

Соловей Т.В.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПЕРЕЗВОЛОЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

Ключові слова: дистанційне зондування, фотоінтерпретація, заболочені території, болота

Вступ. Ідентифікація перезволожених територій є надзвичайно актуальною проблемою як у науково-теоретичному, так і господарському відношеннях. В умовах постійного перезволоження формуються унікальні фітоценози, специфічні органогенні відклади та, загалом, геосистеми високого рівня біотичного і ландшафтного різноманіття. Їх дослідження є пріоритетним завданням реалізації природоохоронних стратегій як на рівні держави, так і світового значення – Рамсарська (“Про захист водно-болотних угідь”), Бернська (“Про охорону дикої природи і фауни та природних середовищ життя в Європі”), Найробська (“Про біотичне різноманіття”) конвенції тощо. Особливого значення дослідження перезволожених геосистем набувають у зв’язку з глобальним потеплінням клімату. Виявлені зміни гідрокліматичних умов в Україні свідчать про зростання запасів підземних вод зони активного водообміну, що відображається у підвищенні мінімального стоку річок [Гребінь В.В., 2010]. У ході цих змін можлива також активізація процесів заболочення суходолу. В свою чергу болота виконують ключову роль в обігу парникових газів – CO₂, CH₄, N₂O. Узагальнені дані численних фінських досліджень свідчать про те, що болота в антропогенно незміненому стані щороку поглинають пересічно 75,3 г / 1 м² двоокису вуглецю [Crill, 2000].

У статті висвітлено сучасні можливості використання супутникових і аерофотознімків для визначення локалізації перезволожених територій, особливостей їх зволоження, фітоценотичного складу тощо. Показано приклад застосування методів дистанційного зондування для ідентифікації перезволожених територій на Мазовецько-Підліській низовині (центральна Польща).

Постановка проблеми. Умови постійного перезволоження фіксуються тоді, коли верхній тридцятисантиметровий шар ґрунту упродовж більшої частини року (не менше 200 днів) містить кількість вологи, що перевищує рівень найменшої польової вологості. Перезволоженим територіям властивий перебіг своєрідних процесів, головними з яких є оглеєння і торфонакопичення, що відображається у поширенні гідроморфних ґрунтів і гідрофільної рослинності. До перезволожених земель належать гідроморфні

ландшафти, які розвиваються там, де існують умови тривалого затоплення або підтоплення територій. В умовах заболочення суходолу, зумовленого приповерхневим заляганням підземних вод, інтенсифікується процес оторфування дернового горизонту. У випадку, коли територія зазнає тривалого затоплення, органічна субстанція відкладається на земній поверхні, утворюючи нові відклади – мул або торф. Отже, до перезволожених територій ми зараховуємо торфовища, болотні масиви, заболочені землі, тобто ті об'єкти, яким властиві дві головні ознаки: 1) умови постійного перезволоження; 2) розвиток болотних процесів.

Одним зі способів ідентифікації перезволожених територій у просторі, а також отримання даних про їх властивості, може бути застосування методів дистанційного зондування. Вони охоплюють наземні спектральні вимірювання та аерофото- і супутникові знімки. Істотною частиною дистанційного зондування є фотоінтерпретація, тобто ідентифікація об'єктів на підставі пізнавальних рис, які є безпосередньою властивістю даного об'єкту і характеризують його з точки зору геометрії, структури, оптичних і спектральних властивостей.

Застосування методів дистанційного зондування для ідентифікації перезволожених територій. У моніторингу гідроморфних ландшафтів, тобто перезволожених територій, за допомогою супутникових спостережень можна виділити два головні дослідницькі напрямки: оцінку вологості ґрунтів та оцінку властивостей фітоценозів. У цих дослідженнях використовують дані, що презентують кількість відбитого випромінювання у видимому і червоному (400–2500 нм), тепловому (3000–16000 нм) і мікрохвильовому (0,9-25 см) спектрах. Стосовно ґрунтів – величина відбитого випромінювання у видимому спектрі залежить від їх вологості. Сухий ґрунт загалом відзначається вищою, ніж вологий, величиною відбиття електромагнітного випромінювання. Різниця у відбитті збільшується одночасно зі зростанням довжини хвилі. Це означає, що більший контраст між сухим і вологим ґрунтом спостерігається у червоному видимому спектрі. Головною перешкодою оцінки зволоження приповерхневих відкладів таким способом є наявність рослинного покриву. Клітини рослин є дуже ефективними розпорошувачами електромагнітних хвиль. Максимум відбиття спостерігається у зеленій частині видимого спектру – на рівні 10-15%. Різке зростання відбувається також і в червоній частині спектру, де, залежно від видів рослин, цей показник коливається у межах 30-70% [Almeida, 2004].

