

УДК 5.28.04

Рябоконеко С.О., Рябоконеко О.Д.

ОЦІНКА РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ ПІДТОПЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИСТАНЦІЙНИХ МЕТОДІВ ТА ГІС ТЕХНОЛОГІЙ

Одним з несприятливих інженерно-геологічних процесів, що відбуваються на території України є процес підтоплення різних за призначенням родючість ґрунтів у сільському господарстві, наносить збитки житловій забудові в сільських та міських населених пунктах, наносить збитки промислового виробництва та гірничодобувній промисловості, погіршує загальний екологічний стан територій проживання та відпочинку населення, унеможливує або значно ускладнює доступ до чистої питної води. Більше 15 млн. людей або біля 20% населення України сьогодні мешкають на підтоплених територіях, що займають понад 17% загальної площі країни.

Підтоплення, спричиняючи ланцюгову реакцію, викликають не менш небезпечні природно-техногенні явища – картування порід, зсуви, суффізійно-просадочні явища. Загальний показник таких уражених територій коливається у межах 5-18%.

Зазначене вище формує одну з найважливіших проблем сьогодення для України – зріст та поширення процесу підтоплення сільгосптериторій та територій населених міст, особливо для півдня України, де цей процес прийняв масштаб екологічної катастрофи і вимагає створення ефективної системи відстеження та комплексу дій щодо зупинення та ліквідації цього вкрай негативного процесу.

Не даремно Президент у своєму Указі “Про рішення РНБОУ від 11 листопада 2002 року “Про стан безпеки водних ресурсів держави та якість питної води в містах і селах України” визнав незадовільним ефективність державного управління і стан реалізації державної політики у сфері охорони та використання водних ресурсів (за матеріалами парламентських слухань “Підтоплення земель в Україні: проблеми та шляхи подолання”, березень 2003 р.).

Як відомо, традиційні методи визначення перезволожених територій, ведення моніторингу розвитку процесів підтоплення потребують значних витрат часу та коштів. Автор запропонував методику визначення перезволожених територій за даними дистанційного зондування Землі, яка була опробувана за даними різночасових космічних знімків супутника Landsat на територію Херсонської області. В ході виконання робіт були досліджені спектральні властивості ґрунтів в видимому та ІЧ-діапазонах спектру, зроблено підбір даних ДЗЗ та фондових матеріалів на територію досліджень. За даними дешифрування космічних знімків були побудовані ГІС шари, що відповідають перезволоженим територіям.

СПЕКТРАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ В ВИДИМОМУ ТА ІЧ-ДІАПАЗОНАХ

Ґрунт відбиває світловий потік, що падає на нього, дуже слабо. Зі збільшенням довжина хвилі потоку енергії, що падає, збільшується частка (в відсотках) потужності відбитого потоку. Найбільш яскраво визначена спектральна характеристика ґрунтів в червоній частині спектру, в ближньому, середньому і тепловому діапазонах інфрачервоного випромінювання.

Якісні і кількісні відмінності спектральних характеристик різновидностей ґрунтів в цих діапазонах дозволяють розпізнавати їх і дешифрувати. При мультиспектральних зйомках для розпізнання і класифікації ґрунтів в цих діапазонах отримані дані можна надати у вигляді контрастно покращеного зображення, тобто провести числову обробку даних і отримати раціо-зображення.

На спектральне відбиття, абсорбцію і випромінювання ґрунтів впливають речовинно зумовлені і речовинно не зумовлені параметри, з яких, передусім, по значимості виділяються: мінеральний склад, зернистість (або розмір частинок), вміст сполучень заліза і органічних сполучень (гумусу), а також структура і шорсткість поверхні ґрунтів.

Серед речовинно зумовлених параметрів мінеральний склад, що визначає спектральну характеристику ґрунту, займає перше місце. Саме властивостями окремих мінералів, що впливають на коефіцієнти спектрального відбивання і абсорбції, визначаються спектральна характеристика ґрунту і величина сигналу.

