НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ»

РОМАНЧУК Інна Федорівна

УДК 528.8.04:(551.579.5:551.4.04)(477)

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ЗЕМНОГО ПОКРИВУ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Державній установі «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України»

Науковий керівник: кандидат географічних наук
Пазинич Наталія Вікторівна,
ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», старший науковий співробітник відділу аерокосмічних досліджень в геоекології.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кохан Світлана Станіславівна,
Національний університет біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України, завідувачка кафедри геоінформатики і аерокосмічних досліджень Землі.

кандидат геологічних наук
Кріль Тетяна Василівна,
Інститут геологічних наук НАН України, старший науковий співробітник відділу інженерної геології

Захист дисертації відбудеться 16 березня 2021 р. о 14^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.162.03 Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» за адресою: Україна, 01054, м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-Б.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту геологічних наук НАН України (Україна, 01054, м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-Б) та на сайті ЦАКДЗ ІГН НАН України
https://www.casre.kiev.ua/uk/organization/abstracts-and-dissertations-since-2015

Автореферат розісланий ___ лютого 2021 р.

Секретар спеціалізованої
вченої ради Д 26.162.03
кандидат геологічних наук О.В. Седлерова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вологість земного покриву є життєво важливою складовою природного середовища, що забезпечує умови існування живих організмів та взаємообмін енергії та речовин між організмами й навколишнім середовищем.

Більша частина території України представлена агроландшафтами на родючих чорноземах лісостепової та степової природно-кліматичних зон. До 70% земельного фонду України займають землі сільськогосподарського призначення на ґрунтах із високим вмістом гумусу.

В останні десятиріччя в фізико-географічне районування України значні зміни вносить глобальне потепління. Результати моніторингу змін приземної температури повітря та інших метеорологічних показників у роботах вітчизняних кліматологів В. Ф. Мартазінової, М. І. Кульбіди, В. І. Осадчого свідчать про те, що модифікація клімату на території України відбувається дуже швидко та інтенсивно. Наслідком цього є зміна місцевих кліматоутворюючих факторів: перерозподіл тепла та вологи, нестійкість сезонних погодних умов, активація сучасних геодинамічних процесів (водна ерозія, зсуви, площинна денудація, збільшення ділянок, схильних до опустелювання). Змінився просторовий розподіл опадів та режим зволоження ґрунтів, спостерігається повторюваність аномальних злив з періодами тривалих посух. За оцінкою вітчизняних науковців В. І. Лялька, Т. І. Адаменко, С. Г. Бойченко, підвищення середньорічної температури повітря призводить до зміщення меж кліматичних та природних зон.

Висока рухливість води, яка залежить від літологічних та морфологічних особливостей території, та вплив кліматичних змін на вологість земного покриву вимагають постійного спостереження за вологозабезпеченням всієї території України. Важливим завданням є обґрунтування оптимальної моделі забезпечення збалансованого зволоження ґрунтів сільськогосподарського призначення з урахуванням природних особливостей території, навколишнього середовища при проведенні робіт геоекологічного спрямування. Для цього найбільш ефективним є використання даних дистанційного зондування як унікального за оперативністю, оглядовістю та об’єктивністю засобу моніторингових досліджень земної поверхні на всіх масштабних рівнях. Розуміння взаємозв’язку вологості земного покриву, кліматичних умов, морфології рельєфу, фізико-географічної зональності надає можливість швидкої та достовірної оцінки стану

Актуальним науковим завданням є створення методики визначення вологості земного покриву за даними дистанційного зондування як інформаційної основи геоекологічного моніторингу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в рамках науково-дослідних робіт, що проводились у Державній установі “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України” за такими темами: “Розробка теоретико-методичних основ використання матеріалів космічних і полігонних спектро- та газометричних

зйомок для забезпечення раціонального природокористування в умовах сталого розвитку суспільства“ (№ ДР 0116U003032), “Розробка нових методик космічного моніторингу земних покровів (рослинність, ґрунти, водні ресурси), біорізноманіття в умовах кліматичних змін з метою управління ризиками надзвичайних ситуацій” (№ ДР 0112U000703), “Методи дистанційного оцінювання біофізичних параметрів лісових рослинних угруповань та агрофітоценозів в межах різних ландшафтно-кліматичних зон території України” (№ ДР 0114U001664),“Оцінка впливу регіональних змін клімату на екосистеми та визначення ризиків їх негативних наслідків з використанням даних дистанційного зондування та наземних спектро-, газометричних та гідрометеорологічних вимірів” (№ ДР 0116U002674), “Розробка і випробування сучасних аерокосмічних технологій дослідження Землі для оцінювання та прогнозування небезпечних природних і антропогенних процесів і явищ, формування рекомендацій по оптимізації пошуків, розвідки і експлуатації родовищ корисних копалин з метою мінімізації негативного впливу на довкілля” (№ ДР 0118U005384).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є покращення інформаційного забезпечення геоекологічного моніторингу шляхом розробки методики визначення вологості земного покриву за даними дистанційного зондування.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися такі *завдання*:

1. Аналіз досвіду застосування матеріалів дистанційного зондування для оцінки вологості ґрунтового покриву;
2. Укладання оглядових карт України для років з різним погодно-кліматичними умовами з метою картування просторових та часових змін вологості земного покриву як інформаційної основи моніторингових даних;
3. Проведення наземних спостережень вологості ґрунтового покриву та оцінки впливу рельєфу на просторовий розподіл вологості;
4. Розрахунок регресійної залежності між дистанційно отриманими показниками та наземними спостереженнями вологості земного покриву;
5. Визначення локалізації мікрозападинних форм рельєфу шляхом порівняльного аналізу вологості ґрунтового покриву та місцевих природних особливостей;
6. Укладання детальних карт земного покриву для ведення точного землекористування.

Об'єкт дослідження – вологість земного покриву.

Предмет дослідження – методи визначення вологості земного покриву за даними дистанційного зондування.

Методи дослідження. У роботі застосовано методи комп’ютерної обробки космічних зображень, наземні спостереження, лабораторні дослідження вологості ґрунтового покриву, методи математичної статистики, геоінформаційних технологій, пластики рельєфу та морфодинамічного аналізу, картування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. *Вперше* розроблено методику визначення вологості земного покриву за даними дистанційного зондування, яка базується на комплексуванні ландшафтних, кліматичних, та геоморфологічних показників.

2. *Вперше* укладено карту розподілу водних індексів для території України, яка моделює просторові та часові зміни вологості земного покриву для оцінювання посушливих явищ та меж фізико-географічних зон в різних погодно-кліматичних умовах.

3. *Удосконалено* аналіз вологості ґрунтового покриву на локальному рівні дослідження із застосуванням методу пластики рельєфу, доповненого морфодинамічним аналізом.

4. Вперше для Баришівського полігону одержано багатовимірну регресію залежності вологості ґрунтового покриву від різних метеорологічних та природних показників, що дає можливість встановити вологість ґрунтового покриву у місцях із схожими метеорологічними та природними умовами, де не проводилися наземні спостереження.

Практичне значення одержаних результатів. Застосування розробленої методики та результати виконаного картування вологості земного покриву та їхнього просторового розподілу можуть бути використані як складова у розробці бази даних земельних ресурсів і прогнозування їхньої схильності до деградації, враховуючи кліматичні зміни та геоморфологічні особливості території. Результати оцінки просторового розподілу вологості земного покриву на базі даних дистанційного зондування зі схемою локалізації мікрозападинних форм рельєфу передано для використання ТОВ “Баришівська зернова компанія”, що підтверджується актом впровадження (акт впровадження додається).

Особистий внесок здобувача. Постановка завдань дослідження та інтерпретація одержаних результатів виконані здобувачем спільно із науковим керівником. Проаналізовано методи визначення та оцінки вологості земного покриву за допомогою застосування супутникової зйомки.

Автором розроблено методику проведення дослідження, яка включає поєднання даних дистанційного зондування та матеріалів наземних спостережень. Проведено класифікацію космічних знімків та розраховано водні індекси як основу для картування вологості земного покриву різного масштабного рівня. Проведено наземні спостереження, відібрано зразки ґрунтового покриву. Розраховано регресійні залежності між різними типами даних (наземними завірковими спостереженнями, даними дистанційного зондування, кліматичними даними), проведено розрахунки метеорологічних показників. Укладено карти та розроблено шкалу вологості земного покриву, надано рекомендації щодо застосування результатів дослідження при веденні геоекологічного моніторингу та впровадженні точного землеробства. Всі наукові результати дисертаційної роботи викладено в наукових публікаціях.

- у роботах [2, 5, 9] – викладено результати наземних спостережень та розрахунок водного індексу NWI для визначення вологості ґрунтового покриву;

- у роботах [2, 5] – описано методику укладання карт вологості ґрунтового покриву на базі водного індексу NWI;
- у роботах [8-12, 14-17] – виявлено особливості вологості земного покриву, які пов'язані з проблемами ризиків деградації ґрунтів, визначених за даними дистанційного зондування.
- у роботах [1, 6, 7, 13] – використано метод пластики рельєфу для моделювання поверхневого стоку та визначення мікрозападинних форм рельєфу;
- у роботах [3, 4, 18] – проаналізовано вплив кліматичних змін на сучасні умови вологості земного покриву України.