Кращі можливості для визначення просторової різноманітності вологості ґрунтів дають супутникові радарні знімки. Широко використовуються знімки із супутників ENVISAT ASAR, MERIS, AATSR, MODIS, ALOS, RADARSAT. Для досліджень зволоженості територій, непокритих рослинністю, застосовують радарні знімки, зареєстровані у спектрах С (довжина хвилі 5,7 см) або L (21 см). Мікрохвильове випромінювання проникає в ґрунт на глибину в 0,1-0,2 рази більшу, ніж довжина хвилі, і зменшується в міру зростання його вологості. У випадку спектру L глибина

проникнення хвилі становить майже 10 см в умовах середньої зволоженості [Engman і Chauhan, 1995]. Оцінка вологості ґрунтів, покритих рослинністю, характеризується значною похибкою. З метою її зменшення використовують коротші хвилі зі спектру Ku (2 см) і X (3 см), які допомагають окреслити вплив рослинності на ослаблення довгохвильового сигналу. В Інституті геодезії і картографії Польщі розроблено методику визначення заболочених територій з різноманітним ступенем зволоження на підставі інформації, отриманої з мікрохвильового спектру [Dabrowska-Zielinska, 2009]. У цій методиці про вологість ґрунтів свідчить величина коефіцієнту розпорошення відбитого сигналу, яку отримують з мікрохвильових знімків супутників ERS-2, ALOS, ENVISAT, ASAR і MERIS.

У 2009 р. стартувала місія ESA SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity), метою якої є глобальний моніторинг вологості ґрунтів на суходолі і солоності океанів. На підставі отриманих даних з'ясовують глобальні умови обміну вод між суходолом і атмосферою на тлі глобальних кліматичних змін [www.esa.int]. Місія триватиме впродовж 3-5 років і постачатиме дані спостережень поверхні Землі з циклічністю 3-4 дні для того ж самого місця, що забезпечить репрезентативну періодичність для сезонних змін. SMOS використовує вимірювання температури радіаційної яскравості (Brightness Temperature) у мікрохвильовому спектрі L (1,4 ГГц). Це є радіометрична одиниця, яка означає емісію природного шуму у спектрі спостереження. Цю змінну величину потім перетворюють на показник вологості ґрунтів. Для калібрації вимірювань вологості ґрунтів із супутника SMOS на регіональному рівні використовують наземні спостереження за вологістю ґрунтів, температурою повітря на поверхні ґрунту і на висоті 2 м, рослинні показники LAI, fAPAR, які отримують на основі спектрального аналізу. SMOS веде спостереження за зоною аерації. Вміст води у зоні сатурації залишається поза межами спостережень SMOS. Інструмент SMOS не сканує територію по лінії за лінією у часовому порядку, а реєструє відбитий сигнал з поля зору всіх пікселей одночасно [Usowicz, 2009].

В теперішній час вважається, що найефективніші методи дистанційного моніторингу гідроморфних ландшафтів повинні базуватися на синергетичній інформації, отриманій на підставі електромагнітних, радарних (SAR) і радіометричних (SMOS) вимірювань.

На підставі фотоінтерпретації аерофотознімків можна ідентифікувати гідроморфні ландшафти, використовуючи біоіндикатори – рослинність. За специфічними фітоценозами заболочених територій часто можна робити висновки щодо водних умов біотопу. Визначення фотоінтерпретаційних рис гідрофільної рослинності є головним завданням при ідентифікації заболочених територій за аерофотознімками. Більшість аерофотознімків реєструє відбите від земної поверхні випромінювання у видимому (чорно-білі знімки, які називають панхроматичними, та кольорові, з природними барвами) та інфрачервоному спектрах [Ciolkosz, 1999]. Останні особливо придатні для виокремлення рослинності з-поміж інших об'єктів. Кольорові крупномасштабні знімки знаходять застосування при визначенні

заболочених територій, покритих лучною рослинністю, та ідентифікації перехідних і верхових боліт. З метою визначення ступеня зволоженості лучних фітоценозів добрі результати отримують, використовуючи знімки супутника Landsat з двох періодів – початку травня і вересня. На підставі візуального аналізу встановлено, що найкращі розпізнавальні характеристики дають 3 і 4 спектральні канали. Добрих результатів у виокремленні вологих і мокрих луків досягають, застосовуючи комбінацію спектральних каналів – суму каналу 4 з двох періодів (травень і вересень) і канал 3 (вересень) [Kozłowska, 2004].

