

УДК 528.88: 574.472

ВИЗНАЧЕННЯ СТАДІЙ ДЕМУТАЦІЙНОЇ СУКЦЕСІЇ СТЕПОВОЇ РОСЛИННОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Колесников С. В., Сафонов А. І.

Донецький національний університет, Донецьк, kolesnikov-dn@ukr.net

У роботі проведено картування стадій демутаційної сукцесії степової рослинності Донецької області, вперше для цього використано значення вегетаційного і водного індексів, отримані в результаті обробки супутникової інформації. Проведено оцінку флористичного складу степових ділянок, що перебувають на різній стадії демутаційної сукцесії і потерпають від різного антропогенного навантаження. Показана залежність між надземною фітомасою степової рослинності і вегетаційним індексом, вмістом вологи в надземній фітомасі і водним індексом. Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена між показниками вологості біомаси та вегетаційним індексом становить 0,94, а між показниками вмісту вологи та водним індексом – 0,91. При ординації кожної з стадій сукцесії за показниками водного та вегетаційного індексів вони утворюють множини, що практично не перекривають одна одну, що дозволяє використовувати для їх класифікації синтетичне «мультиспектральне» зображення, яке складається з множин значень водного та вегетаційного індексів. Класифікацію стадій демутаційної сукцесії проводили за допомогою методу «дерево рішень». Згідно з результатами оцінки достовірності класифікації, з найбільш високою точністю, за допомогою використаного нами методу, дешифруються рослинні угруповання, що знаходяться на другій та третій стадії демутаційної сукцесії. В роботі проведено статистичну обробку отриманих результатів, визначено особливості розміщення ділянок на різних стадіях демутаційної сукцесії на території районів Донецької області, визначено співвідношення між ними.

Ключові слова: демутаційна сукцесія, дистанційне зондування, вегетаційний індекс, водний індекс.

ВСТУП

На етапі модернізації та оптимізації існуючих екологічних мереж важливою є проблема інвентаризації та картування сучасного стану і проведення екологічної оцінки степової рослинності в рамках конкретних природних комплексів. Згідно з проведенням авторами аналізом літературних даних, дослідження, що присвячені середньо- і великомасштабному картуванню рослинності на території Донецької області в цілому, в даний час не проводяться. Наявні роботи щодо великомасштабного картування конкретних локальних об'єктів, або дрібномасштабного картування в рамках України або навіть Європи в цілому.

Супутникові технології дозволяють реалізувати подібні дослідження шляхом аналізу залежності параметрів рослинних угруповань та спектральних даних і мають при цьому ряд переваг перед наземними методами, головною з яких є те, що вони дозволяють шляхом інтерполяції проводити дослідження неохоплених наземними спостереженнями територій. Це дозволяє мінімізувати витрати часу та коштів, у порівнянні з використанням для тих же цілей і масштабів традиційних геоботанічних методів. Однак, досвід геоботанічних досліджень з використанням

даних дистанційного зондування Землі показав [1], що класифікація рослинності з застосуванням тільки супутникової інформації не є можливою. Ця інформація потребує порівняння або комбінування з результатами, отриманими за натурними спостереженнями. Тому ці два підходи (контактний та дистанційний) є не взаємозамінними, а взаємодоповнюючими.

Метою даної роботи є проведення оцінки стану степових фітоценозів Донецької області на основі комбінованого використання супутникової інформації і даних геоботанічних досліджень.

МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ

В основу роботи покладено матеріали польових досліджень, які було проведено в вегетаційні періоди 2011–2012 рр на території регіонального ландшафтного парку (РЛП) «Зуївський» (Донецька обл.). В першу чергу проводили рекогносцирувальне обстеження території з метою ознайомлення з загальними ландшафтними особливостями, основними особливостями розподілу рослинності.

Подальше вивчення рослинності проводили методом екологічного профілювання. Місцезнаходження та орієнтування геоботанічних профілів визначали ще на рекогносцирувальному етапі. Оскільки темпи відновлення степової рослинності залежать від зволоження, то основою для просторового розміщення профілів було прийнято гідрографічну мережу.

