

Мкртчян О. С.

Львівський національний університет ім. І. Франка

КАРТУВАННЯ ВОДНО-ПОВІТРЯНОГО РЕЖИМУ ҐРУНТУ ТА ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ВОЛОГИ НА СХИЛАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ОТРИМАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІС-АНАЛІЗУ ТОПОГРАФІЧНИХ ІНДЕКСІВ

В статті розглядається проблема детального картування перерозподілу вологи та пов'язаних із ним характеристик водно-повітряного режиму (аерації) ґрунту. Запропоновано використовувати з цією метою топографічні індекси, які обраховуються за цифровою моделлю рельєфу. На прикладі невеликої дослідної ділянки показаний кореляційний зв'язок між цими індексами та характеристиками структури умовно-корінних деревостанів. Побудовано модель множинної регресії, яка дозволила отримати карту розподілу коефіцієнту гігрофільності деревостану, який відбиває відмінності в екологічних характеристиках рослин, використовуючи в якості індикаторів топографічні індекси.

Ключові слова: *топографічні індекси, цифрова модель рельєфу, catena, аерація ґрунту, ГІС-аналіз.*

Вступ. В умовах гумідного клімату важливим фактором, який впливає на екологічні та агрономічні властивості ґрунту, є ступінь аерації – провідна характеристика водно-повітряного режиму ґрунту і всього ландшафту, яка визначає сприятливість цього режиму для більшості видів рослин. Аерація визначається як "обмін киснем та вуглекислим газом між атмосферою, ґрунтом та коріннями рослин" [1, с. 101]. Цілим рядом досліджень доведено, що погіршення аерації, зумовлене зменшенням об'єму повітря у ґрунтових порах внаслідок зменшення глибини рівня залягання ґрунтових пор, призводить до зменшення врожаїв [1]. Причинами цього є низька швидкість дифузії газів у воді, що перешкоджає кореновому диханню, та суттєве зменшення у затоплених ґрунтах окислювально-відновлювального потенціалу та пов'язані із цим негативні зміни у хімізмі середовища, зокрема – зникнення у ґрунті вільного кисню, поява токсичних закисних форм заліза та сульфідів, відновлення нітратів, що зменшує доступність для рослин азоту [1]. Наприклад, відмічено, що тривале перезволоження кореневої системи картоплі призводить до відмирання останньої [2]. Погана аерація перешкоджає росту аеробних бактерій, які продукують необхідні для врожаю розчинні сполуки азоту. Рано навесні перенасиченість ґрунту вологою сповільнює його прогрівання, відтягуючи початок активної вегетації. Поширене у відновному середовищі оглеєння шкідливо впливає на переважну більшість диких та культурних рослин [5]. Оглеєні ґрунти, як правило, є безструктурними. Крім того, часте перезволоження ґрунту створює труднощі при культивуванні, особливо навесні.

Послаблення аерації ґрунту є поширеним явищем, яке зумовлює різке погіршення його агрономічних властивостей. В той же час перезволожені місцезонації нерідко характеризуються високим біорізноманіттям та біологічною продуктивністю, тому їхня охорона є важливим пріоритетом екологічної політики. Отже, для забезпечення раціонального природокористування важливим є коректне

визначення меж земель з несприятливим повітряним режимом, водно-болотних угідь тощо.

Методи лабораторних аналізів ґрунту, які дозволяють достовірно визначити його характеристики, пов'язані з водно-повітряним режимом, є досить витратними та трудомісткими. Тому важливим є пошук методик визначення характеристик цього режиму за опосередкованими ознаками. Однією з найважливіших таких ознак є місцеположення в рельєфі. Як відомо, недостатня аерація характерна насамперед для ґрунтів місцеположень, приурочених до понижених, увігнутих елементів рельєфу (днища долин та балок, понижені частини терас тощо).

