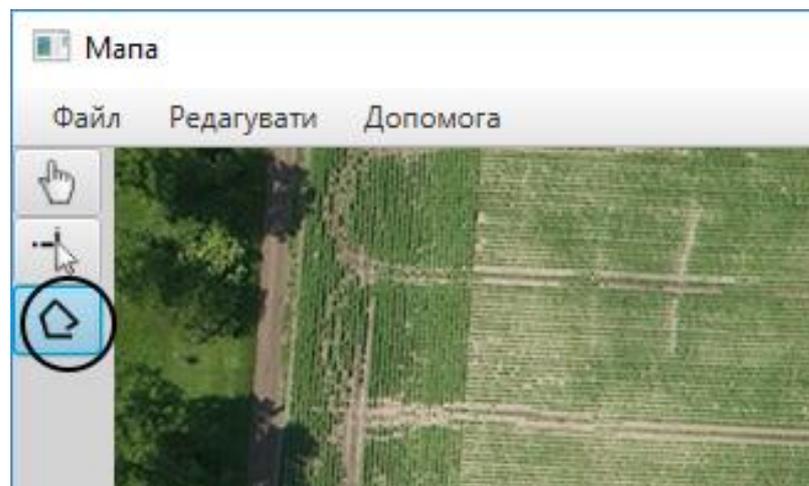


Рис. 4 5 Вибір інструмента виділення полігоном на панелі інструментів

Для того, щоб відкрити вікно створення ЕД для ретельного вивчення ділянки необхідно вибрати пункт меню Редагування – Перетворення (Рис. 4.7).

В відкритому вікні створення ЕД (Рис. 4.8) є можливість додати опис та назву для ЕД, а також деякі методи аналізу ділянки.

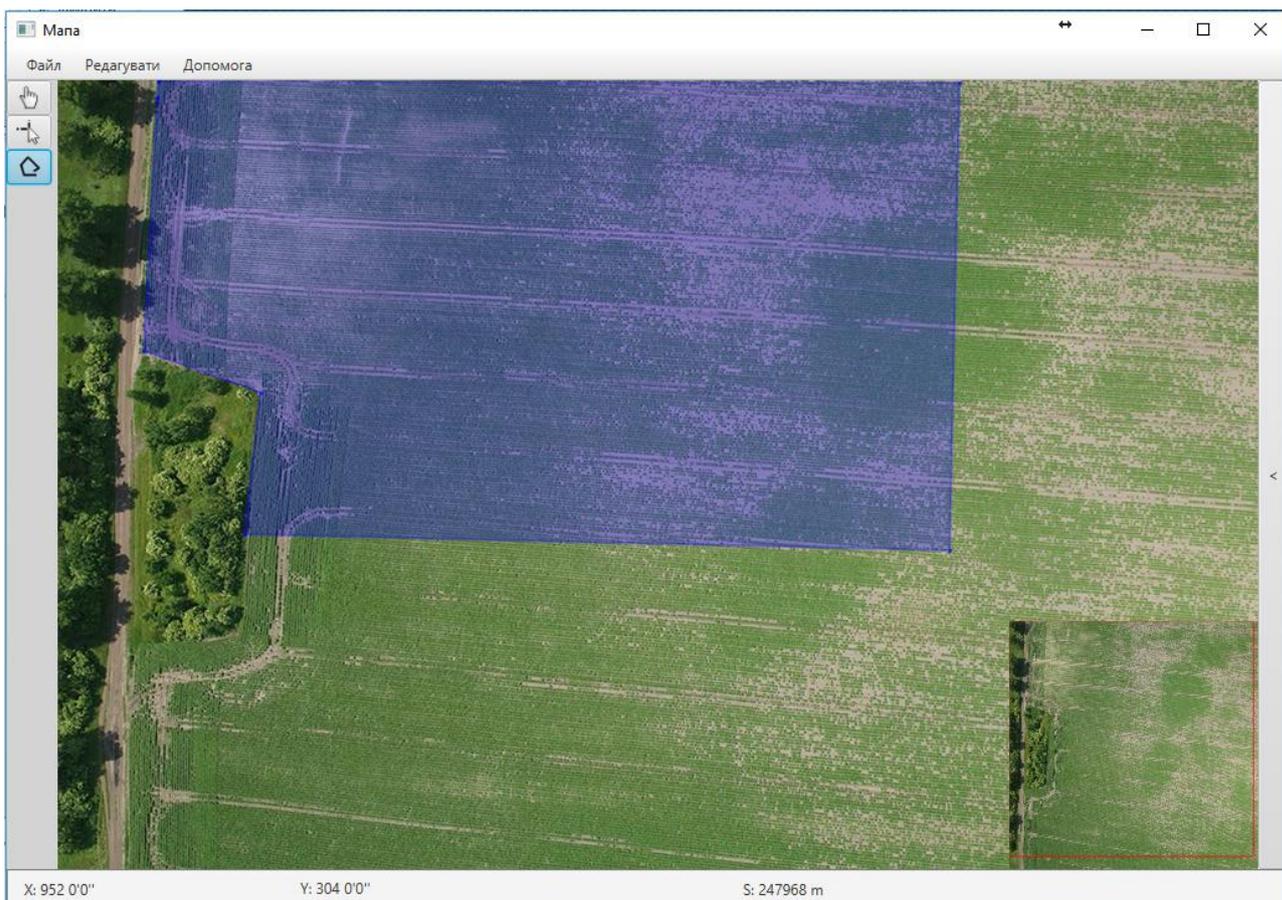


Рис. 4 6 Вибір ділянки на мапі інструментом виділення полігоном

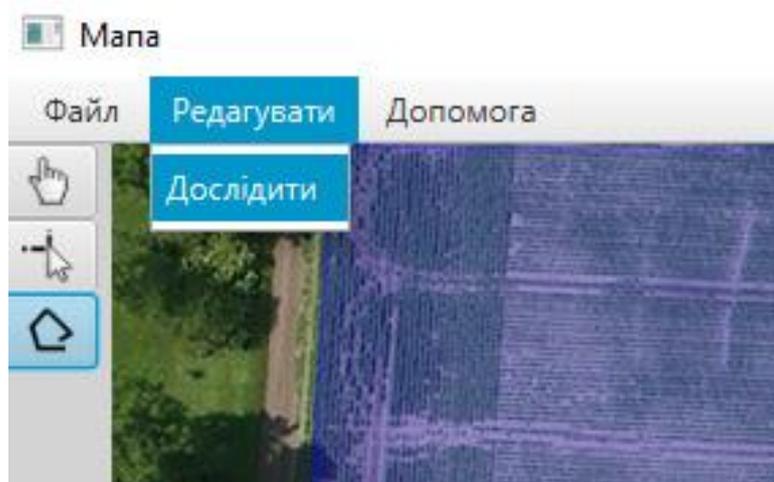


Рис. 4 7 Відкриття вікна перетворень для вибраної ділянки

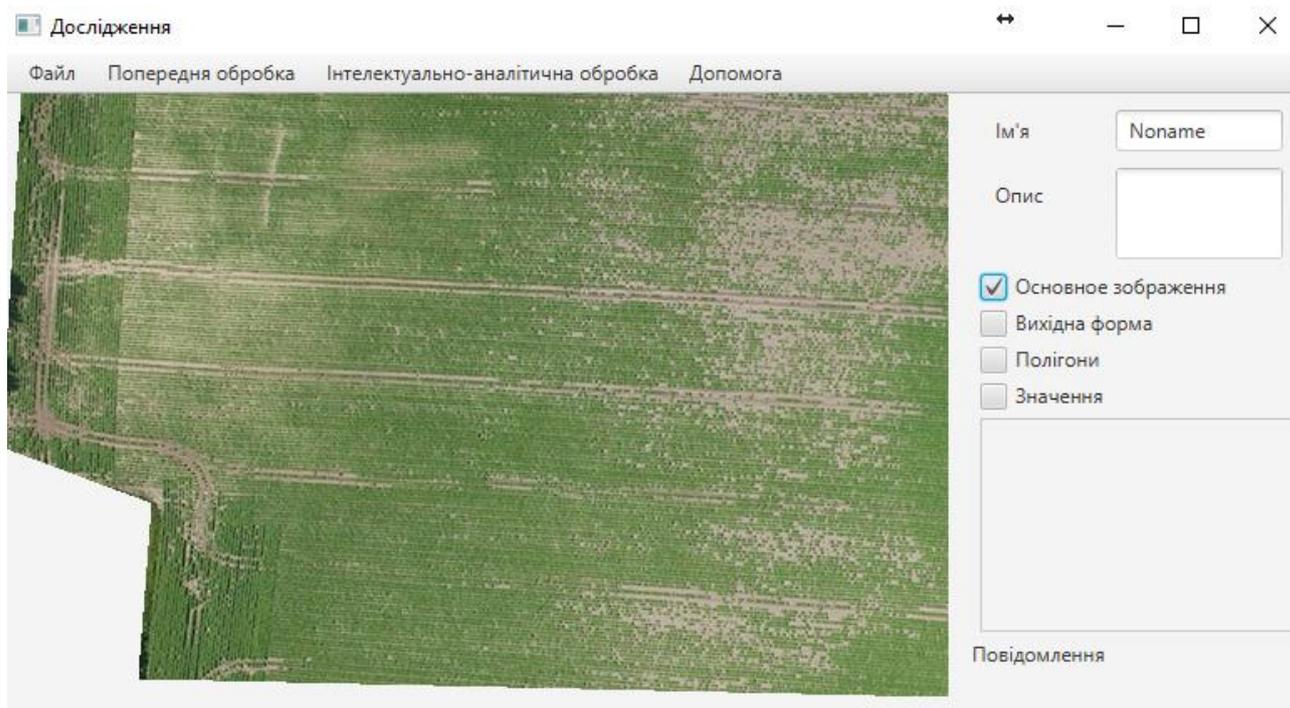


Рис. 4.8 Вікно вивчення ділянки для ретельного дослідження ділянки
Для аналізу ділянки наявними методами треба вибрати метод, що знаходиться в меню Інтелектуально-аналітичної обробки (Рис. 4.9).