Апробація результатів дисертації. Попередні результати дисертаційного дослідження та основні теоретичні і методичні аспекти були представлені та обговорені на 15-й науково-практичній конференції з космічних досліджень (Одеса, 24-28 серпня 2015 р.), 16-й науково-практичної конференції з космічних досліджень (Одеса, 22-27 серпня 2016 р.), 6-й міжнародній конференції "International Conference Ecological & Environmental Chemistry" (Кишинів, Республіка Молдова, 2-3 березня 2017 р.), Всеукраїнській IV молодіжній конференції "Ідеї та новації в системі наук про Землю" (Київ, 25-27 жовтня 2017 р.), Всеукраїнській XII науково-практичній конференції молодих учених та студентів "Екологічна безпека держави" (Київ, 19 квітня 2018 р.), 7-й міжнародній конференції молодих вчених та студентів "Information technologies in solving modern problems of geology and geophysics" (Баку, Азербайджан, 15-18 жовтня 2018 р.), Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 85-річчю кафедри ґрунтознавства БГУ та 80-річчю з дня народження д. г. н., професора В. С. Аношко "Почвы и земельные ресурсы: современное состояние, проблемы рационального использования, геоинформационное картографирование" (Мінськ, Республіка Білорусь, 20-23 вересня, 2018 р.), 5-й міжнародній науковій конференції "Мониторинг и оценка состояния растительного покрова мира" (Мінськ, Республіка Білорусь, 8-11 вересня, 2018 р.), 6-й міжнародній науковій конференції "Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии" (Мінськ, Республіка Білорусь, 13-16 листопада 2018 р.), 18-й науково-практичній конференції з космічних досліджень GEOUA-2018 (Київ, 24-28 серпня 2018 р.), Всеукраїнській VI молодіжній науковій конференції «Ідеї та новації в системі наук про Землю». (Київ, 10-12 квітня 2019 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві». (Київ, 3-5 липня 2019 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 18 робіт, у тому числі: у журналах, що внесені до Переліку наукових фахових видань України з геологічних наук – 5 (з яких: 1 – виконано одноосібно, 2 – включено у наукометричні бази Web of Science та Scopus); 2 – у зарубіжних виданнях; 11 – у збірниках матеріалів і тез доповідей вітчизняних та міжнародних конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (247 найменувань на

28 сторінках) і 18 додатків на 30 сторінках. Робота викладена на 227 сторінках, що містять 160 сторінок основного тексту, 54 рисунків і 8 таблиць.

Автор висловлює щиру подяку академіку НАН України В. І. Ляльку та член-кореспонденту НАН України М. О. Попову за наукові консультації, постійну увагу і допомогу при виконанні роботи. Автор щиро дякує науковому керівнику к.геогр.н. Н. В. Пазинич та колегам ЦАКДЗ ІГН НАН України О. А. Апостолову та к.геогр.н. Л. О. Єлістратовій. Особливо автор вдячний д.геол.н. О. І. Сахацькому за розвиток ідеї та перші кроки у дослідженнях.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність визначення вологості земного покриву за даними дистанційного зондування Землі. Сформульовані мета та завдання дисертаційної роботи, висвітлена наукова новизна і практична вагомість результатів роботи. Викладені відомості про апробацію роботи, публікації результатів та їх впровадження.

Перший розділ – "*Сучасний стан застосування даних дистанційного зондування для дослідження вологості земного покриву*" – присвячений аналізу літературних та фондових джерел, обґрунтуванню вибору теми дослідження, розробки схеми проведення дослідження і постановці наукових завдань.

Розглянуто можливість дослідження вологості земного покриву за наземними та дистанційними методами. За результатами аналізу методів дослідження вологості земного покриву, зокрема в Україні, визначено, що більшість досліджень виконуються на невеликих за площею ділянках для різних часових періодів із застосуванням різних методик, апаратів та параметрів. Це ускладнює порівняння їхніх результатів і використання в єдиній системі загального моніторингу стану ґрунтового покриву та його просторових і часових змін.

Обґрунтовано можливість застосування матеріалів дистанційного зондування Землі для ведення геоекологічного моніторингу, враховуючи вологість земного покриву як на невеликих ділянках, так і при дослідженнях великих площ.

Ефективність застосування методів дистанційного зондування Землі при дослідженнях природного середовища та доцільність поєднання дистанційних методів із наземними спостереженнями були розвинуті в розробках науковців ЦАКДЗ ІГН НАН України – В. І. Лялька, М. М. Митника, Л. Д. Вульфсона, З. М. Шпортюк, О. І. Сахацького, О. Т. Азімова, О. А. Апостолова, Л. О. Єлістратової, НААН України – О. Г. Тараріко, Т. Л. Кучми, Т. В. Ільєнко, О. В. Сиротенко, НУБіП України – С. С. Кохан, В. М. Стародубцева та ін., ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» – М. М. Гічка, С. Р. Трускавецького та ін.

Серед іноземних вчених у дослідження вологості земного покриву дистанційними методами вагомий внесок зроблено W. Wagner, W. Dorigo, L. Brocca, D. Robinson, B. C. Gao, M. Hardinsky та ін.

Визначено завдання дослідження та сформовано загальну схему їх проведення, яка включає методичні підходи до обробки та узгодження дистанційних і наземних даних при дослідженнях вологості земного покриву.

У другому розділі – "*Зв'язок вологості земного покриву з природними особливостями на різних масштабних рівнях дослідження*" – обґрунтовано взаємозв'язки вологості земного покриву з компонентами навколишнього природного середовища. Охарактеризовано строкатість рівнинних ландшафтів фізико-географічних зон України на основі даних дистанційного зондування та охарактеризовано водний режим кожної зони. Обґрунтовано вибір ділянки дослідження та наведено її всебічну характеристику.

Регіональний рівень дослідження включає рівнинну територію України, значну частину якої займають агроландшафти. Зазначено, що при наземних регіональних дослідженнях слід спиратися на фізико-географічне районування. Рівнинна частина території України представлена зоною мішаних лісів, широколистяних лісів, лісостеповою та степовою зонами.

Формування фізико-географічних зон зумовлено розподілом балансу тепла і вологи та літогенною основою. Наявні кліматичні зміни, пов'язані із глобальним потеплінням, суттєво впливають на умови балансу тепла та вологи земного покриву.

У розподілі вологості та її просторової мінливості найвиразніше відчуваються особливості рельєфу ландшафтних зон та сучасні рельєфоутворюючі водоерозійні процеси. Активність останніх залежить від інтенсивності атмосферних опадів та частоти чергування посушливих та зливових періодів.

На регіональному рівні дослідження велику увагу приділено визначенню вологості земного покриву. Земний покрив охоплює ґрунтовий покрив, як верхню гідродинамічну зону літосфери, та рослинний покрив, який є складовою біорізноманіття рослинних видів та угрупувань. Головною перевагою дистанційного зондування є можливість здійснення регіонального контролю за часовими та просторовими змінами вологозабезпечення рослинного і ґрунтового покриву та оперативного визначення зон критичного зневоднення з метою впровадження необхідних запобіжних заходів.

Просторовий та часовий розподіл вологості земного покриву на регіональному рівні в більшості залежить від різних погодно-кліматичних умов та зональності. На локальному рівні на розподіл вологості значно впливає рельєф земної поверхні та літологія відкладів.

Ознаки посушливості в останні роки фіксуються в лісостеповій зоні, що донедавна відрізнялася достатньою вологістю. Для дослідження вологості земного покриву на локальному рівні обрано ділянку, яка розташована в Лівобережно-Дніпровській частині лісостепової зони на Дніпровській низовинній терасовій рівнині у межиріччі річок Супій та Недра (Трубіж-Супойській підобласті достатньої водності). Наземні спостереження проводилися на сільськогосподарських угіддях Баришівської зернової компанії, яка розташована у межах Баришівського району Київської області

(Баришіського полігону). Особливості рельєфу пов'язані із діяльністю льодовикових талих вод та формуванням системи різновікових терас Дніпра. За схемою ландшафтного районування територія полігону відноситься до перехідних північно-лісостепових районів із значним проникненням елементів поліських ландшафтів, чиє формування пов'язується із існуючими тут колись значними озерними басейнами. Від них походять заболочені пониження північно-східного напрямку, які місцями зливаються із сучасними річками Трубежем, Супоєм, Альтою та ін. Переважну частину території займають чорноземи неглибокі, слабогумусні, вилуговані на лесових породах та чорноземи неглибокі лісостепові переважно на лесових породах.

Вибір цієї ділянки для наземних завіркових спостережень був обумовлений: 1) існуванням на території оптимальних для України природно-кліматичних умов та вологозабезпечення (Київська область належить до території з сільськогосподарським водокористуванням нижче середнього рівня); 2) багаторічним сільськогосподарським використанням; 3) проведенням на ній різнобічних тематичних досліджень: геоморфологічних, гідрогеологічних, комплексних геологічних і геофізичних досліджень з оцінки небезпечного забруднення геологічного середовища в зв'язку з Чорнобильською аварією.

Характерними місцевими ландшафтоутворюючими елементами території є мікрозападинні форми рельєфу (мікрозападин) (рис. 1), які обумовлюють просторову мінливість вологості ґрунтів та їх трансформацію. За дослідженнями І. І. Молодих, 1993, В. М. Шестопалова та В. М. Бубляса 2005, 2007 мікрозападини є характерними для рівнинних територій та розвиваються на лесових відкладах. Розповсюдження цих форм в лісостеповій зоні спостерігається дослідниками ще з кінця XIX століття.