Уявлення про зв'язки між характеристиками ґрунту та положенням у рельєфі, зокрема, знайшли вираз у концепції ґрунтової катени, вперше сформульованій Г. Мілном, який досліджував горбисті ландшафти Східної Африки [9]. Дж. Дальрімпл з колегами запропонували дев'ятиелементну модель земної поверхні (модель ландшафтно-катени), яка являє собою ідеальний профіль типового випукло-увігнутого схилу. Кожний з послідовних елементів цього профілю характеризується специфічною морфологією та характерним комплексом переважаючих геоморфологічних та гідрологічних процесів [6]. Близькими до ландшафтно-катени є концепція схилової мікрозональності Ф. Мількова, який виділив на випукло-увігнутих схилах чотири мікрозони, концепція каскадних (векторних) ландшафтно-геохімічних систем М. Глазовської, концепція гравігенних рядів фаций К. Рамана. Дуже помітною є залежність рослинного покриву від положення у ландшафтній катені: в слабозмінених ландшафтах кидається в очі чергування "зональної" рослинності, приуроченої до дренажних плакорів та схилів із низьким рівнем ґрунтових вод та доброю аерацією ґрунту, із "азональною" рослинністю, приуроченою до ґрунтів із постійним чи періодичним застоєм вологи і поганою аерацією, більшим чи меншим ступенем оглешення.

Із появою та поширенням географічних інформаційних систем (ГІС) важливим інструментом кількісного моделювання та аналізу рельєфу та його зв'язків з іншими компонентами ландшафту є цифрові моделі рельєфу (ЦМР). Як показано у [4], комп'ютерний аналіз ЦМР дозволяє обрахувати ряд важливих пов'язаних із рельєфом екологічних, гідрологічних та інших показників, зокрема – величину надходження на земну поверхню прямої сонячної радіації, ерозійний потенціал рельєфу, довжину ліній стоку, площі водозборів, інтерполювати дані спостережень метеостанцій, гідрологічних постів, ґрунтових аналізів, геоботанічних спостережень тощо. Зокрема, А. Гуізан та Н. Циммерманн, розглядаючи принципи моделювання розподілу характеристик рослинності, зазначають, що, завдяки тому, що ЦМР володіють більшою просторовою деталістю, порівняно з іншими джерелами геопросторових даних, таке моделювання, особливо для невеликих ділянок та гірського рельєфу, повністю або частково базується на використанні топографічних факторів у якості індикаторів [8].

Окрім звичних для геоморфології показників ухилів поверхні, її розчленування тощо, було розроблено ряд кількісних показників (індексів), які характеризують рельєф з екологічної точки зору, дозволяючи визначати зумовлені положенням у рельєфі ландшафтно-екологічні характеристики. Найбільш відомим таким індексом є складений топографічний індекс (СТІ, топографічний індекс вологості), запропонований І. Муром та П. Гесслером, який розраховується у ГІС за формулою $СТІ = \ln(A_c / \tan \beta)$, де A_c – площа, з якої надходить стік на одиницю замикаючого контуру, β – ухил поверхні [10]. Цей індекс відображає врівноважену величину надходження вологи внаслідок її латерального перерозподілу на схилах [7] та відбиває положення у ландшафтній катені: невеликі його значення характерні для елювіальних та транселювіальних місцеположень, які характеризуються переважанням процесів

виносу вологи, більші значення – для акумулятивних та супераквальних місцеположень, для яких характерне накопичення вологи. Оскільки процеси перерозподілу вологи тісно впливають на хід ґрунотворчих процесів, індекс СТІ тісно корелює з рядом ґрунтових характеристик. Так, П. Гесслер та ін., досліджуючи просторову варіацію ґрунтового покриву в межах катени площею 2 га, виявили, що індекс СТІ пояснює 71% просторової варіації потужності горизонту А та 84% варіації потужності усього ґрунтового профілю. [7].

За аналогією з індексом СТІ було розроблено й деякі інші індекси, які характеризують різні аспекти впливу рельєфу на ландшафтні процеси. Такими індексами є індекс потужності руслових та схилових потоків $SPI = A_c \cdot \tan \beta$, де A_c – площа, з якої надходить стік на одиницю замикаючого контуру, β – ухил поверхні; та "складений індекс розсіювання" $CDI = \ln(A_d / \tan \beta)$, де A_d – площа, на яку надходить стік з одиниці замикаючого контуру (ця площа обраховується шляхом застосування алгоритму обрахунку A_c до „негативного” відображення ЦМР).