Але на відбиття і абсорбцію ґрунтами енергії світлового потоку, що падає, істотно впливає не тільки їх мінеральний склад, але й співвідношення піщаної і глинястої частин ґрунту, вміст окислів і гідрокислів заліза, вид і кількість органічної речовини.

Дуже великий вплив на співвідношення відбиття і абсорбції енергії світлового потоку мають структура поверхневого шару ґрунту і розподіл в ньому частинок (окремих зерен або мінеральних агрегатів) різних розмірів [1]. Ці параметри зв'язані з мінеральним складом і впливають на ті властивості ґрунту, що визначають процеси відбиття і абсорбції енергії на його поверхні і, отже, величину відбиття світлового потоку, що падає (альbedo).

Розмір зерен мінералів в ґрунті і їх просторовий розподіл (текстура) в верхньому шарі впливають на співвідношення спектрального відбивання і спектральної абсорбції ґрунтів. Вимірність і упорядкованість частинок зв'язані з мінеральним складом і зумовлюють структуру і властивості поверхні ґрунту і завдяки цьому впливають на вид і інтенсивність процесів відбивання і абсорбції і на відношення величини відбитого потоку енергії випромінювання до потоку, що падає (альbedo).

Частка відбитого потоку енергії змінюється зі зміною розміру зерен або частинок ґрунту. Щільна упаковка тонкозернистих мінералів в ґрунті створює відносно рівні поверхні, що відбивають сильніше, ніж грубі, шорсткі поверхні. Більш великі мінерали або частинки ґрунту неправильної форми, навпаки, створюють відносно складну, нерівну шорстку поверхню ґрунту. На цих нерівностях - в порах і міжпоровому просторі - виникає багатократне відбивання,

що призводить до збільшення абсорбції енергії потоку випромінювання, що падає, і відповідно до зменшення частки відбитого потоку випромінювання, що реєструється. Це характерно як для цілинних ґрунтів, так і в більшій мірі для окультурених ґрунтів сільськогосподарських районів. Тут структури і властивості поверхні ґрунтів залежать від виду їх щорічного використання [2]. В зв'язку з цим можна очікувати, що поверхні глинястих або мулових, так же як тонкозернистих ґрунтів, будуть нерівними, якщо в цих ґрунтах під час засухи утворилися провали і структури висихання, що відповідно впливають на процеси відбивання і абсорбції енергії сонячної радіації.

Сильно впливають на співвідношення відбивання і абсорбції, а також на колір ґрунтів вміст в них і вид органічної речовини і сполучень заліза. Вільні окисли заліза і його гідроокисли в короткохвильовій частині видимого діапазону зменшують, а в довгохвильовій і ближній інфрачервоній - збільшують відбивну властивість (спектральну яскравість) ґрунтів. Діапазон 0.5-0.64 мкм має особливе значення для розпізнання ґрунтів, що містять Fe [3].

Зменшений вміст гумусу (особливо в межах від 0 до 8%) знижує інтенсивність спектрального відбиття ґрунтів в зоні більш 0.6 мкм. Але такий вплив гумусу може зменшуватися високим вмістом глинястих мінералів або глинозему. Вмістом органіки, крім того, визначається спроможність ґрунтів утримувати, накопичувати і зберігати вологу. Волога сама по собі впливає на характер спектрального відбиття на різних ділянках ґрунту. Вид і фракція, а також іонний склад органічної речовини в ґрунтах істотно впливають на їх структуру і завдяки цьому на силу іонного обміну. Визначення гумусової фракції в ґрунтах має велике значення для оцінки можливостей господарського використання ґрунту. Гумусова складова ґрунтів впливає на їх характеристики в деяких спектральних каналах, завдяки цьому при комп'ютерній обробці даних мультиспектральних зйомок ґрунтів з різноманітним вмістом гумусу можна виділити такі ділянки.

Значний вплив на спектральні характеристики ґрунту у видимій і ближній інфрачервоній частинах оптичного діапазону виявляє волога. З підвищенням вологи зменшується спектральна яскравість всіх ґрунтів незалежно від довжини хвилі випромінювання. В сухих ґрунтах порожнечі між частинками ґрунту заповнені повітрям.