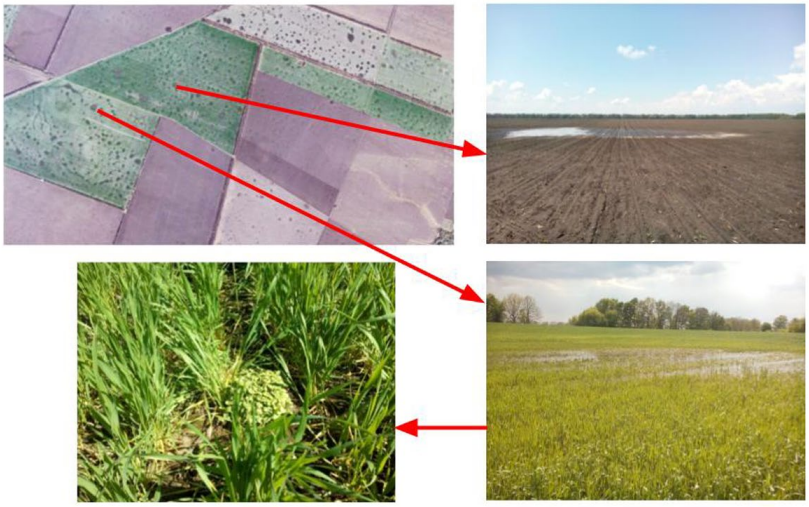


Рис. 1. Мікрозападинні форми рельєфу, заповнені водою в межах Баришівського полігону проведення наземних

За результатами досліджень І. І. Молодих, 1993, на Дніпровському лівобережжі переважають мікрозападини розміром переважно від 20-40 до 100-

150 м, глибиною 2-3 м. Щільність розміщення 60-84 форм на 1 км^2, відстань між окремими формами 50-100 м та більше.

За даними гідрогеологічних досліджень В. М. Шестопалова та В. М. Бубляса, 2001, з мікрозападинами пов'язані ділянки підвищеної фільтрації та міграції вологи (геодинамічно активні зони), що суттєво ускладнюють умови землекористування, обумовлюючи просторову мінливість водного режиму ґрунтів. У практиці сільськогосподарських робіт виявлення мікрозападин викликає великі труднощі. Навіть при детальних меліоративних заходах та зйомках вони не ідентифікуються. В сучасному рельєфі мікрозападини утворюють скупчення дрібних локальних водозбірних базисів ерозії, місць підвищеного волого- і масоперенесення, наслідком чого є трансформація складу ґрунтів та їхнє заболочування, зміна типу рослинності у центральній частині мікрозападини (рис. 1).

У комплексі четвертинних відкладів Баришівського полігону поширені субаквальні відклади нижнього та середнього неоплейстоцену, переважно алювіально-воднольодовикові, алювіальні, озерно-льодовикові, а також моренні відклади дніпровського льодовика, перекриті товщею елювіальних та еолово-делювіальних середньо-верхньонеоплейстоценових лесовидних суглинків. Загальна потужність товщі четвертинних відкладів перевищує 50 м.

Сучасний рельєф території був сформований на породах палеогену. Його формування розпочалося в кінці раннього неоплейстоцену і відбувалося в умовах слабких неотектонічних підняттів. Морфоскульптурні особливості рельєфу зумовлені переважно флювіальними, льодовиковими та еоловими процесами. Загалом рельєф території плоский, слабохвилястий та слаборозчленований. Серед сучасних геоморфологічних процесів провідне місце посідають суфозійно-просадкові явища, заболочування, підтоплення, а також лінійна та площинна ерозія.

В третьому розділі – "*Обґрунтування методики визначення вологості земного покриву на різних масштабних рівнях дослідження*" – наведена схема методики визначення вологості земного покриву та особливості її особливості в дослідженнях регіонального і локального рівня.

1. Методика визначення вологості ґрунту на регіональному рівні досліджень.

При регіональних дослідженнях статистичні показники з наземних метеорологічних станцій, розташованих на всій території України, суміщаються з характеристиками окремих фізико-географічних зон та є базою для вибору даних дистанційного зондування Землі. Комплексна методика визначення вологості земного покриву для регіонального рівня дослідження зображена на рис. 2. Вона передбачає об'єднання та узгодження супутникових даних з даними наземних спостережень та складається з наступних етапів:

1. Обґрунтування вибору даних дистанційного зондування. Дистанційні дані для досліджень регіонального масштабу мають високу оглядовість, широку смугу зйомки, певний рівень генералізації об'єктів та необхідну для вирішення завдання кількості спектральних смуг зйомки.

2. Аналіз та розрахунок показників погодно-кліматичних умов території дослідження. Як джерело вихідної інформації застосовано дані наземних метеорологічних станцій спостереження, рівномірно розташованих по всій території України. Для дослідження обрано показники температури повітря, кількості опадів та температурного режиму орного шару ґрунту.

Для оцінки погодно-кліматичних умов проаналізовано дані температури повітря та кількості опадів протягом XXI ст. Для дослідження нерівномірного розподілу вологості земного покриву та посухи було обрано три модельні роки: 2007 – як рік, в якому спостерігалася жорстка посуха з високими температурами та недостатньою кількістю опадів з квітня, на початку вегетаційного періоду рослин та впродовж всього теплого періоду; 2015 – як рік з аномально високими показниками температури повітря у літній період; 2016 – як типовий рік для початку XXI століття.

3. Обробка даних дистанційного зондування та розрахунки водних індексів. Одним із дієвих методів визначення вологості земного покриву за даними дистанційного зондування є використання різноманітних водних індексів. Проведено порівняння водних індексів з метою визначення найефективніших для виконання завдань дослідження. Визначення значень індексів здійснено для п’яти різних типів поверхні: відкритого ґрунту, розрідженої рослинності, лісу, зрошувальних полів, водної поверхні. За результатом аналізу водних індексів для дослідження на регіональному рівні були обрані індекси NDII (Нормалізований диференційний інфрачервоний індекс) та RDI (Відносний індекс посухи), що розраховувалися за даними продукту MOD13C2 супутнику Terra/MODIS. Для їх розрахунку використовують довжини хвиль 819 нм і 1650 нм: відповідно для спостереження за зміною вмісту води в рослинному та ґрунтовому покривах та визначення періоду стресу рослин, викликаного посухою. Суттєвими перевагами обраних даних продукту MOD13C2 є охоплення всієї території України та можливість отримати усереднені безхмарні дані щомісяця, що зручно для розрахунків середньорічних показників вологості земного покриву.

4. Ландшафтний аналіз території дослідження. Аналіз проводився з використанням графічних матеріалів щодо районування території України. У роботі розглянуто рівнинну частину території України в межах наступних фізико-географічних зон: північної – мішаних лісів; західної – широколистяних лісів; центральної – лісостепової та південної – степової. В межах цих фізико-географічних зон розвинуті агроландщафти.

В останні десятиріччя в формування фізико-географічного районування всієї території України вносить зміни глобальне потепління. Його наслідки спостерігаються в змінах водного режиму ґрунтового покриву, порушенні водного балансу, інтенсивності опадів, випаровуванні, та ін., що призводить до трансформації ґрунтів і зниженню їхньої родючості. Регіональний масштаб цих змін доведено С. В. Краковською, І. Букша, та відображається у видових змінах і міграції рослинного покриву.

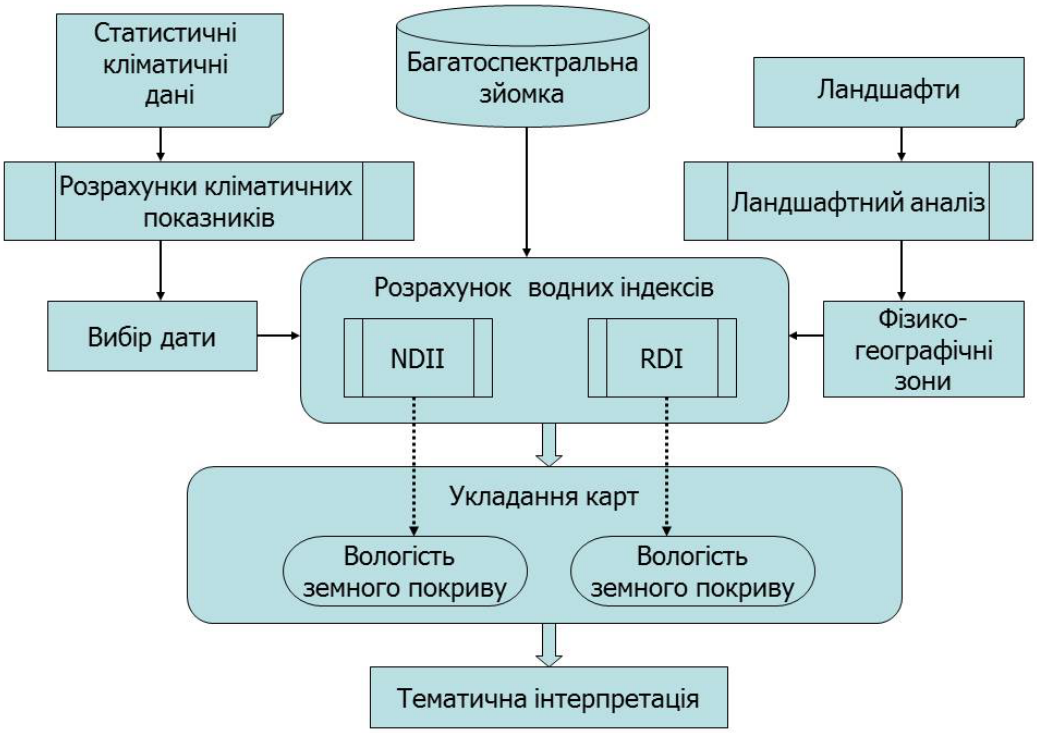


Рис. 2. Графічна модель методики дослідження вологості земного покриву на регіональному рівні

5. Порівняльна характеристика показників наземних спостережень та даних дистанційного зондування. Порівняльний аналіз метеорологічних даних з супутниковими сприяє уточненню масштабу впливу відхилень показників температури та кількості опадів на зміни вологості земного покриву.

6. Укладання карт вологості земного покриву. Картування вологості земного покриву проводиться на базі розрахунків водних індексів. Водночас враховується сучасний стан клімату та природна зональність.

7. Тематична інтерпретація одержаних результатів. Укладена карта вологості земного покриву території України є підставою для оцінки посухи та осередків опустелювання, прогнозування зміщення меж природних зон.