Відомо, що перерозподіл вологи на схилах впливає на характеристики як верхньої частини ґрунтового профілю, що відбивається на синузях трав'янистих та інших рослин з неглибокою кореневою системою, так і його нижніх горизонтів та підґрунтя, що відбивається на умовах проростання деревних рослин. У [3] показано можливість визначення типів умов місцезростання як за наявністю тих чи інших видів трав'янистих рослин, так і за бонітетом основних деревних порід.

Матеріали і методи. В нашій роботі проаналізовані залежності між зазначеними топографічними індексами та деякими показниками структури умовно-корінних деревостанів дослідної ділянки в околицях с. Лисиничі, розташованого на схід від Львова. В межах ділянки розмірами 2000*750 м обрано 77 точок спостережень, рівномірно розміщених по її території, в яких визначалась формула деревостану. Одночасно для ділянки на основі даних топографічної карти масштабу 1:5000 складено ЦМР з роздільною здатністю (розміром піксели) 5 м. За цією ЦМР обраховано значення вказаних топографічних індексів, отримані карти наведено на рис. 1-2.

На даній ділянці в структурі деревостану переважають бук, граб та вільха. При цьому спостерігається виражена топографічна зональність у розподілі цих порід. Так, на підвищених ділянках та у верхніх частинах схилів домінує бук, частка якого у структурі деревостану наближається до 100%. В нижніх частинах схилів до буку домішується граб, а в їхніх підніжжях та днищах балок і долин потоків домінує вільха, тоді як частка буку наближається до 0. Між різними формаціями відсутні чіткі межі у просторі, натомість має місце континуум – поступове заміщення одних порід іншими із зміною водно-повітряного режиму ґрунту внаслідок зміни в місцеположенні.

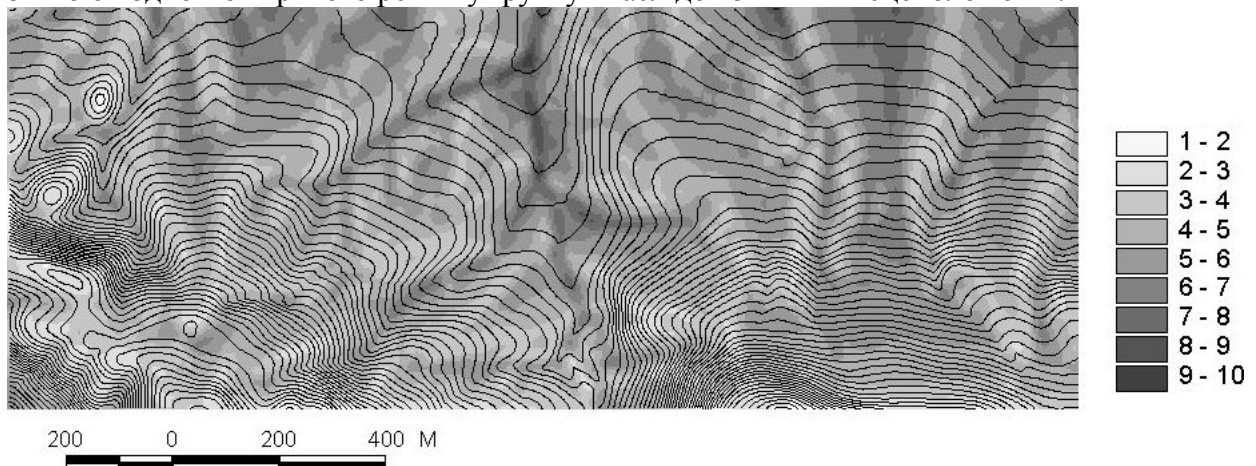


Рис. 1. Розподіл індексу СТІ для дослідної ділянки.