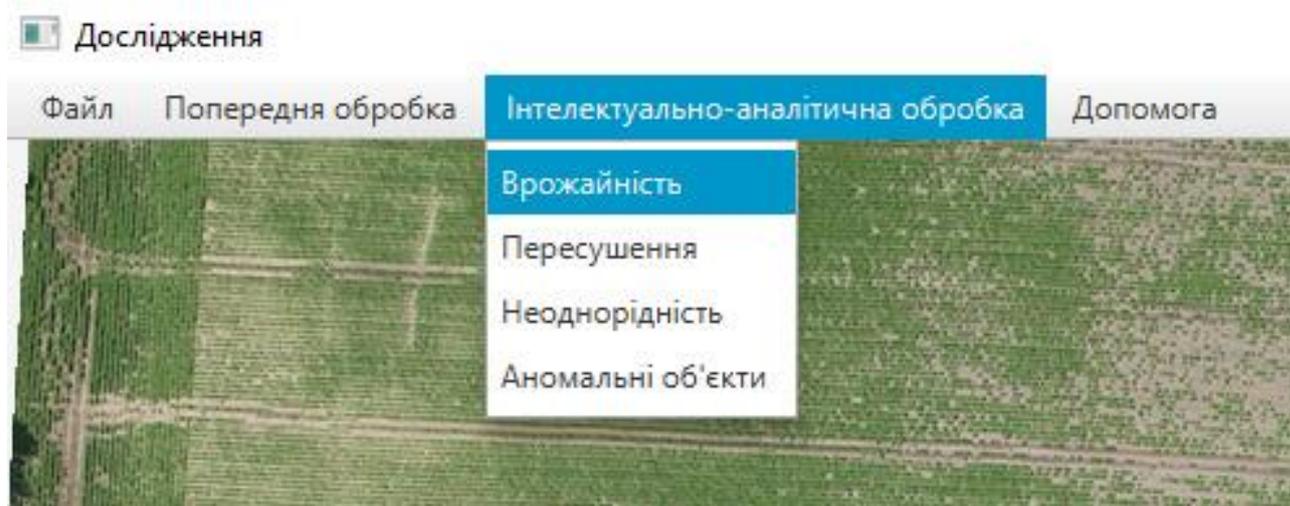


Рис. 4.9 Вибір аналізу ділянки методом Врожайність

Після проведення аналізу користувач отримує результат у вигляді (Рис. 4.10) вихідної форми аналізу, мапи розподілу величин та текстовий результат. В даному випадку (Рис. 4.10), результатом є 58% ділянки вкрито рослинністю, тобто коефіцієнт врожайності рівний 0,7.

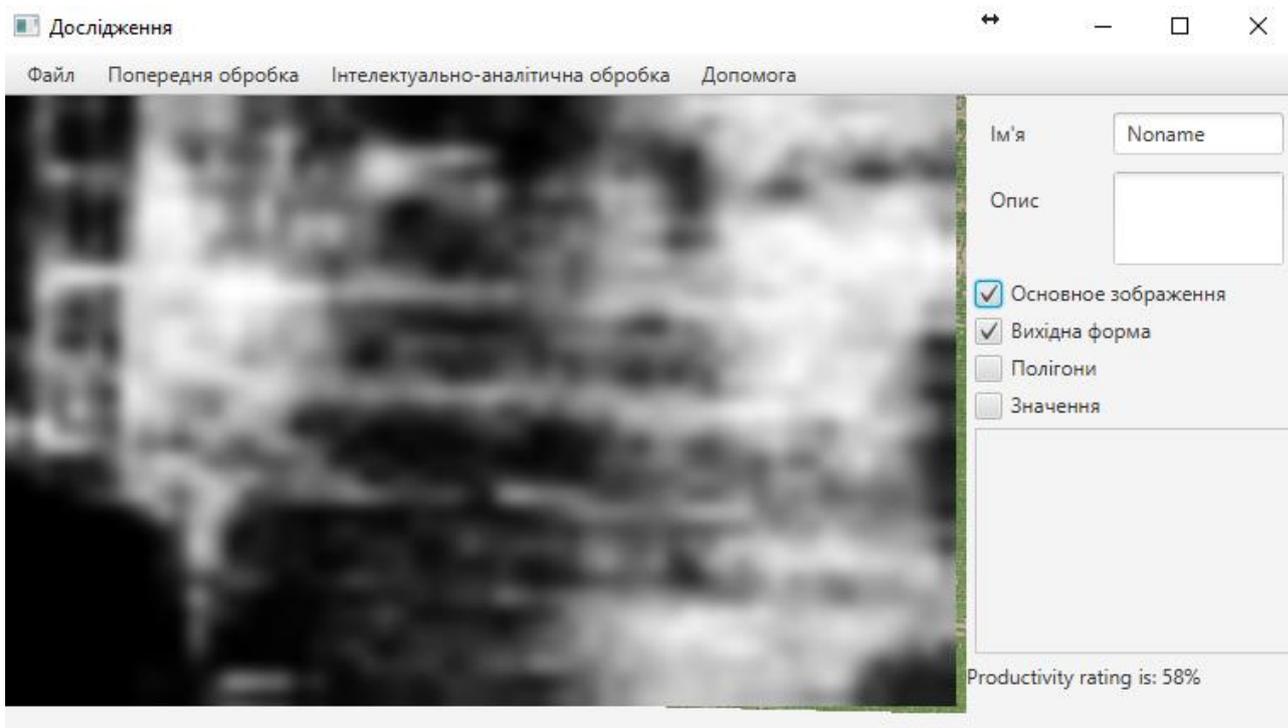


Рис. 4 10 Результат аналізу зображення методом Врожайності
Використовуючи інтерфейс збоку від зображення, можна відмітити галкою
Полігони, для відображення контурів ділянок (Рис. 4.11).

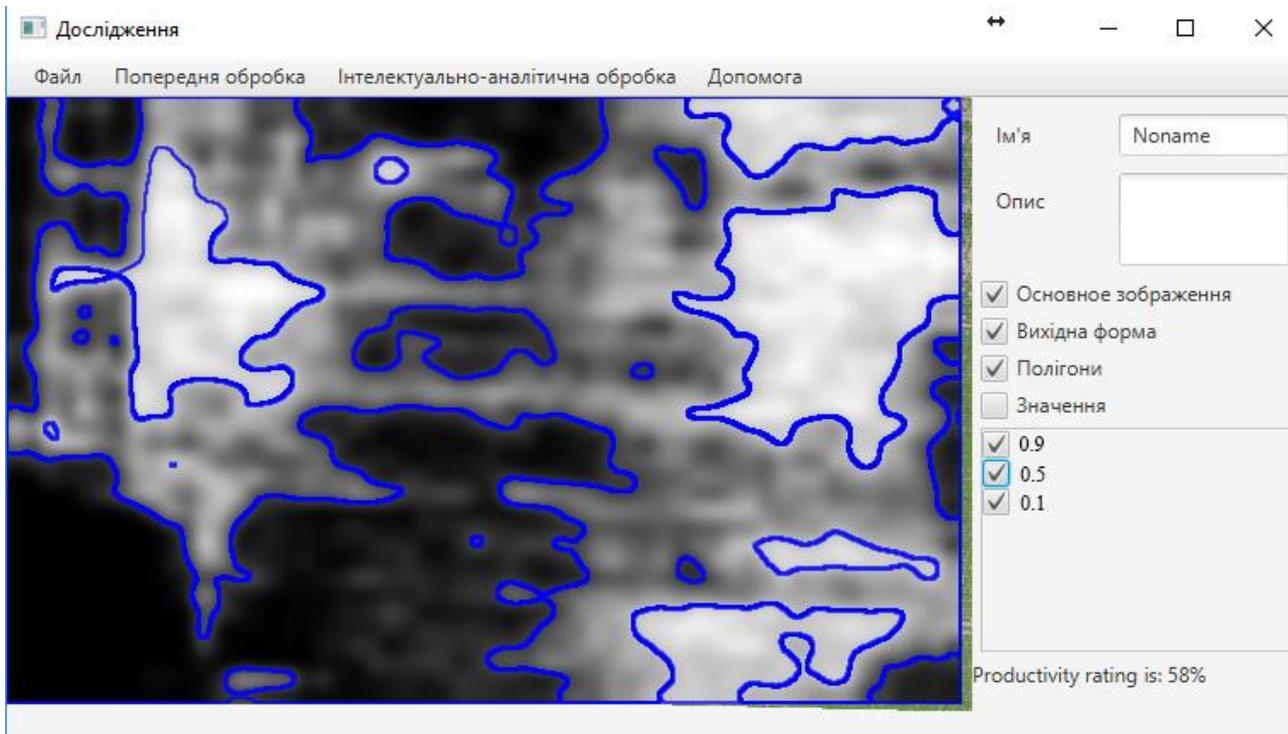


Рис. 4 11 Виділення контурів ділянок на зображенні

За необхідності на панелі полігонів справа можна вибрати ті ділянки, що представляють інтерес та експортувати у вигляді Shapefile, що є стандартом у сфері геоінформації.