Польова робота на профілі включала прохід по його лінії відповідно до азимуту з виділенням і фіксуванням за допомогою GPS навігатора кордонів фітоценозів і складання їх короткої характеристики. Також було проведено маршрутні описи – кожному виділеному за лінією профілю фітоценозу було надано коротку характеристику, тобто вказано, до якого типу рослинності він відноситься і визначені домінуючі види). Потім з отриманої в ході маршрутних описів інформації про структуру домінування було проведено класифікацію зазначених рослинних фітоценозів за різними стадіями демутаційної сукцесії степової рослинності, результати якої були нанесені на профілі і на карту.

Далі вздовж лінії профілю в ключових ділянках (типових для кожної з стадій і, по можливості, віддалених від кордонів на профілю) було закладено стаціонарні майданчики площею 100 м², на яких проводили геоботанічні описи рослинного покриву, що включали в себе такі відомості: флористичний склад, проективне покриття, характеристика просторової (вертикальної та горизонтальної) структури фітоценозів, фенофаз [2]. Всього було виконано 50 геоботанічних описів. Місця їх проведення фіксувалися за допомогою GPS навігатора.

Запаси надземної фітомаси вивчали в червні 2012 р. на стаціонарних майданчиках у межах профілів, приблизно в один і той же час з прольотом супутника Landsat 7 ETM+. Облік надземної фітомаси проводили на майданчиках площею 1 м² у 4-кратних повторностях, фіксували вологу і суху фітомаси та визначали вміст вологи в надземній фітомасі за формулою: $WC = (Wf - Wd) / Wf \times 100$; де: Wf – волога маса надземної фітомаси, а Wd – суха [4].

Основним завданням класифікації було дешифрування різних стадій демутаційної сукцесії. Для цього, була використана методика, описана

Шуркіною А. І. [6], яка ґрунтується на спільному використанні вегетаційного і водного індексів.

Для оцінки фотосинтетично активної фітомаси в роботі нами було використано нормалізований вегетаційний індекс (NDVI), розрахований згідно з формулою: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$; де NIR – відбиття в ближній інфрачервоній області спектру, а RED – відбиття в червоній області спектру, а для оцінки відносного вмісту вологи в надземній фітомасі – нормалізований диференціальний водний індекс (NDWI), який визначали за формулою $NDWI = (MR - NIR) / (MR + NIR)$; де NIR – відбиття в ближній інфрачервоній області спектру, а MR – відбиття в середній інфрачервоній області спектру.

Для розрахунку індексів за даними супутника Landsat 7 ETM+ в якості червоної області спектру використовували канал 3 (0,63–0,69 мкм), в якості ближньої інфрачервоної – 4 канал (0,76–0,90 мкм), в якості середньої інфрачервоної – 5 канал (1,55–1,75 мкм) [7].

Розраховані індекси були задіяні в якості параметрів в алгоритмі класифікації «дерево рішень». Даний автоматизований статистичний метод дозволяє виділяти на дистанційному зображенні класи різних об'єктів, в тому числі і рослинності, останнім часом активно використовується при дослідженні рослинного покриву [4, 5, 9].

Для проведення класифікації степової рослинності було використано знімок Landsat ETM+, зроблений у червні 2012 року, зі скоригованими смугами відсутніх даних, характерних для цього супутника.

Як результат, з використанням програмного забезпечення Quantum GIS нами була складена карта Донецької області, за допомогою якої було обчислено статистичну інформацію, сформовано та роздруковано картографічні матеріали.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Згідно [3], нами були виділені 5 груп рослинних угруповань, які характеризують стадії демураційної сукцесії:

1. Домінуючими є однорічні, дворічні, рідше багаторічні бур'яни. На території площею 1000 м² виявлено 79 видів судинних рослин, що відносяться до 25 родин. Висота травостою сильно змінюється – від 20 до 60 см. Проективне покриття 30–40%. У нижньому ярусі травостою на всіх досліджених нами ділянках домінує *Polygonum aviculare* L., на різних ділянках також рясно представлені рудеранти *Ambrosia artemisifolia* L., *Chenopodium album* L. та ін. Родини з найбільшим видовим розмаїттям – *Asteraceae* (17 видів), *Brassicaceae* (11), що характерно для сильно порушених степових угруповань.