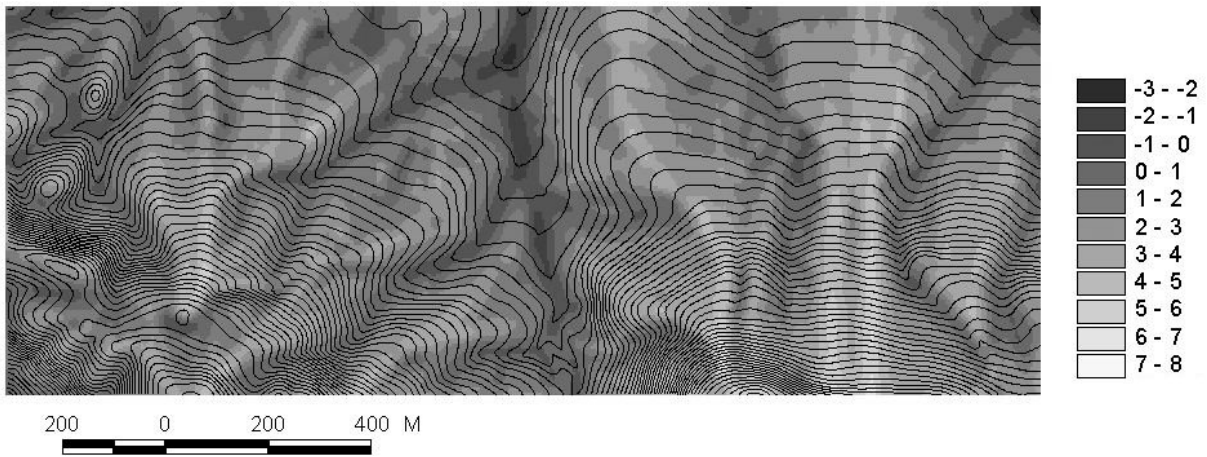


Рис. 2. Розподіл індексу CDI для дослідної ділянки.