Для відбивання з поверхні сухих ґрунтів має значення коефіцієнт переломлення на граничній поверхні повітря-частинка. Збільшення вологи призводить до заповнення пор водою. Для відбивної властивості поверхні вологого ґрунту важливий показник відбивання на граничній поверхні вода-частинка. В зв'язку з тим, що величина такого розрахункового показника на граничній поверхні вода-частинка менша, ніж величина показника поверхні повітря-частинка, то частка відбитої енергії потоку випромінювання із зменшенням вмісту води буде зростати. Вологі і перезволожені ґрунти на багатозональних зображеннях завжди мають більш темні тони, ніж аналогічні сухі ґрунти.

Цей взаємозв'язок між вмістом води в ґрунті і його спектральною яскравістю може бути використаний при дешифруванні даних дистанційного зондування Землі. Ділянки сухих і вологих ґрунтів розпізнаються за величиною спектральної

яскравості. За розподілом сухих і вологих ґрунтів на місцевості можна по сукупності з іншими критеріями зробити висновки про властивості нижнього ґрунтового шару і його основи, або субстрату (пористості, проникності та інш.), і про можливість його інженерного використання, про його дренажування, а також про вміст в ньому ґрунтових вод.

Якщо зміни тональності зображення для окремих типів ґрунту на аерокосмічних знімках пов'язані зі структурними і текстурними особливостями їх поверхні, то дослідження методом відношень повинні були виявити вплив, з одного боку, структури і, з іншого - вологі ґрунтів на тональність фотообразів їх поверхні при аерокосмічних зйомках. Необхідно також відзначити, що на вологість ґрунту сильно впливають метеорологічні умови, а також деякі інші параметри, не зв'язані зі складом ґрунту: інтенсивність сонячної радіації, вітер, опади, величина випаровування.

Тому при виборі матеріалів дистанційного зондування необхідно враховувати метеорологічні умови при яких відбувалось знімання території досліджень. Крім того, волога ґрунтів міняється в сільськогосподарських районах в залежності від обробки (оранка, скородження) і від величини дренажу, що може бути різноманітна для ділянок однієї ландшафтної зони. Ці фактори обов'язково враховують при проведенні дистанційних зйомок.

До незалежних від матеріалу (або речовини) параметрів, що визначають співвідношення спектрального відбиття і абсорбції ґрунту, відносяться: рельєф місцевості, топографічна позиція ґрунту, висота над рівнем моря, нахил поверхні ґрунту і її орієнтація по відношенню до Сонця, вид і щільність рослинності всілякі випадкові фактори. Варіації цих параметрів визначають, яку кількість сонячної енергії отримає поверхня ґрунту протягом дня або певного проміжку денного часу.

Спектральне випромінювання (емісія) ґрунтів в тепловому інфрачервоному діапазоні визначається температурою їх поверхні, відповідно коливанням температури протягом дня і ночі. При цьому ґрунти з різною випромінювальною властивістю мають відповідно різноманітну температуру випромінювання, що може реєструватися дистанційними засобами.

Дистанційна інфрачервона зйомка (в діапазоні 3-13 мкм) фіксує розподіл радіаційної температури поверхні. Рух підземних вод, варіації вологості приповерхневих шарів ґрунту, наявність джерел теплогенерації і т.п. викликають теплові і температурні аномалії на поверхні Землі. Величина температурної аномалії на поверхні пропорційна аномалії теплового потоку в ґрунті, що несе інформацію про особливості процесів теплопереносу або теплогенерації в надрах, зв'язаних з наявністю теплових джерел і у випадку постійності умов теплообміну і теплофізичних властивостей порід по території досліджень, можна записати :

$$T_{п(ан)} - T_{п(фон)} = \frac{Q_{п(ан)} - Q_{п(фон)}}{N} \quad (1)$$

де:

$T_{п(ан)}$, $T_{п(фон)}$ - температура поверхні;

$Q_{п(ан)}, Q_{п(фон)}$ - тепловий потік в ґрунті на аномальній і фоновій ділянках маршруту;

N - коефіцієнт теплообміну.