2. В рослинності переважає рід *Poa*, проективне покриття роду *Festuca* невелике. На території площею 1000 м² виявлено 46 видів судинних рослин, що відносяться до 19 родин. Висота травостою невелика – від 10 до 30 см. Проективне покриття 20–40%. В травостой виділяється один ярус, едифікаторами в ньому є *Festuca valesiaca* Gaudin, *Poa bulbosa* L. и *Artemisia austriaca* L. Родини з найбільшим видовим розмаїттям – *Brassicaceae* (13), *Asteraceae* (6), *Poaceae* (5).

Збільшення різноманіття злаків та зменшення кількості видів айстрових свідчить про зменшення антропогенного впливу, порівняно з першою стадією.

3. Частка роду *Festuca* в проективному покритті переважає. Ковили якщо зустрічаються, то рідко. На площі 1000 м² виявлено 86 видів судинних рослин, що відносяться до 22 родин. Висота травостою складає 20–30 см. Проективне покриття 30–50%. В травостой виділяється один ярус, едифікаторами в ньому є *Festuca valesiaca* Gaudin, *Achillea stepposa* Klokov & Krytzka. Агреговано домінантами можуть виступати *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Veronica barrelieri* Schott. Також значно представлені *Eryngium campestre* L. и *Artemisia austriaca* L. Родини з найбільшим видовим розмаїттям – *Asteraceae* (16), *Fabaceae* (14), *Poaceae* (7), *Rosaceae* (6), *Lamiaceae* (6).

4. Ковилова / різнотравна стадія – переважають види роду *Stipa* або різнотрав'я і рід *Festuca*. На території площею 1000 м² виявлено 105 видів судинних рослин, що відносяться до 28 родин. Висота травостою – від 50 до 60 см. Проективне покриття 75–90%. В травостой виділяється два яруси, основним едифікатором виступає *Festuca valesiaca* Gaudin, содомінантами, в одному випадку, виступають види роду *Stipa*, в іншому – представники родів *Crinitaria*, *Achillea*, *Salvia* та ін. Родини з найбільшим видовим розмаїттям – *Asteraceae* (18), *Fabaceae* (13), *Lamiaceae* (9), *Poaceae* (8).

5. Лучна стадія – переважають види, характерні для лучних фітоценозів. На території площею 1000 м² виявлено 86 видів судинних рослин, що відносяться до 32 родин. Висота травостою – від 60 до 100 см. Проективне покриття 90–100%. В травостой виділяється два-три яруси, Домінуючи види: нижнього ярусу – *Festuca valesiaca* Gaudin., *Achillea stepposa* Klokov & Krytzka, верхнього, в залежності від місцевості – *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Tanacetum vulgare* L. або види роду *Artemisia*. Родини з найбільшим видовим розмаїттям – *Asteraceae* (19), *Fabaceae* (13), *Lamiaceae* (6), *Poaceae* (6), тобто розподілення видів за родинами таке ж саме, як і на четвертій стадії, незважаючи на відмінність цих стадій по іншим параметрам.

Протягом сукцесії спостерігається зменшення частки рудеральних видів та збільшення ролі степантів, збільшення частки багаторічних рослин, при переході до лучної стадії збільшується частка пратантів та сільвантів. На території РЛП «Зуївський» ковилово-типчаківі і різнотравно-типчаківі рослинні угруповання мали приблизно однакові показники проективного покриття, співвідношення гігроморф і ценоморф. До того ж вони за даними параметрами значно відрізнялися від угруповань, віднесених нами до третьої і п'ятої стадій демутаційної сукцесії, що послужило причиною не відносити різнотравно-типчаківі угруповання до п'ятої стадії, а припустити, що вони знаходяться на одній стадії демутаційної сукцесії.

