

АНОТАЦІЯ

на магістерську роботу «Аналіз стану земель сільськогосподарського призначення з використанням даних ДЗЗ та ГІС-технологій»,
студентки Беженар Олени Валеріївни

Актуальність дослідження полягає в необхідності розробки програмних засобів для забезпечення моніторингу і аналізу стану земель сільськогосподарського призначення з використанням даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та ГІС-технологій.

Мета дослідження – розробка програмного забезпечення для оцінки динаміки змін стану земель сільськогосподарського призначення з використанням методів збору і обробки даних ДЗЗ та сучасних ГІС-технологій.

Задачі дослідження: обґрунтувати вибір методів збору та обробки даних ДЗЗ, що будуть використовуватися для вирішення проблеми моніторингу стану земель сільськогосподарського призначення; розробити методологію розрахунку вегетаційного індексу NDVI і класифікації космічних знімків з використанням програмного забезпечення з відкритим кодом; створити інтерактивну карту візуалізації результатів дослідження.

Об'єкт дослідження – обробка даних ДЗЗ для оцінки стану земель сільськогосподарського призначення.

Предмет дослідження – алгоритмізація процесу обробки і класифікації ДЗЗ для оцінки стану земель сільськогосподарського призначення.

Методи дослідження: методи збору, обробки, дешифрування і класифікації даних ДЗЗ, алгоритми розрахунку вегетаційних індексів, алгоритми просторового моделювання, растрові і векторні моделі даних.

Результати, їх новизна, теоретичне та практичне значення: розроблено програмне забезпечення і обчислювальний алгоритм для класифікації даних ДЗЗ з метою визначення ділянок з різною щільністю рослинності, з метою моніторингу сходів сільгосп культур, розрахунку кількісних оцінок прогнозованого врожаю і особливостей сезонної вегетації.

Структура магістерської роботи складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань на 21 найменування, додатків. Повний обсяг роботи становить 64 сторінки, містить 37 рисунків і 7 таблиць.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: геоінформаційна система, супутникові знімки, класифікація, вегетаційні індекси, інтерактивна карта, веб-сервіси.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ, ПОВ'ЯЗАНОЇ З ОЦІНКОЮ СТАНУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	12
1.1 Актуальність роботи	12
1.2 Визначення та причини деградації земель	13
1.3 Опис об'єкту дослідження	15
2 ОПИС ВИКОРИСТАНИХ ДАНИХ ТА МЕТОДІВ ОБРОБКИ	18
2.1 Дані дистанційного зондування Землі	18
2.1.1 Класифікація знімків за просторовою роздільною здатністю	19
2.1.2 Характеристики космічних знімків.....	21
2.1.3 Опис даних, що використані у дослідженні.....	26
2.2 Вегетаційні індекси.....	28
2.3 Обробка космічних знімків	33
2.3.1 Попередня обробка знімків.....	33
2.3.1 Класифікація знімків	35
2.3.1.1 Класифікація контрольована (з навчанням).....	35
2.3.1.2 Класифікація неконтрольована (без навчання)	36
2.4 Алгоритм проведення аналізу даних	37
2.5 Використані програмні засоби	38
3 ОПИС ЕТАПІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ... 41	41
3.1 Опис вихідних даних дослідження	41
3.1.1 Джерела даних ДЗЗ.....	41
3.3.1.1 База геоданих EarthExplorer (USGS).....	41
3.3.1.2 Геосервіс Libra	44
3.1.2 Опис космознімків, що використані у дослідженні	45
3.2 Дешифрування знімків ДЗЗ	47
3.2.1 Створення композиту каналів космозйомки.....	48
3.2.2 Розрахунок вегетаційних індексів.....	50
3.3 Класифікація знімків ДЗЗ.....	52
3.4 Аналіз отриманих результатів	55
3.5 Створення інтерактивної карти проекту.....	59
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	62
Додаток А Карти індексу NDVI для періоду вегетації	64

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Скорочення

ВІ	–	Вегетаційний індекс
ГІС	–	Географічні інформаційні системи
ГС	–	Геологічна служба
ДЗЗ	–	Дистанційне зондування Землі
ІЧ	–	Інфрачервоне випромінювання
КЗ	–	Космічний знімок
ПЗ	–	Програмне забезпечення
ПРЗ	–	Просторова роздільна здатність
РЗ	–	Радіометрична здатність
СГП	–	Сільськогосподарське призначення
ШСЗ	–	Штучні супутники Землі
ЦММ	–	Цифрова модель місцевості
ЦМР	–	Цифрова модель рельєфу
ARVI	–	Atmospheric Resistant Vegetation Index
DN	–	Digital Number
EVI	–	Enhanced Vegetation Index
ISODATA	–	Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm
NDVI	–	Normalized Difference Vegetation Index
PVI	–	Perpendicular Vegetation Index
ROI	–	Regions Of Interest
SAVI	–	Soil Adjusted Vegetation Index
USGS	–	United States Geological Survey

Терміни

Вегетаційний індекс (ВІ) – показник, що розраховується внаслідок операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) даних дистанційного зондування, і має відношення до параметрів рослинності в даному пікселі знімка.

Вегетаційний період – період року, коли можливе зростання і розвиток (вегетація) рослин.

Дані дистанційного зондування (ДЗЗ) – дані про поверхню Землі, об'єкти, розташовані на ній або в її надрах, отримані в процесі зйомок будь-якими неконтактними, тобто дистанційними методами.

Дешифрування – це процес виявлення і розпізнавання об'єктів і явищ місцевості на знімку.

Класифікація – процес впорядкування та розподілу об'єктів по класах з метою відображення відносин між ними.

Кластеризація – процес розбиття заданої вибірки об'єктів на підмножини (кластери), кількість яких заздалегідь не відома, так, щоб кожен кластер складався з схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися.

Цифрове зображення – це матриця пікселів, значення кожного з яких розраховується в результаті усереднення за чотирма складовими: координатам простору (x і y), довжині хвилі і часу.

ВСТУП

Ґрунтовий покрив є одним з основних компонентів довкілля, що виконує життєво важливі біосферні функції. Ґрунтовий і рослинний покрив у природі утворюють єдину систему. Втрата ґрунтом родючості, його деградація позбавляють рослини екологічних основ їхнього існування. Тому відновлення родючості деградованих ґрунтів – це відновлення природного екологічного балансу територій, порушеного людиною у результаті нераціональної господарської діяльності [1].

Ґрунти регулюють якість поверхневих і підземних вод, склад атмосферного повітря, є середовищем перебування більшості живих організмів на поверхні суші, забезпечують сприятливе середовище для людини, є основним джерелом виробництва сільськогосподарської продукції. Тому найважливішою умовою збереження біосфери, нормального рослинного покриву і продуктивності сільського господарства є постійна турбота про охорону ґрунту, його структуру і властивості, здійснення системи заходів з підвищення родючості.

На жаль, проблемі моніторингу стану ґрунтів в Україні не приділяється належної уваги. Недостатньо проводяться дослідження розповсюдження, причин виникнення і шляхів усунення деградації земель. Тому актуальним завданням є забезпечення постійного моніторингу і аналізу стану земель сільськогосподарського призначення з використанням даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та ГІС-технологій.

Об'єктом дослідження є сільськогосподарські території Одеської області.

Метою даної магістерської роботи є розробка програмного забезпечення для оцінки динаміки змін стану земель сільськогосподарського призначення (СГП) з використанням методів збору і обробки даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та сучасних ГІС-технологій.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- виконати аналіз предметної області, пов'язаний з деградацією земель сільськогосподарського призначення;
- обґрунтувати вибір методів збору та обробки даних ДЗЗ, що будуть використовуватися для вирішення проблеми моніторингу стану земель СГП;
- надати опис ГІС-технологій, що будуть використані для вирішення проблеми моніторингу стану земель СГП;

- розробити алгоритми і технології етапів геоінформаційного аналізу об'єкту дослідження;
- виконати збір, обробку та просторовий аналіз даних ДЗЗ;
- виконати аналіз отриманих результатів;
- створити інтерактивну карту проекту.

Структура магістерської роботи складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань на 21 найменування, додатків. Повний обсяг роботи становить 64 сторінки, містить 37 рисунків і 7 таблиць.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ, ПОВ'ЯЗАНОЇ З ОЦІНКОЮ СТАНУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

1.1 Актуальність роботи

Природно-кліматичні умови України дуже різноманітні, що визначає сприятливість територій для сільськогосподарського виробництва.

Відповідно до Стратегії удосконалення механізму управління в сфері використання та охорони земель с/г призначення державної власності та розпорядження ними станом на 1 січня 2017 р. земельний фонд України складає 60,3 млн. га, це – близько 6% території Європи. Площа сільськогосподарських земель становить 42,7 млн. га, тобто 70% площі усєї території країни, а площа ріллі – 32,5 млн. га, 78,4% усіх с/г угідь (рис.1.1).

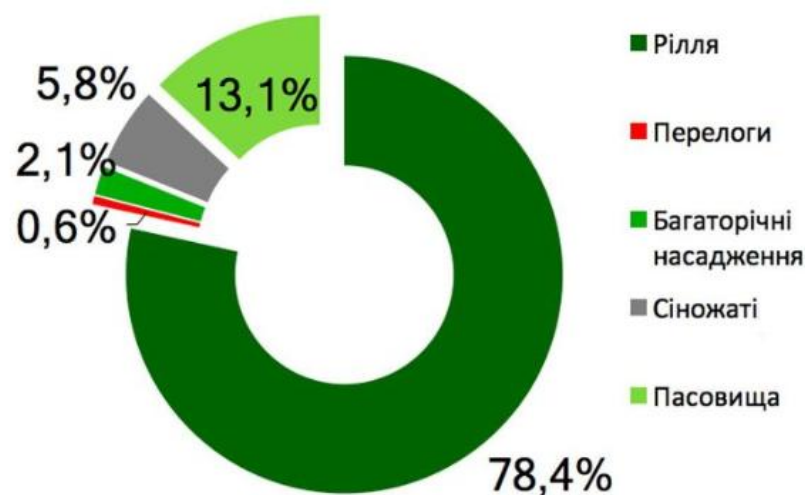


Рисунок 1.1 – Структура сільськогосподарських угідь України

Понад 80% с/г угідь розорано у Запорізькій, Миколаївській, Одеській, Кіровоградській, Дніпропетровській областях. Україна входить до першої десятки країн світу з найбільшою кількістю орних земель і, згідно даних міжнародної організації ФАО, поступається у цьому рейтингу лише США, Китаю, Індії, Росії, Канаді, Нігерії, Бразилії та Австралії. Наслідки високого ступеня розораності – деградація ґрунтів та опустелення.

Наразі в Україні нараховується понад 1,1 млн. га деградованих, малопродуктивних та техногенно забруднених земель. Майже 50% урожаю сільськогосподарських культур вирощується на ґрунтах, оброблених хімічними добривами та отрутохімікатами. Великої шкоди ґрунтам України завдає необґрун-

тована меліорація. Майже 50 тис. га орних земель підтоплені. Якщо узагальнити всі зміни, то 22% території України можна характеризувати як сильно і дуже сильно уражені та непридатні для повного використання. Внаслідок екстенсивного розвитку сільського і лісового господарств, неефективного ведення заповідної та інших природоохоронних справ порушилося співвідношення площ ріллі, природних кормових угідь, лісових та водних ресурсів, і як наслідок – інтенсивний розвиток ерозійних процесів, ущільнення орного шару ґрунту, зниження його родючості, послаблення стійкості природних ландшафтів України [1,2].

Україна має всі передумови стати провідною аграрною державою з великим експортним потенціалом сільськогосподарської продукції. І для цього є багато сприятливих передумов, але треба забезпечити раціональне використання і збереження ґрунтів як найважливішого компонента природного середовища. Для цього необхідно забезпечити постійний моніторинг стану земель сільськогосподарського призначення, з метою своєчасного виявлення негативних змін стану ґрунтів і вживання заходів з відновлення деградованих ґрунтів.

Ефективним і сучасним способом проведення моніторингу змін стану земель СГП є використання історичних даних ДЗЗ високої роздільної здатності та ГІС-технологій. Вибір методів геоінформаційного аналізу цих різночасових даних може дозволити простежити зміни, що відбувалися з об'єктом дослідження протягом зазначеного періоду, на основі результатів цього аналізу отримати кількісні оцінки процесів і виробити заходи щодо зменшення впливу негативних факторів на процес деградації земель СГП. В роботі за можливістю будуть використовуватися дані, що є у вільному доступі і геоінформаційні системи з відкритим програмним кодом.

1.2 Визначення та причини деградації земель

Деградація – це зниження або втрата (у посушливих, напівпосушливих і субгумідних районах) біологічної та економічної продуктивності і складної структури богарних орних земель, зрошуваних орних земель чи пасовищ, лісів, лісистих ділянок внаслідок землекористування або від процесу або сукупності процесів, включаючи процеси, що виникають в результаті діяльності:

- ерозія ґрунтів під впливом вітру і/або води;
- погіршення фізичних, хімічних і біологічних чи економічних властивостей ґрунтів;

– довготермінова втрата природного рослинного покриву.

На підставі того, як цей термін використовується в даний час, деградація може бути визначена як істотне зниження біологічної продуктивності району через втручання людини. Закон України «Про охорону земель» визначає деградацію земель, як природне або антропогенне спрощення ландшафту, погіршення стану, складу, корисних властивостей і функцій земель та інших органічно пов'язаних із землею природних компонентів.

Господарська діяльність людини (антропогенний фактор) є основною причиною деградації ґрунтів. Коли господарська діяльність людини не перевищує екологічно допустиме навантаження на ґрунт, він не деградує. Але варто переступити цей поріг, як ґрунт починає деградувати. Потрібно чітко усвідомити, що деградовані землі дуже важко, а іноді зовсім неможливо відродити [3].

Відомо, що фізичні фактори навколишнього середовища, особливо клімату, відіграють фундаментальну роль в деградації земель. Деградація відбувається, коли процеси деградації істотно перевищують відновлювальні можливості природи. Причини деградації земель іноді можуть бути локальними і відносно простими, але іноді деградація може бути результатом складних глобальних змін.

Деякі з цих змін можуть бути частково обумовлені діяльністю людини. Існують чіткі тенденції визнання людського фактора в якості каталізатора деградації земель. Однак визначити рівень відповідальності людини в тій чи іншій ситуації найчастіше є складним завданням. Труднощі виникає, тому що людина і природа пов'язані в інтерактивну систему, в якій причина і наслідок, процес і відповідь часто розмиті. Наприклад, адаптивні можливості конкретного використання ресурсів системи можуть бути перевантажені непередбаченими природними явищами, наприклад, тривала посуха. У цьому контексті люди часто не зовсім ініціатори деградації і змін.

Антропогенні аспекти деградації можуть бути як умисними, так і ненавмисними. Часто люди ініціюють зміни навколишнього середовища, знаючи, що деякі з наслідків означатимуть деградацію. Наприклад, видобуток газу неминуче призводить до виникнення деградованих земель і забруднених водних систем. Використання випалювання територій, щоб прискорити зростання культур, видалити залишки старих рослин, уповільнити ріст бур'янів і т.д. Ці стратегії відображають свідому зміну навколишнього середовища, навіть коли це зміна представляють є біологічною деградацію.

Деградація ґрунту може бути як якісною, так і кількісною.

Кількісна деградація тягне за собою втрати ґрунтів, наприклад, через ерозію. Якісна деградація включає: зниження родючості; зменшення поживних речовин для рослин; структурні зміни; зміни в аерації і вологості ґрунту; зміни в лужності або кислотності, і зміни ґрунтової флори і фауни.

Незалежно від причини, процес деградації, як правило, починається з пошкодження рослинного покриву. Це рослинність, яка зберігає ґрунт в її природному стані і захищає її від ерозії. Низькі темпи природного руйнування рослинного покриву значно прискорюються при його порушенні оранкою, випасом худоби, вирубкою лісу або пожежею. Тому в посушливих районах, де рослини часто ростуть поблизу кордонів екологічної толерантності, навіть незначні зміни факторів середовища можуть привести до деградації [3].

Проблема ефективності використання земельних ресурсів дедалі все більше ускладнюється у зв'язку зі зростаючою комплексністю її характеру. Особливо це стосується таких аспектів як технологічний, економічний, соціальний та екологічний. Сьогодні рівень використання земель в Україні став настільки критичним, що подальша деградація потенціалу земельних ресурсів у с/г може мати катастрофічні наслідки [4].

В умовах сучасного динамічного розвитку суспільства, ускладнення технічної та соціальної інфраструктури, інформація стає стратегічним ресурсом, що визначає ефективне землекористування. На цій інформації ґрунтуються всі продуктивні управлінські рішення і дії. Сучасні інформаційні технології, зокрема геоінформаційні, системи GPS і ДЗЗ стали важливим чинником і засобом підвищення ефективності землекористування. Аерокосмічні засоби дозволяють отримувати високоякісну інформацію і скорочувати час її актуалізації до декількох годин. Висока інформативність спостережень зі штучних супутників Землі (ШСЗ) дає можливість швидко і об'єктивно оцінювати запаси швидко змінюваних ресурсів (запаси снігу, рослину масу пасовищ тощо), стан посівів, лісових угідь, виникнення і розвиток загрозливих природних явищ (повені, підтоплення, лісові пожежі, буревії, циклони тощо) і надзвичайних ситуацій, забруднення природного середовища тощо. Це дозволяє своєчасно вживати заходів з раціонального використання природних ресурсів і запобігати збиткам від стихійних лих і екологічних катастроф [5].

1.3 Опис об'єкту дослідження

Одеська область – найбільша за площею область України (її територія становить 33,3 тис. кв. км – 5,5% території України) розташована на крайньому південному заході України, вздовж державних кордонів з Республікою

Молдова та Румунією (рис.1.2). На півночі межує з Вінницькою областю, на північному сході – з Кіровоградською, на сході – з Миколаївською областю, на півдні та південному сході омивається водами Чорного моря.



Рисунок 1.2 – Одеська область на карті України

Об'єктом дослідження даної роботи є земельні ресурси Одеської області (3331,4 тис. га), які характеризуються надзвичайно високим рівнем освоєння. Найбільшою є питома вага земель сільськогосподарського призначення – 2659,2 тис.га, з них рілля – 2075,5 тис.га. У структурі земель землі сільськогосподарського призначення займають 79,8%, у тому числі рілля – 62,3% [6]. В табл.1.1 наведена структура фонду земель СГП за даними Головного управління Держгеокадастру в Одеській області.

Відповідно до інформації структурних територіальних підрозділів Головного управління Держгеокадастру в Одеській області станом на 01.01.2017 р. площа деградованих земель по Одеській області складає 33,0 тис. га [6].