Застосування зазначеної методики сприяє як накопиченню банку картографічних даних для порівняльного аналізу вологості ґрунтового покриву в певній часовій послідовності та розробки схеми загального моніторингу змін стану ґрунтів досліджуваної території, так і його ступеню успадкованості та адаптації до нових умов і самовідновлення.

2. Методи визначення вологості ґрунтового покриву на локальному рівні досліджень.

Методика для локального дослідження концептуально подібна до регіональної, проте точність картографічних побудов залежить від масштабу ділянки досліджень, та цільового завдання (рис. 3).

1. Обґрунтування вибору даних дистанційного зондування. При локальних дослідженнях доцільним є використання багатоспектральних супутникових знімків високої просторової розрізненності. На сьогодні однією з найбільш детальних та доступних космічних зйомок є багатоспектральні

космічні знімки супутнику Sentinel-2. Вони відрізняються високою просторовою розрізненністю та часовим рядом зйомки, та є у вільному доступі для користувачів.

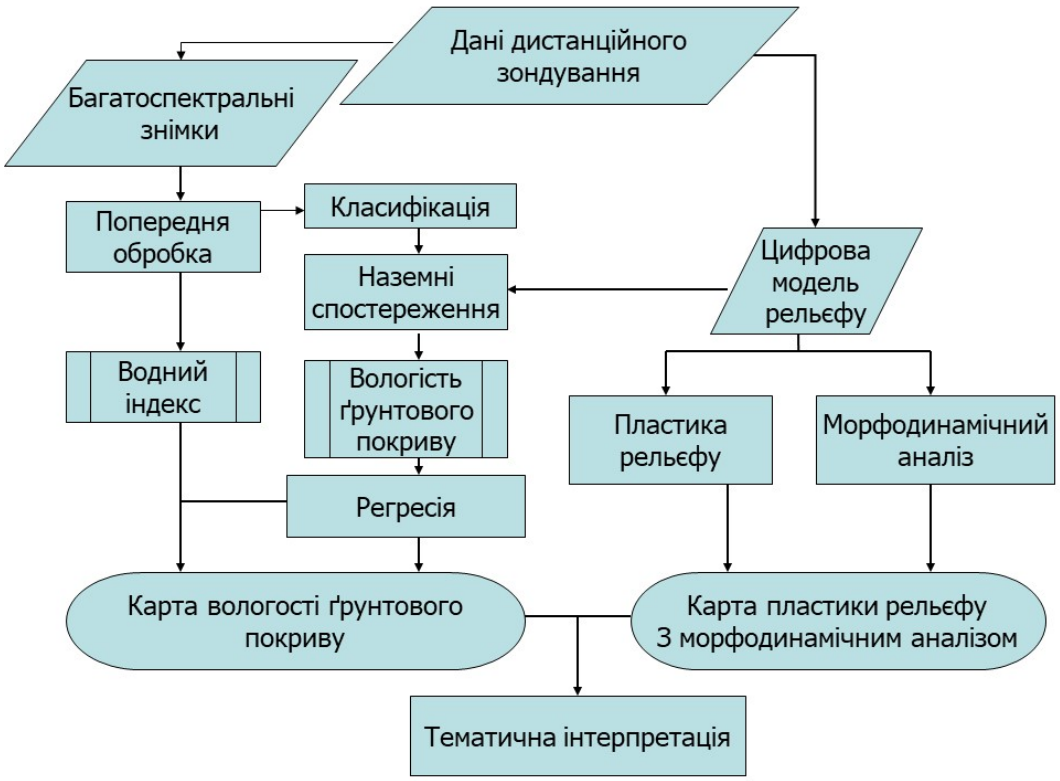


Рис. 3. Графічна модель методики дослідження вологості ґрунтового покриву на локальному рівні

2. Наземні завіркові спостереження (наземні спостереження). Особливе місце при локальних дослідженнях мають наземні спостереження та застосування лабораторних визначень вологості ґрунтового покриву. Фактична вологість ґрунту визначалася термостатно-ваговим методом, який відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Зразки ґрунту для визначення фактичного вмісту вологості відібрано вздовж профілів перетину мікрозападинних форм рельєфу (вододіл-схил-центр мікрозападини).

3. Обробка даних дистанційного зондування. Для оцінки вологості відкритого ґрунту застосовано запропонований О. І. Сахацьким, 2009, нормалізований водний індекс NWI (Normalized Water Index), що розраховується у ρ (560) та ρ (1650) діапазонах спектральних каналів, які наявні у космічних знімках Sentinel-2. Цей індекс є чутливим до вмісту вологи як в рослинному покриві, так і в ґрунті.

4. Геоморфологічні особливості території досліджень. Додаткову інформацію для визначення місцевих особливостей рельєфу надають результати геоморфологічного моделювання на основі застосування методу пластики рельєфу та морфодинамічного аналізу з використанням даних цифрової моделі рельєфу Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Виконані за цією методикою картографічні матеріали відображають просторове розміщення ділянок відносного перевищення та пониження земної поверхні. Це дозволяє

уточнити вплив рельєфу на динаміку стоку поверхневих та дощових вод та прогнозувати місця підвищеної вологості.

5. Порівняльна характеристика наземних спостережень та даних дистанційного зондування. Необхідним додатком до супутникової інформації є врахування місцевих природних особливостей мікрорельєфу. На основі регресійного аналізу зіставленно фактичні значення вологості ґрунтового покриву та значення водного індексу, розрахованого за даними дистанційного зондування. Регресійний аналіз дозволив визначити залежності між отриманими даними.

6. Укладання карти вологості ґрунтового покриву. При поєднанні результатів наземних спостережень вологості в ґрунтовому покриві та водного індексу, розрахованого за даними космічної зйомки, укладається карта вологості ґрунтового покриву.

7. Тематична інтерпретація отриманих результатів. Карта вологості ґрунтового покриву відображає нерівномірну зволоженість території та локалізацію мікрозападинних форм рельєфу.

Запропонована методика надає додаткову інформацію при подальших науково-методичних дослідженнях як на всій території України, так і на її окремих ділянках.

В четвертому розділі – "*Результати досліджень та рекомендації щодо застосування методики для проведення геоекологічного моніторингу земного покриву*" – наведені результати обробки матеріалів дистанційного зондування Землі та виконаного на їх основі картування вологості земного покриву. Надано рекомендації щодо застосування отриманих результатів при проведенні геоекологічного моніторингу.

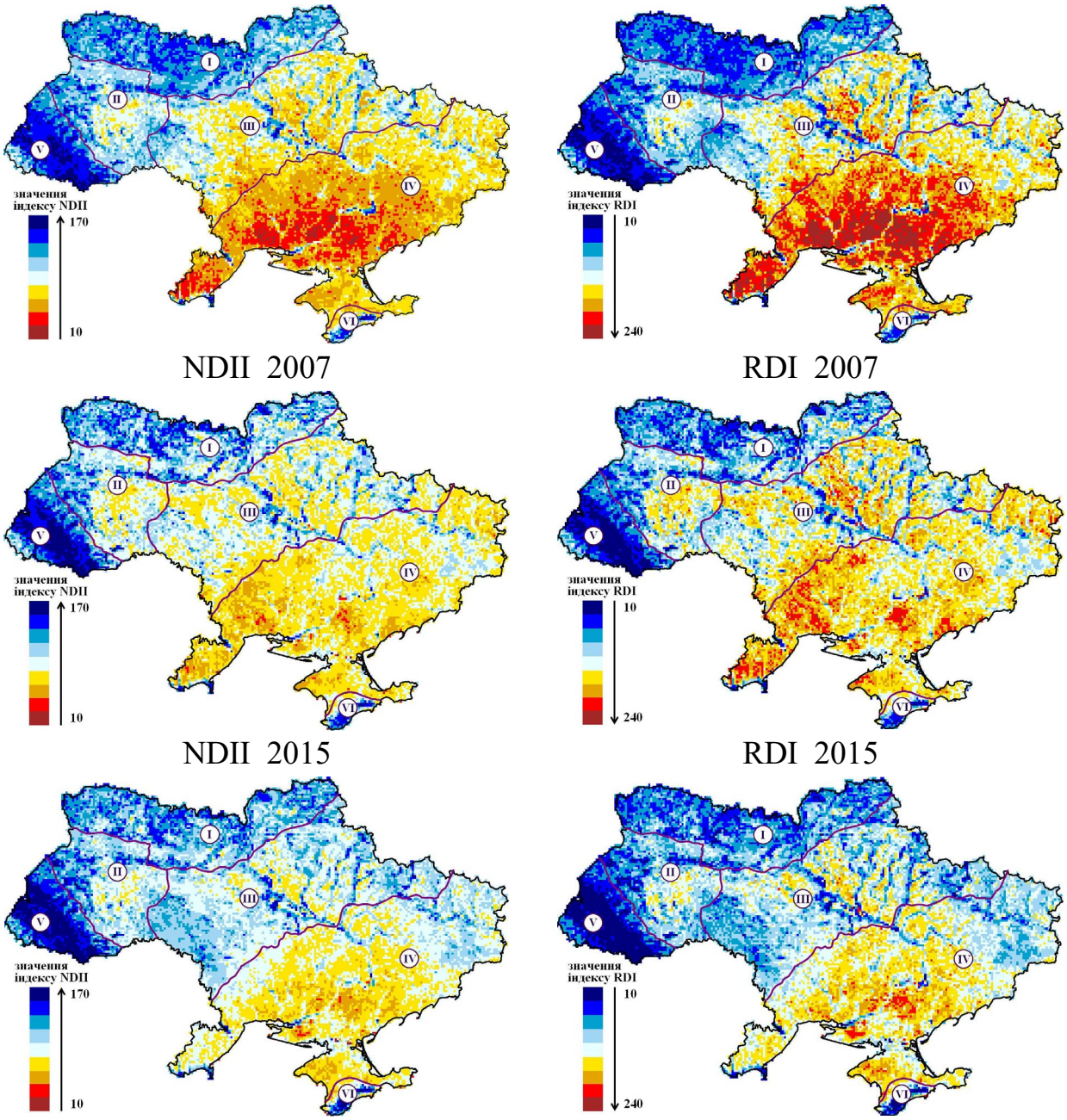
1. *Результати регіонального картування вологості земного покриву*.