На наступному етапі роботи було проведено розрахунок кореляцій вологої і сухої біомас зі значеннями NDVI. Як видно з діаграми, побудованої за значеннями біомас зеленої рослинності (г/м²) і NDVI (рис. 1), дані сухого та вологого об'єднуються в окремі хмари точок, причому ті ж укуси біомаси, але у висушеному стані мають низькі величини рангової кореляції Спірмена (0,54) та достовірності апроксимації R² зі значеннями NDVI. Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена для вологої фітомаси достатньо високий (0,94), що свідчить про достовірно високу

кореляцію між цими показниками. Коефіцієнт апроксимації R^2 , що дорівнює 0,87, підтверджує цей висновок.

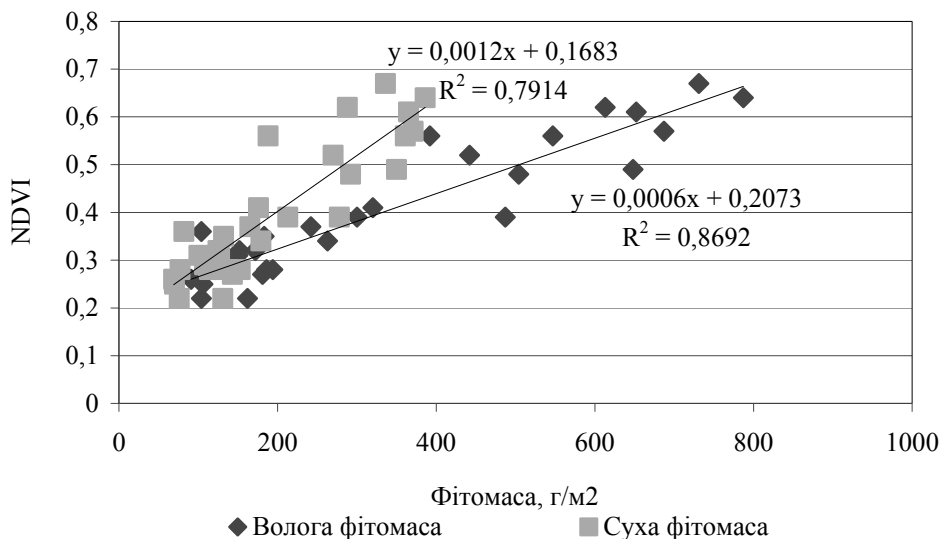


Рис. 1. Залежність між надземною фітомасою та вегетаційним індексом (NDVI) на ділянках вздовж досліджених профілів.

Далі нами було розраховано залежність між вмістом води у надземній фітомасі степової рослинності та значеннями індексу NDVI. Як видно з діаграми (рис. 2), коефіцієнт апроксимації R^2 дорівнює 0,84, коефіцієнт рангової кореляції Спірмена – 0,91, тому можна вважати, що досліджувані параметри характеризуються достовірним високим коефіцієнтом кореляції.

Далі нами були проаналізовані «хмари» значень NDVI і NDWI різних стадій демураційної сукцесії в двовимірному просторі (рис. 3).

Таким чином, значення індексів кожної з стадій сукцесії утворюють множини, що практично не перекривають одна одну, що дозволяє використовувати для їх класифікації синтетичне «мультиспектральне» зображення, яке складається з множин значень NDVI і NDWI. У такому випадку для класифікації найбільш доцільно використовувати метод «дерево рішень», граничними значеннями в якому слід прийняти різницю і суму середнього значення індексів зі стандартним відхиленням.

Використання даного методу дозволило нам здійснити великомасштабне картування сучасного розподілу стадій демураційної сукцесії степової рослинності Донецької області. Фрагменти карти з деякими об'єктами ПЗФ Донецької області показано на рис 4 і 5. Оцінку достовірності отриманої картографічної інформації проводили шляхом виділення випадковим чином певної кількості точок для кожної і стадій та подальшої перевірки відповідності інформації на карті та стану рослинності на місцевості. Результати оцінки достовірності представлені в таблиці 1.