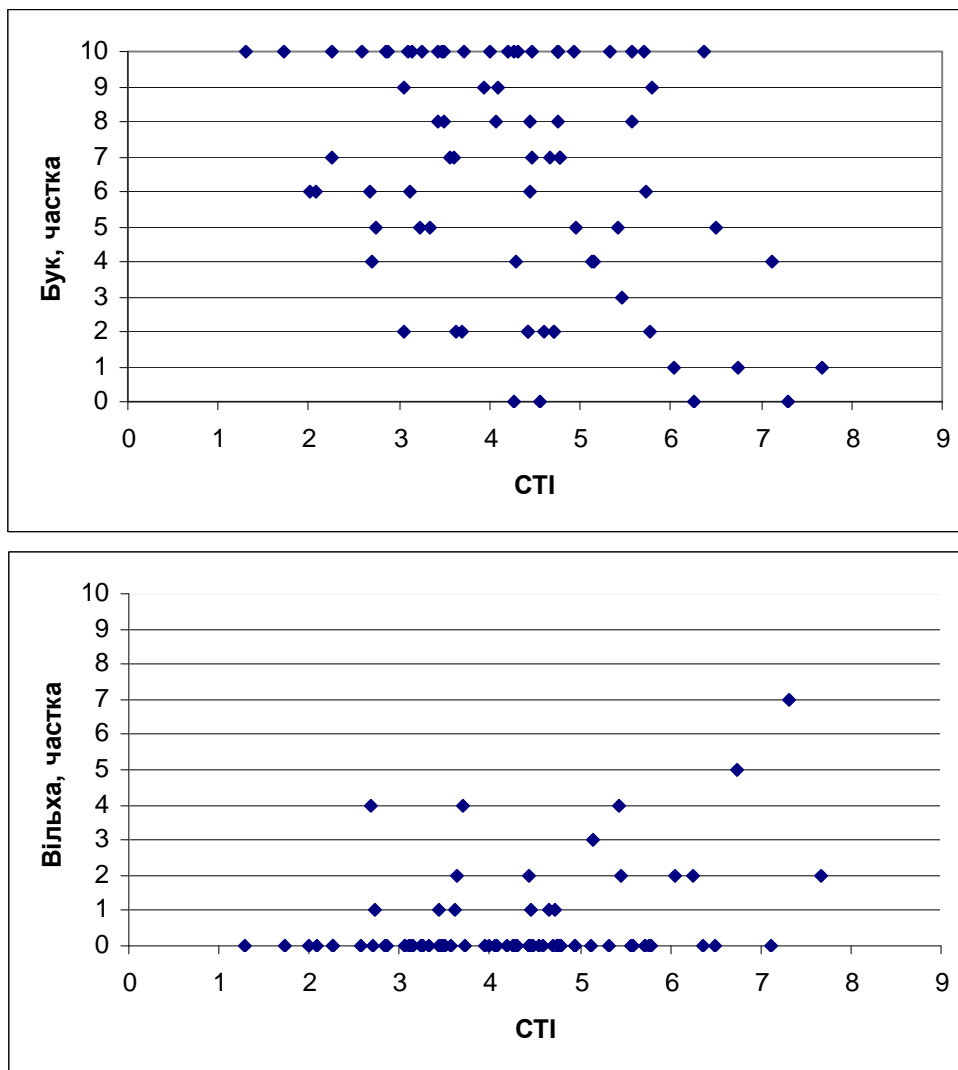


Рис. 3. Зв'язок між показниками структури деревостану та значеннями індексу СТІ в 77 пунктах в межах дослідної ділянки.

Результати та їх аналіз. На рис. 3 показано зв'язок між частками буку та вільхи в структурі деревостанів у пунктах спостережень, та значеннями індексу СТІ. Можна помітити тенденцію до зменшення першої та одночасного збільшення другої зі

збільшенням значень відповідного індексу, яке відповідає збільшенню надходження та накопичення вологи, та відповідному погіршенню умов аерації ґрунту.

Для більш детального визначення кількісних залежностей нами було встановлено зв'язок між зазначеними топографічними індексами та коефіцієнтом гідрофільності деревостану, який відбиває відмінності в екологічних характеристиках рослин (вимогах до аерації ґрунту та стійкості до оглеєння), та обраховується за формулою $K_2 = \sum_s (H_s * A_s)$, де K_2 – коефіцієнт гідрофільності, A_s – частка дерев даного виду, H_s – гідрофільність дерев даного виду. Останньому показнику присвоєно значення 1 для чорної вільхи (найбільш гідрофільної деревної породи на даній території), 0 для буку та інших порід, вимогливих щодо аерації ґрунту, проміжні значення для порід, помірно вимогливих до аерації (наприклад, 0,4 для грабу).

На рис. 4 показаний зв'язок між коефіцієнтом гідрофільності деревостану та індексом CDI. Можна помітити виразну тенденцію до зменшення зазначеного коефіцієнту зі збільшенням значень даного індексу, які відповідають переважанню розсіювання схилового стоку.

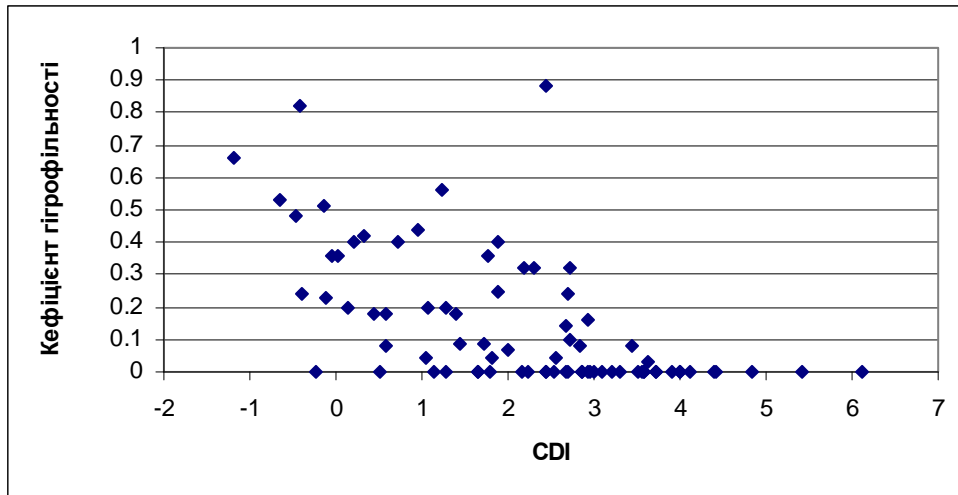


Рис. 4. Зв'язок між значеннями коефіцієнту гідрофільності деревостану та значеннями індексу CDI в 77 пунктах в межах дослідної ділянки.