На території Одеської області діє Регіональна програма розвитку земельних відносин та охорони земель на 2016-2018 роки, затверджена рішенням Одеської обласної ради від 21 грудня 2015 року № 39-VII (зі змінами). Програма розроблена з метою раціонального використання та охорони земельних ресурсів, спрямована на реалізацію державної політики України щодо забезпечення сталого розвитку землекористування, рівності права власності на землю територіальних громад та держави, захисту прав власників та користувачів

земельних ділянок, а також для створення більш сприятливих умов для залучення інвестицій у пріоритетні галузі економіки області [6].

Таблиця 1.1 – Структура фонду земель СГП Одеської області

Основні види сільськогосподарських угідь	Рілля	Перелоги	Багаторічні насадження	Сіножаті і пасовища
Всього тис.га	2074,4	27,4	87,3	403,3
% від загальної площі території	62,3	0,8	2,6	12,1

За даними Центра оцінки соціальних і екологічних ризиків [7] проблема деградації ґрунтів в результаті їх інтенсивного використання віднесена до основних екологічних ризиків в Одеській області поряд з:

- інтенсивною забудовою приморської зони;
- неконтрольованою вирубкою в лісопосадках;
- проблемою утилізації відходів;
- низькою якістю води і браком питних ресурсів;
- проблемою озера Сасик і незадовільним станом гідротехнічних споруд на річці Дунай.

2 ОПИС ВИКОРИСТАНИХ ДАНИХ ТА МЕТОДІВ ОБРОБКИ

2.1 Дані дистанційного зондування Землі

Дані дистанційного зондування (ДДЗ) – дані про поверхню Землі, об'єкти, розташовані на ній або в її надрах, отримані в процесі зйомок будь-якими неконтактними, тобто дистанційними методами, за допомогою фіксування відбитої сонячної енергії і випромінювань теплової енергії (електромагнітного випромінювання) від земної поверхні, що реалізується сенсорами, розташованими на орбітальних супутниках планети. За традицією, що склалася, до ДДЗ відносять дані, отримані за допомогою знімальної апаратури наземного, повітряного або космічного базування, що дозволяє отримувати зображення в одному або декількох ділянках електромагнітного спектра [8].

Схема, наведена на рис.2.1. ілюструє загальний принцип роботи технологій ДЗЗ, де А – джерело електромагнітної радіації (Сонце); В – проходження сонячної радіації через Атмосферу при взаємодії з нею до земної поверхні; С – відбиття і випускання електромагнітного випромінювання від земної поверхні; D – фіксування відбитої і випущеної енергії сенсором орбітального супутника і її збереження в спеціальному форматі; E – передача і первинна обробка отриманих даних; F – Аналіз даних, інтерпретація отриманих результатів; G – застосування отриманих результатів (розробка карт, прийняття рішень та ін.).

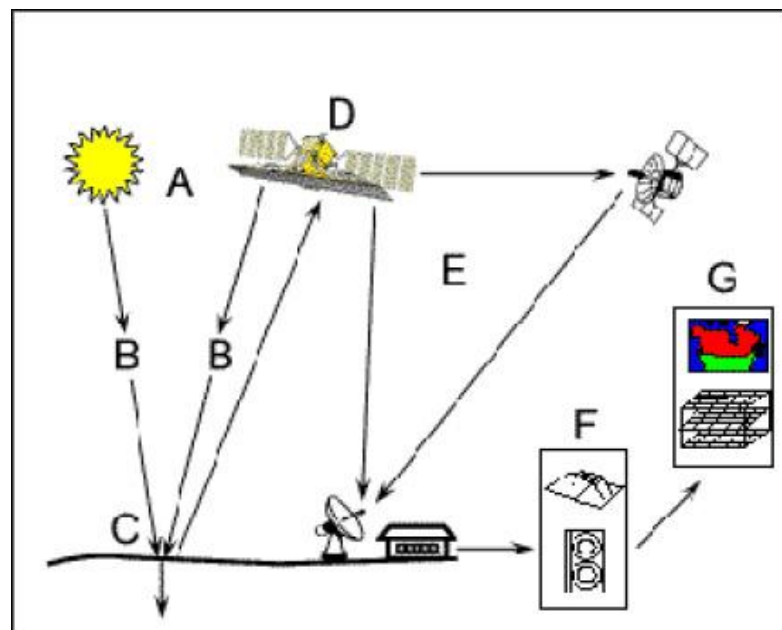


Рисунок 2.1 – Загальний принцип роботи технологій ДЗЗ

Основними перевагами космічних знімків в дослідженнях є:

- відносна доступність даних для кінцевого користувача, адже значна база архівних даних доступна безкоштовно;
- порівнянність (можливість проводити порівняння даних за різні роки, виконаних апаратурою з певною часовою здатністю, для виявлення змін);
- оглядовість (зйомкою можуть бути охоплені великі території, від ділянки площею 1 км² до півкуль з геостаціонарної орбіти).

Основна характеристика космічних знімків Землі – просторова роздільна здатність.

2.1.1 Класифікація знімків за просторовою роздільною здатністю

Класифікація знімків за просторовою роздільною здатністю:

- космічні знімки дуже низької роздільної здатності 10 000 – 100 000 м;
- космічні знімки низької роздільної здатності 300 – 1 000 м;
- космічні знімки середньої роздільної здатності 50 – 200 м;

Космічні знімки високої роздільної здатності:

- космічні знімки відносно високої роздільної здатності 20 – 40 м;
- космічні знімки високої роздільної здатності 10 – 20 м;
- космічні знімки дуже високої роздільної здатності 1 – 10 м;
- космічні знімки надвисокої роздільної здатності менше 0,3 – 0,9 м.

Проведемо огляд безкоштовних космічних знімків, які дозволяють вирішувати тематичні завдання оцінки природних ресурсів і навколишнього середовища.

До космічних знімків дуже низької роздільної здатності можна віднести знімки QuikSCAT, які отримують за допомогою апаратури SeaWinds, що представляє собою скаттерометр – високочастотний радіолокатор мікрохвильового діапазону для визначення швидкості і напрямку вітру поблизу поверхні океану. Вимірювання засновані на зміні властивостей відбитого випромінювання радіолокатора при виникненні невеликих хвиль (рябі) на поверхні океану під впливом поривів вітру. До знімків дуже низької роздільної здатності відносяться також космічні знімки Meteosat, які забезпечують безперервне стеження за погодою.

Космічні знімки низької роздільної здатності NOAA (AVHRR) використовуються в екології для виявлення великих промислових викидів і моніторингу їх подальшого поширення, а також для виявлення великих скидів забруднюючих речовин у водойми, оцінки масштабів катастрофічних повеней, моні-

торингу пилових бур тощо. В метеорології знімки NOAA використовують для візуального відображення стану погоди і складання синоптичних карт, оцінки стану та контролю динаміки снігового покриву. Також знімки знайшли застосування у сільському і лісовому господарстві для контролю за виникненням і поширенням лісових і степових пожеж, а також в океанології і гідрології для оцінки льодової обстановки і оперативного відстеження зон затоплень в період весняної повені та паводку. Для контролю розвитку сільськогосподарських культур і стану рослинного покриву можуть бути використані космічні знімки низької роздільної здатності SeaStar (SeaWiFS).

Космічні знімки середнього дозволу TERRA / AQUA (MODIS) використовують для вирішення наступних завдань:

- вивчення хмарного покриву, концентрації зважених часток (аерозолів), розподілу водяної пари в атмосфері, моніторинг небезпечних атмосферних явищ;
- оперативного картографування і вивчення температурного режиму океану;
- оперативного автоматизованого виявлення вогнищ лісових пожеж розміром до десятків квадратних метрів;
- визначення та дрібномасштабного картографування біопродуктивності лісових масивів і сільськогосподарських угідь;
- моніторингу динаміки льодовиків, процесів заболочування і опустелювання, засолення, повеней, паводків;
- моніторингу природних та антропогенно-спровокованих катастроф на регіональному і глобальному рівнях (повені, цунамі, виверження вулканів тощо).

До космічних знімків середньої роздільної здатності відносяться знімки ENVISAT (MERIS) за допомогою яких відбувається:

- визначення температурного режиму верхніх шарів океану;
- управління рибним хазяйством – спостереження за станом фітопланктону;
- управління прибережними зонами – фіксування розмиву берегів, попередження катастрофічних явищ.

В більшості задач моніторингу використовують космічні знімки високої роздільної здатності: LANDSAT - 7 (ETM +), LANDSAT - 4, 5 (TM), LANDSAT - 1, 3 (MSS) TERRA (ASTER), HYPERION (EO-1), які дозволяють будувати топографічні карти (до масштабу 1:10 000), а також:

- виявляти та здійснювати моніторинг нафтових забруднень на суші і на шельфі в районах видобутку і транспортування нафти і нафтопродуктів;
- здійснювати оцінку стану льодового і снігового покриву;
- здійснювати оцінку стану і ступеня деградації сільськогосподарських і пасовищних земель;
- виконувати спостереження за розвитком лісових і степових пожеж;
- здійснювати моніторинг повеней, стану гідротехнічних споруд;
- будувати цифрові моделі рельєфу (ЦМР), сучасних тематичних карт стану природних об'єктів (рослинності, стану ґрунтового покриву, аварійно небезпечних територій та ін.);
- сільськогосподарське картографування, моніторинг стану посівів, прогнозування врожайності.

Космічні знімки високої здатності CBERS (WFI, CCD, IRMSS) і ENVISAT (ASAR) дозволяють будувати ЦМР з точністю 5-10 м по висоті і карти масштабу 1: 200 000 та здійснювати сільськогосподарський, лісогосподарський моніторинг: оновлення карт, стеження за станом посівів, контроль використання земель, незаконного вирубування.

Для створення та оновлення топографічних і спеціальних карт масштабу 1: 100 000 можуть бути використані космічні знімки високої здатності SPOT, масштабу 1: 25000 і створення високоточних ЦМР і ЦММ (3-6 м по висоті) – космічні знімки RADARSAT, а для масштабу 1:10 000 і ЦМР і ЦММ високої точності (2-4 м по висоті) – знімки TERRASAR-X.

До космічних знімків надвисокої роздільної здатності відносяться знімки Ikonos, WorldView, QuickBird, SAS.Планета – програма, що призначена для перегляду і завантаження супутникових карт високого дозволу сервісом Google maps.

2.1.2 Характеристики космічних знімків

Для вибору знімка під цілі наукового дослідження необхідно розуміти яка існує різниця між супутниками різних сенсорів. Знімки, отримані різними супутниками, розрізняються за такими основними параметрами:

1) Просторова роздільна здатність (spatial resolution): квадрат на земній поверхні, що відповідає 1 пікселю растра знімка (варіює від 0,3х0,3 м до 1000х1000 м).

2) Число каналів зйомки і спектральний діапазон кожного каналу – ці характеристики безпосередньо впливають на те, які властивості земної поверхні можна виявити по знімках (табл.2.1).

3) Часова здатність (temporal resolution) – приблизний інтервал через який повторюється знімок в даній місцевості (на добу).

4) Загальна площа одного знімка (чим дрібніше здатність, тим більше розмір самого знімка).

5) Часовий інтервал в якому проводилась супутникова зйомка даними сенсором.

6) Вартість придбання (оригіналу знімка і похідних продуктів).

Таблиця 2.1 – Характеристики та використання знімків ASTER, Landsat і MODIS

Сенсор	ASTER	Landsat (MSS, TM, ETM+, OLI)	MODIS
Супутник	Terra	Landsat1...Landsat8	Terra, Aqua
Роки роботи	2000 – по цей час	1972 – по цей час	1999, 2002 – по цей час
Число спектральних каналів	15	4(L1)...11(L8)	36
Загальний спектральний діапазон (μm)	0.52 – 11.65	0.43 – 12.51 (по L8)	0.4 – 14.4
Територія одного знімку (кв.км)	60 x 60	185 x 185	1130 x 1130
Здатність просторова (метри в 1 пікселі)	15 – 90	15 – 100	250 – 1000
Часовий інтервал (доба)	16 і менше	16	0.5 – 1

Електромагнітний спектр (electromagnetic spectrum) – це повний інтервал всіх існуючих довжин хвиль електромагнітної радіації. Він варіює від найкоротших хвиль (гамма і рентгенівське випромінювання) до найдовших хвиль (мікро- і радіохвилі). Людське око бачить світ лише в невеликому інтервалі електромагнітного спектра, який так і називають – видимою областю спектра (рис.2.2). Він розташований між довжинами хвиль 0,4 і 0,7 μm (мікрометрів).

Звичайна фотозйомка здійснюється в діапазоні тільки трохи ширше видимого – між 0.3 μm і 0.9 μm (ультрафіолетовий, видимий і ближній інфрачервоний діапазони). На відміну від звичайної фотографії, технології дистанцій-

ного зондування дозволяють отримувати знімки земної поверхні практично з усього електромагнітного спектра – точніше, з усіх інтервалів спектра, доступних до зйомки.

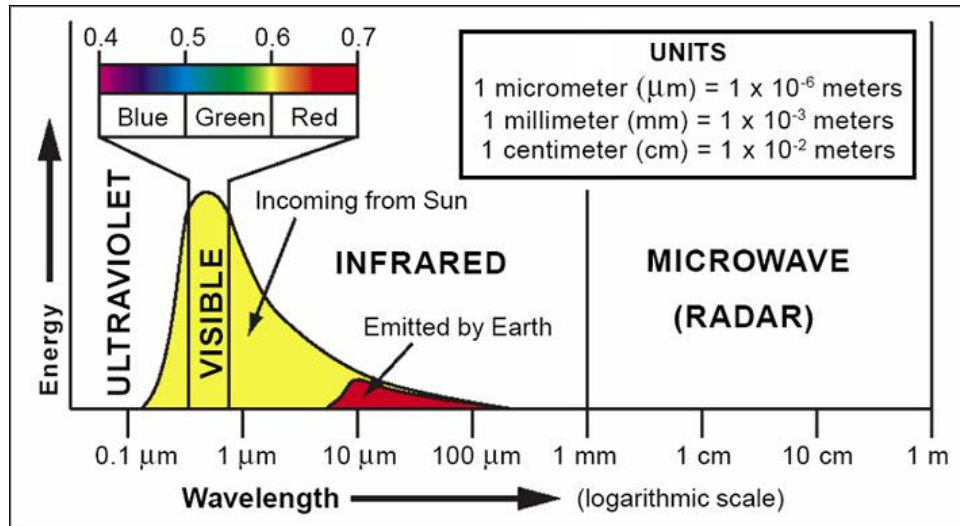


Рисунок 2.2 – Електромагнітний спектр

Атмосфера Землі має властивість – поглинати електромагнітне випромінювання на певних інтервалах електромагнітного спектра (тобто випромінювання певних довжин хвиль). Ті ділянки електромагнітного спектра, що не поглинаються Атмосферою, – називаються "атмосферними вікнами" (atmospheric windows), і тільки на цих інтервалах можливо отримання знімків методами дистанційного зондування (рис.2.3). Блакитним кольором показані ділянки спектра, що поглинаються Атмосферою, а жовтим кольором показані атмосферні вікна, в яких можливе отримання супутникових знімків земної поверхні методами дистанційного зондування.

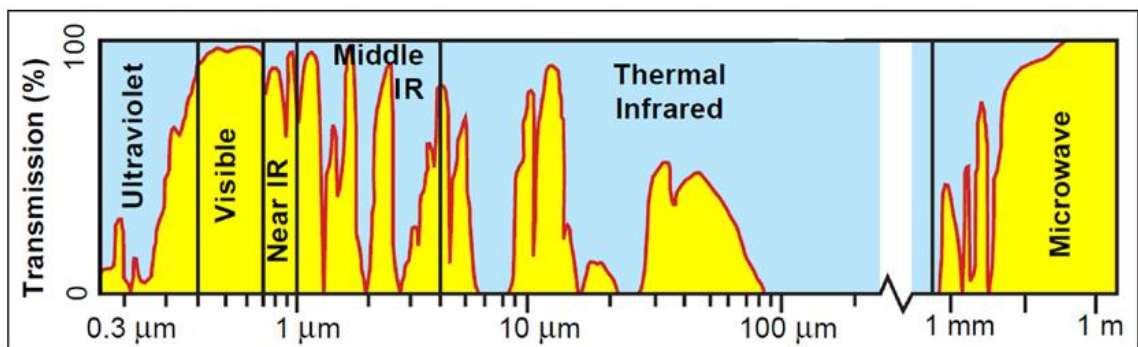


Рисунок 2.3 – Атмосферні вікна

При всіх можливих до зйомки діапазонах електромагнітного спектра кожним конкретним сенсором супутника він використовується не повністю, а лише в тих інтервалах, в яких даний сенсор налаштований проводити зйомку. Кожним сенсором супутника зйомка поверхні проводиться в спектральних каналах (spectral bands), кожен з яких має свій чітко визначений інтервал електромагнітного спектра, в якому проводиться знімок. Число спектральних каналів і спектральний діапазон кожного каналу – різний у різних сенсорів, Завантажуючи знімок з архіву – користувач отримує стільки окремих сцен (файлів знімка), скільки спектральних каналів має даний сенсор (рис.2.4).

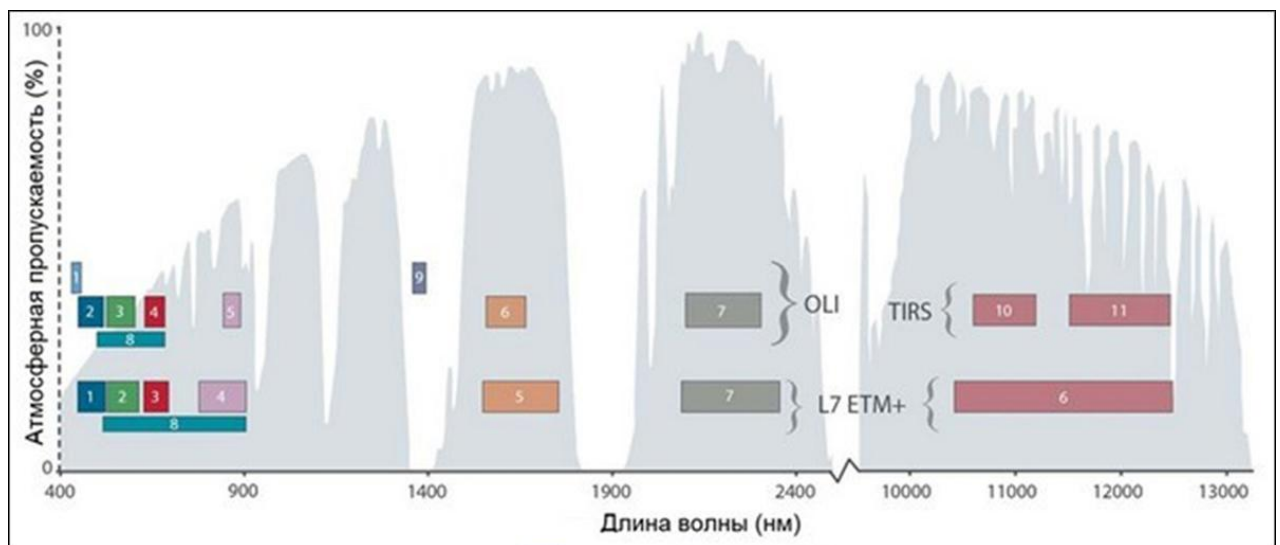


Рисунок 2.4 – Спектральні діапазони каналів супутників Landsat 7 та Landsat 8

Результат супутникового фотографування земної поверхні в одному каналі – називають "сценою знімка" (scene of image). Кожен знімок має таке число сцен, скільки спектральних каналів має сенсор. Інакше кажучи, всі сцени одного знімка – це фотографії однієї і тієї ж місцевості і одного і того ж часу, зроблені в різних спектральних каналах сенсора.