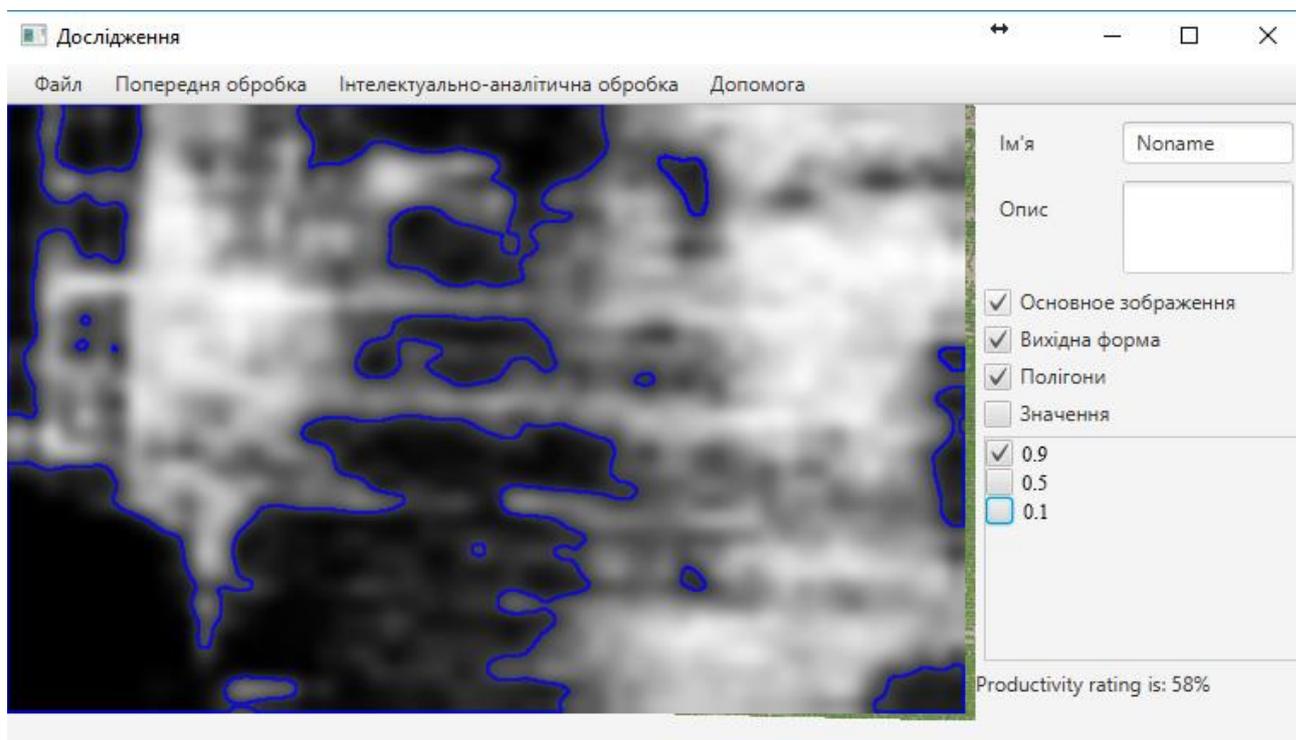


Рис. 4 12 Вибір ділянок, що представляють інтерес

При збереженні ЕД (Рис. 4.13) елемент з'явиться на основній мапі (Рис. 4.15), та до ЕД можна буде повернутися в будь-який момент.

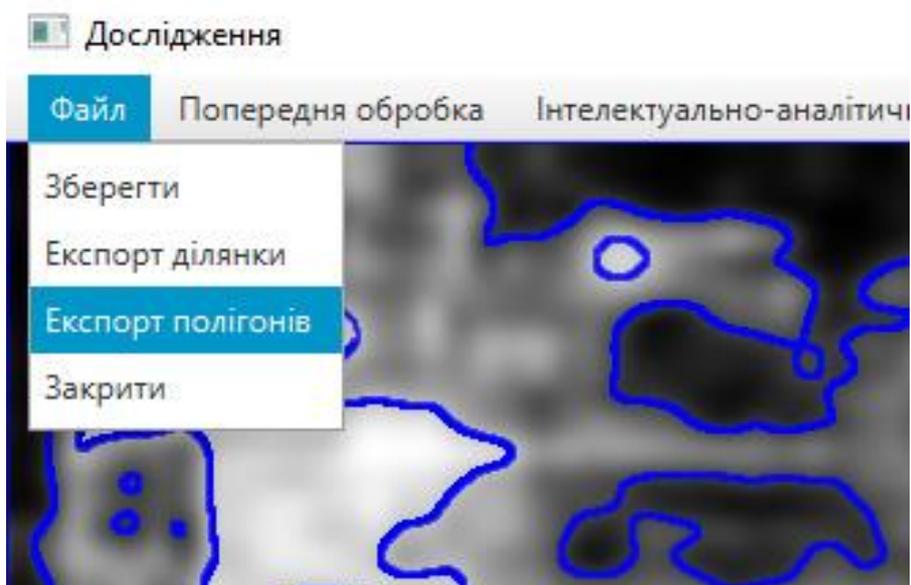


Рис. 4 13 Збереження ЕД

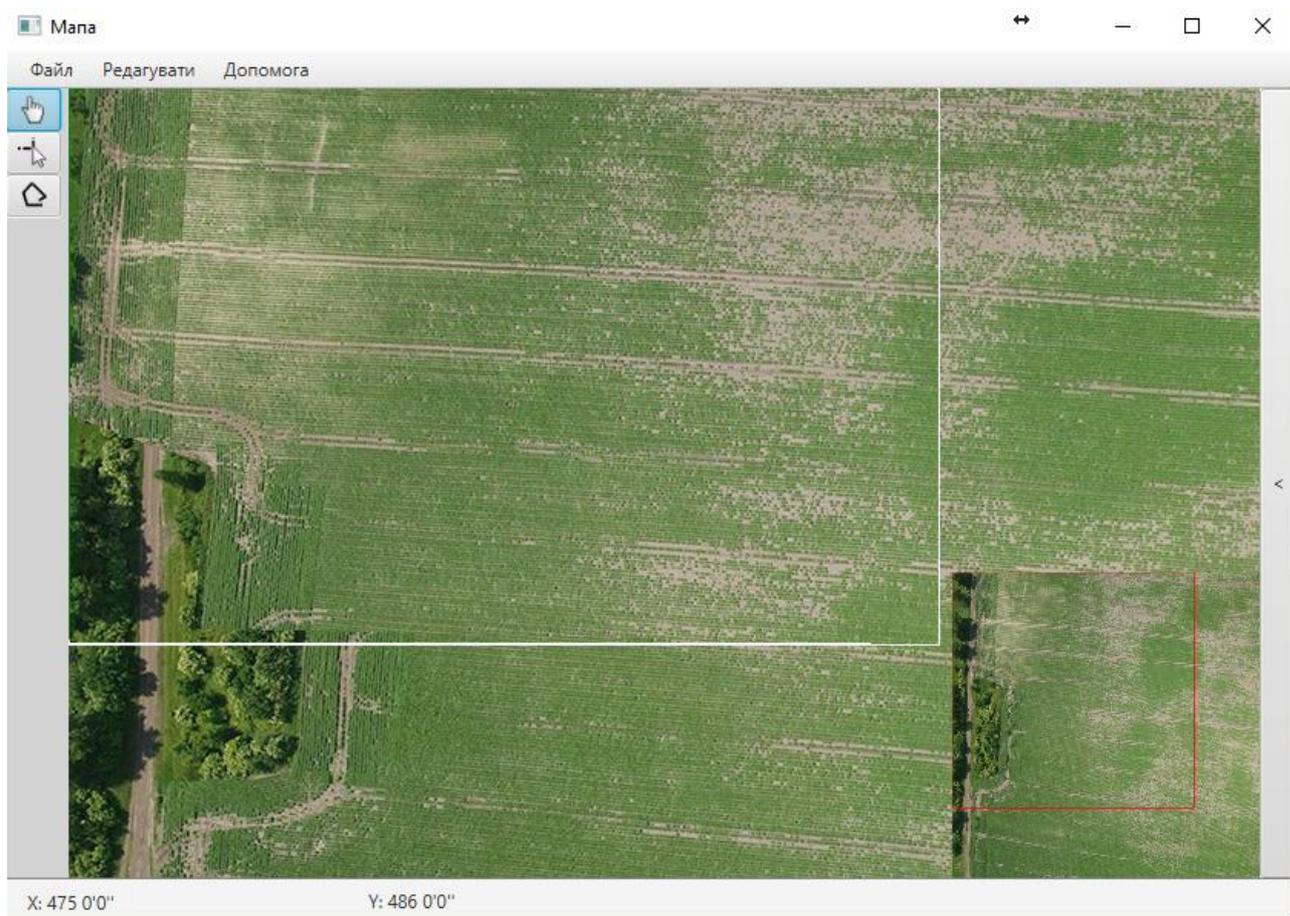


Рис. 4 14 ЕД зображений на мапі, з можливістю повернутись до дослідження

4.2 Дослідження прикладів обробки цифрових фотографій агропромислових територій

Для оцінки результатів роботи ГІС на основі методів, описаних в розділі 2 даної роботи було проведено опитування директора компанії «Геосканес» [9] Сушко В. Г. для отримання теоретичних очікуваних результатів та співставлення з результатами роботи системи.

4.2.1 Оцінка врожайності ділянки

Задано дані аерофотозйомки посівної площі (Рис. 4.16). На зображенні є поле, що покрите зеленою рослинністю, проте також наявні великі прогалини у

врожаю, що може бути наслідками недоліків посіву. Було визначено орієнтовано зони, що потребують пересівання.



Рис. 4 15 Дані аерофотозйомки з очікуваним результатом у вигляді ділянки, що необхідно виділити



Рис. 4 16 Зображення ділянок поля, що потребують пересівання на основі візуальної оцінки

Так, на (Рис. 4.16) білим кольором та штрихуванням виділено ділянки поля, рівень просівів яких візуально було оцінено неприпустимим.

Після визначення врожайності посівної площі (підрозділ 2.4) в ГІС VagabondGIS, було встановлено, що 70% площі покрито рослинністю. Було побудовано вихідну форму у вигляді мапи врожайності (Рис. 4.18), що дає можливість зробити візуальну оцінку геометричного розподілу неврожайних ділянок за значенням емпіричного коефіцієнту врожайності (підрозділ 2.4). Так на (Рис. 4.18) зображено шкалу відповідності кольору вихідної форми певному рівню врожайності, тобто білий колір відповідає 10% і меншому рівню врожайності, а чорний – 100% рівню врожайності.