Для укладання карт вологості земного покриву України були застосовані водні індекси NDII та RDI. Картування проведено для вегетаційного періоду (квітень-жовтень) трьох різних за погодно-кліматичними умовами років – 2007, 2015, 2016.

Територію України класифіковано за кольоровою градацією та значеннями водних індексів (рис. 4) в діапазонах від найвологіших до найбільш посушливих умов. Для індексу NDII – від менших 90 (теракотовий колір), що відповідають катастрофічній посушливості з мінімальним вологовмістом або його відсутністю, до 160 і більше (темно-синій) – при надмірному зволоженні. Для індексу RDI – від 205 і більше (теракотовий колір), що відповідають катастрофічній посушливості з мінімальним вологовмістом або його відсутністю, до менших 126 для надмірного зволоження (темно-синій колір). Значення водних індексів NDII та RDI, що визначають вологозабезпеченість території, представлені в таблиці 1.

Для оцінки масштабу просторових змін стану вологості земного покриву на карти були винесені межі фізико-географічних зон України: північної – зона мішаних лісів (I), західної – широколистяних лісів (II), центральної –

лісостепової (III), та південної степової (4). Ці межі використовувалися як реперні лінії типових природно-кліматичних умов.



NDII 2007 RDI 2007

NDII 2015 RDI 2015

NDII 2016 RDI 2016

Масштаб 1:3 700 000

Рис. 4. Розподіл водних індексів NDII та RDI для території України: I – зона мішаних (хвойно-широколистяних) лісів, II – зона широколистяних лісів, III – лісостепова зона, IV – степова зона, V – Українські Карпати, VI – Гірський Крим.

Таблиця 1

Шкала вологості на основі значення водних індексів NDII та RDI

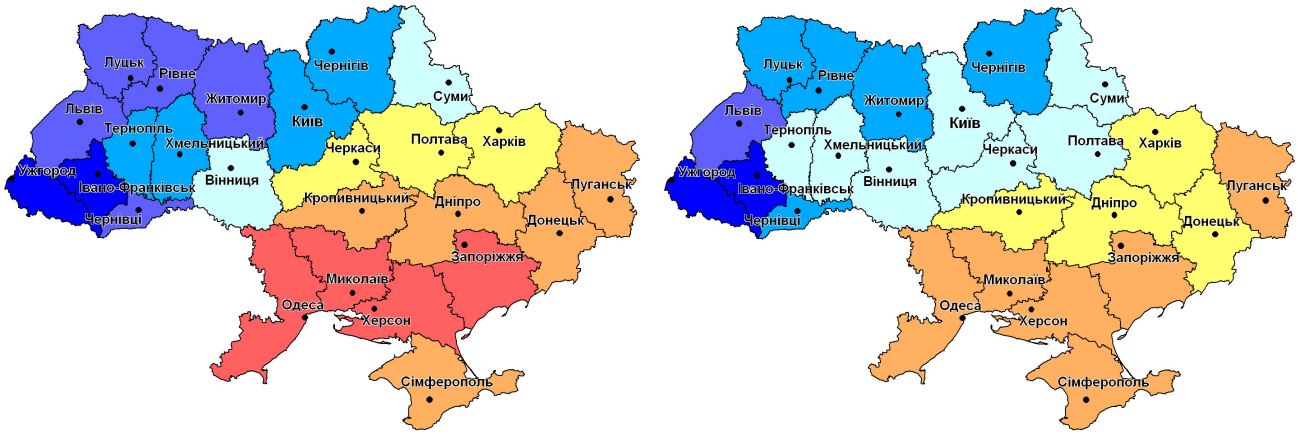
№	Вологозабезпеченість території	NDII		RDI	
		колір	значення індексу	колір	значення індексу
1	Надмірно зволожена		>160		<126
2	Сильно зволожена		150…160		126...136
3	Достатньо зволожена		140…150		137...147
4	Зволожена		130…140		148...158
5	Мало зволожена		120…130		159…169
6	Посушлива		110…120		170…180
7	Сильно посушлива		100...110		181…191
8	Надмірно посушлива		90…100		192…205
9	Катастрофічно посушлива		<90		>205

За розподілом водних індексів найбільшим дефіцитом вологи відрізняється степова зона, в межах якої значення NDII та RDI відповідають посушливому, сильно-посушливому і надмірно посушливому режимам, а у 2007 р. – катастрофічній посушливості. В цьому ж році ознаки посушливого та сильно-посушливого режиму поширилися північніше на територію лісостепової зони, тоді як в інші роки були характерні лише для кліматичних умов степової зони.

Зважаючи на аналіз карт розподілу водних індексів, при збереженні та подальшому зростанні наявних кліматичних змін можна зробити прогноз, що з часом кліматичні умови 2007 року в Україні можуть повторюватись частіше. При такому сценарії, лісостепова зона (III), яка за рис. 4 посушлива та сильно посушлива відповідає характеристикам степової зони (IV), таким чином, значення індексів, які притаманні степовій зоні зміщуються у лісостепову зону. Дефіцит вологи також відмічається за водними індексами і на території широколистяних лісів (II). Зону мішаних лісів (хвойно-широколистяних) лісів номер – I не можна однозначно відносити до регіонів достатнього або надлишкового зволоження через строкатість природних ландшафтних умов та широкий спектр наслідків заходів водної меліорації. Сучасні кліматичні зміни, які простежуються у посиленні посушливості території, є одним з істотних чинників зміщення меж фізико-географічних зон, мають вплив на ландшафти та екосистеми, що призводять до просторових змін типів рослинності, меж розповсюдження лісів, змін їхнього видового складу, зниження стійкості рослин до шкідників, хвороб та всихання. Це підтверджує необхідність моніторингу таких процесів для дослідження стану навколишнього природного середовища.

Розрахунки водних індексів дозволяють ранжувати територію України за вологозабезпеченням та розрахувати площу земель, які потерпають від нестачі

вологості земного покриву, за категоріями від посушливих до катастрофічно посушливих (рис. 5).



а б

Умовні позначення:

- надмірна зволоженість (>150)
- дуже сильна зволоженість (140-150)
- сильна зволоженість (130-140)
- помірна зволоженість (125-130)
- слабка посушливість (120-125)
- сильна посушливість (110-120)
- катастрофічна посушливість (<110)

Рис. 5. Ранжування адміністративних областей України за вологозабезпеченістю за індексом NDII: а) 2007 р., б) 2015 р.

На рис. 5 наведено результати ранжування території адміністративних областей України за значеннями індексу NDII за 2007 та 2015 рр. від надмірно зволожених(>150) до катастрофічно посушливих (<110).

У 2007 році, коли країну охопила тривала посуха, зокрема, в період активної вегетації. Дванадцять областей України було віднесено до територій з різним ступенем нестачі вологості. З них чотири області віднесено до катастрофічно посушливих (<110) (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька) за значеннями індексу NDII.

У 2015 році десять областей мали проблеми з вологозабезпеченістю, але в цілому не виявлена катастрофічна посушливість. Волинська, Рівненська, Житомирська і Чернівецька області, які за індексом NDII належали до дуже сильно зволожених (140-150), перейшли в категорію сильно зволожених (130-140), а області з категорії сильно зволожених (Тернопільська, Хмельницька і Київська) перейшли до категорії помірно зволожених (125-130).

2. *Результати локального визначення вологості ґрунтового покриву.*

Визначення локалізації мікрозападинних форм рельєфу базувалося на дослідженні неоднорідності вологості ґрунтового покриву. Дані відсоткового вмісту вологості у ґрунтовому покриві порівнювалися із значеннями водного індексу NWI, розрахованими за даними супутника Sentinel-2. За результатами

проведеного регресійного аналізу була встановлена чітка кореляція (R^2=0,82) між значеннями водного індексу NWI та вмістом вологи в ґрунтовому покриві (рис. 6, 7).

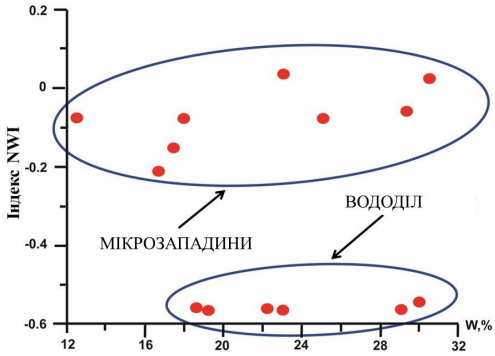


Рис. 6. Графік розподілу вологості ґрунтового покриву та індексу NWI (28 квітня 2016 р.)

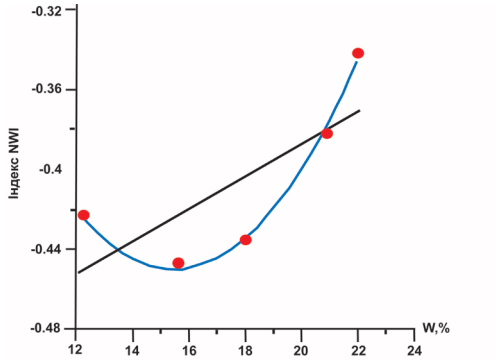


Рис. 7. Графік залежності між вологістю ґрунтового покриву та індексу NWI (08 квітня 2020 р.)