Сцена знімка є растр з мінімальною одиницею зображень – квадратний піксель. Побачити цю одиницю можна, якщо відкрити сцену знімка в будь-якому графічному редакторі або ПО для обробки супутникових знімків і довести збільшення зображення до максимуму (рис.2.5).

Сенсор супутника реєструє відбите і випущене від земної поверхні електромагнітне випромінювання і зберігає цей вимір для кожного пікселя знімка в особливих одиницях, званих "рівень сірого" або Digital Number (DN).

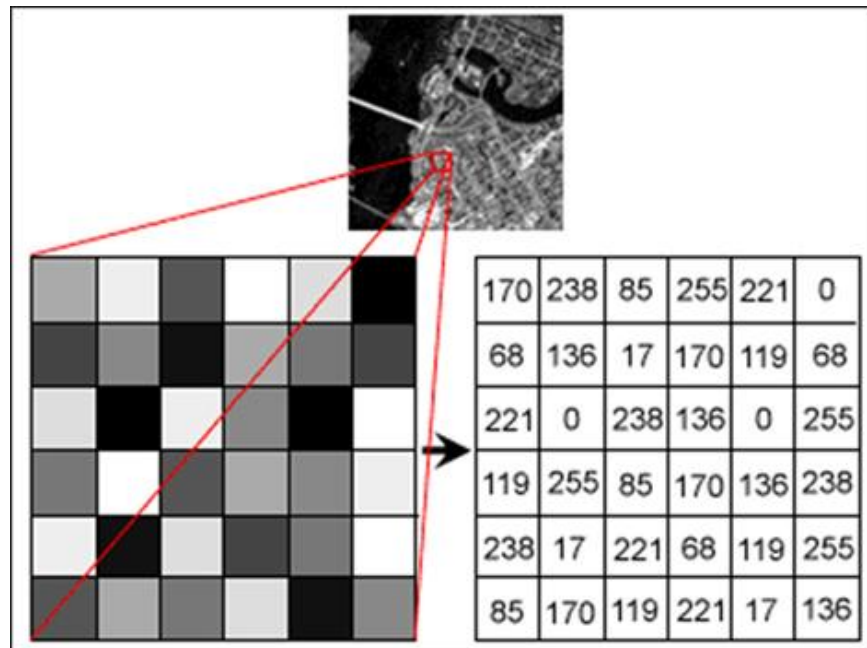


Рисунок 2.5 – Рівень сірого (DN) знімка з числом ступенів варіації від білого до чорного – 256

Рівні сірого знімків сучасних сенсорів діляться на 64, 256 і 65536 ступенів. Рівень сірого пікселя – це розтягнуте на задане число ступенів кольор пікселя від чисто чорного (DN = 0) до чисто білого кольору (DN = максимально можливе значення ступені, тобто 64, 256 або 65536).

Число ступенів DN залежить від кількості двійкових цифр (біт) – чисел 0 і 1, необхідних для збереження в цифровій формі максимального значення параметра. Щоб отримати число можливих ступенів – потрібно число 2 вознести до степеню, яка і є це необхідно число біт. Так при 6 бітах, число ступенів $2^6 = 64$, при 8 бітах (найбільш частий випадок), число ступенів $2^8 = 256$ і при 16 бітах число ступенів $2^{16} = 65536$ ступенів (наприклад, стільки ступенів мають знімки супутника Landsat 8, на відміну від більш ранніх супутників Landsat, що мають 256 ступенів).

Рівень сірого (DN) кожного пікселя растра супутникового знімка є записаний середній вимір енергії відбитої і випущеної від тієї території на поверхні планети, яка відповідає цьому пікселю: тобто квадрату, сторона якого в сучасних знімках варіює від 0,3 до 1000 метрів. Підкреслимо, що сенсор фіксує в пікселі для кожного такого квадрата рівень сірого, виходячи з середнього показника відбитої і випущеної енергії всіх типів поверхонь, що складають квадрат.

2.1.3 Опис даних, що використані у дослідженні

Скануючі оптико-електронні системи є основними джерелами даних ДЗЗ при вирішенні завдань природно-ресурсного та екологічного моніторингу.

У роботі магістерській використані дані, одержувані зі супутників Landsat 5, 7 і 8 (USGS, США), так вони поширюються безкоштовно в мережі Інтернет [9] і мають достатню просторову роздільну здатність. На протязі більше 40 років, програма Landsat постійно здійснюється збір спектральної інформації з поверхні Землі. Цей унікальний архів даних дає вченим можливість оцінити зміни ландшафту Землі за тривалі проміжки часу. Програма Landsat створювалася спеціально для природно-ресурсного моніторингу. Перші три супутника Landsat -1, 2, 3 були оснащені телевізійними камерами RBV і мультиспектральним скануючим пристроєм MSS. Особливістю супутників Landsat 4, 5 є заміна телевізійної камери на оптико електронну камеру і модернізація сканера MSS. Камера дозволяє формувати зображення в семи ділянках електромагнітного спектру з просторовою роздільною здатністю (ПРЗ) 30 м у видимому та інфрачервоному діапазонах, 120 м в тепловому інфрачервоному (ІЧ) діапазоні, радіометрична здатність (РЗ) 8 біт, ширина смуги огляду 185 км.

Встановлена на супутнику Landsat-7 знімальна апаратура ETM+ (вдосконалений тематичний картограф), забезпечує зйомку земної поверхні в шести каналах з ПРЗ 30 м, в тепловому ІЧ каналі з ПРЗ 60 м і панхроматическую зйомку з ПРЗ 15 м. Ширина смуги огляду для всіх каналів становить близько 185 км. Періодичність зйомки 16 днів, РЗ 8 біт. В наш час, через збої в роботі апаратури, космічна зйомка із супутника на замовлення не ведеться. Однак великі накопичені архівні дані поширюються безкоштовно і можуть бути використані при вивченні динаміки земної поверхні.

Супутник Landsat 8 був запущений 11 лютого 2013 року. Landsat 8 несе в собі двохсенсорне корисне навантаження: мультиспектральний сканер OLI, створений корпорацією Ball Aerospace & Technologies, і тепловізійний інфрачервоний датчик (TIRS), побудований Центром космічних польотів NASD Goddard (GSFC). Обидва датчика пропонують технічні досягнення порівняно з більш ранніми приладами Landsat. Космічний апарат з двома вбудованими датчиками згадується як обсерваторія Landsat 8 (рис.2.6). Датчик OLI збирає дані зображення для дев'яти короткохвильових спектральних каналів на 190-кілометровій смузі огляду з ПРЗ 30 м для всіх каналів, окрім 15-метрової панхроматического каналу. Найбільше зміна відбувається в OLI-каналі 5 (0,845-

0,885 мкм), щоб виключити функцію поглинання водяної пара при 0,825 мкм в середині інфрачервоного діапазону камери ETM+ (смуга 4, 0,775-0,900 мкм). Панхроматичний канал OLI також більш вузький відносно панхроматичного каналу ETM+, що створює більший контраст між рослинними областями і землею без рослинного покриву. OLI також має два нових канали в порівнянні з камерою ETM+ Landsat 7 (1-5, 7 і Pan) для спостережень за океаном і для виявлення перистих хмар [10].

Дані із супутників Landsat можна отримувати з кількох архівів з використанням різних інтернет-сервісів. Зображення в архівах геологічної служби США є унікальним найбільш повним ресурсом для дослідження глобальних змін і застосувань в області сільського господарства, картографії, геології, лісового господарства, регіонального планування, спостереження і освіти [10].

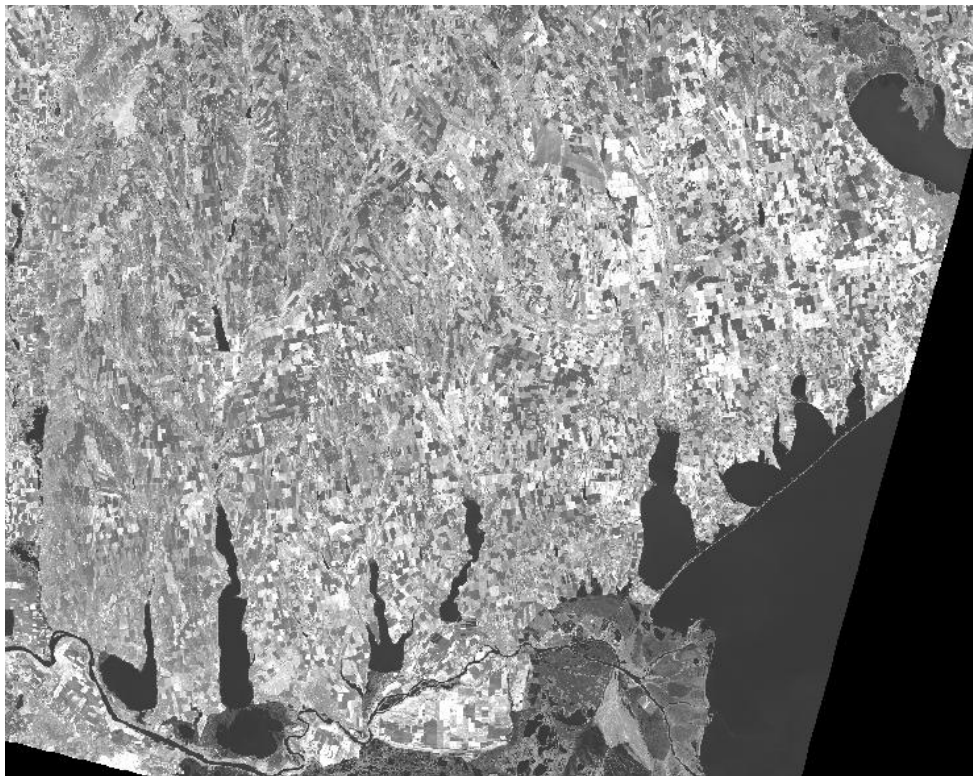


Рисунок 2.6 – Космічний знімок з супутника Landsat 8 півдня Одеської області

Виявлення характеристик земної поверхні реалізується за допомогою використання спеціального програмного забезпечення (ПО) по обробці супутникових знімків, найбільш відомі з яких – це ENVI і ERDAS IMAGINE. Робота в цих програмах часто сумісна з роботою в програмах ГІС, наприклад, ENVI має спеціальні опції, розраховані на роботу з ArcGIS. Однак, все комерційні ПО, – досить дорогі. Існує альтернативний вибір відкритого (безкоштовного)

ПО, яке також дозволяє вести обробку супутникових знімків і сумісну роботу з ГІС (GRASS, QGIS, ін). Більш детально питання вибору програмного забезпечення для обробки супутникових знімків розглядається в наступних розділах магістерської роботи.

2.2 Вегетаційні індекси

До ключових понять, що дозволяє зрозуміти принцип виявлення характеристик земної поверхні методами дистанційного зондування, відноситься графік спектральної кривої (або просто спектральна крива) об'єкта. Графік спектральної кривої показує відсоток відбитого і випущеного випромінювання для даного об'єкта на протязі всього електромагнітного спектра. Характер спектральної кривої обумовлений молекулярним складом і фізичними властивостями об'єкта. Дешифрування знімка і виявлення характеристик об'єктів земної поверхні базується на порівнянні вже відомих спектральних кривих (із зібраних "бібліотек спектральних кривих" різних типів об'єктів земної поверхні) із спектральними кривими кожного пікселя знімка.

Як видно з наведених прикладів (рис. 2.7), форма спектральних кривих різних об'єктів може мати відчутні відмінності, на цих відмінностях і заснований принцип розпізнавання об'єктів і виявлення їх характеристик за супутниковими знімками.

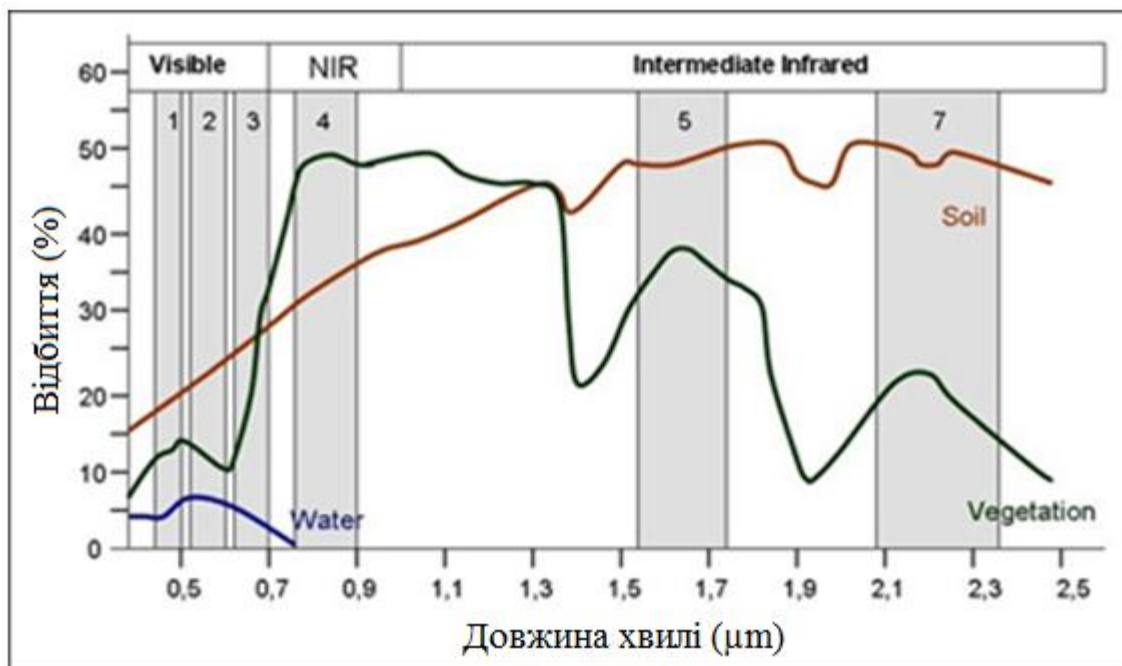


Рисунок 2.7 – Графіки спектральних кривих рослинності, ґрунту і води

Характерною ознакою рослинності і її стану є спектральна відбивна здатність, що характеризується відмінностями у відображенні випромінювання різних довжин хвиль (рис.2.8). Знання про зв'язок структури і стану рослинності з її спектрально відбивними здібностями дозволяють використовувати космічні знімки для картографування та ідентифікації типів рослинності і їх стресового стану [11-14].

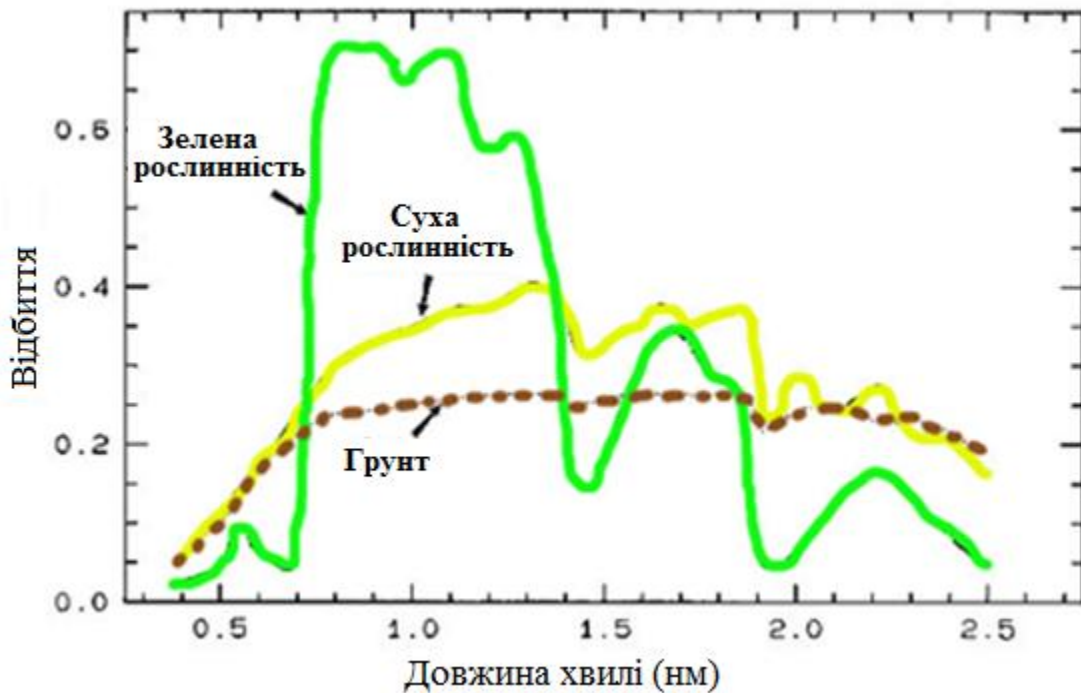


Рисунок 2.8 – Графіки спектральних кривих сухої рослинності, зеленої (здорової) рослинності і ґрунту

Для роботи зі спектральною інформацією часто вдаються до створення так званих «індексних» зображень. На основі комбінації значень яскравості в певних каналах, інформативних для виділення досліджуваного об'єкта, і розрахунку за цими значеннями «Спектрального індексу» об'єкта будується зображення, відповідне значенням індексу в кожному пікселі, що і дозволяє виділити досліджуваний об'єкт або оцінити його стан. Спектральні індекси, використовувані для вивчення і оцінки стану рослинності, отримали загальноприйнятту назву вегетаційних індексів.

Веgetаційний індекс (VI) – показник, що розраховується внаслідок операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) даних дистанційного зондування, і має відношення до параметрів рослинності в даному пікселі знімка.

Існує три найбільш поширених вегетаційних індексів:

1) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований відносний індекс рослинності, простий кількісний показник кількості фотосинтетичної активної біомаси (що зазвичай називається вегетаційним індексом). Один з найпоширеніших і використовуваних індексів для вирішення завдань, які застосовують кількісні оцінки рослинного покриву. NDVI помірно чутливий до змін ґрунтового і атмосферного фону, крім випадків з бідною рослинністю.