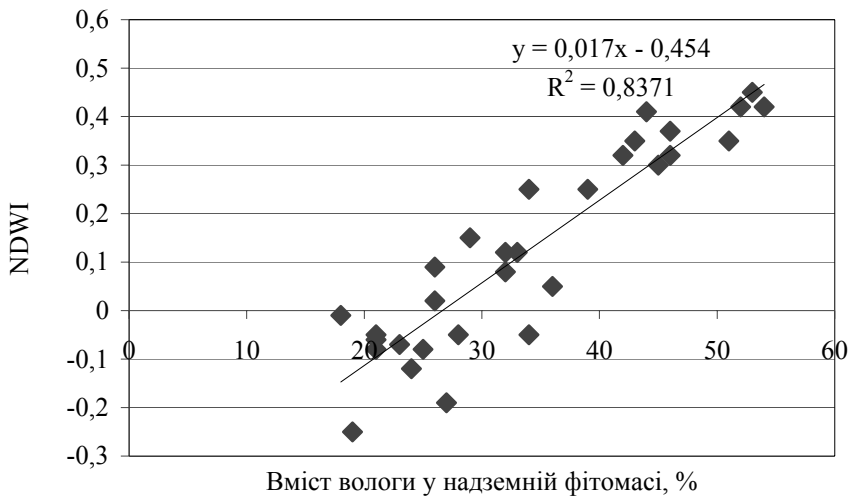


Рис. 2. Залежність між вмістом води у надземній фітомасі та водним індексом (NDWI) на ділянках вздовж досліджених профілів

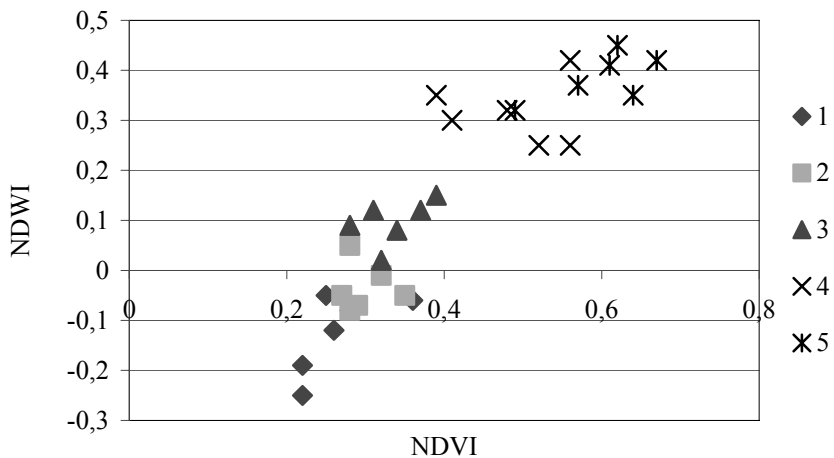


Рис. 3. Ординація значень водного (NDWI) та вегетаційного (NDVI) індексів (цифри позначено стадії демутаційної сукцесії) для досліджених профілів

Згідно з результатами оцінки достовірності, з найбільш високою точністю, за допомогою використаного нами методу, дешифруються рослинні угруповання, що знаходяться на другій та третій стадії демутаційної сукцесії. Достовірність дешифрування четвертої та п'ятої стадій невелика. Це пов'язано, на нашу думку з тим, що ці стадії мають багато спільних видів у флористичному складі і чіткої границі між ними не існує. Крім того, подібними за спектральними

характеристиками до угруповань на п'ятій стадії є чагарникові зарості та інші фітоценози в високими значеннями надземної фітомаси.