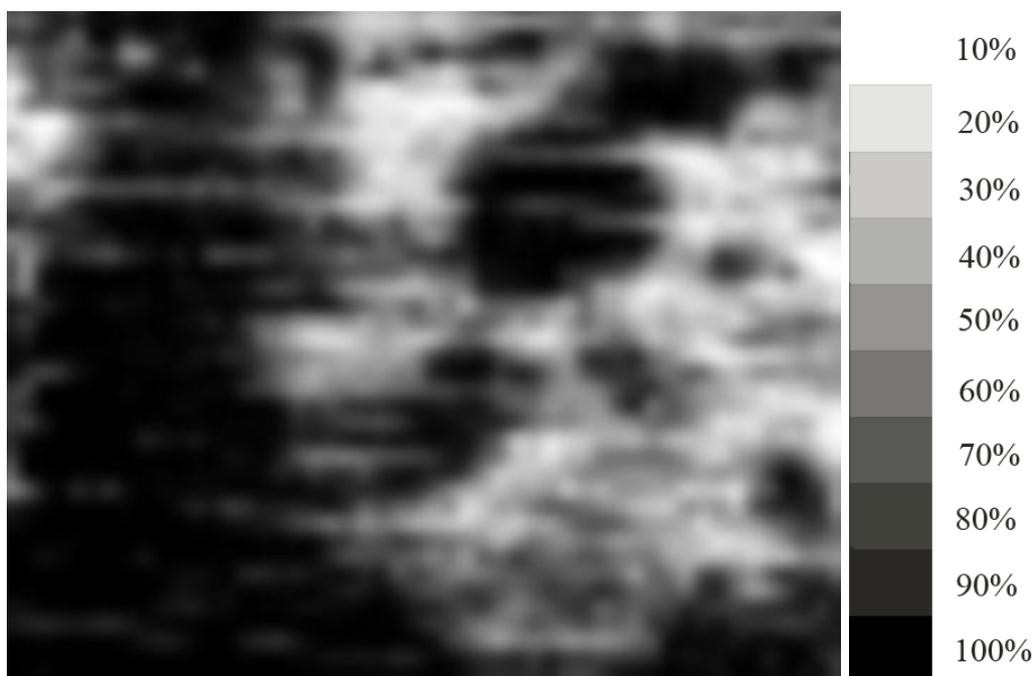


Рис. 4 17 Вихідна форма відображення результатів визначення врожайності

На основі отриманих результатів, використаємо алгоритм побудови полігонів за результатами кластеризації (підрозділ 2.3) для отримання полігонального опису ділянок, що потребують пересівання. Так, на (Рис. 4.19) виділено білим кольором зовнішні і внутрішні границі ділянок, що потребують пересівання. Для отримання їх координат, необхідно експортувати полігони в shapefile.

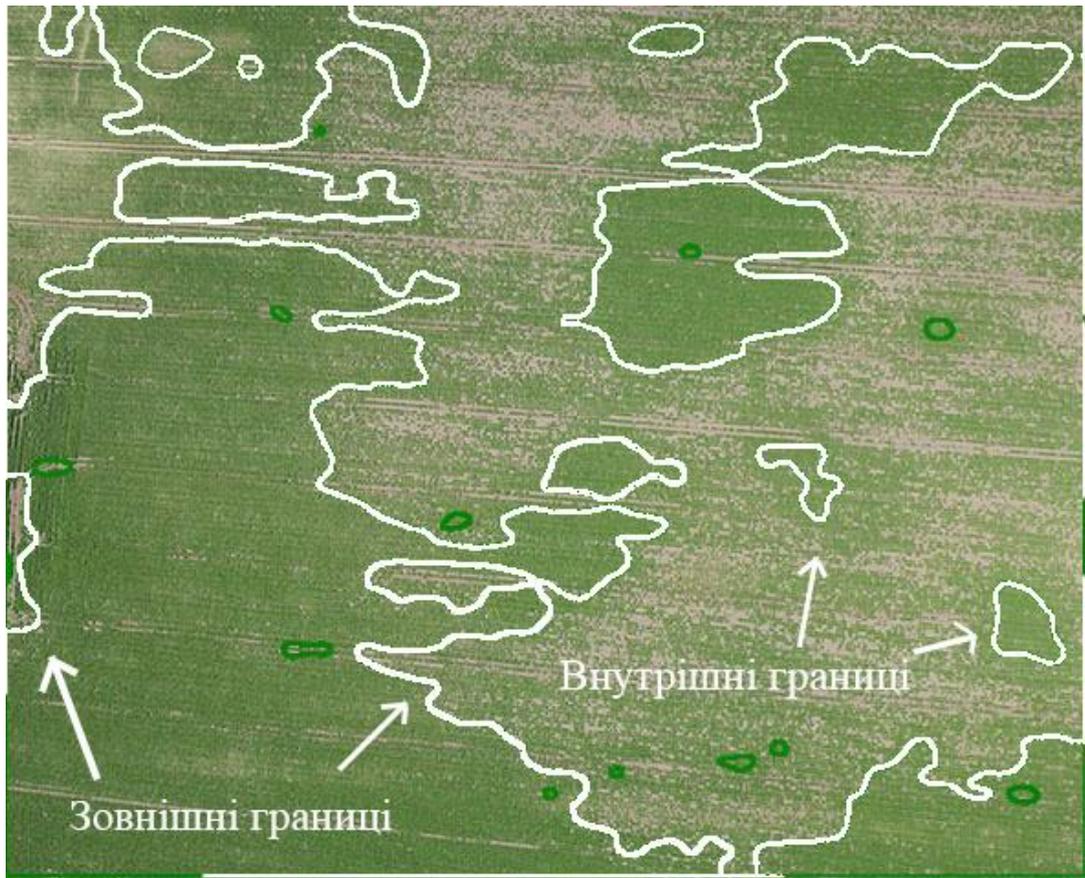


Рис. 4 18 Полігональний опис ділянок, отриманих в результаті визначення врожайності посівної площі

За результатами опитування спеціалістів, такий результат можна вважати задовільним.

4.2.2 Оцінка пересушених ділянок на основі кластерного аналізу

Задано дані аерофотозйомки посівної площі (Рис. 4.20). На зображенні приведено ділянку поля після поливу. Як можна бачити, результати поливу неоднорідні, що пов'язано з тим, що саме поле не є однорідним і потребує різну кількість води. Таким чином визначення різниці в водній потребі, може допомогти рівномірно забезпечувати водою землю з точки зору потреби, а не водовитрат. Було визначено орієнтовано зони, що потребують додаткового поливу. На (Рис. 4.21) вологі ділянки виділені білим кольором та штриховкою з написом «Сухі ділянки».



Рис. 4 19 Дані аерофотозйомки посівної площі після поливу

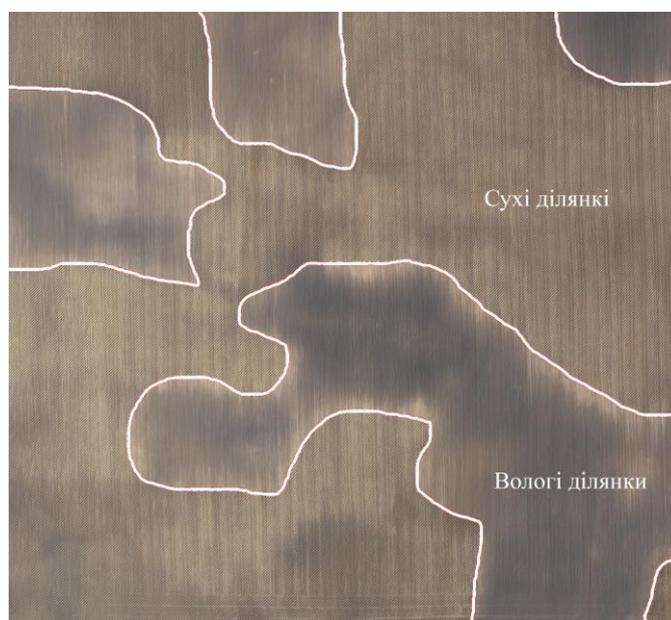


Рис. 4 20 Зображення ділянок поля, що потребують додаткового поливу

В результаті визначення пересушених ділянок на основі кластерного аналізу в ГІС VagabondGIS було встановлено, що 49% площі зволожено достатньо, а 51% - недостатньо. На основі результатів аналізу було побудовано вихідну форму у вигляді мапи (Рис. 4.22), що надає можливість візуальної оцінки. На шкалі зображено відповідність кольору вихідної форми певному рівню сухості поля, тобто білий – 10% і нижче, а 100% - максимальне зволоження.

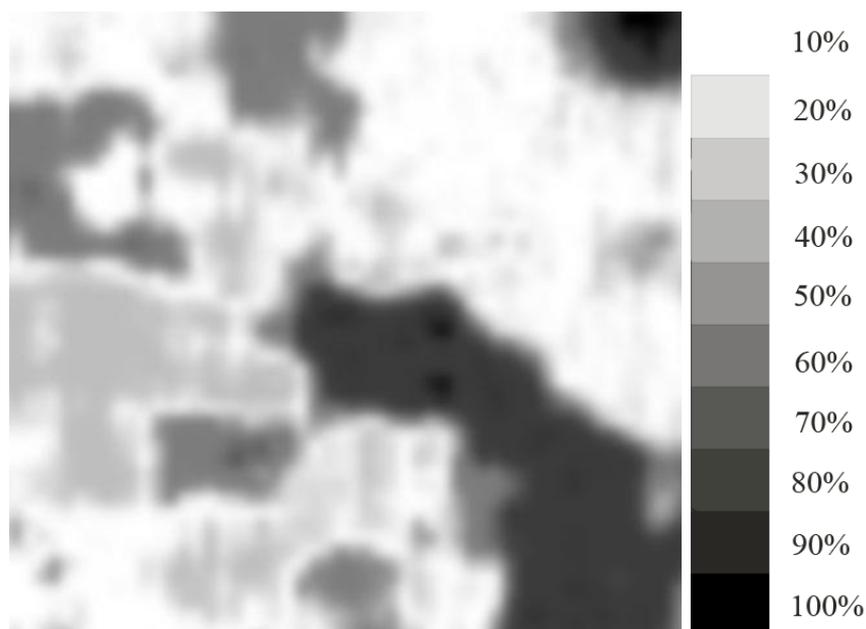


Рис. 4 21 Вихідна форма візуалізації результатів визначення пересушених ділянок на основі кластерного аналізу

На основі отриманих результатів, використаємо алгоритм побудови полігонів за результатами кластеризації (підрозділ 2.3) для отримання полігонального опису ділянок, що потребують додаткового поливу для рівномірного зволоження. На (Рис. 4.23) зображено результати аналізу, та границі ділянки, що підлягають додатковому поливу виділені білим кольором. Для отримання координат, необхідно експортувати полігони в форматі shapefile.