Об'єкт дослідження. Територія досліджень, площею 1 164 км², розміщена у Польщі, в центральній частині Мазовецько-Підліської низовини і адміністративно належить до Мазовецького воєводства (рис. 1).



Рис.1. Локалізація території досліджень у Польщі

Типовою рисою сучасного рельєфу досліджуваної території є перевага пагорбистих місцевостей при коливанні абсолютної висоти від близько 110 м н.р.м. у долині р. Свідер до 220 м н.р.м. на щиті Калушинської височини. Вони утворюють три генетичні типи рельєфу: зденудовану моренну височину, перигляціально-денудаційну та флювіо-аккумуляційну рівнини. В їх межах домінують плейстоценові моренні піщанисті глини та глинисті піски. Пологі рівнини річкової аккумуляції спостерігаються у долинах р. Свідер та р. Лівець і її притоки Костшинь. На значній частині їх поверхонь поширені заболочені території, вкриті луками.

До найбільших торфовищ на території досліджень належать резервати

“Багно Рогожниця” і “Погожель” (низинні торфовища) та “Кривицькі Струги” (верхове торфовище). Перезволожені території розташовані головню у долинах річок Свідер, Вітувка і Костшинь.

Ґрунтові води на території досліджень поширені у піщаному алювії річкових долин і піщано-гравійних флювіогляціальних відкладах. Останні характеризуються найбільшим поширенням, з глибиною залягання рівня ґрунтових вод близько 2-5 м. У річкових долинах ґрунтові води залягають на глибині 1-2 м. Перший водоносний горизонт не ізольований від земної поверхні, що забезпечує його інфільтраційне живлення. Система кругообігу цих вод належить до локального рівня.

Методика дослідження. Ідентифікація перезволожених територій, зокрема місць поширення природничо-цінних болотних угідь, виконана влітку 2010 р. в рамках норвезького проекту: “Розробка інструменту для ідентифікації природничо-цінних територій у межах агроландшафтів”. У роботі використано наступні матеріали:

- 1) ортофотокарти, розроблені на основі аерофотознімків з 2006 р. (серпень) у натуральних барвах і просторовій роздільній здатності 0,5 м;
- 2) супутникові знімки Landsat TM з 2006 р.;
- 3) ґрунтову карту в масштабі 1 : 25 000;
- 4) цифрову модель земної поверхні, роздільної здатності 10 м;
- 5) топографічну карту в масштабі 1 : 50 000;
- 6) гідрографічну карту в масштабі 1 : 50 000;
- 7) тематичні інформаційні шари ГІС “Болота Польщі”.

Весь графічний матеріал підлягав обробці у середовищі ГІС. Просторовий аналіз векторних і растрових даних, а також ортофотокарт здійснений у програмі ArcGIS 9.3 фірми ESRI.

У даній роботі головним методом досліджень є мануальна фотоінтерпретація аерофотознімків. В її основу покладено фотоінтерпретаційний ключ для ідентифікації болотних фітоценозів та зв'язок рослинного покриву з ґрунтово-геоморфологічними умовами. На підставі взаємозв'язку болотних фітоценозів з певними формами рельєфу і типом ґрунту розроблено ідентифікатори досліджуваних об'єктів. Орографічні і ґрунтові умови оцінено за допомогою цифрової моделі земної поверхні, геоморфологічної, геологічної та ґрунтової карт. В якості допоміжного методу застосовано аналіз рослинного покриву на основі показника NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), тобто коефіцієнта відбиття червоних хвиль [Sims, Gamon, 2003]. Показник NDVI розраховано на основі супутникових знімків Landsat TM.

Влітку 2010 р. сконфронтовано дійсний вигляд болотних фітоценозів (у польових умовах) з їх відображенням на ортофотокарті. На ній виділені об'єкти (перезволожені території), що характеризуються специфічним фототонном, структурою і текстурою. У польових умовах перевірено їх наявність, ідентифіковано генетичний і фітоценотичний тип боліт.