2) PVI (Perpendicular Vegetation Index) – дещо менш, але теж широко поширений. Має вузький динамічний діапазон і дуже чутливий до зміни атмосфери. Щодо простий у використанні і знаходженні ґрунтової лінії, що важливо для використання інших індексів. Найчастіше використовується на територіях з бідною рослинністю.

3) SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) – хороший варіант, якщо мета дослідження – розріджена рослинність [15].

Розрахунок NDVI [11–15] базується на двох найбільш стабільних (не залежних від інших чинників) ділянках спектральної кривої відображення судинних рослин. У видимій області спектру (0,4-0,7 мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом вищих судинних рослин, а в інфрачервоній області (0,7-1,0 мкм) знаходиться область максимального відображення клітинних структур листа. Тобто висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з густою рослинністю) веде до меншого відображення у видимій області спектру і більшому в інфрачервоній. Відношення цих показників один до одного дозволяє чітко відділяти і аналізувати рослинні від інших природних об'єктів.

Індекс розраховується за такою формулою:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (2.1)$$

де *NIR* – відображення у ближній інфрачервоній області спектру; *Red* – відображення у видимій області спектру

Оцінюючи значення NDVI за наявними знімкам, можна з упевненістю говорити про структуру досліджуваної території і зміни в стані рослинного покриву [15].

NDVI може бути розрахований на основі будь-яких знімків високої, середньої або низької здатності, що мають спектральні канали в червоному

(0,55-0,75 мкм) і інфрачервоному діапазоні (0,75-1,0 мкм). Алгоритм розрахунку NDVI вбудований практично в усі поширені пакети програмного забезпечення, пов'язані з обробкою даних дистанційного зондування (ArcMap, QGIS, ERDAS Imagine, ENVI, ErdMapper, Scanex MODIS Processor, ScanView і ін.).

Комбінації каналів камер супутників, які використовуються для розрахунку NDVI наведені в табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Комбінації каналів камер супутників для розрахунку NDVI

Супутник	Комбінації каналів
MSS Landsat(4,5)	5 (0.6-0.7 мкм), 6 (0.7-0.8 мкм) або 7 (0.8-1.1 мкм)
TM Landsat(4,5)	3 (0.63-0.69 мкм), 4 (0.76-0.90 мкм)
ETM+ Landsat7	3 (0.63-0.69 мкм), 4 (0.75-0.90 мкм)
AVHRR NOAA	1 (0.58-0.68 мкм), 2 (0.72-1.0 мкм)
MODIS Terra(Aqua)	1 (0.62-0.67 мкм), 2 (0.841-0.876 мкм)
ASTER Terra	2 (0.63-0.69 мкм), 3 (0.76-0.86 мкм)
LISS IRS(1C/1D)	2 (0.62-0.68 мкм), 3 (0.77-0.86 мкм)

З часу розробки алгоритму для розрахунку NDVI [11] у нього з'явилося досить багато модифікацій призначених для зменшення впливу різних перешкод. Таких, наприклад, як поглинання аерозолями атмосфери (atmospheric - resistant vegetation index – ARVI) і ін. Для розрахунку цих індексів використовуються формули, що враховують відносини між відбивною здатністю різних природних об'єктів і рослинністю в інших діапазонах, крім червоного і інфрачервоного, що робить їх більш складними в застосуванні. Існують також індекси, засновані на NDVI, але що коригують відразу кілька факторів, як, наприклад EVI (Enhanced vegetation index).

Для відображення індексу NDVI використовується стандартизована безперервна градієнтна або дискретна шкала, що показує значення в діапазоні від -1..1 в % (рис.2.9) або в так званій масштабованій шкалі в діапазоні від 0 до 255 (використовується для відображення в деяких пакетах обробки ДЗЗ, відповідає кількості градацій сірого), або в діапазоні 0..200 (-100..100), що більш зручно, так як кожна одиниця відповідає 1% зміни показника. Завдяки особливості відображення в NIR -RED областях спектра, природні об'єкти, не пов'язані з рослинністю, мають фіксоване значення NDVI, що дозволяє використовувати цей параметр для їх ідентифікації (табл.2.3).

Але, як правило, для завдань пов'язаних з картографуванням рослинності використовують немасштабовану шкалу, що починається з 0 (значення

NDVI менше 0 рослинність приймати не може). Для перекладу з шкали -1..1 в 0..200 (масштабування) використовується наступна формула: $100 (NDVI + 1)$.

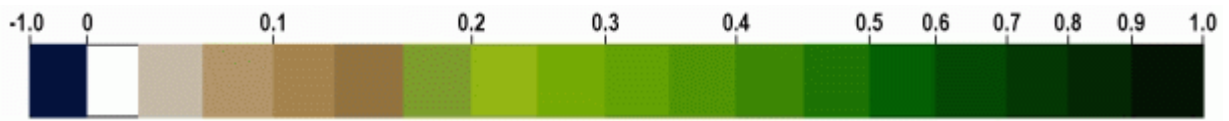


Рисунок 2.9 – Дискретна шкала NDVI

Таблиця 2.3 – Значення NDVI для різних типів об'єктів

Тип об'єкту	Відбиття в червоній області спектру	Відбиття в інфрачервоній області спектру	Значення NDVI
Густа рослинність	0.1	0.5	0.7
Розряджена рослинність	0.1	0.3	0.5
Відкритий ґрунт	0.25	0.3	0.025
Хмари	0.25	0.25	0
Сніг і льод	0.375	0.35	-0.05
Вода	0.02	0.01	-0.25
Штучні матеріали (бетон, асфальт)	0.3	0.1	-0.5

Найчастіше, розрахунок NDVI вживається на основі серії різночасових (різносезонних) знімків із заданою часовою здатністю, дозволяючи отримувати динамічну картину процесів зміни кордонів і характеристик різних типів рослинності (місячні варіації, сезонні варіації, річні варіації). Завдяки всім цим особливостям, карти NDVI часто використовуються як один з проміжних додаткових шарів для проведення більш складних типів аналізу. Результатами яких можуть бути карти продуктивності лісів і сільськогосподарських земель, карти типів ландшафтів, рослинності і природних зон, ґрунтові та інші еколого-кліматичні карти. Так само, на його основі можливе отримання численних даних для використання в розрахунках оцінки і прогнозування врожайності і продуктивності, біологічного різноманіття, ступеня порушення і збитку від різних природних і антропогенних лих, аварій та ін.

Головні недоліки використання NDVI:

- неможливість використання даних, які не пройшли етап радіометричної корекції (калібрування);
- похибки, що вносяться погодними умовами, сильною хмарністю і серпанком;
- необхідність для більшості завдань порівняння отриманих результатів з попередньо зібраними даними тестових ділянок (еталонів), в яких повинні враховуватися сезонні еколого-кліматичні показники, як самого знімка, так і тестових майданчиків на момент збору даних;
- можливість використання зйомки тільки пори року вегетації для досліджуваного регіону.

2.3 Обробка космічних знімків

2.3.1 Попередня обробка знімків

Перед основною обробкою отриманий знімок необхідно провести через етап попередньої обробки, який полягає в проведенні геометричної, радіометричної та атмосферної корекцій.

Геометрична корекція усуває геометричні спотворення, пов'язані з тим, що знімок поверхні Землі апаратом, спрямованим точно вниз, містить неспотворену картинку тільки в центрі знімка, при зміщенні до країв відстані між точками на знімку і відповідні відстані на Землі все більш різняться. виправлення таких спотворень проводиться в процесі фотограмметрії.

Радіометрична корекція включає в себе два види корекцій:

- 1) Радіометрична корекція спотворень, що виникають з вини оптики сенсора.
- 2) Радіометрична корекція спотворень, що виникають внаслідок кута падіння сонячних променів і форм рельєфу (усунення дефектів сонячних плям і тіней).

Атмосферна корекція – усуває різні спотворення, внесені наявністю атмосфери.

Калібрувальні коефіцієнти, необхідні для проведення корекцій, поставляються разом з вихідним пакетом знімка, що завантажується.

Механізм проведення корекцій досить складні. Однак, існує можливість не займатися корекцією і навіть основною обробкою знімків самостійно, а скористатися готовими "вторинними" знімками, якщо вони поставляються для обраного сенсора і якість їх даних підходить для вирішуваних завдань.

Продукція сенсорів надходить до кінцевого споживача в двох формах:

1) Вихідний оригінал знімка з усіма сценами спектральних каналів (стільки файлів зі сценами, скільки спектральних каналів має сенсор). По табл.2.4 це рівні Level0 (вихідний варіант знімка) і Level1 (цей же вихідний варіант з доданими, але не застосованими коефіцієнтами корекції);

2) Похідні продукти – оброблений операторами знімок за чітко визначеним алгоритмом для виявлення певних характеристик. Це рівні Level2, Level3, Level4 за табл.2.4.

Таблиця 2.4 – Рівні обробки даних ДЗЗ (за системою NASA)

Рівень	Опис
Level 0	Реконструйовані необроблені дані сенсора повної здатності без службових даних (синхронізаційні фрейми, заголовки, повтори)
Level 1A	Реконструйовані необроблені дані сенсора повної здатності, прив'язані за часом, забезпечені радіометричними і геометричними калібрувальними коефіцієнтами і параметрами географічної прив'язки (додані до цього рівня необхідні для проведення корекцій калібрувальні коефіцієнти обчислені за даними Level 0, але не застосовані на цьому рівні)
Level 1B	Дані рівня Level 1A, перетворені в одиниці виміру сенсора (не всі знімки входять до комплекту поставки з цим рівнем обробки)
Level 2	Похідні геофізичні змінні (висота океанічних хвиль, вологість ґрунту, концентрація льоду) з тієї ж роздільною здатністю, як у даних рівня Level 1
Level 3	Змінні, відображені в універсальній просторово-часовій шкалі, можливо доповнені інтерполяцією.
Level 4	Дані, отримані в результаті розрахунків на основі попередніх рівнів. Фінальна модель або результат аналізу попередніх рівнів обробки (змінні, отримані в результаті багатьох вимірів).

Похідні продукти не вимагають ніякої спеціальної обробки від кінцевого користувача, їх можна завантажувати і відразу використовувати для аналізу даних, які вони представляють. Для виконання дослідження будемо використовувати космічні знімки Landsat 8 Level2 не виконуючи спеціальної попередньої обробки.

2.3.1 Класифікація знімків

Дешифрування – це процес виявлення і розпізнавання об'єктів і явищ місцевості на знімку. Воно може бути як ручним, тобто базуватися на візуальній (людський) оцінці зображення, так і машинним (автоматичним). Машинна обробка зводиться до різних механізмів класифікації. Для початку потрібно представити всі пікселі (їх спектральні яскравості) як вектора в просторі спектральних ознак. При аналізі кількісних зв'язків спектральних яскравостей різних об'єктів відбувається поділ пікселів за класами. Класифікація знімків поділяється на класифікацію з навчанням і класифікацію без навчання.

2.3.1.1 Класифікація контрольована (з навчанням)

Класифікація з навчанням передбачає наявність еталона, з яскравістю якого порівнюється яскравість кожного пікселя. В результаті, маючи кілька еталонів, заздалегідь заданих, отримуємо множину об'єктів, розділених на класи. Ця класифікація працює тільки в разі, якщо відомі заздалегідь ті об'єкти, які відображені на знімку, класи чітко помітні і їх кількість невелика.

Розглянемо деякі з методів, які можуть використовуватися в класифікації з навчанням.

Метод мінімальної відстані – значення яскравості пікселів розглядаються як вектора в просторі спектральних ознак. Між цими значеннями і значеннями векторів еталонних ділянок вираховується спектральна відстань, як корінь з суми квадратів різниці векторів пікселя і еталона (простіше кажучи, евклідова відстань між ними). Всі пікселі розподіляються за класами залежно від того, перевищує відстань між ними і еталоном задану чи ні. Так, якщо відстань менше, то клас визначений, піксель можна віднести до ідеалу (рис.2.10).

Метод дистанції Махаланобіса – дуже схожий на перший спосіб, тільки при класифікації вимірюється не евклідова відстань між векторами, а відстань Махаланобіса, яке враховує дисперсію значень яскравості еталона. У цьому способі, якщо евклідова відстань до двох еталонів від даного пікселя дорівнює, то перевагу отримає той клас, дисперсія еталонної вибірки якого більше.

Метод спектрального кута – спочатку задається максимальне значення спектрального кута (кута між вектором-еталоном і вектором даного пікселя). Знаходиться спектральний кут, і, як з евклідовою відстанню, якщо кут менше заданого, то піксель потрапляє в клас еталона, з яким йде порівняння (рис.2.11).

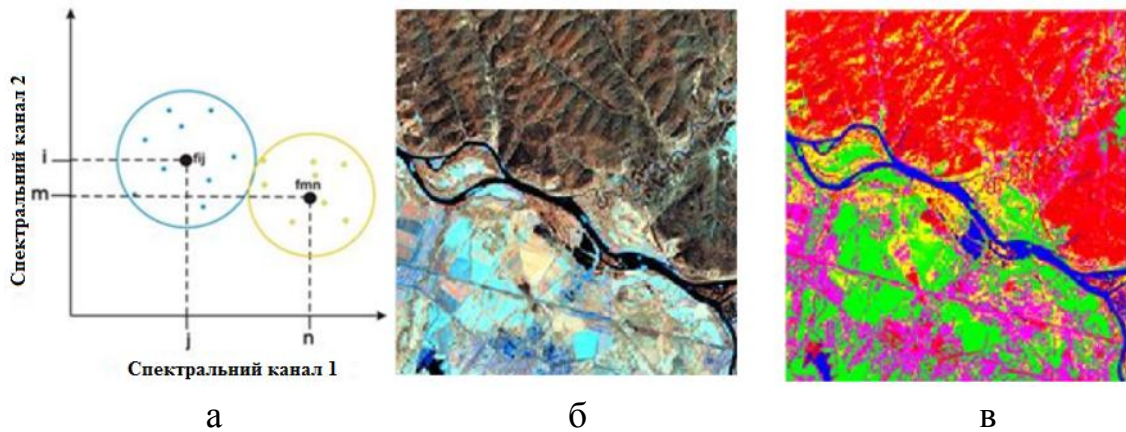


Рисунок 2.10 – Класифікація методом мінімальної відстані: а – графічне представлення методу; б – вихідний знімок Landsat; в – результат класифікації

Розглянуті метод є параметричними. До непараметричних методів можна віднести метод паралелепіпеда, який реалізується шляхом завдання кордонів для значень спектральної яскравості для кожного класу. Межі паралелепіпеда для кожного класу можуть бути визначені мінімальним і максимальним значеннями матриці в даному класі або, альтернативно, певним числом стандартних відхилень по обидва боки від середнього значення класу, визначеного на основі навчальної вибірки.

Правило рішення – перевірити, чи знаходиться точка, яка представляє піксель в просторі ознак, усередині кожного з паралелепіпеда. Метод паралелепіпеда виконується швидко і легко, але можуть виникати помилки, особливо коли піксель лежить всередині більш ніж одного паралелепіпеда або поза всіма паралелепіпедів. Ці дві ситуації, очевидно, можуть виникнути, тому що в просторі розподіл векторів шаблонів часто досить складно [18].

У даній роботі метод паралелепіпеда використаний для класифікації територій по щільності рослинності на основі значень NDVI шляхом завдання відомих значень меж паралелепіпедів на основі прийнятої для України класифікації (відсутність рослинності (-1-0), середня рослинність (0-0,15), рослинність середньої щільності (0,15-0,3), щільна рослинність (0,3-0,45), дуже щільна рослинність (0,45-0,6), рослинність з високою щільністю (0,6-1)).

2.3.1.2 Класифікація неконтрольована (без навчання)

Класифікація без навчання побудована на повністю автоматичному розподілі пікселів за класами на основі статистики розподілу значень яскравості пікселів. Даний вид класифікації використовується, якщо спочатку невідомо,

скільки об'єктів присутні на знімку, кількість об'єктів велика, в результаті машина сама видає отримані класи, а ми вже визначаємо, яким об'єктам їх поставити у відповідність.

Метод ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm) заснований на кластерному аналізі з використанням методу послідовних наближень(рис.2.11).

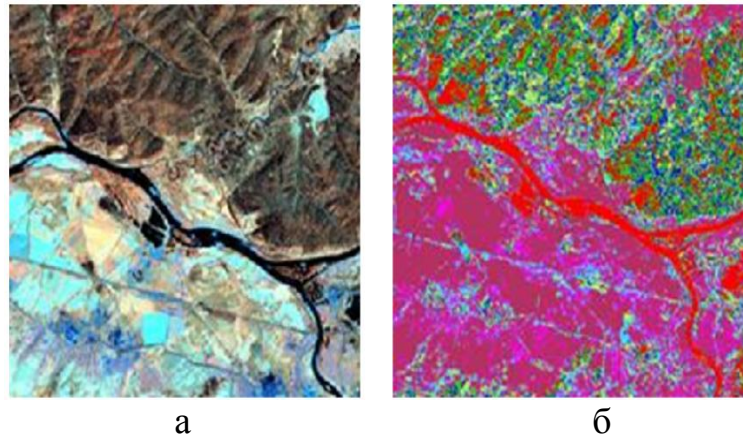


Рисунок 2.11 – Класифікація методом ISODATA: а –вихідний знімок Landsat; б – результат класифікації

Після розгляду яркостей пікселів, як векторів в просторі спектральних ознак, найближчі визначаються в один клас. Для кожної спектральної зони йде розрахунок статистичних параметрів розподілу яркостей. Всі пікселі діляться на деяке n число рівних діапазонів, всередині кожного з яких знаходиться середнє значення. Для кожного пікселя діапазону розраховується спектральна відстань до середнього значення. Всі пікселі, відстань між якими найменша визначаються в один кластер. Так проходить перша ітерація. При другій ітерації і наступних йде розрахунок вже реальних середніх значень для кожного кластера. Кожна нова ітерація уточнює кордон майбутніх класів.

Метод К-середніх – схожий на попередній метод, за тим лише винятком, що початкові середні значення задаються (це можливо тільки, якщо об'єкти на знімку добре зчитуються).

2.4 Алгоритм проведення аналізу даних

Алгоритм проведення аналізу даних наведено на рис. 2.12.

Для кожного знімка проводиться обчислення значень NDVI з одночасною попередньою обробкою даних по перерахунку значень DN в значення спектральної яскравості. Потім проводиться класифікація з навчанням отри-

маних карт NDVI методом паралелепіпеда. Для цього задаються значення координат паралелепіпедів відповідно до класифікації щільності рослинності (навчальні вибірки).