Дистанційна апаратура вимірює радіаційну температуру $T_{рад}$, що зв'язана з температурою поверхні співвідношенням:

$$T_{рад} = \sqrt[4]{\epsilon} T_{п} \quad (2)$$

де

ϵ - ступінь "чорноти" поверхні.

На температурні характеристики ґрунтів впливає ряд параметрів, як залежних, так і незалежних від властивостей ґрунту. До залежних параметрів відносяться: колір ґрунту; склад і об'ємна частка мінералів в його складі; розмір частинок ґрунту; вміст органічної речовини; пористість і відповідно проникність; волога і, відповідно, вологонасичення.

В залежності від цих параметрів міняються: альbedo; питома теплоємність C ; теплопровідність λ ; температуропровідність a і теплоперенос P . Ці фізичні властивості визначають: тепловий потік в ґрунті; теплообмін між ґрунтом і граничним шаром повітря над його поверхнею; амплітуду щоденних температурних коливань і, в зв'язку з цим, характеристику спектрального випромінювання і відповідно температуру випромінювання (радіаційну температуру) ґрунтів. Відмінності в радіаційних температурах ґрунтів і модифікації їх значень можуть бути використані при дешифруванні матеріалів дистанційного зондування.

До параметрів, які не зв'язані з природою об'єкту, але впливають на температуру поверхні ґрунтів і їх температурний профіль, відносяться: інтенсивність і склад спектру направленої потоку сонячного випромінювання і розсіяного, дифузного світлення неба; топографічна позиція поверхні ґрунту в ландшафті місцевості (рельєф, висота над рівнем моря), нахил; орієнтація по відношенню до падіння сонячних променів; вид і густота трав'янистих фітоценозів; дренаж і, передусім, метеорологічні фактори, що всі без винятку в першу чергу впливають на можливість реєстрації спектрального випромінювання (опаді, вітер, дощові і сухі періоди, аерозольне зрошення, мікроклімат). В залежності від коливань всіх цих параметрів міняються денні і річні кінцеві величини випаровування ґрунту, що впливають на охолодження поверхні ґрунту.

Особливу увагу при виборі часу польоту для теплової сканерної зйомки слід звертати на наступні фактори. Вдень зміни температури ґрунту і теплообмін між ґрунтом і приґрунтовим шаром повітря відповідають змінам потужності потоку сонячного випромінювання. Під час сходу і заходу сонця теплообмін майже рівний. Після заходу сонця тепловий потік в ґрунті спрямований уверх. Тепловий потік варіює в залежності від властивостей ґрунту (як теплового акумулятора), передусім від теплоємності і теплопровідності. Для вологих ґрунтів з підвищеною термічною інерцією амплітуда денних коливань температур нижча, ніж для сухих ґрунтів.

Визначення вологості ґрунту у тепловому інфрачервоному каналі можливе для голих ґрунтів або покритих листям не більш ніж на 10-15% в залежності від

термодинамічної (T_n) температури та температури яскравості земної поверхні T_r , що містить вологу [1-4].

Як правило, у денний час сторони з високим вмістом вологи характеризуються маленькими значеннями T_n і T_r , у той час як сухі ґрунти мають вищі величини T_n і T_r .

Температурний контраст підвищується зі сходом сонця, досягає максимуму у полудень, потім поступово зменшується до вечора. Впродовж ночі та перед сходом сонця контраст між вологими та сухими ґрунтами є мінімальним, та можливе спостереження феномену інверсії, разом з великою термальною інерцією від вологого до сухого ґрунту.

Підбір даних ДЗЗ та фондових матеріалів на територію досліджень.

Для проведення досліджень доцільно використання космічних знімків супутників серії Landsat так, як ці космічні знімки надають можливість проводити дослідження в 7-и спектральних діапазонах, включаючи ближній, середній та тепловий інфрачервоні діапазони, та мають достатньо високу роздільну здатність на місцевості.