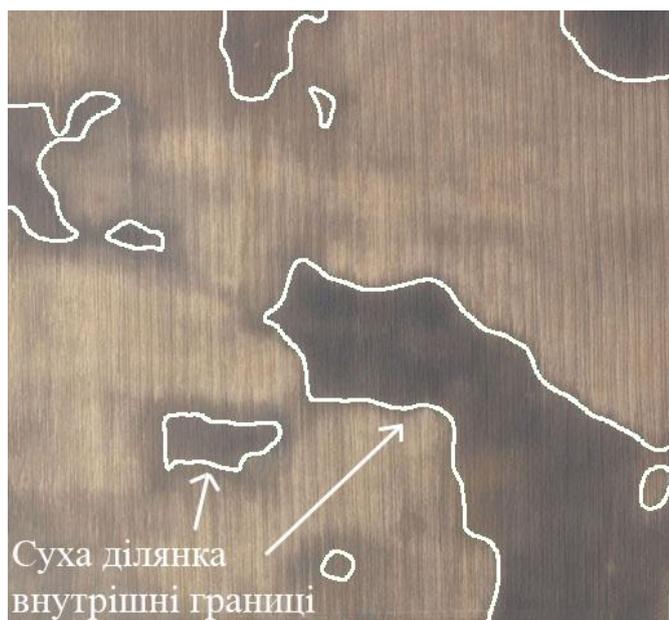


Рис. 4 22 Полігональний опис ділянок, що потребують додаткового поливу

За результатами опитування спеціалістів, такий результат можна вважати задовільним.

4.2.3 Оцінка аномальних явищ на посівній площі

Задано дані аерофотозйомки посівної площі, на якій білим кольором виділено аномальне утворення (Рис. 4.24), що імовірно є пошкодженням вогнем, або високими температурами.

При визначення аномальних явищ на посівній площі в ГІС VagabondGIS, було сформовано вихідну форму на основі результатів аналізу для візуальної оцінки (Рис. 4.25), де шкала зображає відповідність кольору на вихідній формі рівню аномальності ділянки (тобто те, як сильно ділянка відрізняється), де білий – ділянка є однорідною, а чорний – ділянка є аномальним утворенням.



Рис. 4 23 Дані аерофотозйомки посівної площі з аномальним утворенням

Сформовано полігональний опис ділянок (Рис. 4.26), на якому білим кольором виділено границі аномальних ділянок.

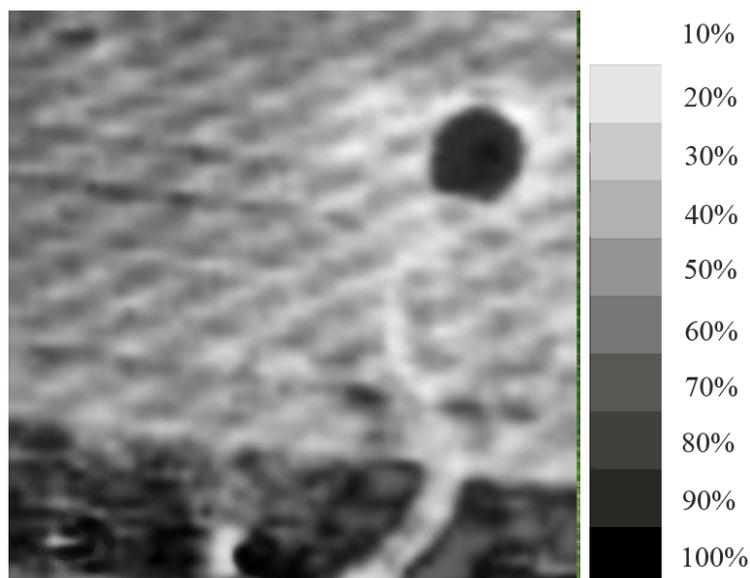


Рис. 4 24 Вихідна форма результатів визначення аномальних явищ на посівній площі



Рис. 4 25 Полігональний опис аномальних ділянок на посівній площі.

Оцінки визначення аномальних виділяє більше ділянок, ніж було визначено спеціалістом, проте шуканий об'єкт присутній у виділених, що при забезпеченні підтримки прийняття рішень є достатнім.

4.2.4 Аналіз неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів

Задано дані аерофотозйомки посівної площі (Рис. 4.27). На зображенні лісова зона, що складається з двох типів насаджень. Задача визначити співвідношення типів та їх місцезнаходження. На (Рис. 4.28) візуальна оцінка

бажаного результату, де білим кольором виділено границі меншої культури суміші, що зображена на даних аерофотозйомки.



Рис. 4 26 Дані аерофотозйомки з зображенням неоднорідної текстури лісової зони



Рис. 4 27 Бажаний результат аналізу неоднорідних текстур за виділенням ділянок з меншою культурою

В результаті аналізу неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів в ГІС VagabondGIS, було визначено, що вміст меншої текстури становить 23% загальної площі. Було сформовано вихідну форму відображення результатів (Рис. 4.29), з шкалою відповідності кольору рівню неоднорідності.

Так, білий колір означає що неоднорідність ділянки відповідає менше ніж 10%, коли чорний – 100% суміші.

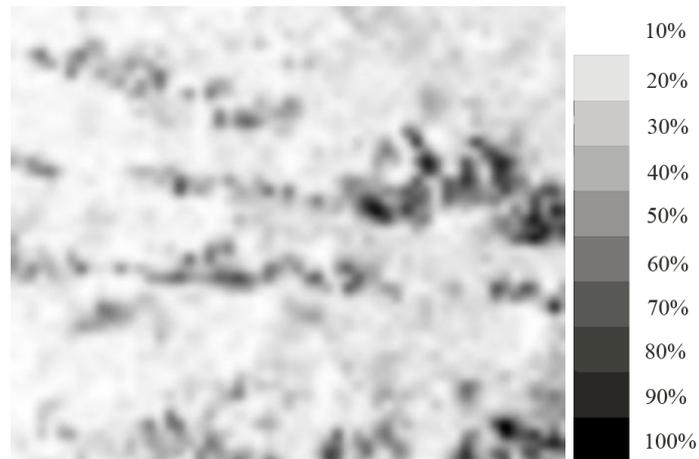


Рис. 4 28 Вихідна форма візуалізації результатів аналізу неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів

На основі результатів аналізу неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів в ГІС VagabondGIS було отримано полігональний опис ділянок (Рис. 4.30) (зовнішні границі ділянок виділено білим кольором), з високим вмістом текстур певного типу за алгоритмом побудови полігонів на основі результатів кластерного аналізу (підрозділ 2.3).



Рис. 4 29 Полігональний опис ділянок з представленими на зображенні текстурами після аналізу неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів

За результатами опитування спеціалістів, такий результат можна вважати задовільним.

4.3 Висновки

1. Представлено довідник користувача ГІС автоматизованої обробки даних аерофотозйомки посівної площі VagabondGIS.
2. Проведено перевірку відповідності результатів визначення врожайності ділянки очікуваним, що показала задовільний результат.
3. Проведено перевірку відповідності результатів визначення пересушених ділянок на основі кластерного аналізу очікуваним, що показала задовільний результат.
4. Проведено перевірку відповідності результатів визначення аномальних явищу очікуваним, що показала, що оцінка підходить для забезпечення підтримки прийняття рішень.
5. Проведено відповідність результатів аналізу неоднорідних текстур на основі оцінки суміші розподілів очікуваним, що показала, що результати аналізу є задовільними.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота становить собою закінчене наукове дослідження, в якому розв'язано актуальну науково-технічну задачу зі створення геоінформаційної технології автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою, що призначена для забезпечення інформацією процесів прийняття рішень шляхом організації неперервних спостережень та обробки їх результатів.

При виконанні дисертаційної роботи отримані такі результати:

1. Проведено дослідження існуючих методів роботи з цифровим зображенням та основних завдань на аналіз зображення, що дозволили визначити основні перспективні напрямки цифрової обробки зображення в контексті роботи з даними аерофотозйомки, а саме фільтрацію зображення лінійними B-сплайнами близькими до інтерполяційних у середньому, лінійні оператори покращення зображення, та ймовірнісний підхід кластерного аналізу без вчителя для подальшого аналізу та обґрунтувати і поставити завдання дослідження.

2. Запропоновано неперервну пошарову модель зображення на основі кластерного аналізу та локальної сплайн-апроксимації, що описує розподіл інтенсивності неоднорідного цифрового зображення у вигляді суміші розподілів складових з діапазону бачення, та на відміну від інших на різних ділянках цифрового зображення має вагові коефіцієнти, що дозволяє більш адекватно описувати локальні особливості окремих складових цифрового зображення.

3. Запропоновано метод оцінки пошарових складових цифрового зображення, який на відміну від інших використовує нову пошарову модель зображення, що дозволяє побудову просторової апроксимації складових текстур зображення. Адекватність запропонованого методу підтверджується можливістю використання локальних поліноміальних сплайнів на основі B-

сплайнів, що близькі до інтерполяційних у середньому в якості моделі аналогового зображення.