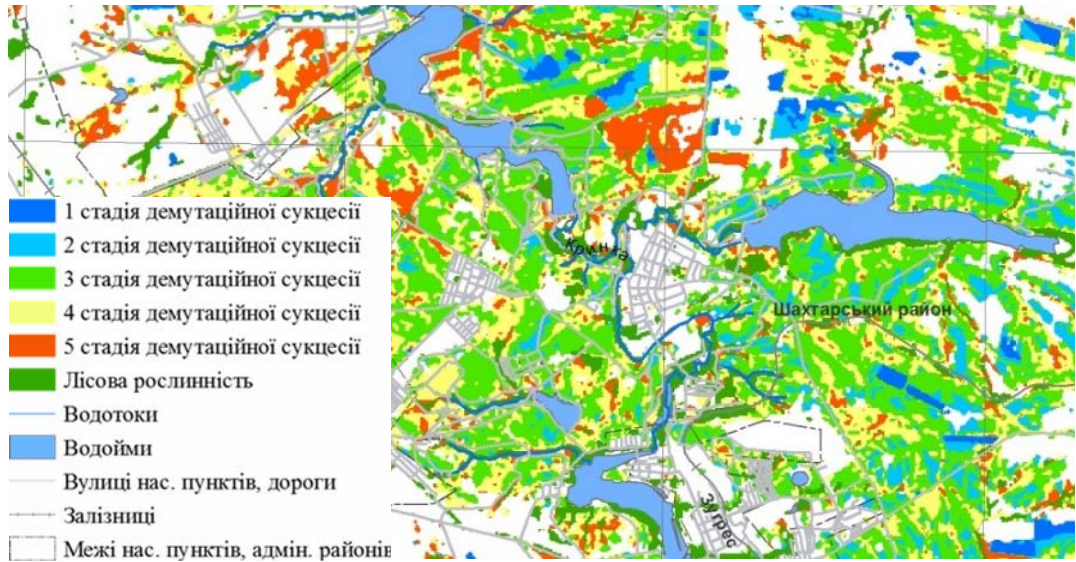


Рис. 4. РЛП «Зуївський»

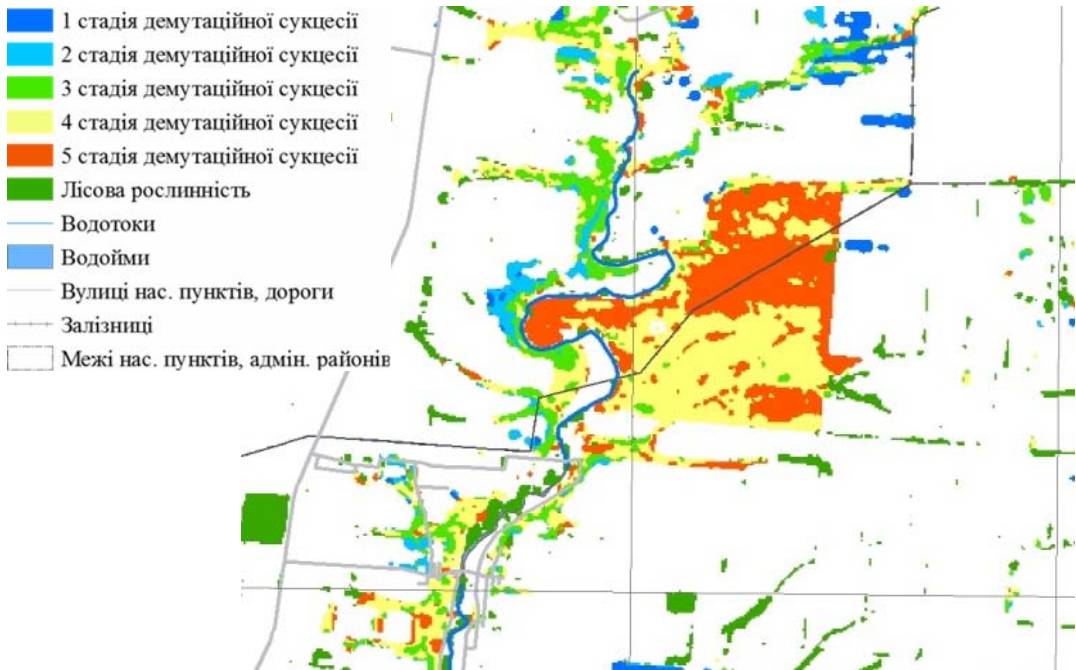


Рис. 5. Природний заповідник «Хомутовський степ»