Результати досліджень. На території дослідження за допомогою дешифрування аерофото- і супутникових знімків, а також польових

обстежень ідентифіковано 113 масивів, де поширені природничо-цінні гідроморфні геосистеми. Їх загальна площа становить 286 га. Гідроморфні геосистеми належали до трьох генетичних типів – флювіо-, солі- і топогенних. Найчисельнішими були торфовища (низинні і перехідні), але по площі переважали болота мулистого походження (табл.1).

На території дослідження найлегшими для виявлення на ортофотокартах були перехідні торфовища, які поширені навколо заростаючих оліготрофних лісових озер.

Очеретні фітоценози були добрими біоіндикаторами постійно затоплених територій (покриття водою – від кільканадцяти см аж до 2 м). Вони знаходилися переважно у береговій зоні евтрофних водойм або водотоків, рідше – на низинних торфовищах. Результати дистанційної ідентифікації цих територій характеризувалися високою вірогідністю – більше 80 %.

Таблиця 1. Генетичні види гідроморфних геосистем території досліджень

Тип гідроморфних геосистем згідно джерела живлення	Мулисті болота, га	Заболочені масиви, га	Торфовища, га	Всього
Флювіогенні	80,86	7,77	33,39	122,02
Солігенні	2,61	67,23	29,82	99,66
Топогенні	0	12,09	52,11	64,20

За допомогою осокових луків з ряду *Magnocaricetalia* можлива дистанційна ідентифікація періодично затоплюваних боліт, де рівень ґрунтових вод коливається від 0 м до 0,3 м. Натомість вологі лучні рослинні угруповання (союз *Calthion*) можуть бути добрими індикаторами заболочених масивів, які затоплюються весною. Разом з тим, на аерофотознімках дуже важко розрізнити ці два фітоценози у зв'язку з їх подібним відображенням. У даній ситуації кращим методом є дешифрування супутникових знімків на підставі показника NDVI. Нами встановлено, що більшість помірно вологих лучних фітоценозів відрізняються більшими величинами показника NDVI у порівнянні з луками болотних фітоценозів.

Досліджені гідроморфні геосистеми поширені переважно на флювіо-аккумуляційній рівнині у долинах головних річок – Свідра і Костшиня. Це здебільшого заплавні мулисті або торф'яні болота. Їх відрізняє велика різноманітність ґрунтів і рослинних формацій, зумовлена значною мінливістю водних умов у зв'язку з коливанням рівня води у річці і топографічними умовами долини. На вищих терасових рівнях спорадично поширені солігенні торфовища або ж заболочені масиви.

Топогенні болота зосереджені на межиріччях, переважно на перигляціально-денудаційній рівнині. Болота формуються у місцях, де перший водоносний горизонт виходить на поверхню і характеризуються мінімальним похилом рівня води. Це характерно для локальних заглиблень,

де утворюються застійні неглибокі озера, охоплені торфотвірним процесом. Топогенні болота представлені перехідними торфовищами.

Висновки. Висвітлений у даній роботі метод фотоінтерпретації аерофото- і супутникових знімків (Landsat TM), зареєстрованих у вегетаційний період, дозволяє за допомогою біоіндикації ідентифікувати перезволожені території та інтерпретувати відмінність їх зволоження. Цей метод опосередковано дозволяє оцінити глибину залягання ґрунтових вод. Його можна використовувати для моніторингу й оцінки просторово-часових змін рослинного покриву, особливо водно-болотних угідь.

Аналіз структурних характеристик і фототону аерофотознімків, а також величини показника NDVI на супутникових знімках дозволив:

- ідентифікувати перехідні торфовища, сформовані у ході заростання оліготрофних озер;
- виявити території, покриті невеликим шаром (до 1 м) застійних або протічних вод;
- відрізнити власне болота від заболочених масивів.

Власний досвід ідентифікації перезволожених територій у центральній частині Мазовецько-Підліської низовини (Польща) на підставі фотоінтерпретації аерофотознімків дозволив зробити наступні висновки:

1) для цих цілей придатні виключно аерофотознімки з високою просторовою роздільною здатністю (менше 1 м);

2) в якості робочого матеріалу, окрім аерофотознімків, варто використовувати супутникові знімки (наприклад, загальнодоступні й безплатні Landsat TM), цифрову модель території, крупномасштабні топографічні і тематичні (ґрунтові, геологічні) карти. Використання вищезазначеного методу дало можливість ідентифікувати в межах території дослідження 113 масивів з природничо-цінними гідроморфними геосистемами загальною площею 286 га, де 60 % – болота, решта – заболочені масиви.