Застосування багатовимірної регресії для оцінювання вологості ґрунтового покриву *w* базувалося на вхідних даних – дистанційного зондування і метеорологічних даних: нормалізованого вегетаційного індексу NDVI, нормалізованого водного індексу NWI, температури земної поверхні T_0 (К), висоти над рівнем моря *H* (м), температури повітря *t* (К), кількості опадів *r* (мм), атмосферного тиску *P* (мм) та відносної вологості повітря φ (%).

За даними наземних спостережень, проведених на 60 точках, побудовано регресію із коефіцієнтом детермінанти R^2=0,753. За результатами моделювання встановлено, що регресійна залежність є сильно нелінійною, отже виконано попередню лінеаризацію за допомогою нелінійних перетворень незалежних змінних. Прикінцева регресійна модель має вигляд:

$$w = b_0 + b_1 NDVI^4 + b_2(1+NWI)^4 + \frac{b_3}{\log T} + \frac{b_4}{\log t} + b_5 r^3 - b_6 P^2 + \frac{b_7}{\log \varphi} + \frac{b_8}{\log H}, \quad (1)$$

де b_i – коефіцієнти (параметри) регресії.

Відповідний графік одномірної регресійної залежності представлено на рис. 8.

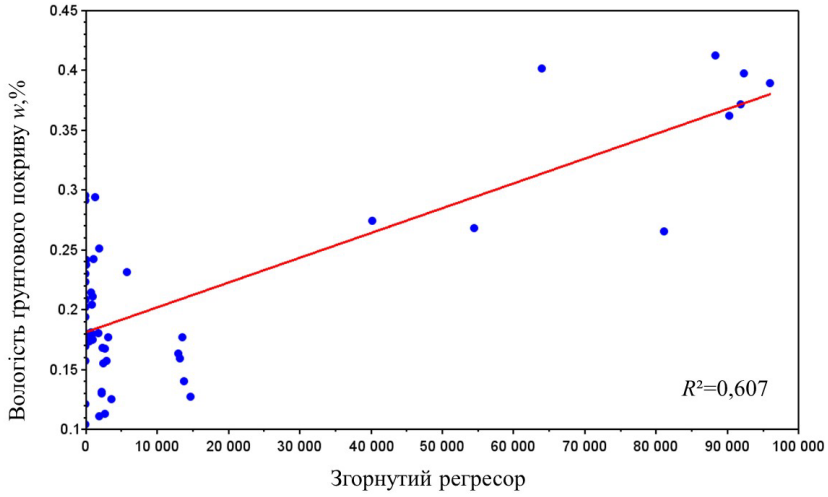


Рис. 8. Графік одномірної регресійної залежності

На основі отриманих результатів регресійного аналізу між даними дистанційного зондування та наземними спостереженнями укладено карту вологості ґрунтового покриву (рис. 9). На карті чітко фіксуються мікрозападинні форми рельєфу з підвищеною вологою. Шкала вологості розбита на п’ять сегментів, які відображають вологість ґрунтового покриву у відсотках. Найтемнішим кольором зображено найбільш сухі ділянки, де вологість поверхні становить менше 22%. Білим кольором відтворено найвологіші зони, де значення вологості становлять 29% та вище.

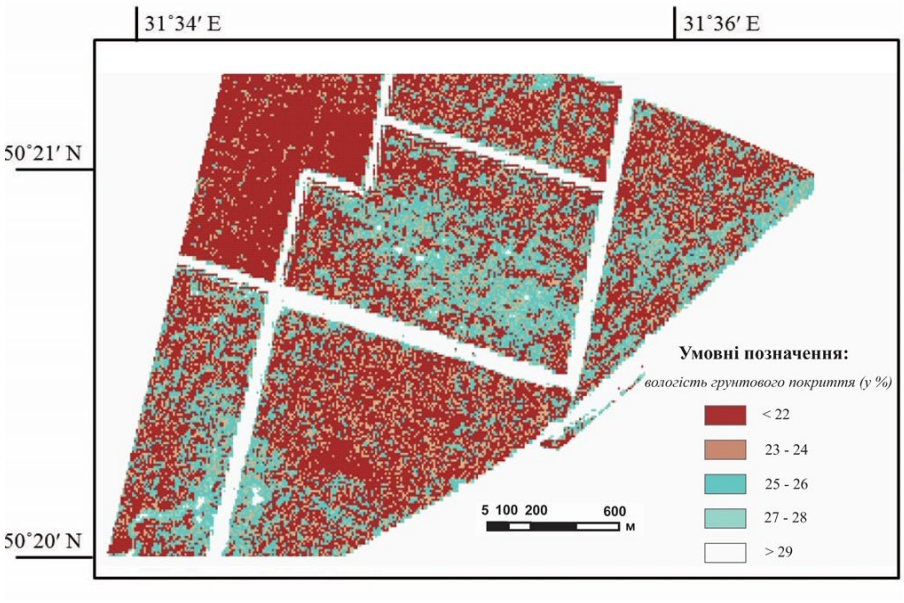


Рис. 9. Карта просторового розподілу вологості ґрунту для 28 квітня 2016 року

Результати оцінювання просторового розподілу вологості ґрунтового покриву на базі даних дистанційного зондування із схемою локалізації мікрозападин рельєфу передано для використання ТОВ “Баришівська зернова компанія”, що підтверджується актом впровадження. Найбільше на полігонній ділянці виділяється смуга скупчень мікрозападин, яка орієнтована на північний захід згідно з простяганням системи розломів зони зчленування Українського щита та Дніпровсько-Донецької западини.

Встановлена доцільність комплексування картографічних побудов за даними дистанційного зондування з геоморфологічними реконструкціями пластики рельєфу, як важливої додаткової інформації, та практичних рекомендацій при веденні та впровадженні нормативів точного землеробства і водорегулюючих заходів.

Важливу додаткову інформацію по території досліджень надає порівняльний аналіз карти, що укладено на основі застосування методу пластики рельєфу та доповненого морфодинамічним аналізом. Карта представлена для оцінювання просторових змін вологості ґрунтового покриву з відображеними на ній площинними ділянками відносних підвищень і понижень земної поверхні, меж водозбірних басейнів і напрямів водно-ґрунтових

переміщень (рис. 10). Карта є динамічною та відображає напрямки зносу та переміщення поверхневих водних та ґрунтових мас.

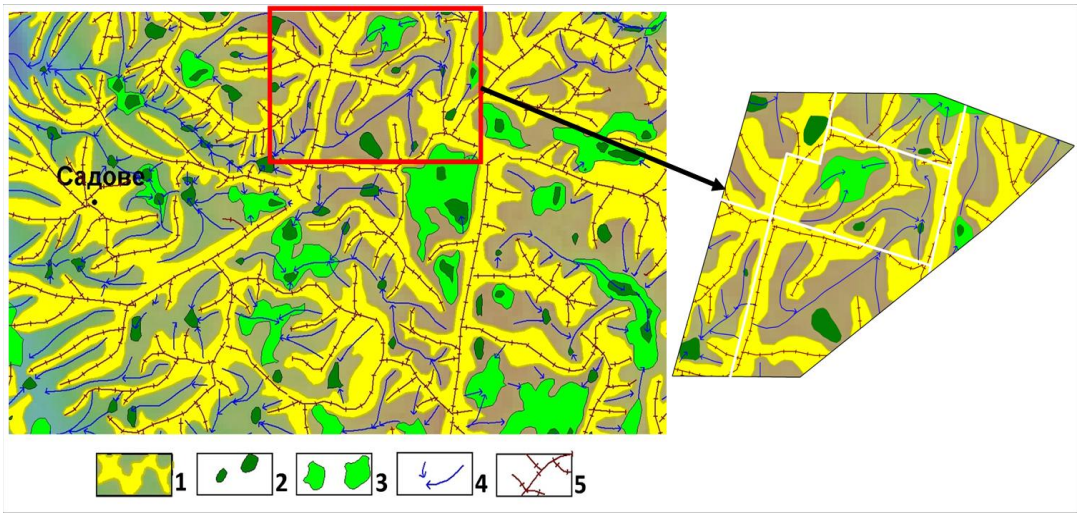


Рис. 10. Карта пластики рельєфу з елементами морфодинамічного аналізу. Умовні позначення: 1 – вододіли і схили; 2 – мікрозападини; 3 – улоговини; 4 – дренажні (кільові) лінії; 5 – гребеневі лінії

За картою пластики рельєфу у поєднанні з морфодинамічним аналізом укладено модель басейнової структури ділянки території дослідження для точнішого визначення басейнів поверхневого стоку в межах території. Для відображення ділянок зносу та акумуляції запропоновано також цифрову схему, яку рекомендовано застосовувати при проведенні меліоративних робіт, ефективного та економічно вигідного внесення добрив та інших сільськогосподарських заходів. Таку схему можна застосовувати при екологічній оцінці потенційно небезпечних ділянок живлення та інфільтрації підземних вод.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі проведено теоретичне узагальнення і запропоновано нове вирішення наукового завдання, що полягає у визначенні вологості земного покриву на основі даних дистанційного зондування для підвищення ефективності геоекологічного моніторингу. Основні результати дисертації дозволяють зробити такі висновки:

1. Розроблено методику визначення вологості ґрунтового покриву шляхом комплексування даних наземних спостережень та даних дистанційного зондування. Вона включає аналіз статистичних і архівних даних, наземні спостереження, обробку даних дистанційного зондування і картування вологості земного покриву на регіональному та локальному рівнях дослідження.

2. Оглядові карти розподілу водних індексів NDII та RDI відображають вологість земного покриву та дозволяють кількісно характеризувати рівень посухи в межах фізико-географічних зон України, для яких простежується нестача вологості в роки із звичайними сучасними кліматичними умовами, та

зростання посушливості в аномальні роки, яка з південної степової зони розповсюджується у лісостепову.