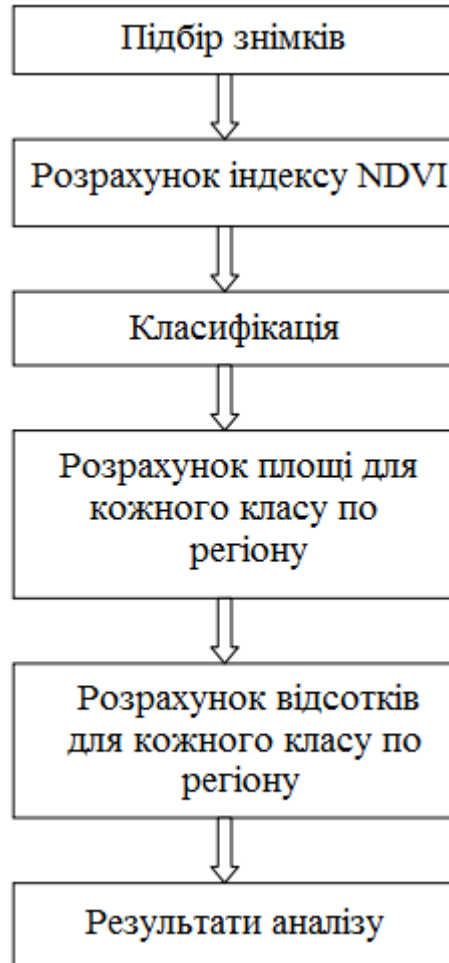


Рисунок 2.12 – Алгоритм проведення аналізу

Після класифікації розраховуються площі для кожного класу в кв. км і будуються графіки, що показують зміну площ класів в часі (по роках і за вегетаційний період) і діаграми, що показують процентне співвідношення класів по в кожному регіону. Проводиться аналіз отриманих даних.

2.5 Використані програмні засоби

В роботі була використана геоінформаційна система QGIS, яка поширюється під GNU General Public License v2. Будучи ПО з відкритим вихідним кодом, QGIS надає користувачеві наступні рівні свободи:

- використовувати QGIS для будь-яких власних цілей;

- вивчати принципи її роботи і модифікувати;
- вільно поширювати копії;
- удосконалювати і публікувати похідні продукти як загальнодоступні.

Робота над QGIS була розпочата в травні 2002 р, а в 2007 р вона стала проектом Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) – міжнародної некомерційної організації, створеної для підтримки спільної розробки і використання геоінформаційного ПЗ з відкритим вихідним кодом. Основні функціональні можливості QGIS наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні функціональні можливості QGIS

Функція	Опис
Створення геоданих	Просторова прив'язка зображень (геокодування); створення і редагування векторних (shape) файлів, в т.ч. з підтримкою топології; створення і редагування атрибутивних даних; інструменти для імпорту і експорту даних GPS; створення і редагування таблиць просторових баз даних; вивантаження і редагування даних OpenStreetMap.
Управління геоданими	Підтримка стандартних проекцій (більше 2 700), а також параметрів переходу між різними системами координат; створення призначених для користувача проекцій; перевірка топології; перегляд / пошук атрибутів (SQL-запити); визначення / вибірка об'єктів (SQL-запити).
Аналіз геоданих	Функції геообробки: буферні зони, відсікання, об'єднання та ін.; просторові запити; калькулятор полів атрибутів; калькулятор растрів; морфометричний аналіз; найбільш широкі можливості аналізу геоданих надає фреймворк геообробки QGIS, а саме – доступ до більш ніж 500 алгоритмів інших відкритих ГІС (зокрема, GRASS, SAGA, Orfeo Toolbox), призначених для користувача скриптів. Крім того, він дозволяє автоматизувати процеси завдяки можливостям пакетної геообробки і створення моделей аналізу.
Представлення геоданих	Зміна символіки векторних і растрових шарів; підписування об'єктів; компоновщик карт для створення карт і атласів; публікація карт в Інтернет.

На сьогоднішній день це одна з функціональних настільних ГІС, що найбільш динамічно розвиваються, основними перевагами якої є:

- безкоштовне розповсюдження;
- свобода – завдяки відкритості вихідного коду, користувачі не тільки можуть вивчати особливості пристрою QGIS, але і модифікувати її відповідно до власних потреб;

- динамічний розвиток – розробка QGIS ведеться міжнародною групою розробників, яка з 2014 р перейшла на 4-хмісячного цикл релізів. Таким чином, нова версія виходить 3 рази в рік;

- велика документація – для рядових користувачів є Керівництво користувача, для розробників;

- інтеоперабельність – гнучкість у взаємодії з різними апаратними базами, операційними системами та програмним забезпеченням, способами уявлення геоданих і їх просторовими характеристиками. Завдяки цих комплексних властивостей QGIS може: бути встановлена для Windows, Mac OS X, Linux, BSD, Android; підтримувати різні формати і моделі даних, а саме: більше 60 форматів растрових даних (бібліотека Geospatial Data Abstraction Library – GDAL), більш 20 векторних (OGR Simple Features Library), взаємодія з базами геоданих, OGC-сервісами; взаємодіяти з даними в різних проекціях і системах координат.

3 ОПИС ЕТАПІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Опис вихідних даних дослідження

3.1.1 Джерела даних ДЗЗ

3.3.1.1 База геоданих EarthExplorer (USGS)

Одним з основних джерел матеріалів ДЗЗ, в тому числі і безкоштовних, є архів Геологічної служби (ГС) США (USGS [18]). Доступ до нього можливий як для простого перегляду каталогу, так і для безпосереднього отримання збережених в ньому матеріалів. Подивитися каталог і зменшену версію (preview) збережених в архіві ГС США матеріалів можна на сайті EarthExplorer (рис. 3.1).

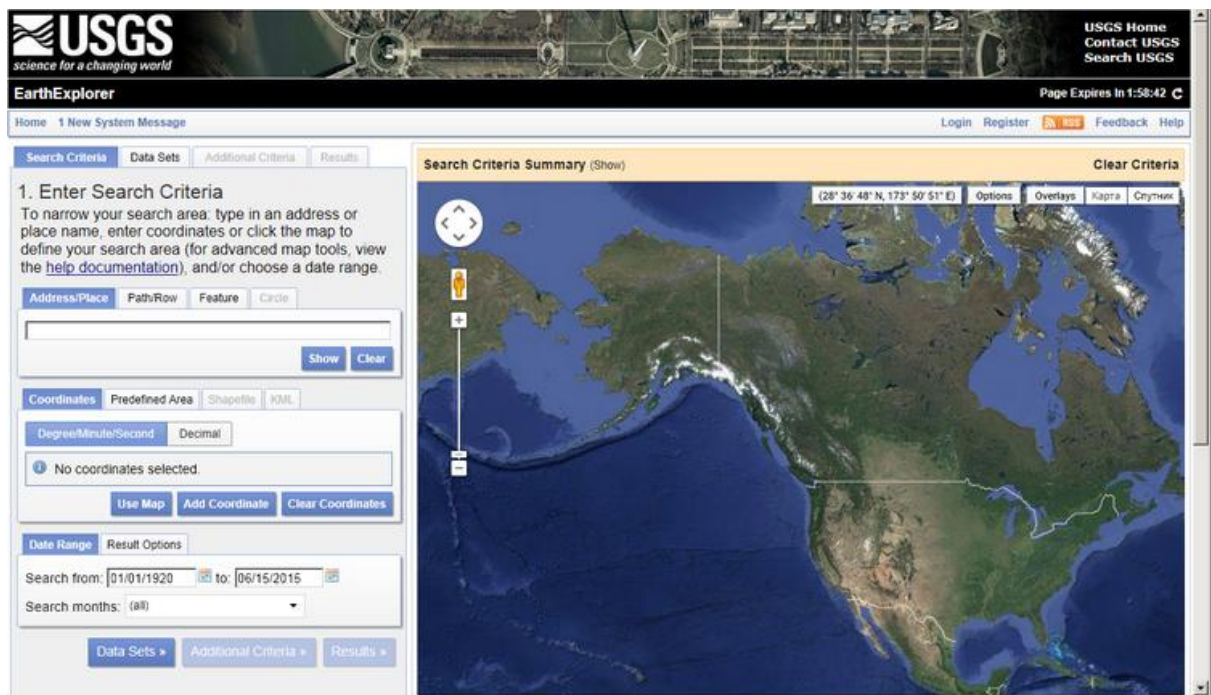


Рисунок 3.1 – Головна сторінка сайту EarthExplorer

Якщо відома сцена Landsat, знімка для якої треба отримати дані, то вказівка її номера в системі WRS-2 – найшвидший спосіб обмежити просторові рамки області інтересу. На вкладці Search Criteria є кнопка Path / Row, яка дозволяє ввести номер витка (path) і рядка (row) сцени, що інтересує. Якщо її натиснути, то з'являться кілька елементів інтерфейсу, в тому числі список Type (тип), що надає вибору з двох варіантів: WRS-1 і WRS-2. За замовчуванням

вибирається 2-й. Якщо це не так, то треба встановити WRS-2. Після вводу номер витка і рядка сцени, відповідної південь і після натискання на кнопку Show в панелі Coordinates (Координати) з'явиться рядок з географічними координатами точки, що є центром зазначеної сцени. Користуючись тільки картою Google, можна задати область інтересу у вигляді полігону довільної форми. Для цього треба встановити опцію карти в значення Polygon (Полігон). Потім просто виконати клацання мишею в тих місцях карти, де повинні розташовуватися вузли полігону. Для прикладу обведемо полігоном по периметру кордон Одеської області (рис. 3.2).

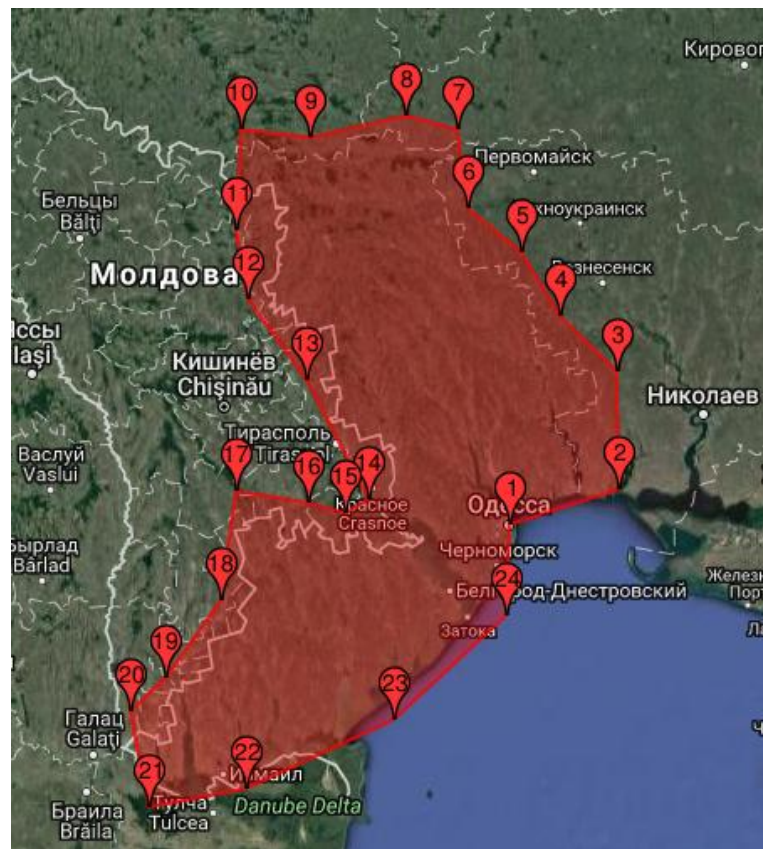


Рисунок 3.2 – Результат завдання області інтересу у вигляді полігону

Для пошуку у просторовій базі даних знімків потрібно вказати діапазон часу за який буде відбуватися пошук даних і обрати джерело їх надходження (знімки якого супутника треба шукати).

Після установки параметра межі хмарного покриття для кожного джерела даних можна перейти до перегляду результатів пошуку за всіма заданими критеріям. Для цього треба переключитися на вкладку Results (Результати). Також як і при установці додаткових параметрів, перегляд результатів прово-

диться окремо для кожного джерела даних. Знайдені записи представлені у вигляді списку, розділеного на кілька сторінок по 10 записів на кожній (рис.3.3).



Рисунок 3.3 – Список результатів пошуку

Для Одеської області є в наявності знімки в архіві Landsat, з супутників Landsat 5, 7 і 8 за 2011, 2013 роки і по теперішній час. Знімки рівня L2 присутні також, але на жаль у меншому часовому діапазоні.

Є зручна можливість – подивитися яку територію на місцевості покриває та чи інша сцена, одночасно побачивши її зображення. Для цього можна, включивши для цієї сцени кнопку Show Browse Overlay, побачити її в проекції, накладену на карту (рис. 3.4).

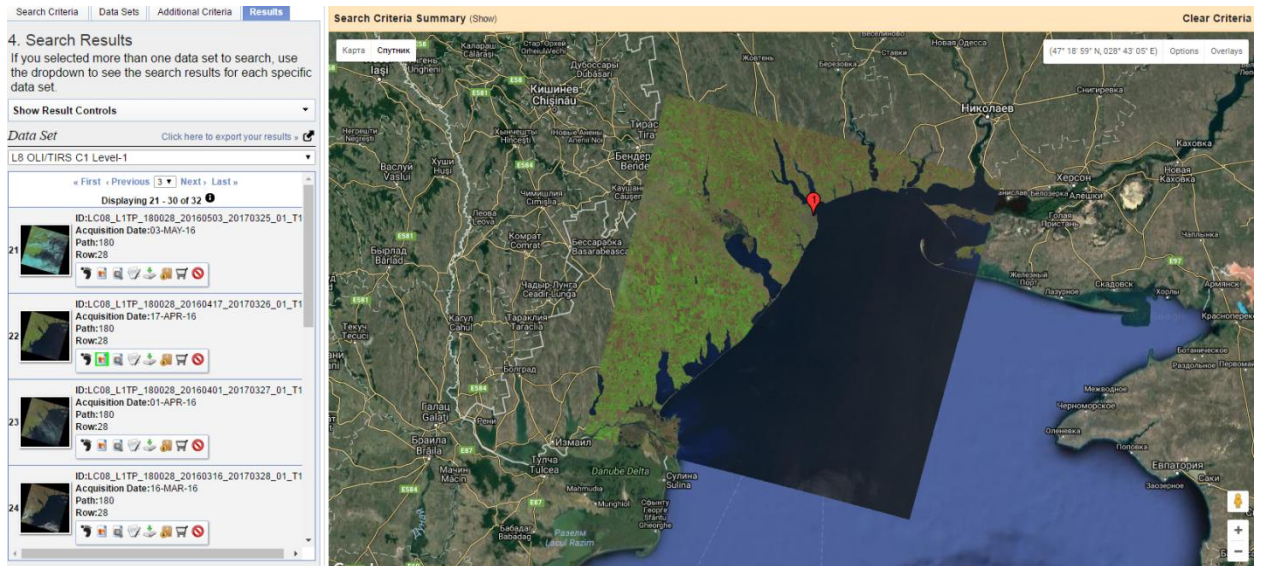


Рисунок 3.4 – Накладення обраної сцени на карту Google

3.3.1.2 Геосервіс Libra

Більш демократичний, простий і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для скачування космознімків Landsat в порівнянні з сервісом USGS надає платформа Libra – проект компанії Development Seed [19]. Сервіс заснований на движку скачування космознімків від компанії Google, а опис метаданих для пошуку взяті з сервісу USGS. Інтерфейс сервісу Libra наведений на рис.3.5.

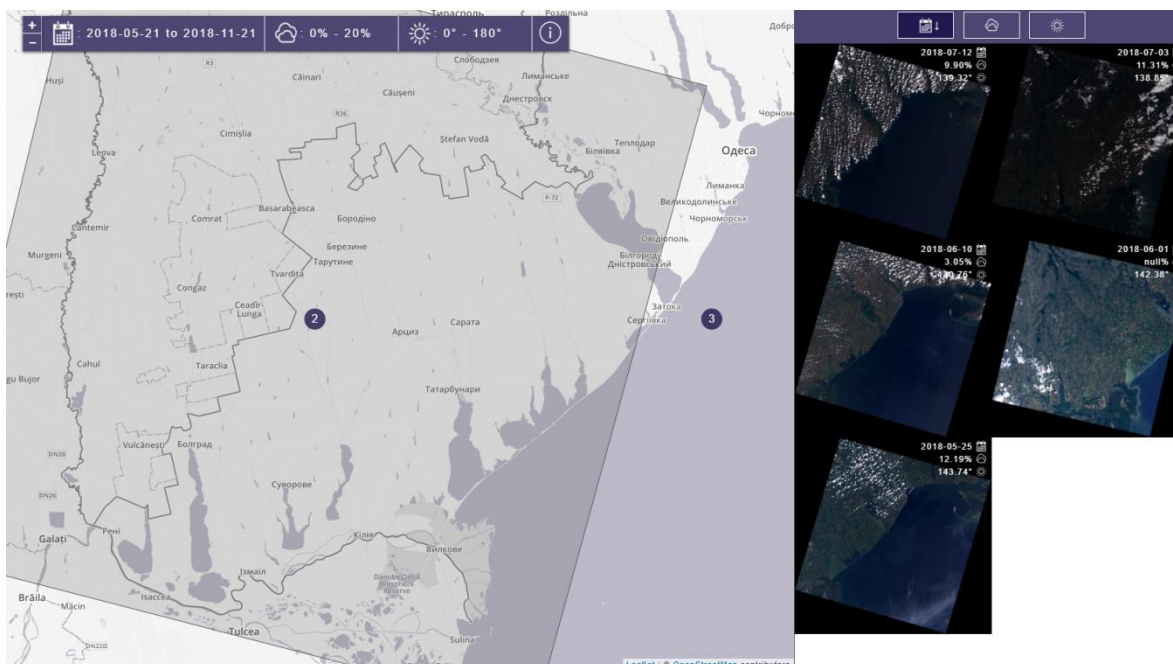


Рисунок 3.5 – Інтерфейс геосервісу Libra

На панелі сервісу необхідно задати потрібний інтервал дат, в якому проводилася зйомка і праворуч відобразяться доступні для скачки сцени. Додатково можна задати показник хмарності.

Завантажувати знімки можна в двох режимах - пакетному (Bundle) і по-канально. Закачування по окремих каналах доступно тільки для зйомок 2015 року. Запакована архіватором tar + bzip2 сцена в пакетному режимі має розмір приблизно 800 Мб.

Відмінністю сервісу є наявність меню NDVI внизу форми (рис.3.6), за яким програма сама виділить потрібні канали для аналізу розвитку рослинності за індексом NDVI.

Advanced Download

Choose individual satellite bands to download.