4. Створено геоінформаційну технологію автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою Vagabond, що на відміну від інших використовує нові пошарову модель цифрового зображення та оцінки числових характеристик посівних площ, та дозволяє автоматизувати роботи з побудови завдання для наземної техніки на основі даних аерофотозйомки у вигляді цифрового опису ділянок з географічною прив'язкою, що входять до технології багаторівневого моніторингу на локальному рівні (мікрорівні). Практична цінність запропонованих технології підтверджено актами впровадження на підприємствах.

5. Вдосконалено оцінки числових характеристик посівної площі, які на відміну від інших побудовані на основі нового методу оцінки пошарових складових та відомих підходів до кластерного аналізу, що дозволяє обчислити оцінки коефіцієнтів врожайності та пересушення, суміші агрокультур та наявності аномальних утворень. Адекватність запропонованих евристичних оцінок врожайності підтверджується безпосередньо перевіркою на місцевості, наданої фахівцями в даній області.

6. Розроблено локальну ГІС VagabondGIS, що є частиною геоінформаційної технології автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою Vagabond, що відрізняється від інших своєю доступністю, наявністю програмної реалізації нових оцінок числових характеристик посівної площі та дозволяє проводити інтелектуально-аналітичний аналіз даних аерофотозйомки для забезпечення підтримки прийняття рішень в сфері землеробства та формувати цифровий опис ділянок з географічною прив'язкою. Використання системи на підприємстві дозволило скоротити час на планування робіт на 13% та вдвічі зменшити час на підготовку завдання для наземної техніки за рахунок автоматизації побудови цифрового опису ділянки з географічною прив'язкою. Розроблено нові алгоритми та модифікації існуючих підходів до обробки цифрового зображення, практична

цінність яких підтверджена актом впровадження в навчальний процес Національного авіаційного університету.

7. Проведені експериментальні дослідження інтелектуально-аналітичної обробки запропонованої в роботі на основі оцінок, в реалізації ГІС VagabondGIS та проведено аналіз отриманих результатів з консультантом з предметної області, що постановили що розробки мають потенціал застосування в сільському господарстві для економії витрат пов'язаних з автоматизацією повітряного моніторингу посівних територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A. Hamzah, «A Prediction of Future Land Use/Land Cover in Amman Area Using GIS-Based Markov Model and Remote Sensing», *Journal of Geographic Information System*, vol. 8, pp. 412 –427, 2016.
2. U. Emmanuel, O. Ojinnaka, C. Baywood, and U. Gift, «Flood Hazard Analysis and Damage Assessment of 2012 Flood in Anambra State Using GIS and Remote Sensing Approach», *American Journal of Geographic Information System*, vol.4, no. 1, pp. 38 – 51, 2015.
3. I. Sa’ad, H. Isah, and L. Usman, «Spatial Pattern of Tuberculosis Prevalence in Nigeria: A Comparative Analysis of Spatial Autocorrelation Indices», *American Journal of Geographic Information System*, vol. 4, no. 3, pp. 87 – 94, 2015.
4. M. Shawky, «The Effects of Population Characteristics on Fertility Preferences in Eastern Delta Governorates, Egypt: A GIS Based of Spatial Local Modelling», *American Journal of Geographic Information System*, vol. 4, no. 3, pp. 105 – 120, 2015.
5. Y. Mohamed, K. Fatima, and S. Abul, «A GIS Application for Location Selection and Customers' Preferences for Shopping Malls in Al Ain City; UAE», *American Journal of Geographic Information System*, vol. 4, no. 2, pp. 76 – 86, 2015.
6. K. Sanaullah, Q. Said, A. Romana, and S. Zia-Ul-Haq, «Spatio-Temporal Analysis of Landuse/Landcover Change of District Pishin Using Satellite Imagery and GIS», *Journal of Geographic Information System*, vol. 8, no. 3, pp. 361 – 368, 2016.
7. T. Goddard, «What Is Precision Farming», *Precision Farming Conf.*, 1997, [Електронний ресурс]. Доступно: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/sag1951](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/sag1951). Дата звернення: Бер. 24, 2017.
8. S. Griffiths, «The world faces widespread food shortages due to global warming», 2015, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3373018/The-world-faces->

widespread-food-shortages-global-warming-Crops-scarce-droughts-ravage-Africa-Asia.html. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

9. Геосканес, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://geoskanes.com.ua/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

10. В. Курочкін, та П. Приставка, «Оцінка пошарових складових цифрового зображення на основі кластерного аналізу та сплайн-апроксимації», *Проблеми інформатизації та управління*, т. 57, № 1, с. 62 – 68, 2017.

11. В. Курочкін та П. Приставка, «Аналіз неоднорідних текстур посівних площ на основі оцінки суміші розподілів», *Наукоємні технології*, т. 28, № 4, с. 305 – 310, 2015.

12. Android, the world's most popular mobile platform, [Електронний ресурс]. Доступно: <https://developer.android.com/about/android.html>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

13. ArcGIS Apply Geography to Every Decision, [Електронний ресурс] Доступно: <http://www.esri.com/software/arcgis>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

14. A. DeJoia, and M. Duncan, «What is «Precision Agriculture» and why is it important», 2015, [Електронний ресурс]. Доступно: <https://soilsmatter.wordpress.com/2015/02/27/what-is-precision-agriculture-and-why-is-it-important/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

15. F. Gueririni, «The future of agriculture?», *Smart Farming*, 2015, [Електронний ресурс] Доступно: <http://www.forbes.com/sites/federicoguerrini/2015/02/18/the-future-of-agriculture-smart-farming/#60212edf337c>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

16. Горизонт 2020, Офіційний сайт Міністерства освіти і науки України [Електронний ресурс]. Доступно: <http://mon.gov.ua/activity/mizhnarodni-zvyazki/uchast-u-programax-es-erazmus-ta-gorizont-2020/gorizont-2020.html>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

17. D. Herring, «Precision Farming», *Earth Observatory*, 2001, [Електронний ресурс] Доступно:

<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/PrecisionFarming/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

18. J. Lowenberg-DeBoer, «The Precision Agriculture Revolution», *Foreign Affairs*, 2015, [Електронний ресурс] Доступно: <https://www.foreignaffairs.com/articles/united-states/2015-04-20/precision-agriculture-revolution>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

19. R. Godwin, «Precision farming», 2015, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.ingenia.org.uk/Ingenia/Articles/972>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

20. C. Slave, «Analysis of Agricultural Areas Using Satellite Images», *International Journal of Academic Research in Environment and Geography*, vol. 1, no. 2, pp. 26 – 32, 2014.

21. A. Vibhute, and S. Bodhe, «Applications of Image Processing in Agriculture: A Survey», *International Journal of Computer Applications*, vol. 52, no. 2, 2012, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://research.ijcaonline.org/volume52/number2/pxc3881495.pdf>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

22. P. Hill, «Learn more about drones and their benefits at Cereals», 2016, [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.fwi.co.uk/arable/learn-more-about-drones-and-their-benefits-at-cereals.htm>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

23. З. Боярська, «Використання повітряного простору України безпілотними літальними апаратами - Повітряне і космічне право», на *II Міжнар. наук. конф. «Становлення держави і права в умовах глобалізації: теоретичний та практичний аспект»*, Київ, 2012, с. 366 – 368.

24. В. Воронов, «Комплексная система мониторинга объектов ОАО «Газпром» с помощью БЛА», 2009, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://uav.ru/articles/KSKM.pdf>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

25. PrecisionHawk. Empowering the commercial drone industry, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.precisionhawk.com/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

26. M. Grassi, «5 Actual Uses For Drones In Precision Agriculture Today», 2014, [Электронный ресурс]. Доступно: <http://dronelife.com/2014/12/30/5-actual-uses-drones-precision-agriculture-today/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
27. K. Hirano, «Breaking Down UAVS for Weed Detection», 2014, [Электронный ресурс]. Доступно: <http://media.precisionhawk.com/topic/breaking-down-uavs-for-weed-detection/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
28. J. Zarco-Tejada, N. Hubbard, and P. Loudjani, «Precision Agriculture: an Opportunity for EU Farmers - Potential Support with the Cap 2014-2020», *Joint Research Centre of the European Commission*, 2014, [Электронный ресурс]. Доступно: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT\(2014\)529049_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT(2014)529049_EN.pdf). Дата звернення: Бер. 24, 2017.
29. Locating cattle with unmanned aerial vehicles, 2015, [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.csiro.au/en/Research/AF/Areas/Animal-Science/Precision-livestock-management/Locating-cattle>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
30. A. Nixon, «How To Buy an Agriculture Drone: An In-Depth Buyer's Guide», *Best Drone for the Job*, 2016 [Электронный ресурс]. Доступно: <http://bestdroneforthejob.com/drone-buying-guides/agriculture-drone-buyers-guide/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
31. И. Журкин, и С. Шайтура, «Геоинформационные системы». Москва, Российская Федерация, КУДИЦ-ПРЕСС, 2009.
32. Top GIS Software Products, 2015, [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.capterra.com/gis-software/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
33. Centigon Solutions CMaps Analytics, 2016, [Электронный ресурс]. Доступно: <http://cmapsanalytics.com/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
34. QGIS The Leading Open Source Desktop GIS, [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.qgis.org/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
35. R. Hijmans, «DIVA-GIS», 2016, [Электронный ресурс] Доступно: <http://www.diva-gis.org/about>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

36. R. Hijmans, L. Guarino, M. Cruz, and E. Rojas, «Computer tools for spatial analysis of plant genetic re-sources data: 1. DIVA-GIS», *International Potato Center*, 2001, [Электронный ресурс]. Доступно: http://www.diva-gis.org/docs/pgr127_15-19.pdf. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
37. M. Sheehan, «3 Reasons GIS is Now More Affordable», *GIS Cafe*, 2013, [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www10.giscafe.com/blogs/mobilegis/2013/11/26/3-reasons-gis-is-now-more-affordable/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
38. ESRI Understanding world files, [Электронный ресурс]. Доступно: http://webhelp.esri.com/arcims/9.3/General/topics/author_world_files.htm. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
39. The Universal Transverse Mercator System, *University of Wisconsin Green Bay*, [Электронный ресурс]. Доступно: <https://www.uwgb.edu/dutchs/FieldMethods/UTMSystem.htm> - 18.10.2016. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
40. TIFF File Format Summary – FileFormat.Info, [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.fileformat.info/format/tiff/egff.htm> 18.10.2016. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
41. M. Ruth, «GeoTIFF FAQ Version 2.4», 2011, [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.remotesensing.org/geotiff/faq.html>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
42. Р. Гонсалес, и Р. Вудс, «Цифровая обработка изображений». Москва, Российская Федерация, «Техносфера», 2005.
43. А. Лигун, та О. Шумейко, «Комп'ютерна графіка». Київ, Україна, Біла К. О., 2010.
44. G. Hoffmann, «CIE Lab Color space», [Электронный ресурс]. Доступно: <http://docs-hoffmann.de/cielab03022003.pdf>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
45. H. Noda, and M. Niimi, «Colorization in YCbCr color space and its application to JPEG images», *Pattern Recognition*, vol. 40, 2007, pp. 3714-3720, [Электронный ресурс]. Доступно:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320307001793>.