Таблиця 1

Оцінка достовірності класифікації стадій демутаційної сукцесії
з використанням методу «дерево рішень»

Стадія сукцесії	Загальна кількість контрольних точок	Кількість достовірних точок	Достовірність дешифрування класу, %
1	15	11	73
2	30	28	93
3	30	27	90
4	20	14	70
5	20	12	60

Згідно результатів досліджень (рис. 6), найбільшу площу на території Донецької області займають степові угруповання на четвертій стадії демутаційної сукцесії, що є нормою для регіону в степовій зоні. Проте, з одного боку, досить велика площа територій на перших трьох стадіях свідчать про великий антропогенний вплив на степові ландшафти в рамках області в цілому. З іншого боку, лучні фітоценози (п'ята стадія) також займають досить велику площу.

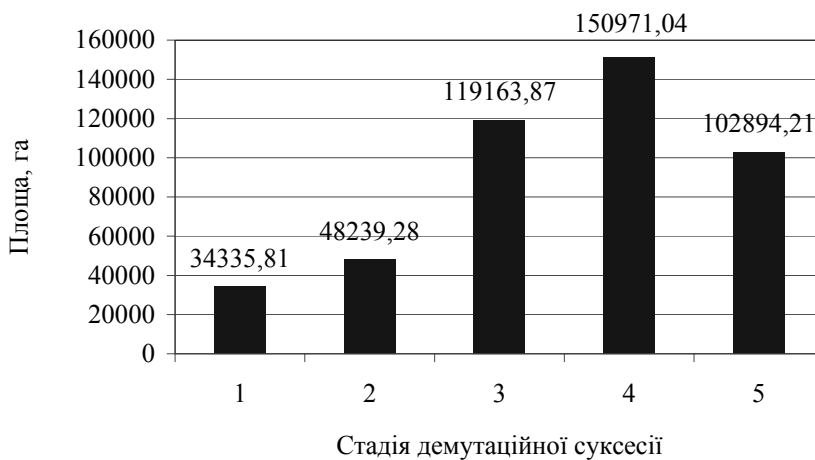


Рис.6. Розподіл степових ландшафтів на різних стадіях сукцесії на території Донецької області

Отримані нами карти сучасного рослинного покриву на основі інтеграції супутникових та наземних даних дають інформацію не тільки про просторову структуру стану степових угруповань, але можуть бути використаними для оцінки продуктивності степових пасовищ та степової рослинності загалом.

Таким чином, завдяки використанню супутникової інформації можлива оцінка структури, стану та продуктивності степових рослинних фітоценозів, а також визначення ступеню їх дигресії.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Геоботанічні дослідження на території РЛП «Зуївський» дозволили нам розподілити досліджені нами угруповання степової рослинності за п'ятьма стадіями демутаційної сукцесії, описаними І. К. Пачоським [3], що відрізняються між собою за набором домінуючих видів. Закономірності зв'язку характеристики флор та показників вегетаційного (NDVI) та водного (NDWI) індексів, обчислених за допомогою супутникової інформації свідчать про збільшення значень обох індексів при проходженні степовим фітоценозом демутаційної сукцесії.

Високі коефіцієнти кореляції кількісних показників рослинних угруповань – надземної вологої фітомаси та відсотку вологи у ній зі значеннями вегетаційного та водного індексів дозволили за допомогою методу «дерево рішень» класифікувати та картувати стан рослинного покриву.