Зазначені топографічні індекси можуть використовуватись у якості індикатору водно-повітряного режиму ґрунту. Для цього будується модель просторового зв'язку між цими індексами та індикаторами водно-повітряного режиму, одним з яких може бути запропонований коефіцієнт гідрофільності. Побудова цієї моделі включає два етапи. На першому експериментальним шляхом визначається зв'язок між коефіцієнтом гідрофільності та окремими топографічними індексами в окремих пунктах спостережень. Ступінь та значимість кореляційного зв'язку визначаються коефіцієнтом кореляції r та статистикою t , яка підпорядковується розподілу Стюдента з числом ступенів вільності $\nu = n - 2 = 75$ (n – кількість спостережень). Остання дозволяє визначити значимість кореляційного зв'язку для різних довірчих інтервалів. Значення цих показників для зв'язку коефіцієнту гідрофільності із зазначеними топографічними індексами для пунктів спостережень на нашій дослідній ділянці наведені у таблиці 1. Рівень значимості кореляційного зв'язку для усіх індексів перевищував 0,99.

На другому етапі за значеннями топографічних показників у точках спостережень, одержаними шляхом накладання векторного шару пунктів спостережень на растрові шари топографічних індексів, обраховано емпіричну модель лінійного регресійного зв'язку із середньою квадратичною похибкою регресії 0,15 ($R^2 = 0.51$). За параметрами отриманого рівняння множинної регресії та вищезазначеними растровими

шарами було обрховано шар розподілу коефіцієнту гігрофільності деревостану, який є індикатором водно-повітряного режиму ґрунту та латерального перерозподілу вологи.

Таблиця 1. Показники кореляційного зв'язку між значенням коефіцієнту гігрофільності та окремими топографічними індексами

Топографічний індекс	R	t
CTI	0.36	3.6
CDI	0.61	8.5
SPI	0.38	3.9

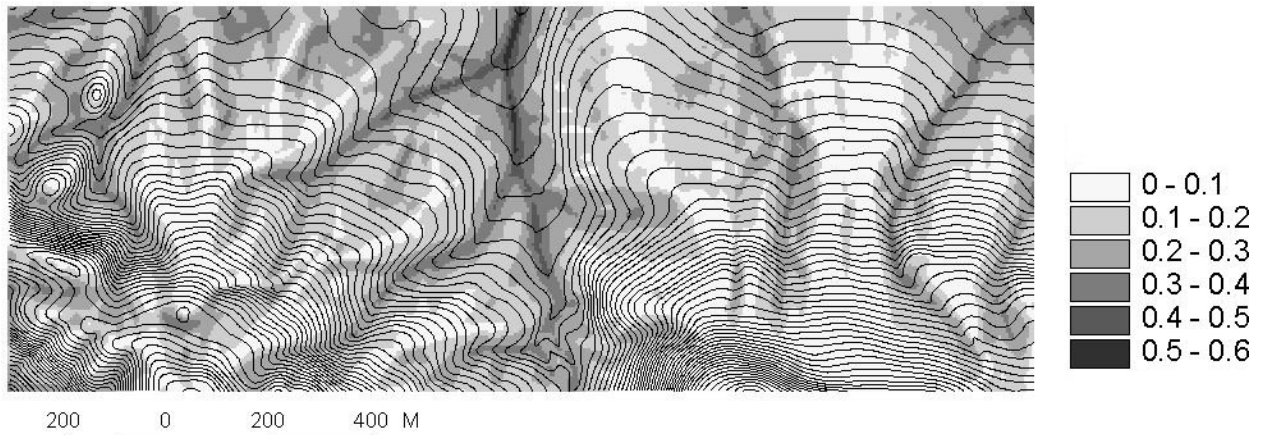


Рис. 5. Розподіл коефіцієнту гігрофільності деревостанів, обрхований за моделлю множинної регресії, з використанням у якості індикаторів топографічних індексів.