Дата

звернення: Бер. 24, 2017.

46. И. Грузман, В. Киричук, В. Косых, Г. Перетягин, и А. Спектор, «Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие», Новосибирск, Российская федерация, изд-во НГТУ, 2000.

47. Б. Яне, «Цифровая обработка изображений», Москва, Российская Федерация, «Техносфера», 2007.

48. R. Szeliski, «Computer Vision: Algorithms and Applications», Springer, 2010,

49. П. Приставка, «Поліноміальні сплайни при обробці даних: Монографія». Дніпро, Україна, вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004.

50. S. Burney, and H. Tariq, «K-Means Cluster Analysis for Image Segmentation», *International Journal of Computer Applications*, vol. 96, no. 4, 2014, [Електронний ресурс].

Доступно:

<http://research.ijcaonline.org/volume96/number4/pxc3896360.pdf>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

51. C. Botte-Lecocq, K. Hammouche, A. Moussa, J.-G. Postaire, A. Sbihi, and A. Touzani, «Image Processing Techniques for Unsupervised Pattern Classification», *University of Science and Technology of Lille*, [Електронний ресурс], Доступно: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/312.pdf>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

52. H. Allende, C. Becerra, and J. Galbiati, «A Segmentation Method for Digital Images Based on Cluster Analysis», *Adaptive and Natural Computing Algorithms*, vol. 4432, 2007, pp. 554-563.

53. N. Dhanachandra, K. Manglem, and Y. Chanu, «Image Segmentation Using K-Means Clustering Algorithm, and Subtractive Clustering Algorithm», *Procedia Computer Science*, vol. 54, 2015, pp. 764-771.

54. В. Бериков, и Г. Лбов, «Современные тенденции в кластерном анализе». Новосибирск, Российская Федерация, ин-т математики им. С.Л. Соболева СО РАН, 2008.

55. A. Jain, M. Murty, and P. Flynn, «Data Clustering: A Review», [Електронний ресурс], Доступно: <https://www.cs.rutgers.edu/~mlittman/courses/lightai03/jain99data.pdf>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
56. B. Everitt, S. Landau, M. Leese, and D. Stahl, «Cluster Analysis, 5th ed.», *John Wiley & Sons, Ltd*, 2011.
57. J. Grabmeier, and A. Rudolph, «Techniques of cluster algorithms in data mining», *Data Mining and Knowledge Discovery*, vol. 6, no. 4, 2002, pp. 303 – 360.
58. A. Jain, and R. Dubes, «Algorithms for clustering data». New Jersey, United States of Amerika, A: Prentice Hall, 1988.
59. В. Бахрушин, «Методи аналізу даних». Запоріжжя, Україна, Класичний приватний університет, 2011.
60. M. Hazewinkel, «Mahalanobis distance», 2001, [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.encyclopediaofmath.org/index.php/Mahalanobis_distance. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
61. M. Taboga, «Lectures on probability theory and mathematical statistics», [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.statlect.com/fundamentals-of-probability/covariance-matrix>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.
62. S. Watanabe, «Knowing and Guessing: A Quantitative Study of Inference and Information», New York, United States of Amerika, Wiley, 1969.
63. S. Theodoridis, and K. Koutroumbas, «Pattern Recognition, 4th Edition». London, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, Academic Press, 2008.
64. M. Halkidi, Y. Batistakis, and M. Vazirgiannis, «On Clustering Validation Techniques», *Journal of Intelligent Information Systems*, vol. 17, no. 2/3, 2001, pp. 107-145.
65. L. Vijuraj, «Clustering and its Applications», *Proceedings of National Conference on New Horizons in IT*, 2013, pp. 169 – 172.
66. Р. Гонсалес, «Принципы распознавания образов», Москва, Российская Федерация, «Мир», 1978 р.

67. N. Visalakshi, and J. Suguna, «K-Means Clustering using Max-min Distance Measure», *Fuzzy Information Processing Society*, 2009, [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.researchgate.net/publication/224559165_K-means_clustering_using_Max-min_distance_measure. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

68. J. Macqueen, «Some methods for classification and analysis of multivariate observation», *Berkeley Symp. on Math. Statist. and Prob.*, 2008, [Електронний ресурс] Доступно: http://projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.bsmsp/1200512992. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

69. A. Coates, «Learning Feature Representations with K-means», *Neural Networks: Tricks of the Trade*, 2012, [Електронний ресурс]. Доступно: http://www.cs.stanford.edu/~acoates/papers/coatesng_nntot2012.pdf. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

70. G. Ball, and D. Hall, «Isodata, A Novel Method of Data Analysis and Pattern Classification», *Springfield*, 1965, [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.researchgate.net/publication/235154359_Isodata_A_Novel_Method_of_Data_Analysis_and_Pattern_Classification. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

71. The Comprehensive R Archive Network, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://cran.rstudio.com/index.html>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

72. Matlab: The language of Technical Computing, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

73. О. Кривошеїн, «Геоінформаційне моделювання потенційної продуктивності землеробських ландшафтів України», автореф. дис. канд. геогр. наук., Київський нац. ун-т ім. Т. Шевченка, Київ, 2014.

74. Ю. Самарець, «Розробка та дослідження обчислювальних технологій геоінформаційних систем», дис. канд. техн. наук, Дніпропетровський нац. ун-т., Дніпро, 2006.

75. К. Сергеева, «Геоинформационная технология анализа теплового состояния терриконов по данным космических съемок», дис. канд. тех. наук., Гос. высш. уч. зав. «Национальный горный университет», Дніпро, 2014.

76. І. Шелковська, «Моделі та методи геоінформаційного моніторингу земель прибережних територій водосховищ», дис. канд. тех. наук., Київський нац. ун-т буд. і арх., Київ, 2013.

77. С. Абрахин, «Прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций на основе математических моделей с применением ГИС-технологий», дис. канд. тех. наук, Иван. гос. энергет. ун-т, Иваново, 2013.

78. Р. Трускавецький, «Використання багатоспектрального космічного сканування та геоінформаційних систем у дослідженні ґрунтового покриву Полісся України», дис. канд. біол. наук., Нац. наук. центр "Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н.Соколовського" УААН, Харків, 2006.

79. Е. Белорусцева, «Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения Нечерноземья с применением ГИС-технологий», дис. канд. геогр. наук, Гос. ун-т по землеустройству, Москва, 2013.

80. А. Бирин, «Сравнительный анализ уровня плодородия почв с использованием ГИС-технологий», дис. канд. биолог. наук, Донской гос. аграг. ун-т, Рост.-на-Дону, 2009.

81. О. Дорожинська, «Моніторинг земель рекреаційного призначення на базі дистанційного зондування та геоінформаційних підходів», дис. канд. наук, Нац. ун-т «Львівська політехніка», Львів, 2009.

82. М. Пономаренко, «Нелінійні ітеративні методи фільтрації, реконструкції та стиску двовимірних інформаційних масивів даних дистанційного зондування», дис. канд. наук, Нац. аерокосм. ун-т, Харків, 2004.

83. Н. Пономаренко, В. Лукин, и Л. Алексеев, «Мультиоконные линейный и сигма фильтры для мультипликативного нормального шума», *Сб. науч. ст. Авиационно-космическая техника и технология*, т. 12, 1999, с. 114 – 117.

84. У. Претт, «Цифровая обработка изображений», Москва, Российская Федерация, Мир, 1982.

85. Д. Акайкин, «Оперативное обследование поврежденных насаждений с применением беспилотных летательных аппаратов и ГИС», дис. канд. сельскохозяйств. наук, С.-Петерб. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, 2012.

86. Д. Бідолах, «Геоінформаційне картографування ґрунтів неконтактними методами на прикладі лівобережної низинної провінції Лісостепу України», дис. канд. наук, Нац. аграр. ун-т., Київ, 2008.

87. В. Якимчук, «Методологія системного аналізу дистанційного зондування землі для вирішення задач екології та господарської діяльності», дис. д-ра техн. наук, Центр аерокосм. досл. Землі Ін-у геолог. наук НАН України, Київ, 2003.

88. Е. Юон, «Методика и технология унификации и обработки данных в прикладных ГИС-ориентированных системах», дис. канд. тех. наук, Гос. науч. Центр РФ, Москва, 2011.

89. Ю. Архангельська, «Розробка інформаційних технологій в задачах гідрохімічного моніторингу», дис. канд. тех. наук, Дер. в.н.з. «Дніпропетровський національний університет», Дніпро, 2016.