3. Проведені наземні спостереження вологості ґрунтового покриву в межах Баришівського полігону показали, що вологість нерівномірно розподіляється за причиною наявності мікрозападинних форм рельєфу. Отримані протягом наземних спостережень значення вологості ґрунтового покриву корелюють із значеннями водних індексів, отриманих за розрахунками даних багатоспектральної космічної зйомки з коефіцієнтом кореляції R^2=0,82.

4. Вперше застосовано багатовимірну регресію залежності вологості ґрунтового покриву від різних метеорологічних та природних показників, яка дає можливість встановити вологість ґрунтового покриву у місцях із схожими метеорологічними та природними умовами, де не проводилися наземні спостереження.

5. Укладена карта розподілу вологості ґрунтового покриву, яка розроблена на базі порівняльного аналізу вологості ґрунтового покриву та значень водних індексів і побудована за даними багатоспектральної космічної зйомки, є ефективним засобом визначення місць локалізації мікрозападинних форм рельєфу.

6. Укладена на базі радарної зйомки модель пластики рельєфу у доповненні з морфодинамічним аналізом слугує основою визначення ділянок виносу, переміщення та акумуляції поверхневих шарів ґрунту і води, напрямків руху стоку поверхневих мас.

7. Доведено можливість застосування багатоспектральних космічних знімків Sentinel-2 та Terra/MODIS для визначення вологості земного покриву і оцінки наслідків нерівномірного розподілу вологості для локального та регіонального рівнів досліджень.

8. В умовах наростаючого дефіциту водних ресурсів внаслідок глобальних кліматичних змін та антропогенного навантаження на природне середовище, запропонована методика визначення вологості земного покриву за даними дистанційного зондування може використовуватись для підвищення інформативності систем геоекологічного моніторингу стану земного покриву.

Проведені дослідження можуть бути основою для подальшого вивчення природних процесів, пов’язаних з просторовим розподілом вологості земного покриву, прогнозування родючості ґрунтів та урожайності сільськогосподарських культур, оцінки ризиків деградації ґрунту, змін клімату, забруднення ґрунтів і підземних вод, оцінки економічних та екологічних збитків.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

монографія:

1. Romanciuc I. F., Pazynych N. V., Manilov A. I. Remote Detection of Environmentally Vulnerable Terrain in terms of Chemical Pollution of Soil and Groundwater. *Emerging Developments and Environmental Impacts of Ecological*

Chemistry. Ed.: G. Duca, A. Veseashta, 2019. Chapter 15. P. 325-340. Режим доступу: https://www.igi-global.com/gateway/book/231905
DOI: https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1241-8.

статті у наукових фахових виданнях:

2. Романчук І. Ф., Сахацький О. І., Апостолов О. А. Оцінка вологості ґрунту за допомогою супутникових знімків Sentinel-2 (на прикладі Баришівського полігону Київської області). *Доповіді НАН України*, 2018. № 1. С. 60-66. https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.01.060.

3. Lyalko V., Romanciuc I., Elistratova L., Apostolov A., Chekhniy V. Detection of Changes in Terrestrial Ecosystems of Ukraine Using Remote Sensing Data. *Journal of Geology, Geography and Geoecology,* 2020. Vol. 29 (1). C. 102-110. DOI: https://doi.org/10.15421/112010.

4. Апостолов О. А.., Єлістратова Л. О., Романчук І. Ф., Чехній В. М. Виявлення осередків опустелювання в Україні на основі розрахунків водних індексів за даними дистанційного зондування Землі. *Український географічний журнал*, 2020. №1(109). С. 16-25. DOI: https://doi.org/10.15407/ugz2020.01.016.

5. Романчук І. Ф. Вплив водного режиму ґрунтів на ступень їх деградації з використанням космічних знімків та даних наземної польової завірки. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 2018. № 17. С. 26-30. DOI: https://doi.org/10.36023/ujrs.2018.17.126.

6. Пазинич Н. В., Романчук І. Ф. Характеристика стану вологості ґрунтів з використанням картографічних методів та даних супутникової зйомки. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки,* 2018. Т. 23. Вип. 2(33). С. 43-54. DOI: https://doi.org/10.18524/2303-9914.2018.2(33).146631 .

7. Romanciuc I. F., Pazynych N. V. Applications of Remote Sensing to Precision Agriculture Recommendations. *ACADEMOS,* 2019. № 1(52). С. 66-70.
https://zenodo.org/record/2906766#.Xpn4oGYzaM8
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.2906766.

тези конференцій, які засвідчують апробацію матеріалов дисертації:

8. Романчук И. Ф. Выявление соровых понижений рельефа с помощью космической съемки. *Науково-практична конференція з космічних досліджень*: Праці 15-ї науково-практичної конференції (Одеса, 24-28 серпня 2015). Одеса, 2015. С. 210.

9. Романчук И. Ф., Сахацкий А. И. Использование спектральных данных Sentinel для оценки распределения подов и влажности грунта на сельскохозяйственных полях (на примере Барышевского исследовательского полигона ДЗЗ). *Науково-практична конференція з космічних досліджень*: Праці 16-ї науково-практичної конференції (Одеса, 22-27 серпня 2016). Одеса, 2016. С. 222.

10. Romanciuc I. Application of satellite Data for Investigation of Micro Depressions of Relief-Source of the Groundwater Pollution by Mineral Fertilizers. *The 6th International Conference Ecological Chemistry:* Proceedings of the

International conference (Chisinau, Republic of Moldova, 2-3 March 2017). Chisinau, 2017. P. 105.

11. Романчук И. Ф. Определение засухоустойчивости растительного покрова степных территорий Украины по многоспектральным данным дистанционного зондирования. *Ідеї та новації в системі наук про Землю.* Праці IV Всеукраїнської молодіжної конференції. (Київ, 25-27 жовтня 2017). Київ, 2017. С. 76-77.

12. Романчук І. Ф. Виявлення географічних закономірностей формування ресурсів ґрунтової вологи у вегетаційний період. *Екологічна безпека держави.* Праці XII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів. (Київ, 19 квітня 2018). Київ, 2018. С. 205-206.

13. Romanciuc I., Pazynych N. Using the Digital Elevation Model for Studying Water Balance of the Territory. *Information technologies in solving modern problems of geology and geophysics.* Proceedings of 7th International Scientific Conference of young scientists and students. (Baku, Azerbaijan, 15-18 October 2018). Baku, 2018. P. 167-168.

14. Lyalko V. I., Elistratova L. A., Apostolov A. A., Romanciuc I., Hodorovskiy A. Ya. Application of space imagery for express-evaluation of soil degradation in Ukraine. *Почвы и земельные ресурсы: современное состояние, проблемы рационального использования, геоинформационное картографирование.* Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения БГУ и 80-летию со дня рождения д.г.н., профессора В. С. Аношко. (Минск, Республика Беларусь, 20-23 сентября 2018). Минск, 2018. С. 172-177.

15. Lyalko V. I., Elistratova L. A., Apostolov A. A., Romanciuc I., Hodorovskiy A. Ya. Evaluation of the natural environment changes in Ukrainian Polissia based on space imagery data. *Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии.* Сборник материалов VI Международной научной конференции к 110-летию со дня рождения профессора В. А. Дементьева. (Минск, Республика Беларусь, 13-16 ноября 2018). Минск, 2018. С. 168-170.

16. Romanciuc I., Piestova I. Soil water exchange modeling with water index application based on the multispectral satellite data. *VI Всеукраїнська конференція «GEO-UA».* Праці 6-ї Всеукраїнської конференції (Київ, 18-19 вересня 2018). Київ, 2018. С. 131-133.

17. Романчук І. Ф., Томченко О. В. Характеристика засоленности земель средствами ДЗЗ. *Всеукраїнська молодіжна наукова конференція «Ідеї та новації в системі наук про Землю».* Праці VI Всеукраїнської молодіжної наукової конференції. (Київ, 10-12 квітня 2019). Київ, 2019. С. 50-51.

18. Лялько В. І., Єлістратова Л. О., Апостолов О. А., Романчук І. Ф. Досвід оцінювання змін природного середовища в Україні з застосуванням матеріалів космічної зйомки. *Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві».* Збірник праць Міжнародної науково-практичної конференції. (Київ, 3-5 липня 2019). Київ, 2019. С. 164-168.

АНОТАЦІЯ

Романчук І. Ф. Методика визначення вологості земного покриву за даними дистанційного зондування – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження. – Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України», Київ, 2020.

У дисертаційній роботі запропоновано методику визначення вологості земного покриву за даними дистанційного зондування. Необхідність дослідження вологості земного покриву зростає у зв'язку з глобальними кліматичними змінами, що проявлені у порушенні водного та температурного режимів. Отже, вологість земного покриву є важливим параметром у питаннях безпеки навколишнього середовища та життєдіяльності людства.

Впровадження геоекологічного моніторингу, який враховує вологість земного покриву, дозволяє мінімізувати втрати від нестачі вологості в ґрунтовому та рослинному покриві та пом'якшити наслідки сучасних кліматичних змін.

Визначення вологості проводилося на регіональному та локальному рівнях досліджень, що дозволяє всебічно характеризувати сучасний стан території України.

Отримані протягом наземних спостережень значення вологості ґрунтового покриву корелюють із значеннями водних індексів, які було отримано за розрахунками даних багатоспектральної космічної зйомки з коефіцієнтом кореляції R^2=0,82. Застосовано багатовимірну регресію залежності вологості ґрунтового покриву від різних метеорологічних та природних показників, що дає можливість встановити вологість ґрунтового покриву у місцях із схожими метеорологічними та природними умовами, де не проводилися наземні спостереження.