<input type="checkbox"/> B1 - Coastal aerosol	<input type="checkbox"/> B7 - Shortwave Infrared 2
<input type="checkbox"/> B2 - Blue	<input type="checkbox"/> B8 - Panchromatic
<input type="checkbox"/> B3 - Green	<input type="checkbox"/> B9 - Cirrus
<input type="checkbox"/> B4 - Red	<input type="checkbox"/> B10 - Thermal Infrared 1
<input type="checkbox"/> B5 - Near Infrared	<input type="checkbox"/> B11 - Thermal Infrared 2
<input type="checkbox"/> B6 - Shortwave Infrared 1	<input type="checkbox"/> BQA - Quality Assessment

True Color: 4,3,2

NDVI: 5,4

Urban False Color: 7,5,2

Download Bands

Рисунок 3.6 – Перелік каналів знімку Landsat

3.1.2 Опис космознімків, що використані у дослідженні

В таблиці 3.1 наведено опис використаних в роботі знімків, що покривають південь Одеської області: райони Ізмаїльський, Ренійський, Болградський, Кілійський.

Аналіз проводився по знімках різних років зйомки, отриманим в близькі дати, а також по знімках 2018 р за вегетаційний період з квітня по жовтень. Нажаль не всі існуючі у базі знімки мають високі якісні характеристики. Деякі з них отримані при високій хмарності, що робить їх не придатними для розра-

хунку індексу вегетації. Нами були отобрані тільки знімки, що мають не високий відсоток шуму.

Таблиця 3.1 – Опис знімків Landsat , що були використані в роботі

Характеристики знімків	Супутник	Дата зйомки
Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-2	Landsat_8	2018.04.30
	Landsat_8	2018.06.01
	Landsat_8	2018.07.03
	Landsat_8	2018.08.06
	Landsat_8	2018.08.20
	Landsat_8	2018.09.21
Landsat 7 ETM+C1 Level-2	Landsat_7	2017.04.11
	Landsat_7	2017.04.27
	Landsat_7	2017.05.13
	Landsat_7	2017.05.29
	Landsat_7	2017.06.30
	Landsat_7	2017.08.01
	Landsat_7	2017.08.17
	Landsat_7	2017.09.02
	Landsat_7	2017.09.18
	Landsat_7	2016.04.24
	Landsat_7	2016.06.11
	Landsat_7	2016.06.27
	Landsat_7	2016.07.13
	Landsat_7	2016.07.29
	Landsat_7	2016.08.14
	Landsat_7	2016.09.15
	Landsat_7	2016.10.01
	Landsat_7	2015.05.08
	Landsat_7	2015.05.24
	Landsat_7	2015.06.09
	Landsat_7	2015.07.11
	Landsat_7	2015.07.27
Landsat_7	2015.08.28	
Landsat 4-5 TM C1 Level-2	Landsat_5	2011.04.27
	Landsat_5	2011.05.13
	Landsat_5	2011.05.29
	Landsat_5	2011.07.16
	Landsat_5	2011.08.01

Сцену можна скачати у вигляді архіву, якщо розпакувати архів, то можна виявити в ньому геоприв'язані зображення сцени у різних каналах у форматі tiff (рис.3.7) які і будемо обробляти.

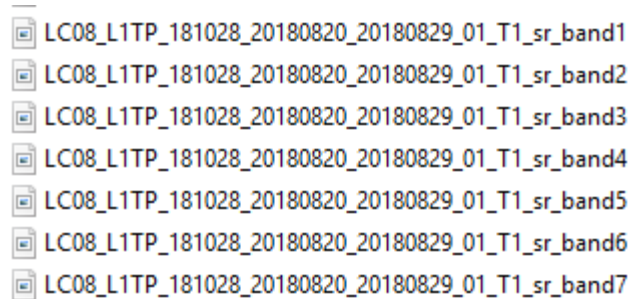


Рисунок 3.7 – Вигляд пакетного архіву знімку Landsat

За космічними знімками, після їх попередньої обробки, будуть побудовані карти NDVI, проведена їх класифікація за щільністю рослинності відповідно до заданої шкалою і проведено аналіз даних.

3.2 Дешифрування знімків ДЗЗ

Виявлення наявності різного типу рослинності способом дистанційних спостережень здійснюється шляхом дешифрування знімків ДЗЗ, розпізнавання ділянок з рослинністю.

Рослинним дешифруванням знімків називається процес розпізнавання зображених на них різних рослинних об'єктів (лісів, сільськогосподарських угідь, пустошей, боліт і плавнів, місць з відсутністю рослинності і встановлення їх кількісних і якісних характеристик. Дешифрування може бути візуальним (окомірним, аналітичним), вимірювальним, автоматичним (машинним), а також комплексним – аналітико-вимірювальним або автоматизованим (інтерактивним, людино-машинним).

На першому етапі дешифрування знімка необхідно розрахувати вегетаційні індекси, знайти діапазони лісу і рослинності. На другому етапі: в програмному модулі застосувати метод сегментації до перетворених знімків, з урахуванням розрахованих діапазонів, потім провести векторизацію і обчислити точність визначення об'єктів рослинності, створити картосхему.

На рис.3.8 представлена діаграма діяльності методики дешифрування ділянок рослинності.

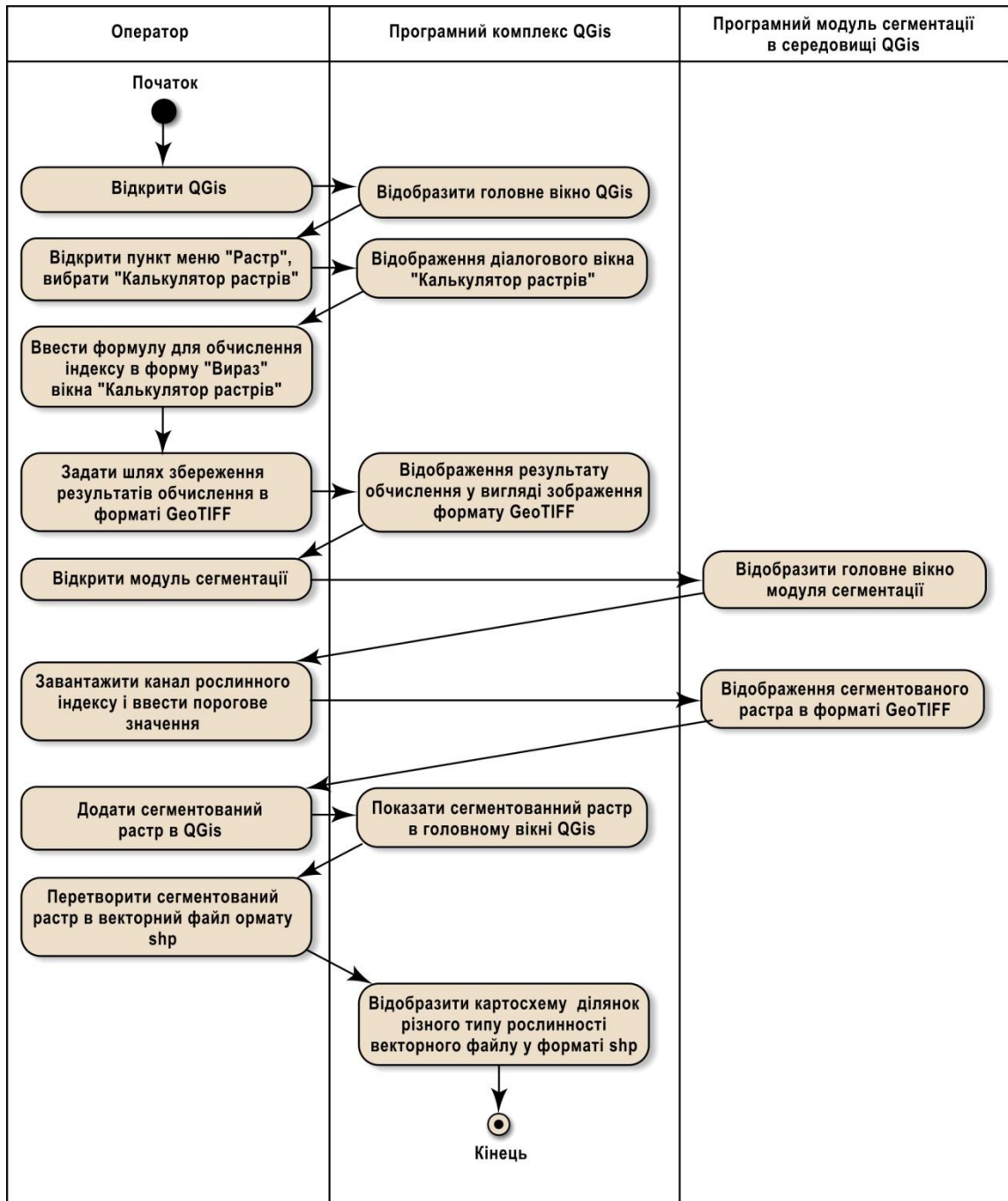


Рисунок 3.8 – Методика дешифрування ділянок рослинності

3.2.1 Створення композиту каналів космозйомки

Для розрахунку багатоспектрального індексу обрана вільно поширювана геоінформаційна система QGIS. Для визначення вегетаційного індексу необхідно виконати обчислення в QGIS, а для цього завантажити знімок Landsat в форматі TIFF, тобто зображення сцени у різних каналах (3.9).

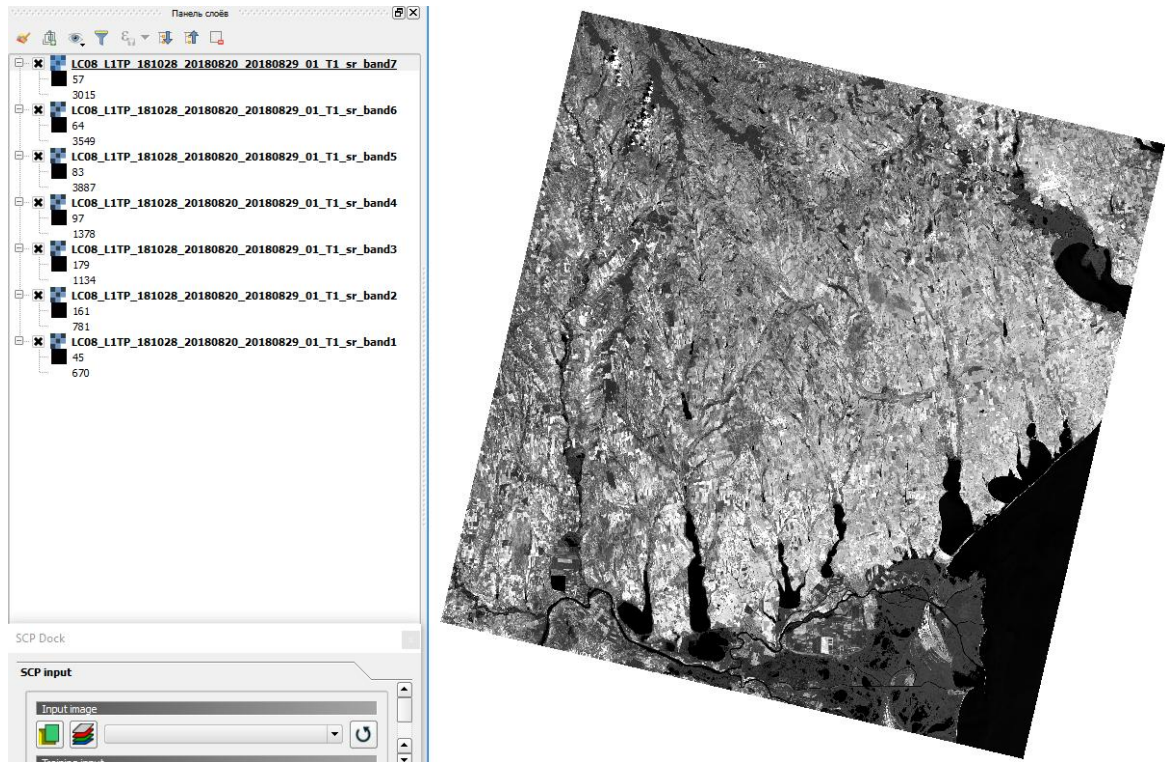


Рисунок 3.9 – Знімок супутника Landsat

Канали знімків від сенсорів Landsat можна змішувати в будь-яких поєднаннях. Все залежить від того, які завдання аналізу стоять перед дослідником. На допомогу може прийти досвід фахівців з обробки ДЗЗ. Наприклад, найбільш природну (з точки зору побутового, недосвідченого сприйняття) кольорову картинку з космосу можна отримати, поєднавши канали 3-2-1, або 4-3-2 для Landsat 8 (послідовність має значення). Приклад такого зображення для Вілково, наведений на рис.3.10 (а). Але для фахівців з дешифрування космознімків таке зображення не є змістовним з точки зору вилучення вичерпної інформації. Набагато частіше використовується поєднання каналів 4-3-2. Приклад такого зображення представлений на рис.3.10.

Наведена вище комбінація каналів 4-3-2 володіє набагато більшою інформативністю і точністю для задач диференціації рослинного покриву і заселених (сельбищних) територій. Щільний червоно-рожевий колір є показником насиченості хлорофілу (рослинності), а холодні блакитні тони відповідають за міську забудову. Для гідрогеологів і гідрографів безсумнівно вдалим буде поєднання каналів 7-4-2, що дозволяє контрастно відтінити поверхні водойм. Поєднання 5-3-1 буде корисно при оновленні топографічних карт, добре видно дороги, межі полів, території міської забудови та інша картографічна структура.

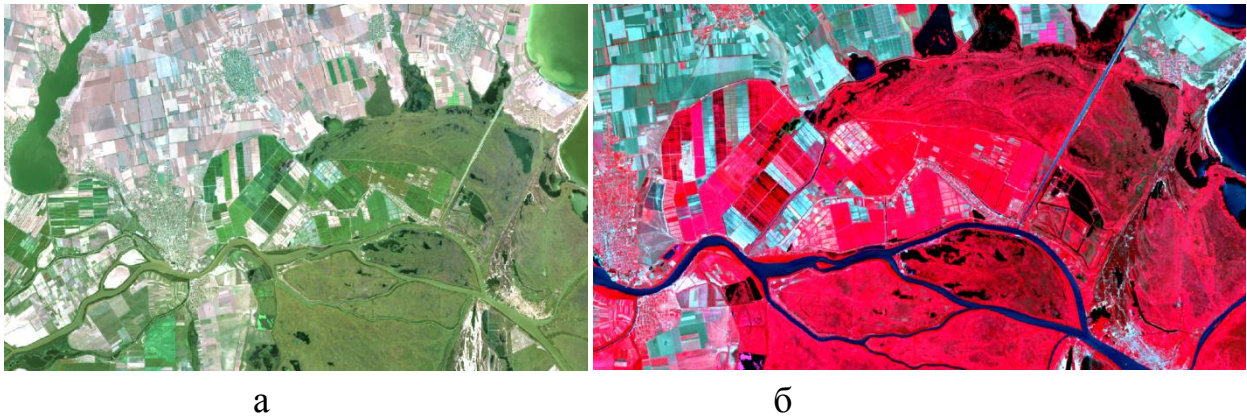


Рисунок 3.10 – Композиту каналів космозйомки: а – поєднання каналів 3-2-1;
б – поєднання каналів 4-3-2

3.2.2 Розрахунок вегетаційних індексів

Розрахунок індексу NDVI можна виконати у QGIS, використовуючи калькулятор растрів, який знаходиться у вкладці меню «Растр». Для розрахунку індексу необхідно використовувати канали NIR і RED, у супутника Landsat це 4-й і 3-й канали відповідно, (у супутника Landsat 8 – 5-й і 4-й канали). В полі «Вираз» вводимо формулу NDVI (рис.3.11). На рис.3.12 представлений отриманий знімок з підрахованими індексом NDVI.

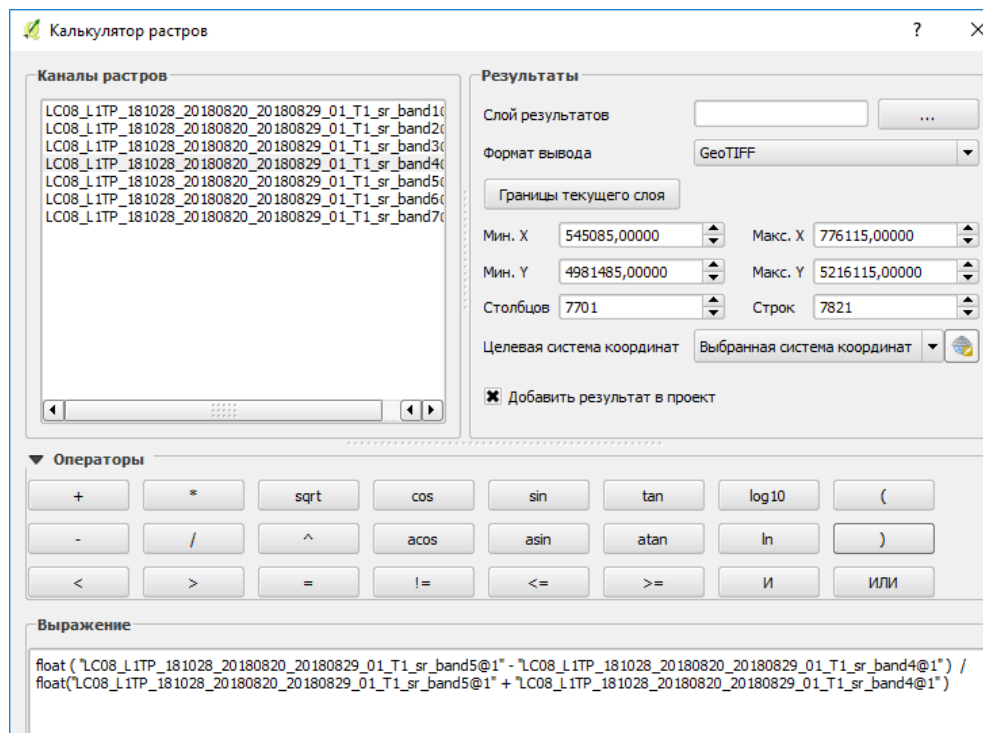


Рисунок 3.11 – Формула для підрахунку NDVI



Рисунок 3.12 – Розрахований індекс NDVI для знімка Landsat

Після того, як розраховано індекс, необхідно визначити значення діапазону для лісу і багаторічних насаджень, рілля, пасовища і болот. Для цього переходимо в панель інструментів і вибираємо «Визначити об'єкти» і, проходячи по карті, знаходимо максимальне і мінімальне значення для кожного пікселя лісу і багаторічних насаджень, рілля, пасовища і болот.

Вибір даних інтервалів розподілу точок обґрунтований тим, що отримані значення з вихідного зображення є значеннями, розрахованими за індексом NDVI. Значення точок, розраховані по NDVI, представляються у вигляді десяткових дробів, де значення менше 0.2 говорять про те, що на даній ділянці рівень заростання дуже малий або повністю відсутній і дана ділянка може бути охарактеризований як незасіяні рілля. Значення вище 0.6 говорять про те, що в даній області щільність заростання знаходиться на високому рівні.