Був проведений аналіз погодних умов (наявність та кількість опадів, температура) за період, що передував датам знімання. За результатами аналізу були відібрані для подальшої обробки космічні знімки Landsat 7 ETM+ від 08.08.2001, 10.08.1999 та Landsat 5 TM від 20.07.1991.

Для достовірної інтерпретації необхідно дешифрування знімка проводити на ділянках однорідних ґрунтів. Для виділення ділянок однорідних ґрунтів на території досліджень були використані карти ґрунтів. Паперові карти були переведені до цифрового виду (проскановані та векторизовані) тобто перетворені в шари – типи ґрунтів для подальшого використання в ГІС та при дешифруванні та інтерпретації космічних знімків.

Для завірки при дешифруванні та інтерпретації космічних знімків були використанні матеріали, що були надані Державним комітетом України з водного господарства.

Визначення перезволожених територій за матеріалами дистанційного зондування

Для оцінки розвитку процесів підтоплення були підібрані різночасові космічні знімки на територію досліджень (див. вище). Для обробки космічних знімків використовувалось програмне забезпечення ERDAS IMAGINE 8.4.

Для полегшення подальшого дешифрування була зроблена радіометрична корекція знімків з використанням модуля Interpreter. Для забезпечення можливості суміщення наземних завіркових даних та карти ґрунтів з космічними знімками була зроблена геометрична корекція знімків, яка дозволила усунути похибки та спотворення за рахунок рельєфу, нахилу знімальної камери та дисторсії об'єктиву та прив'язка знімків до місцевості в системі координат WGS 84.

Для виконання цих робіт застосовувався модуль DATAPrep. Ці дві операції можна віднести до попередньої обробки знімків, що передує процесу дешифрування та інтерпретації. Дешифрування проводилось за даними 6-го та 7-го каналів. Для аналізу та інтерпретації неоднозначної інформації додатково залучались результати синтезу 3, 5, 7 та 4, 5, 7 каналів.

Крім того було зроблено спектральне перетворення знімків, спектральна трансформація, що мала метою виділення пікселів, що відповідають перезволоженим ділянкам. Тобто, значення спектральної яскравості кожного пікселу в кожному каналі (діапазоні) знімка помножується на певний коефіцієнт в залежності від того, які фізичні властивості земної поверхні досліджуються і повинні бути виділені для полегшення як візуального, так і автоматизованого дешифрування.

При визначенні перезволожених територій враховувались дані карти ґрунтів оскільки дешифрування та інтерпретацію необхідно проводити на однорідних ґрунтах, що значно підвищує достовірність результатів, також для завірки використовувалась наземна інформація. За результатами дешифрування та інтерпретації були побудовані карти перезволожених територій станом на 20 липня 1991 р., 10 серпня 1999 р. та 8 серпня 2001 р. Ці карти засобами ПЗ ERDAS IMAGINE були перетворені в ГІС шари для подальшого використання.

Перелік літератури

1. Постанова Верховної Ради України "Про рекомендації парламентський слухань "Підтоплення земель в Україні: проблема та шляхи підтоплення", 6 березня 2003 р. Рекомендації парламентських слухань "Підтоплення земель в Україні: Проблеми та шляхи подолання", 27.01.2004 р.
 2. Stoner E.R. & Baumgardner M.F. (1990): Physicochemical site and bidirectional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils. LABS Techn. Report, 111679.
 3. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. М., "Мир" 1988, - 344 с.
 4. Горный В.И., Шилин Б.В., Ясинский Г.И. Тепловая аэрокосмическая съемка. М., "Недра", 1993, - 126 с.
 5. Лялько В.І., Довгій С.О., Інформатизація аерокосмічного землезнавства, Наукова думка, м. Київ – 2001р.
- Коржнев М.М. та ін. Методичні підходи до створення прогнозних моделей екологічних ситуацій в Україні, пов'язаних з режимом поверхневих і підземних вод з використанням ГІС і ДЗЗ.

Статья поступила в редакцию 16.05.05