90. В. П. Кожем'яко, В. І. Осінський, В. Г. Салюта, В. К. Онищенко, В. Г. Васильченко, Є. О. Ходяков, Г. Д. Дорощенко, О. В. Шевченко, С. В. Дусанюк. А. В. Кожем'яко, К. В. Кожем'яко, Універсальна Геоінформаційно-енергетична система, №18683 Україна, МПК H04N 7/00, 15.11.2006.

91. Басов В. І., Білан С. М., Тимченко Л. І., Білан С. С., Беспалов Д. С., Геоінформаційна Система Моніторингу Залізничного Транспорту, №28754, МПК H04N 7/00, 25.12.2007.

92. В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський, Повністю Оптична Геоінформаційно-Енергетична Система, №33184, МПК H04N 7/00, 10.06.2008.

93. Є. С. Парняков, В. В. Бабій, Геоінформаційна Система Керування Навігаційним Станом Аеропорту з Використанням Засобів Штучного Інтелекту, №58646, МПК G06G 7/60, 26.04.2011.

94. О. В. Калюжний, Автоматизована Геоінформаційна Система Контролю над Збором, Перевезенням і Вивантаженням Об'єктів, №64582, МПК G08C 17/00, 10.11.2011.

95. В. Т. Sterling, N. R. Albu, Geographic information system for collecting data and tracking agricultural and food-related properties by type and use, № US 20130054654 A1, МПК US 13/290 881, 28.02.2013.

96. R. J. Keller, M. E. Nichols, A. F. Lange, Methods and apparatus for precision agriculture operations utilizing real time kinematic global positioning system systems, № US 6553299 B1 МПК US 09/721,372, 22.04.2003.

97. В. Курочкін, «Обробка даних моніторингу довкілля на основі аерофотозйомки», на *XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Політ. сучасні проблеми науки*, Київ, 2014, с. 86.

98. В. Курочкін, «Оцінка врожайності за даними аерофотозйомки на основі гістограми розподілу колірної у-компоненти», на *XIII Міжнар. наук.-практ. конф. Математичне і програмне забезпечення інтелектуальних систем*, Дніпро, 2015, с. 120-121.

99. В. Курочкін, «Застосування кластерного аналізу до даних аерофотозйомки про посівні території», на *XVI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів. Політ. Сучасні проблеми науки*, Київ, 2016, с. 148.

100. V. Kurochkin, «Geoinformational technology for aerial data analysis», на *VII World congress Aviation in the XXI-st century*, Kyiv, 2016, pp. 1.8.24 – 1.8.27.

101. В. Курочкін, «Дослідження інформативності кольорових складових зображення в інформаційній системі Ranger», *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій*, т. 20, с. 23 – 30, 2016

102. Э. Корнильев, И. Прокопенко, и В. Чуприн, «Устойчивые алгоритмы в автоматизированных системах обработки информации», Киев, Украина, «Тэхника», 1989.

103. И. Мозговая, «Сравнительный анализ вычислительных схем восстановления смесей распределений», *Придніпровський науковий вісник*, т. 134, № 67, 1988, с. 51 – 54.

104. А. Назаров, «Приближенные методы разделения смесей вероятностных распределений», дис. канд. ф.-м. наук, Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Москва, 2013.

105. В. Курочкін, «Система «ElfinTest» обробки моніторингу довкілля на основі кластеризації», *Наукоємні технології*, т. 26, № 2, 2015, с. 127 – 133.

106. В. Курочкін, «Аналіз та перспективи розвитку сучасних геоінформаційних рішень для оптимізації ведення сільського господарства», *Проблеми інформатизації та управління*, т. 52, № 4, 2016, с. 74 – 82.

107. В. Курочкін, «Геоінформаційна система обробки та аналізу даних повітряного моніторингу Vagabond для потреб сільського господарства», *Проблеми інформатизації та управління*, т. 55, № 3, с. 56 – 61, 2016.

108. Java SE at a Glance, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/index.html>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

109. JavaFX: Getting Started with JavaFX, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://docs.oracle.com/javase/8/javafx/get-started-tutorial/jfx-overview.htm#JFXST784>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

110. Java Advanced Imaging (JAI) API, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.oracle.com/technetwork/articles/javaee/jai-142803.html>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

111. GeoTools The Open Source Java GIS Toolkit, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.geotools.org/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

112. Lesson: Packaging Programs in JAR Files, [Електронний ресурс]. Доступно: <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/deployment/jar/>. Дата звернення: Бер. 24, 2017.

ДОДАТКИ

Таблиця 1

Таблиця результатів аналізу популярних ГІС

Назва	Платформа	Загальна характеристика	Вартість
ArcGIS	Linux, Unix, Mac OSX, Windows, Android, iOS, Веб	Робота з базами даних; Перетворення і аналіз масивів даних; Потужний аналітичний апарат; Моделювання; Потужний апарат візуалізації; <i>Недоліки:</i> відсутності засоби інтелектуально-аналітичної обробки цифрових зображень аерофотозйомки	ArcGIS від 4000 до 16000 у.о. ArcGIS Online 2500 у.о.
СMaps Analytics	Веб	Інтеграція з Google Maps; Потужний апарат візуалізації; Сумісність з великою кількістю географічних форматів; Побудова маршрутів <i>Недоліки:</i> відсутності засоби інтелектуально-аналітичної обробки цифрових зображень аерофотозйомки	Цінова політика закрита, індивідуальна
DIVA-GIS	Linux, Unix, Mac OSX, Windows,	Робота з базами даних; Сумісність з великою кількістю географічних форматів; Побудова гістограм, регресії; Моделювання <i>Недоліки:</i> відсутності засоби інтелектуально-аналітичної обробки цифрових зображень аерофотозйомки	Безкоштовна (GNU General Public License)
Quantum GIS	Linux, Unix, Mac OSX, Windows, Android	Робота з растровими на векторними даними; з базами даних; Сумісність з великою кількістю географічних форматів; Можливість підключення модулів <i>Недоліки:</i> відсутності засоби інтелектуально-аналітичної обробки цифрових зображень аерофотозйомки	Безкоштовна (GNU General Public License)

агро|регіон

АДРЕСА:
01030, м. Київ,
вул. Богдана Хмельницького, буд. 19-21,
Літєре «А»

ТЕЛЕФОН:
+38 (044) 494 04 26
E-MAIL:
info@agro-region.com
www.agro-region.com

Акт

впровадження результатів наукових досліджень з теми кандидатської дисертації Курочкіна Віктора Михайловича

Результати дисертаційного дослідження Курочкіна Віктор Михайловича за темою «Метод та технологія автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою», а саме геоінформаційна технологія автоматизованої обробки даних аерофотозйомки Vagabond та геоінформаційна система VagabondGIS використовуються для покращення ведення повітряного моніторингу. Програмне забезпечення характеризується високою якістю реалізації, створене з використанням сучасних технологій та дозволило зменшити час планування робіт на 13%, автоматизувати побудову цифрового опису ділянок з географічною прив'язкою, що зменшило час формування завдання для наземної техніки у 2 рази.

Директор з
інновацій



Янчук В.С.

22.03.17.

agro-region.com

ПРИВАТНЕ ПІДПРИЄМСТВО “ГЕОСКАНЕС”

Україна, 04211, м. Київ, вул. Лайоша Гавро, 5-А, к. 316,
Тел./факс +38(044) 464-64-19
E-mail: susko50@gmail.com
www.geoskanes.com.ua

АКТ

про впровадження результатів наукових досліджень з теми кандидатської дисертації Курочкіна Віктора Михайловича

Результати дисертаційного дослідження Курочкіна Віктора Михайловича за темою «Метод та технологія автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою», а саме геоінформаційна система автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою VagabondGIS використовується для покращення ведення повітряного моніторингу посівних площ.

Програмне забезпечення характеризується високою якістю реалізації, створене з використанням сучасних технологій. Оцінки числових характеристик посівної площі та побудова цифрових описів з географічною прив'язкою неоднорідних ділянок мають достатній рівень точності та мають практичне застосування в області землеробства.

Директор
Приватного підприємства “Геосканес”



В. Г. Сушко

ПОГОДЖЕНО

Проректор з навчальної та виховної роботи НАУ

Т. Іванова
"06" 03 2017 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. ректора НАУ

В. Ісасенко
"07" 03 2017 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Комісія у складі: голова комісії – заступник директора Навчально-наукового інституту інформаційно-діагностичних систем, д.т.н., професор Павленко П. М. та членів комісії: завідувач кафедри прикладної математики д.т.н., професор Приставка П.О, доцент кафедри прикладної математики, к.т.н., доцент Піскунов О. Г. констатує, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри прикладної математики Національного авіаційного університету Курочкіна Віктора Михайловича впроваджені у навчальний процес Національного авіаційного університету на кафедрі прикладної математики результати дисертаційної роботи Курочкіна В. М., а саме:

Найменування впровадженого результату	Досягнутий фактичний ефект
1	2
1. Методика побудови пошарової моделі цифрового зображення	1. Дані про пошарові складові цифрового зображення дозволяють побудувати просторову апроксимацію складових текстур зображення і надають можливість виміряти геометричні параметри об'єктів складної форми.
2. Алгоритми обробки та кластерного аналізу цифрових зображень великого розміру	2. Використання нових алгоритмів обробки та кластерного аналізу зображень надає можливість зменшити час обробки зі збереженням рівня якості результату обробки за рахунок компактного опису вхідного зображення.

Результати дисертаційної роботи Курочкіна В. М. за темою «Метод та технологія автоматизованої обробки даних аерофотозйомки з географічною прив'язкою» впроваджені у навчальний процес кафедри прикладної математики:

- використовуються при вкладанні дисципліни «Обчислювальні технології» в темі «Цифрова обробка зображень» напряму підготовки 6.040301 «Прикладна математика» зі спеціальності 7(8).04030101 «Прикладна математика».

Голова комісії:

П.М. Павленко

Члени комісії:

П.О. Приставка

О.Г. Піскунов