Для зеленої рослинності відображення в червоній області завжди менше, ніж в ближній інфрачервоній, за рахунок поглинання світла хлорофілом, тому значення NDVI для рослинності не можуть бути менше нуля.

Розрахунок індексу для кожного пікселя космічного знімка по червоній і ближній інфрачервоній спектральним зонам дозволяє отримати похідне зображення - карту NDVI.

В результаті точки для індексу NDVI розподілені наступним чином:

$$S(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 0.54 < f(x, y) \leq 0.85 \\ 2, & \text{якщо } 0.29 < f(x, y) \leq 0.54 \\ 3, & \text{якщо } 0.15 < f(x, y) \leq 0.29 \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (3.1)$$

де $S(x, y)$ — шукане зображення;

- 1 – ліс, болота, щільна рослинність;
- 2 – рілля, середня щільності рослинності;
- 3 – пасовища, бідна рослинність;
- 0 – вода, нема рослинності.

3.3 Класифікація знімків ДЗЗ

На рис.3.13 представлений алгоритм роботи сегментації зображення на прикладі індексу NDVI, плагіну Semi-Automatic Classification в середовищі QGIS, результат роботи якого – поділ всіх пікселів зображення за заданим граничним значенням спектрального індексу і створення вихідного растрового файлу формату GeoTIFF, що містить інформацію про типи пікселів у вигляді бінарного зображення.

Потім отриманий растровий файл сегментації перетворимо в полігони векторного шару зі збереженою проекцією; і текстовий файл, який містить в собі інформацію про координати і значеннях точок кожного сегмента, який дозволить визначити ділянки лісозаростання і сільгоспугіддя.

Робота плагіна відбувається наступним чином. На першому кроці додається космічний знімок території, для більш точної візуалізації об'єкта спостереження можна використовувати функцію "RGB: уявити знімок в синтезованих і натуральних кольорах". Після завантаження необхідно сформувати директорії, куди згодом запишуться файли ROI (регіони інтересу) і файли сигнатур.

Далі потрібно виконати формування файлів "регіонів інтересу" і сигнатур для подальшої класифікації. Для об'єктів з великою площею, таких як дзеркала озер, використовують кнопку полігонального захоплення пікселів (рис.3.14). Після треба задати id обраного об'єкта і назву і натиснути на "SAVE ROI". Після запису ROI автоматично зміниться і лист сигнатур.

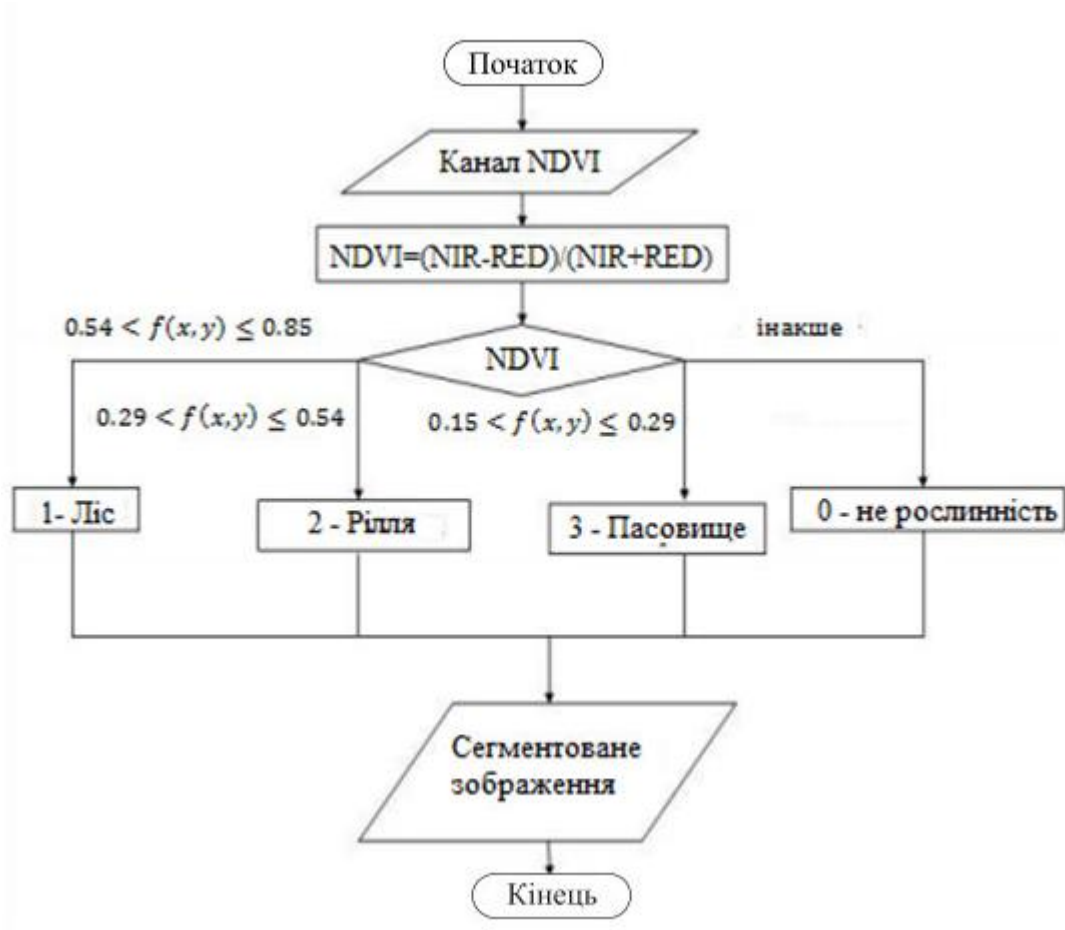


Рисунок 3.13 - Алгоритм роботи програмного модуля сегментації зображення

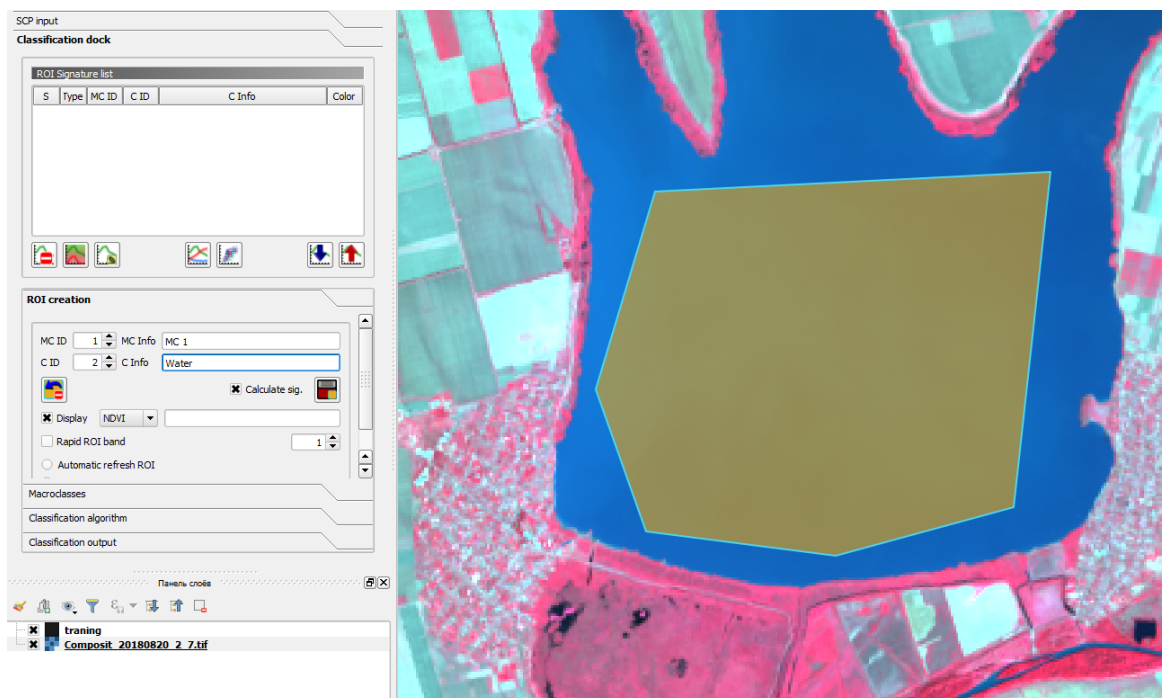


Рисунок 3.14 – Захоплення пікселів для водних об'єктів

Таким же чином виділимо ділянки голого ґрунту (пасовища). Зважаючи на велику різноманітність кольоровості відкритого ґрунту (в прикладі від фіолетового до слабкого марганцевого) збільшимо радіус захоплення до 3500. Вибираємо оптимальний варіант відображення. Даємо id і назву елементу ROI. Таким же чином захоплюємо пікселі для лісів, сільгоспугідь і болот.

Після проведення попередніх етапів буде сформований в лист сигнатур (рис.3.15), в якому записані сигнатури в авто-кольорах. Тобто під час запису ROI в листі SIG сформувалися рядки з відповідними назвами і класами регіонів інтересу, а також задалися кольори, які можуть бути змінені на більш звичні.

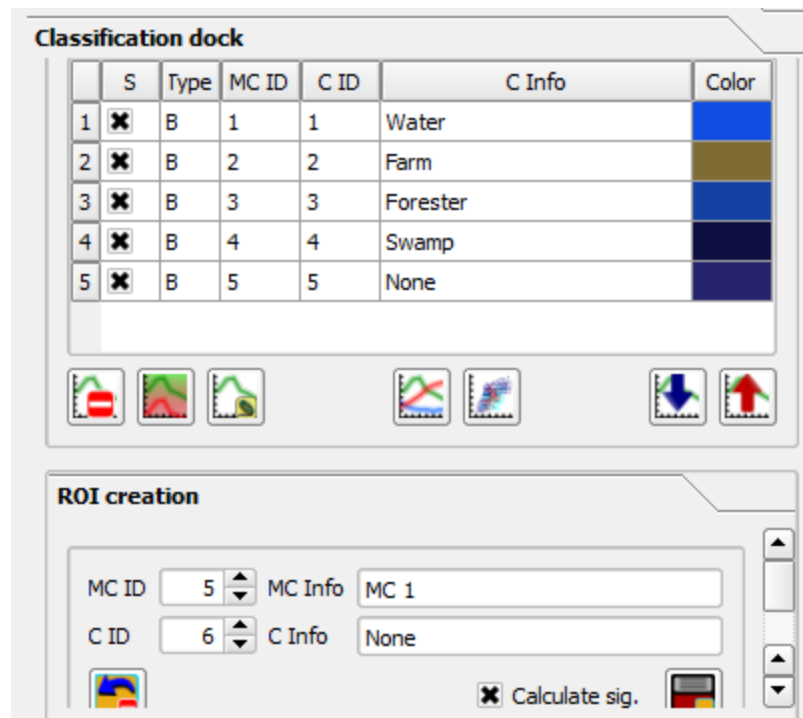


Рисунок 3.15 – Лист сигнатур

На наступному етапі вибираємо метод класифікації "Spectral Angle Mapping", "Size = 500" і наводимо курсор на космознімок (рис.3.16). Після натискаємо на кнопку "perform classification", створюємо папку "classification" і називаємо в ній документ "classification.tif". Класифікація виконана (рис.3.17).

Як бачимо, більша частина території, що досліджується, є сільгоспугіддями. Важким класифікувати ліси і болота, тому що вони мають приблизно однакове значення індексу вегетації. Далі за отриманою растровою картою класифікації можна побудувати векторну карту рослинності, шляхом її векторизації.

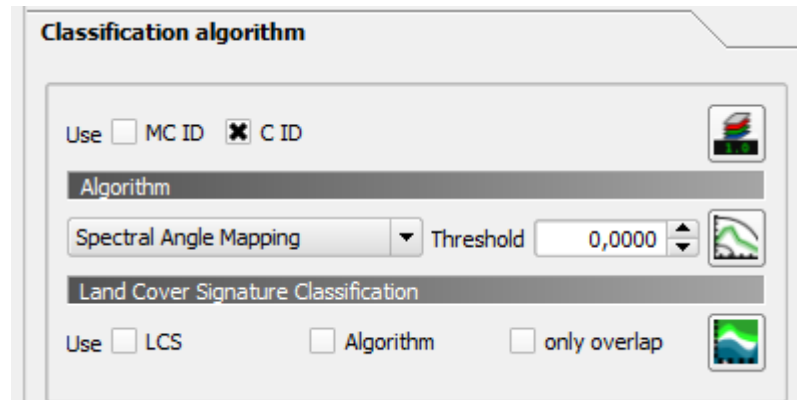


Рисунок 3.16 – Вибір методу класифікації

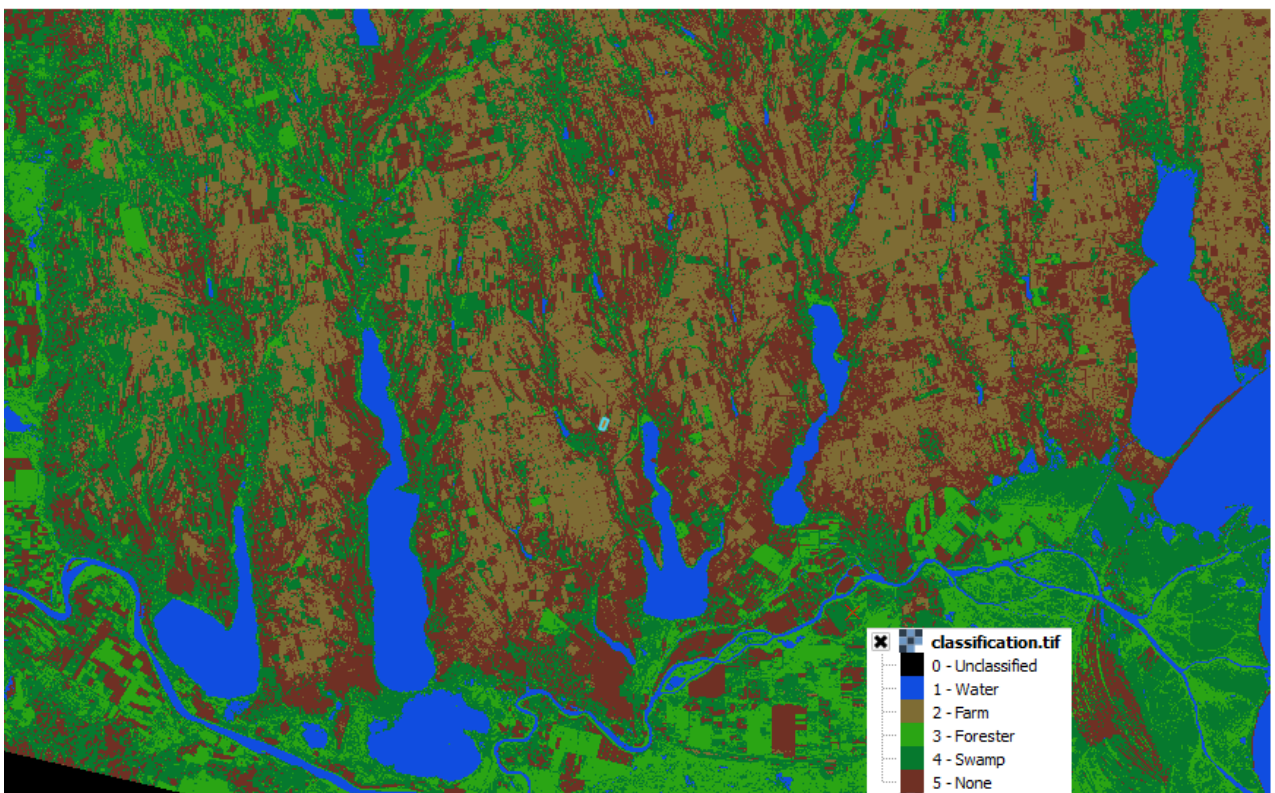


Рисунок 3.17 – Результат класифікації з навчанням

На рис.3.18 представлена векторна карта рослинності території. Як показав її аналіз на території з загальною площею 4778 км², сільськогосподарські угіддя складають площу 2365 км², ліса і лісосмуги – 154,5 км².

3.4 Аналіз отриманих результатів

Найважливішою областю застосування NDVI є галузь сільського господарства. Карти вегетаційного індексу дозволяють чітко окреслити поля, оцінити градієнтність посівів і інші особливості відображення.



Рисунок 3.18 – Векторні шарі різного типу рослинного покриття

Індекс дозволяє здійснити моніторинг сходів сільгосп культур. Динамічні (різносезонні) карти NDVI дозволяють також отримувати кількісні оцінки прогнозованого врожаю різних сільськогосподарських культур, відзначати особливості сезонної вегетації, її порушення, оцінювати якість проведених сільгосп робіт, проводити планування і т.д .

Також подібні карти є основою оцінки ефективності систем меліорації. За відносною продуктивністю монодомінантних сільгоспкультур культур можна оцінювати стан іригаційних і меліоративних систем в регіонах дефіциту ґрунтового водного харчування, виявляються аварії, ґрунтову проточку вод та інші порушення.

Для Кілійського району Одеської області карта індексу вегетації дозволяє виконати оцінку врожайності рисових чекових полів. Завдання оцінки врожайності рисових посівів зазвичай становить труднощі, пов'язані з шумовим ефектом сигналу води на затоплюваних чеках. Побудова індексу NDVI дозволяє отримувати реальну продуктивність посівів і виробляти кількісні оцінки врожаю.

Карти NDVI для вегетаційного періоду 2018 року (з квітня по жовтень) для півдня Одеської області наведені у додатку А. На рис.3.19 показані карти

NDVI на території Кілійського району поблизу м. Вилкова, де знаходяться поля вирощування рису. За картами можна простежити динаміку зміни стану даних угідь за вегетаційний період.