Список літератури

1. Книжников Ю. Ф. Аэрокосмические методы географических исследований: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, О. В. Тутубалина. – М.: Издательский центр Академия, 2004. – 336 с.
2. Общесоюзная инструкция по проведению геоботанического обследования природных кормовых угодий и составлению крупномасштабных геоботанических карт. – М.: Колос, 1984. – 104 с.
3. Пачоский И. К. Описание растительности Херсонской губернии. / И. К. Пачоский. – Херсон, 1927. – 228 с.
4. Суценья В. А. Внутриландшафтная структура растительного покрова и ее индикационное значение / В. А. Суценья. // Ландшафтная индикация и ее использование в народном хозяйстве / [Отв. ред. С. В. Викторов]. – М.: Московский филиал географического общества СССР, 1981. – С. 56–73.
5. Токарева О. С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учебное пособие / О. С. Токарева. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 148 с.
6. Шуркина А. И. Изучение растительности степного пояса Хакасии комплексными спутниковыми и наземными методами: автореф. дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.00.02. / А. И. Шуркина. – Москва, 2009. – 19 с.
7. Landsat Science [Электронный ресурс] // NASA. 2012. Режим доступа: <http://landsat.gsfc.nasa.gov> (дата обращения: 08.09.2012).
8. Hansen M. Classification trees: an alternative to traditional land cover classifiers / M. Hansen, R. Dubayah, R. Defries // International Journal of Remote Sensing. – 1996. – Vol. 17. – P. 1075–1081.
9. Safavian S. R. A survey of decision tree classifier methodology / S. R. Safavian, D. Landgrebe // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1991. – Vol. 21. – P. 660–674.

Колесников С. В., Сафонов А. И. Определение стадий демутационной сукцессии степной растительности с использованием данных дистанционного зондирования // Экосистемы, их оптимизация и охрана. Симферополь: ТНУ, 2013. Вып. 9. С. 86–95.

В работе проведено картирование стадий демутационной сукцессии степной растительности Донецкой области, впервые для этого использованы значения вегетационного и водного индексов, полученные в результате обработки спутниковой информации. Проведена оценка флористического состава степных участков, находящихся на разной стадии демутационной сукцессии. Показана зависимость между надземной фитомассой степной растительности и вегетационным индексом, содержанием влаги в надземной фитомассе и водным индексом. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между показателями влажной биомассы и вегетационным индексом составляет 0,94, а между показателем содержания влаги и водным индексом – 0,91. При ординации каждой из стадий сукцессии по показателям водного и вегетационного индексов они образуют множества, практически

не перекриваючі друг друга, що дозволяє використовувати для їх класифікації синтетичне «мультиспектральне» зображення, що складається з множин значень водного і вегетаційного індексів. Класифікацію стадій демутаційної сукцесії проводили з допомогою методу «дерево рішень». Згідно з результатами оцінки достовірності класифікації, з найбільш високою точністю, з допомогою використаного нами методу, дешифруються рослинні спільноти, що знаходяться на другій і третій стадії демутаційної сукцесії. В роботі проведена статистична обробка отриманих результатів, визначені особливості розміщення ділянок на різних стадіях демутаційної сукцесії на території районів Донецької області, визначено співвідношення між ними.

Ключові слова: демутаційна сукцесія, дистанційне зондування, вегетаційний індекс, водний індекс.

Kolesnikov S. V., Safonov A. I. Definition of demutation succession stages of steppe vegetation using remote sensing data // Optimization and Protection of Ecosystems. Simferopol: TNU, 2013. Iss. 9. P. 86–95.

In the paper we conducted the mapping of the demutation succession stages of steppe vegetation in the Donetsk region, for the first time we have demonstrated the ability to use for this the values of the vegetation and water indices derived from satellite data processing. 5 demutation successional stages were allocated. It was shown the relationship between the above-ground phytomass of steppe vegetation and vegetation index, moisture content in the aboveground biomass and aquatic index. Spearman's rank correlation coefficient between the indices of wet biomass and vegetation index is 0.94, and between the index of the moisture content and water index – 0.91. At the ordination of each of the stages of succession in terms of water and vegetation indices, they form a set, almost overlapping each other, so we used them for the classification of synthetic «multispectral» image consisting of sets of values of water and vegetation indices. Classification of stages of demutation succession was performed using the method of «decision tree». According to the results of the validation of classification, with the highest accuracy decrypted plant communities, which are the second and the third stage of demutation succession. Also, we provide statistical processing of the results, definition of area of different stages of demutation succession in the areas of Donetsk region, and defined the ratio between them.

Key words: demutation succession, remote sensing, vegetation index, water index.

Поступила в редакцію 11.09.2013 з.