Результатом регіонального дослідження є укладені карти розподілу водних індексів для всієї території України, що відображають просторовий розподіл вологості земного покриву у роки з різними погодно-кліматичними умовами. На локальному рівні дослідження на основі проведених наземних спостережень та результатів обробки даних дистанційного зондування укладено карту, що відображає нерівномірний розподіл вологості ґрунтового покриву, що дозволяє визначити мікрозападинні форми рельєфу. Застосування методу пластики рельєфу, доповненого морфодинамічним аналізом надає уявлення про динаміку руху поверхневих часток ґрунту та води в залежності від наявних морфологічних особливостей.

Розроблена методика відрізняється комплексуванням даних наземних спостережень та даних дистанційного зондування.

Ключові слова: дані дистанційного зондування, вологість земного покриву, регіональні дослідження, кліматичні зміни, посуха, мікрозападинні форми рельєфу, водні індекси, наземні спостереження.

АННОТАЦИЯ

Романчук И. Ф. Методика определения влажности земного покрова по данным дистанционного зондирования – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 05.07.12 – дистанционные аэрокосмические исследования. - Государственное учреждение «Научный центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук Национальной академии наук Украины», Киев, 2020.

В диссертационной работе предложена методика определения влажности земного покрова по данным дистанционного зондирования. Необходимость исследования влажности земного покрова возрастает в связи с глобальными климатическими изменениями, которые приводят к нарушению водного и температурного режимов. Таким образом, влажность земного покрова является важным параметром, от которого зависит безопасность окружающей среды и жизнедеятельность человечества.

Внедрение геоэкологического мониторинга, который учитывает влажность земного покрова, позволяет минимизировать потери от недостатка влажности и смягчить последствия современных климатических изменений.

Определение влажности проводилось на региональном и локальном уровне исследований, что позволило осуществить всестороннюю характеристику современного состояния почвенного покрова территории Украины.

Полученные в результате наземных наблюдений значения влажности почвенного покрова коррелируют со значениями водных индексов, полученных по расчетам данных многоспектральной космической съемки с коэффициентом корреляции R^2=0,82. Применена многомерная регрессия зависимости влажности почвенного покрова от различных метеорологических и природных показателей, которая дает возможность установить влажность почвенного покрова в местах с похожими метеорологическими и природными условиями, где не проводились наземные наблюдения.

Результатом регионального исследования являются карты распределения водных индексов для всей территории Украины, отражающие пространственное распределение влажности земного покрова в годы с различными погодно-климатическими условиями. Для локального уровня исследования на основе проведенных наземных наблюдений и результатов обработки данных дистанционного зондирования разработано карту, отражающую неравномерное распределение влажности почвенного покрова, которая позволяет определить микрозападинные формы рельефа. Применение метода пластики рельефа, дополненного морфодинамическим анализом, дает представление о динамике движения поверхностных частиц почвы и воды в зависимости от морфологических особенностей.

Разработанная методика отличается комплексированием данных наземных наблюдений и данных дистанционного зондирования.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования, влажность земной поверхности, региональные исследования, климатические изменения, засуха, микрозападинные формы рельефа, водные индексы, наземные наблюдения.

ANNOTATION

Romanciuc I. F. Methodology for Determining the Land Cover Moisture Content Based on Remote Sensing Data – Manuscript

The thesis for the Candidate of Sciences degree on specialty – 05.07.12 – Remote Sensing. – State Institution "Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Science of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, 2020.

A methodology for determining land cover moisture content based on remote sensing data is offered in the thesis. The need to study land cover moisture content is increasing due to the global climatic change expressed mainly in the disruption of water and temperature regimes. In addition, land cover moisture content is an important parameter on the environmental safety and human life issues. An insufficient amount of land cover moisture content results in a disturbance of soil characteristics, intensifying their degradation processes, a long period of drought, loss of soil fertility and crop productivity.

Implementation of geoecological monitoring, which takes into account the land cover moisture content, enables to minimize the losses from the lack of moisture and mitigate the consequences of current climate change. The developed methodology for determining land cover moisture content could be applied at the regional and local scale levels. It allows to comprehensively characterize the current state of the land cover moisture content within the Ukraine. This technique is notable for the integrating field observations with remote sensing data.

When conducting monitoring work at a regional level, the use of large spatial coverage satellite images available to cover the whole territory of the state was suggested. Currently, such requirements are adhered to by the MODIS series satellites imagery, considered in the study. According to multispectral satellite imagery data, the use of various water indices is one of the most widespread methods of moisture level determination. Spectral channels of these indices are sensitive to moisture in the soil and vegetation cover.

To identify the most appropriate water index, five different water indices were analyzed. For regional level, NDII and RDI water indices were selected, as recorded by the MOD13C2 product data from the TERRA/MODIS satellite. The methodology for regional studies of determining land cover moisture content was based on the correlation of the remote sensing data with the climatic and physiographic regions.

From the standpoint of landscape analysis, the study examines the plain of Ukraine within mixed forests, deciduous forests, forest-steppe and steppe zones. Differentiation of physical and geographical conditions depends on the ratio of heat, moisture, atmospheric circulation pattern. This allows to identify the boundaries of physiographic regions. Therefore, while studying land cover moisture content at the

regional level it is proposed to take into account both the climatic indicators and limits of physiographic regions that are shifting as noted by scientists from different fields.

Temperature-dependent atmospheric precipitations are the main source of soil moisture. Precipitation, air temperature and temperature condition of the topsoil at the depth of 5, 10, 15, 20 cm were analyzed. A weakening of precipitation processes and their significant redistribution through time have been observed in recent years in Ukraine. As a result, the prolonged drought periods occur, followed by periods of heavy rains.

According to the diagnostics of current climatic situation meteorological indicators, three representative model years were selected to determine land cover moisture content: 2007 was characterized by the severe drought provoked by the high temperatures and insufficient precipitation during the growing season, 2015 was the most anomalous year on a global and regional scale with the increased temperature regime, and 2016 was a typical year of the XXI century.

The entire territory of Ukraine maps, reflecting the spatial distribution of the land cover moisture content, were calculated and compiled in accordance to water indices values. The physiographic regions shown on the maps represent the reference lines of typical natural and climatic conditions of Ukraine. According to the NDII and RDI water indices values distribution, significant lack of moisture in the steppe zone was observed during the selected years: 2007, 2015 and 2016. The forest-steppe zone was characterized by the low-moisture level. In 2007, the forest-steppe zone and the zone of deciduous forests acquired the signs of aridity, and the steppe zone become catastrophic drought, as such conditions could lead to desertification over the long run. If the trend towards the temperature increase and continuous decrease in precipitation be kept, the conditions of 2007 may become typical for Ukraine.

At the local level, the distribution of moisture is significantly influenced by the surface relief. The local landscape-forming elements of the territory are characterized by the micro-depression landforms, which determine the spatial variability of soil moisture and its transformation.

In the modern relief the micro-depression landforms accumulate small local catchment bases of erosion and places of increased moisture and soil mass transfer. This provokes transformation of soils' composition, their swamping and changes in vegetation type in the central part of a micro-depression. According to the hydrogeological studies, micro-depressions represent the associated areas with the increased filtration and moisture migration (geodynamically active zones), which significantly complicates the land use conditions, causing the spatial variability of water regime in soils. Appearance of the micro-depressions on the land cover provokes great difficulties in agriculture.

Field observations, carried out within the Baryshiv landfill, held a valuable place in determining of the soil moisture at the local level. During April-July field observations period, the samples of the surface soil layer had been taken at the 10 cm depth. In laboratory conditions, soil moisture was determined by the thermostat-weight method that met the requirements of State Standards of Ukraine. While

comparing the calculated water index NWI with actual soil moisture content, the linear regression equation was obtained.

The soil moisture content values obtained during the field observations are relevant to the values of water indices having been obtained on the basis of multispectral satellite imagery data calculations with correlation coefficient R^2=0.82. Subsequently, the multivariate regression of the soil moisture content dependence on various meteorological and natural parameters was applied, which made it possible to establish the soil moisture content in the areas with similar meteorological and natural conditions, where the field observations were not performed.

Based on the regression dependences calculation, the soil cover moisture map for the selected fields of the Baryshiv landfill was created. The map depicts the uneven distribution of soil moisture due to the earth's surface natural features. Baryshiv landfill soils, being formed on forest-wooded loams, are capable to subside while wetting. Thus, the micro-depression landforms appear, which can be identified by the increased soil moisture content.

Another essential methodology component embraces the application of relief plasticity method, supplemented by the morphodynamic analysis based on the radar imaging. The developed maps of the plasticity of investigated relief are dynamic and reflect the direction of surface water and ground masses, areas of local over-wetting and over-drying. These maps could serve a basis for implementation of precise land use in order to improve its ecological component and rational resource usage.

The developed methodology is distinguished by integration of the field observations data with the remote sensing data and makes it possible to determine the soil moisture contents at the regional and local levels of research with the aim of geoecological monitoring introducing. The study results and implementation of the proposed methodology for land cover moisture content determination based on remote sensing data at the regional level could be key to making the strategic decisions in agriculture, land resources assessing, monitoring of the climate change impact on the environment of Ukraine or its large regions.

The proposed methodology for determining land cover moisture content at the local level has demonstrated a good dependence of NWI water index values on the actual moisture content in the soil cover. This made it possible to develop a soil moisture map for Baryshiv landfill’s selected fields, which reflects the uneven distribution of moisture due to the presence of micro-depressions landforms. The developed map of the land cover moisture content allows to determine the localization of micro-depression landforms to be used in precision farming.

Thus, the assessment of the land cover moisture content proposed in the thesis is of utmost importance while elaborating a national geoecological monitoring system. The devised method can be applied both as a component of geoecological monitoring, and be adapted for further research and solving various land use problems.

Key words: remote sensing data, land cover moisture content, regional studies, climatic changes, micro-depression landforms, water indices, drought, field observations.