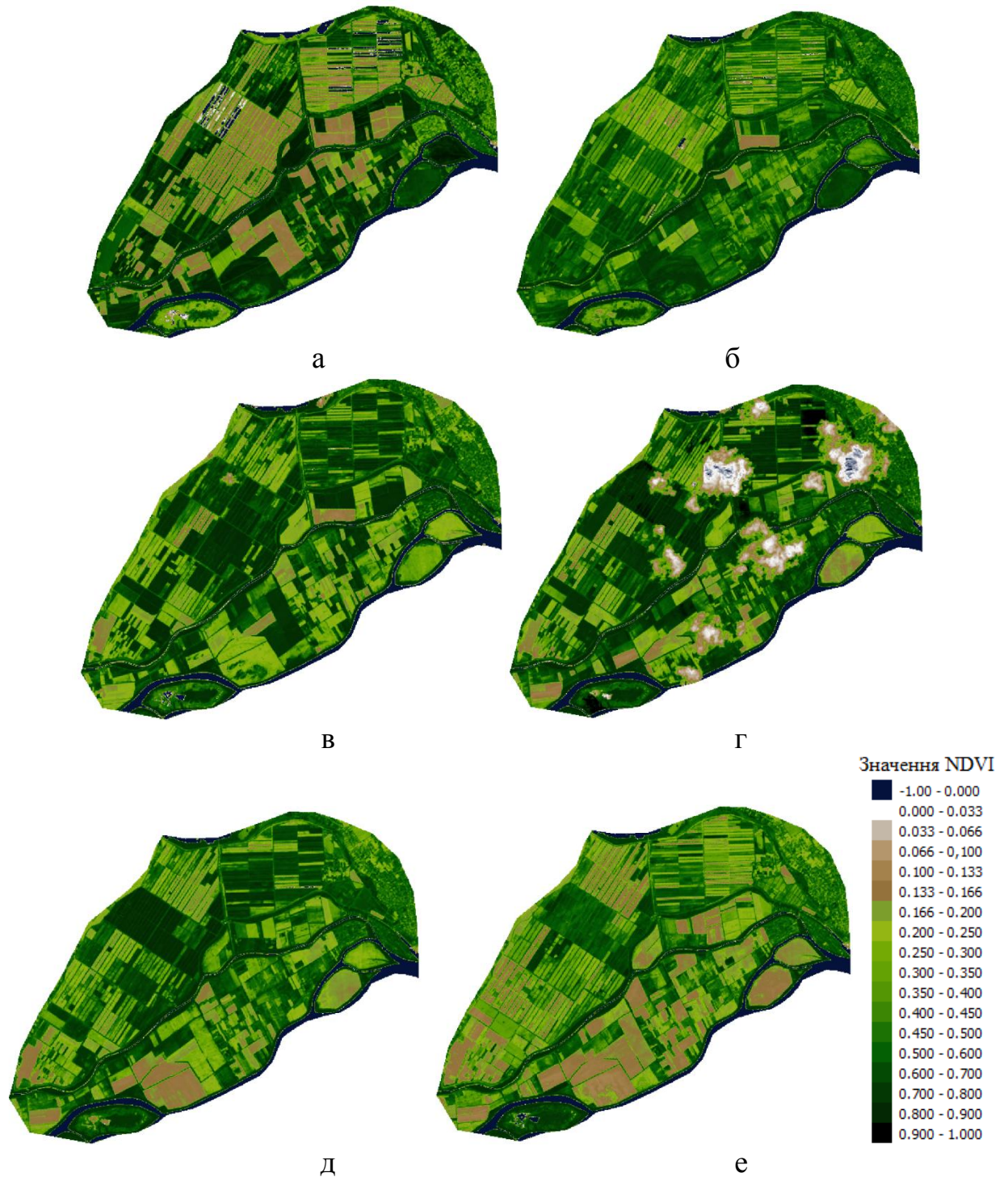


Рисунок 3.19 – Карти NDVI рисових плантацій Кілійського району за:
 а) – 30 квітня 2018 року; б) – 1 червня 2018 року; в) – 3 липня 2018 року;
 г) – 6 серпня 2018 року; д) – 20 серпня 2018 року; е) – 21 вересня 2018 року;

Зміни індексу NDVI за вегетаційний період 2018 року для області, що досліджується, представлені на рис.3.20.

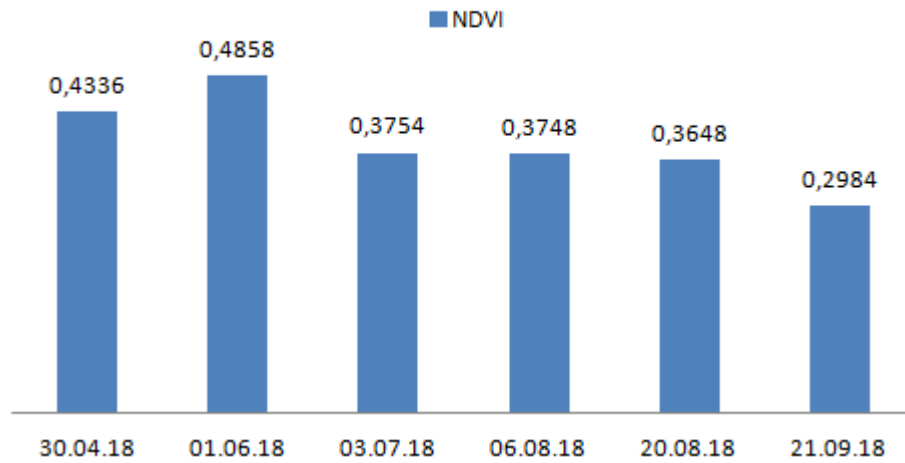


Рисунок 3.20 – Зміни індексу NDVI за вегетаційний період 2018 року для півдня Одеської області

Порівняння середнього значення індексу NDVI за вегетаційний період для різних років представлено на рис.3.11.

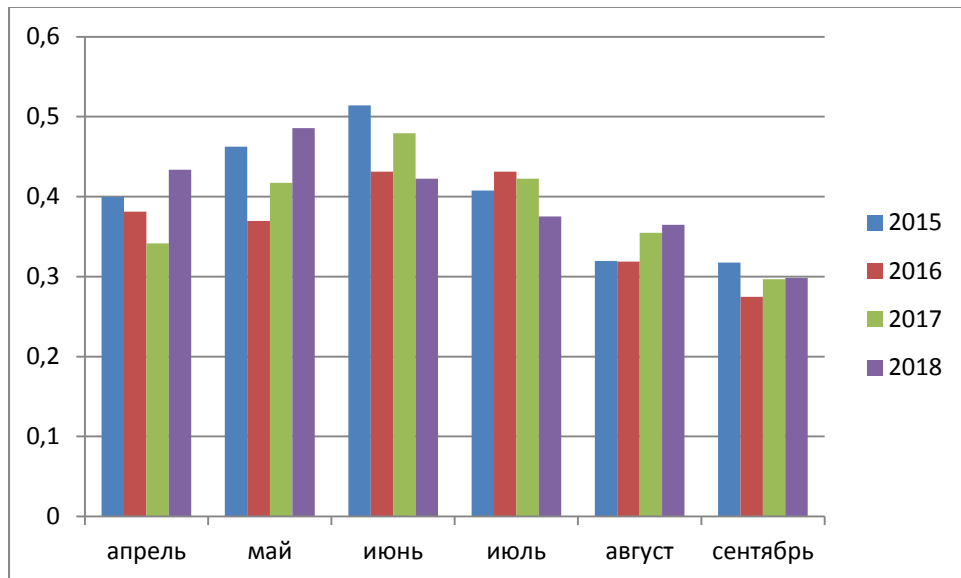


Рисунок 3.21 – Зміни середнього значення індексу NDVI за вегетаційний період за 2015–2018 роки

3.5 Створення інтерактивної карти проекту

В магістерській роботі для зручної візуалізації динаміки стану сільськогосподарських угідь була створена інтерактивна карта, яка отображає розраховані індекси NDVI окремих полів, по прикладу платформи для точного землеробства OneSoil [20]. При створенні карти була використана бібліотека Leaflet [21] – картографічна JavaScript-бібліотека, призначена для відображення карт на веб-сайтах. Вона дозволяє легко відобразити графічні карти, що складаються з маленьких фрагментів – тайлів, з додатковими шарами, що накладаються поверх основного, і регулювати їх видимість. Існує безліч плагінів, створених спеціально для бібліотеки Leaflet та дозволяють збільшити її функціональність. Leaflet підтримує шари Web Map Service (WMS), GeoJSON, а також векторні і растрові шари. Бібліотека дозволяє ефективно працювати на більшості настільних та мобільних платформ, а також використовувати новітні можливості мови HTML5, JavaScript і CSS3.

На рис.3.22 показана діаграма компонентів, яка демонструє розбиття веб-систем на структурні компоненти та зв'язки між ними. Є три основних компоненти: «веб-сервер», «клієнт» і «картографічні веб-сервіси», що взаємодіють між собою за допомогою інтерфейсів. Веб-сервер надає інтерфейс, реалізує протокол HTTP, який використовується клієнтом для отримання веб-сторінок, скриптів і таблиць стилів (HTML + JavaScript + CSS). В «клієнті» виконується JavaScript-код, який, у свою чергу, звертається за допомогою інтерфейсу, що реалізує HTTP, до зовнішнього картографічного веб-сервісу.

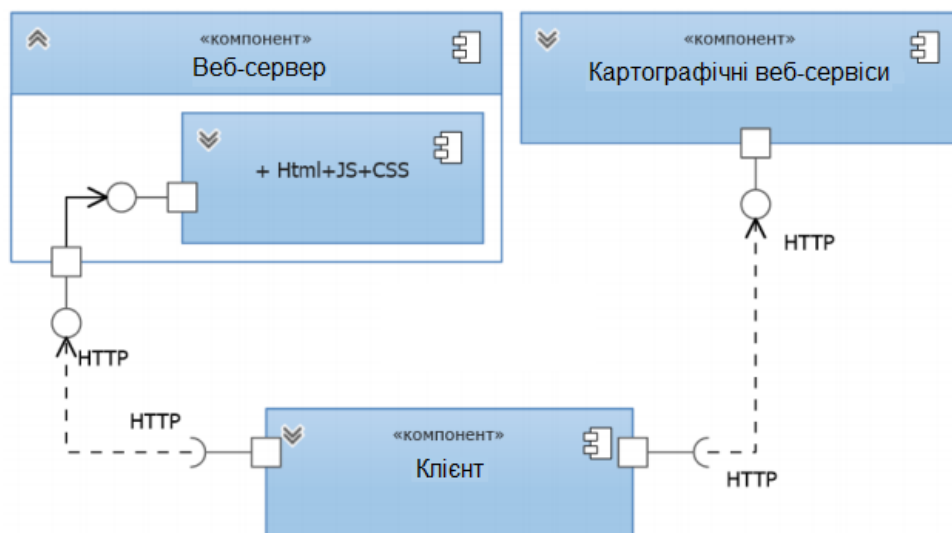


Рисунок 3.22 – Діаграма компонентів

Вигляд інтерактивної карти наведений на рис.3.23. Користувач може переглянути наявні карти індексу вегетації за наведений на карті діапазон часу за вибраним полем. В якості базової карти підложки додана супутникова карта Google DigitalGlobe.

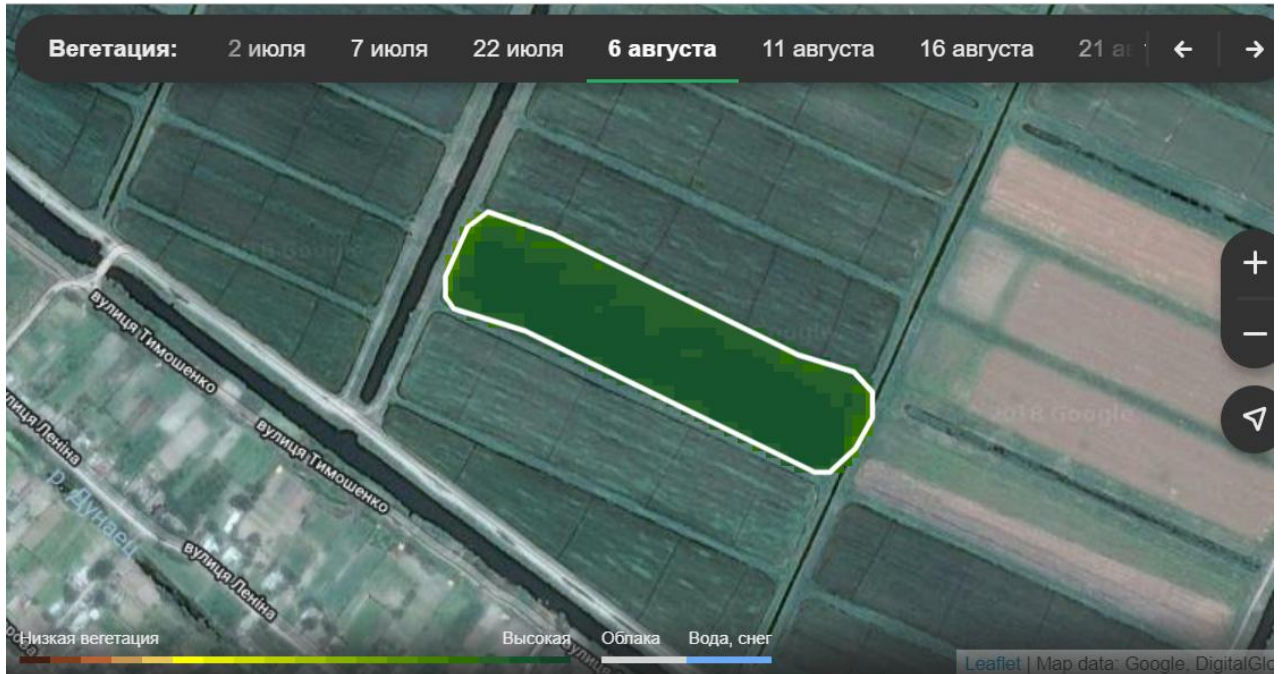


Рисунок 3.23 – Вигляд інтерактивної карти проекту

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі була виконана розробка програмного забезпечення для оцінки динаміки змін стану земель сільськогосподарського призначення (СГП) півдня Одеської області з використанням методів збору і обробки даних ДЗЗ та сучасних ГІС-технологій.

Аналіз стану земель базується на розрахунку індексу NDVI, що є кількісним показником кількості фотосинтетичної активної біомаси, який дозволяє виконати оцінку рослинного покриву. В роботі показано, що NDVI дозволяє отримувати кількісні оцінки прогнозованого врожаю різних сільськогосподарських культур, відзначати особливості сезонної вегетації, її порушення, оцінювати якість проведених сільгосп робіт, проводити планування і т.п.

В якості вихідних даних для розрахунку NDVI були використані космічні знімки різних спектральних каналів супутника Landsat. В роботі були виконані етапи первинної атмосферної обробки знімків і наведена методологія побудови комбінованих знімків. Для досліджування використовувалися знімки Ренійського, Ізмаїльського, Болградського і Кілійського районів Одеської області за вегетаційний період (з квітня по жовтень) 2018 – 2015 рр. і 2011 року. Архівні знімки дозволяють простежити зміни рослинного покриву у часі.

Для класифікації супутникових знімків за щільністю і типом рослинності був використаний метод паралелепіпеду, який відноситься до методу класифікації з навчанням. Класифікація і розрахунок виконані в ГІС з відкритим кодом QGIS за допомогою спеціального плагіну Semi-Automatic Classification. Класифікація дозволяє знайти площу ділянок з різною щільністю рослинності, виявити деградовані землі, простежити динаміку змін рослинного покриву.

В роботі була побудована інтерактивна карта проекту з використанням картографічної JavaScript-бібліотеки Leaflet. Інтерактивна карта дозволяє переглянути наявні карти NDVI окремих ділянок території, що досліджується, за різні дати.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України. – К.: ТОВ «ВИК-ПРИНТ», 2010. – 111 с.
2. Зацерковний В.І. Аналіз можливості підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва при застосуванні ГІТ у задачах управління/ В.І. Зацерковний, С.В. Кривоберець // Вісник ЧДТУ – Серія «Технічні науки». № 3(67). Чернігів.: ЧДТУ, 2013. – С. 174 – 183.
3. Грабак Н.Х., Топіха І.Н. та ін. Основи ведення сільського господарства та охорона земель// Навчальний посібник. – К., 2005. – 796 с.
4. Зацерковний В. І. Геоінформаційні системи і системи дистанційного зондування Землі в задачах ефективного землекористування// Математичне моделювання в економіці. – 2014. – Вип. 1. – С. 40-48.
5. Лялько В.И. Аэрокосмические методы в геоэкологии. / Лялько В.И. Вульфсон Л.Д., Жарый В.Ю. [и др.] – К.: Наукова думка. – 1992. – 206 с.
6. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2016 році. Одеська обласна державна адміністрація. Департамент екології та природних ресурсів. [Електронний ресурс] – URL: http://ecology.odessa.gov.ua/files/ecology_portal/reg_onal_dopov_d_2016.pdf (дата звернення: 16.09.2018).
7. Сайт Центру оцінки соціальних і екологічних ризиків. [Електронний ресурс] – URL: <https://coser.com.ua> (дата звернення: 16.09.2018).
8. Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Серапинас Б.Б., Филиппов Ю.А. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. – М: ГИС Ассоциация, 1999.– 204 с.
9. Офіційний сайт USGS (Геологічної зйомки США). [Електронний ресурс]. – URL: www.usgs.gov (дата звернення: 20.09.2018).
10. Landsat 8 (L8) Data User Hand Book- Section 2 [Електронний ресурс]. – URL: <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-l8-data-users-handbook-section-2> (дата звернення: 24.09.2018).
11. Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering, 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: P.309-317
12. Tucker, C.J., 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. Remote Sensing of the Environment 8:P.127-150.

13. Jackson, R.D., P.N. Slater, and P.J. Pinter, 1983. Discrimination of Growth and Water Stress in Wheat by Various Vegetation Indices Through Clear and Turbid Atmospheres. *Remote Sensing of the Environment* 15:P.187-208.
14. Sellers, P.J., 1985. Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. *International Journal of Remote Sensing* 6:P.1335-1372.
15. NDVI – теория и практика [Электронный ресурс]. – URL: <http://gislab/info/ga/ndvi.html> (дата звернення: 27.09.2018).
16. Определение Open Source. [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Определение_Open_Source (дата звернення: 29.09.2018).
17. Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Boehner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.*, 8, 1991-2007. URL: – Режим доступа: <http://www.geosci-model-dev.net/8/1991/2015/gmd-8-1991-2015.html> (дата звернення: 02.10.2018).
18. Сайт завантаження ЦМР USGS. [Электронный ресурс]. – URL: <http://edc2.usgs.gov/geodata/index.php> (дата звернення: 08.10.2018).
19. Геосервіс Libra. [Электронный ресурс]. – URL: <https://libra.developmentseed.org/> (дата звернення: 11.10.2018).
20. Сайт безкоштовної платформи для точного землеробства OneSoil. [Электронный ресурс]. – URL: <https://onesoil.ai/ru/> (дата звернення: 14.10.2018).
21. Leaflet [Электронный ресурс]/Офіційний сайт Leaflet. – URL: <http://leafletjs.com/> (дата звернення: 01.11.2018).

Д О Д А Т К И

Додаток А
Карти індексу NDVI за період вегетації



Рисунок А.1 – Карти NDVI півдня Одеської області за:
а) – 30 квітня 2018 року; б) – 1 червня 2018 року; в) – 3 липня 2018 року;
г) – 6 серпня 2018 року; д) – 20 серпня 2018 року; е) – 21 вересня 2018 року.