Список літератури

1. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В. Гребінь. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 316 с.
2. Almeida T.I.R. Principal component analysis applied to feature-oriented band ratios of hyperspectral data: a tool for vegetation studies / Almeida T.I.R., De Suoza Filho C.R., Rossetto R. // International Journal of Remote Sensing. – 2004. – 25. – P. 5005-5023.
3. Ciolkosz A. Interpretacja zdjec lotniczych / Ciolkosz A., Miszalski J., Oledzki J. – Warszawa : Wyd. Nauk. PWN, 1999.
4. Crill P. The role of peat in Finnish greenhouse gas balances / [Crill P., Hargreaves K., Korhola A.] // Minist. Trade Ind. Finland Stud. – 2000. – Rep.10.
5. Application of remote and in situ information to the management of wetlands in Poland / Dabrowska-Zielinska K., Budzynska M., Lewinski S. oth. // Journal of Environmental Management. – 2009. – 90, – P. 2261–2269.
6. Engman E.T. Status of microwave soil moisture measurements with remote sensing / Engman E.T., Chaunhan N. // Remote Sensing of Environment. – 1995. – 51. – P. 189-198.
7. Zastosowanie wskaźnika NDVI do wyrozniania lak o roznym poziomie uzytkowania i uwilgotnienia / [Kozłowska T., Kosinski K., Szymczak R., Ziaja W.] // Woda, Srodowisko, Obszary Wiejskie. – 2004. – 4., 2(11). – P. 201-218.
8. Sims D.A. Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll

absorption features / Sims D.A., Gamon J.A. // Remote Sensing of Environment. – 2003. – 84. – P. 526-537. 9. Woda w glebie – pomiary naziemne i satelitarne w badaniach zmian klimatu / Usowicz B, Marczewski W., Lipiec J. oth. – Lublin :Wyd. Nauk. FRNA, 2009

Застосування методів дистанційного зондування для ідентифікації перезволожених територій

Соловей Т.В.

Розглядається можливість застосування аерофото- супутникових знімків для ідентифікації перезволожених територій на основі рослинних спільнот (на прикладі Мазовецько-Підліській низовині). В роботі використано ортофотокарти на основі аерофотознімків та супутникові знімки Landsat TM. На підставі фотоінтерпретації і розрахунку показника NDVI визначена локалізація перезволожених територій: торфовищ, боліт и заболочених земель. Оцінена заболоченість території, природна цінність її болотних фітоценозів и просторові закономірності їх розповсюдження.

Ключові слова: дистанційне зондування, фотоінтерпретація, заболочені території, болота.

Использование методов дистанционного зондирования для идентификации переувлажненных территорий

Соловей Т.В.

Рассматривается возможность применения аерофото- и спутниковых снимков для идентификации переувлажненных территорий на основании растительных сообществ (на примере Мазовецько-Подляської низменности). В работе использованы ортофотокарты на основании аерофотоснимков и спутниковые снимки Landsat TM. Способом фото-интерпретации и расчета показателя NDVI определена локализация переувлажненных территорий: торфяников, болот и заболоченных земель. Оценена заболоченность исследуемой территории, природная ценность ее болотных фитоценозов и пространственные закономерности их распространения.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, фото-интерпретация, заболоченные территории, болота.

Identification of wetlands by using remote sensing method

Solovey T.V.

On the basis of plant communities, in the selected region of Mazovia-Podlasie Lowland, the attempt of implementation of aerial photos and satellite images for distinguishing and identification of woodless marsh and swamp areas was made. Orthophotomaps with natural color from the aerial images and the Landsat TM satellite images were used in this study. On the basis of the photo interpretation and the NDVI ratio, the transient peatlands created in the progress of lakes overgrowing, areas covered with shallow layer of water with typical occurrence of common rushes, swamp and marsh areas with meadow vegetation were distinguished. Size of these areas, natural value of their phytocoenosis and tendencies in spatial variation were estimated.

Keywords: remote sensing, photo interpretation, marsh, swamp.

Надійшла до редколегії 19.10.2011