Як можна бачити, найменші значення коефіцієнту властиві крутим, добре дренованим схилам, найбільші – днищам долин водотоків. Ділянки з високим значенням коефіцієнту, найімовірніше, характеризуються несприятливими умовами аерації; їх варто використовувати в якості сіножатей або ж вилучити з активного використання з водоохоронною метою та задля охорони біорізноманіття.

Висновки. Таким чином, топографічні індекси, обрховані за ЦМР, можуть служити ефективним індикатором водно-повітряного режиму ґрунту та використовуватись для картування характеристик цього режиму. Надійне визначення поширення земель, що характеризуються надлишковим надходженням вологи, є необхідним для раціонального використання земель, організації ефективних природоохоронних заходів.

Список літератури

1. Блэк К. Растение и почва. –М.: Колос, 1973. –503 с.
2. Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства им. А. Г. Лорха. Как правильно выбрать участок и подготовить почву для картофеля. – 2003-2004. Мережевий ресурс: <http://www.korenevo.ru/agrotech/uchastok.shtml>
3. Горшенин Н. М., Бутейко А. И. Определение типов условий местопроизрастания. – Ленинград, 1962. –231 с.
4. Ковальчук І., Мкртчян О., Михнович А., Андрейчук Ю., Иванов Є. Потенціал геоінформаційних технологій у вирішенні конструктивно-географічних проблем // Екологічна географія: історія, теорія, методи, практика. Матеріали II міжнародної конференції. –Тернопіль, 2004. –С. 49-59

5. Фридланд В. М. Глей // БСЭ. –3 изд. –М., 1971. –Т.6. –С.589.
6. Conacher A.J., Dalrymple J.B. The nine unit landsurface model: an approach to pedogeomorphic research // Geoderma. –1977. –№ 18. –P. 1–153
7. Gessler P. E., Chadwick O. A., Chamran F., Althouse L., Holmes K. Modeling soil-landscape and ecosystem propereties using terrain attributes // Soil Science Society of America Journal. –2000. –Iss. 64. –P. 2046-2056.
8. Guisan A., Zimmermann N. Predictive habitat distribution models in ecology // Ecological Modelling. –2000. –№135. –P. 147–186.
9. Milne G. Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African soils // Soil Research. –1935. –Vol.4, Iss.3. –P. 183–198.
10. Moore I.D., Gessler P. E., Nielsen G. A., Peterson G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis // Soil Science Society of America Journal. – 1993. – Vol. 57. –pp. 443-452.

The Mapping of Soil Aeration and Redistribution of Water on Slopes using GIS-derived Topographic Indices. Mkrtchian A. S.

The paper considers the problem of the detailed mapping of soil water and aeration regime influenced by the topographic redistribution of water. The topographic indices derived from the GIS-analysis of raster DEM can be effectively used for this purpose. The substantial correlation between these indices and tree stand structure on the small study area was found. These relationships were used as a basis of the multiple regression model that can be used to map the distribution of plant ecological characteristics on the basis of topographic indices.

Key words: topographic indices, DEM, catena, soil aeration, GIS-analysis.

Картографирование водно-воздушного режима почвы и перераспределения влаги на склонах с использованием полученных с помощью ГИС-анализа топографических индексов. Мкртчян А. С.

В статье рассмотрена проблема детального картографирования перераспределения влаги и связанных с ним характеристик водно-воздушного режима (аэрации) почвы. Предложено использовать с этой целью топографические индексы, вычисленные с использованием цифровой модели рельефа. На примере небольшого опытного участка показана корреляционная связь между этими индексами и характеристиками структуры условно-коренных древостоев. Построенная модель множественной регрессии позволила получить карту распределения коэффициента гигрофильности древостоя, который отражает отличия в экологических условиях растений, используя в качестве индикаторов топографические индексы.

Ключевые слова: топографические индексы, цифровая модель рельефа, catena, аэрация почвы, ГИС-анализ.