

ДОСЛІДЖЕННЯ Й ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ SOIL SURVEY and SOIL QUALITY ASSESSMENT

УДК 631.4:551.4:004.942

Морфометричні параметри рельєфу як базис для предикативного моделювання просторового поширення ґрунтових відмін

В.Р. Черлінка*

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна
Університет Павла Йозефа Шафаріка, Кошице, Словаччина

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 05.06.2017 Отримано після доопрацювання 02.07.2017 Затверджено до друку 15.11.2017 Доступно онлайн 05.12.2017</p> <hr/> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>Морфометричні параметри Цифрова модель рельєфу ЦМР Карта ґрунтів Кореляція Логістична регресія Предиктори Прогноз</p>	<p>Основною метою було показати можливості щодо використання морфометричних параметрів рельєфу для предикативного (прогнозного) моделювання просторового поширення ґрунтових відмін. Поставлені завдання: побудова цифрової моделі рельєфу (ЦМР); оцифрування та оцінка якості картографічних матеріалів; генерація набору карт морфометричних та інших похідних характеристик; аналіз тісноти зв'язків та ролі згаданих параметрів у мінливості ґрунтового покриву; створення предикативної карти ґрунтів. Об'єкт досліджень: фрагмент території Чернівецької області зі складними геоморфологічними умовами. Основні методи: кореляційний аналіз; метод головних компонент; логістична регресія. Виявлено, що морфометричні параметри рельєфу та їх деривати (похідні) є надійним базисом предикативного моделювання, а методика на основі мультиноміальної логістичної регресії має значну перспективу у вирішенні науково-виробничих задач. На основі кореляційного аналізу було оцінено тісноту зв'язку та роль предикторів (незалежних змінних) у мінливості ґрунтового покриву, що, з залученням аналізу головних компонент, дозволило обрати з них 9 базових: абсолютна висота; топографічний індекс вологості; кількість сонячної радіації на одиницю площі; крутість схилів; поздовжня та максимальна кривизна топографічної поверхні; акумуляція; довжина; відстань до водних потоків. Якість прогнозованої ґрунтової карти оцінено за допомогою параметрів чутливості та точності і показано, що індекс Карра Когена (<i>Cohen's kappa coefficient</i>) є найбільш інформативним із них. Акумульовані в існуючих картах ґрунтів знання про ґрунтовий покрив доповнені за допомогою статистичної процедури шляхом створення повноформатної предикативної карти ґрунтів (карти-версії чи карти-моделі) та її комбінованого варіанту. Показано можливості щодо побудови прогнозних карт ґрунтів з використанням типового набору матеріалів, які можуть бути доступними ґрунтознавцю в сучасних українських реаліях: карти ґрунтова та топографічна і безкоштовне повнофункціональне програмне забезпечення – геоінформаційні системи GRASS та Quantum, векторизатор Easy Trace і мова статистичних розрахунків R-Statistic.</p>

* E-mail: v.cherlinka@chnu.edu.ua

1. Вступ

Сучасне природокористування у більшості країн світу можна охарактеризувати як доволі агресивне, що особливо помітно у не надто розвинених країнах. Це стосується практично всіх сфер людської діяльності: видобутку корисних копалин, високоінтенсивного аграрного виробництва і лісового господарства тощо. І якщо у провідних країнах світу чинне законодавство певною мірою контролює негативні процеси, викликані інтенсифікацією, захищаючи довкілля та стабілізуючи екологічну ситуацію, то в ряді інших, на жаль, можна бачити протилежні обставини. Прикро, що до числа таких країн входить і Україна, де цілий ряд захисних заходів лише декларуються, а конкретних практичних кроків до поліпшення наразі не спостерігається. Дуже часто трапляються ситуації, коли, через нестачу вихідної інформації, ми навіть не знаємо що втрачаємо. Так, наприклад, досі не створено великомасштабних карт ґрунтів для значних за площею територій у гірській частині Карпат, для покритих лісовою рослинністю рівнинних територій, ареалів населених пунктів тощо. У місцях, де карти є в наявності, доводиться, як правило, констатувати факт їх значної застарілості [1, 2]. Окрім цього, під час сучасних спорадичних досліджень ґрунтового покриву викриваються грубі помилки минулих обстежень, наявність яких спричинена не тільки недоліками застосовуваних на той час методик картографування, але й хибами суто технічного характеру, низькою кваліфікацією виконавців, високими вимогами щодо коротких термінів виконання робіт тощо. Тому оновлення картографічної інформації, відповідно до сучасних вимог, потребує чергового

раунду великомасштабного ґрунтового обстеження, необхідність якого давно обговорюється ґрунтознавцями України [1]. Як антиприклад наведемо одну сумну ситуацію, коли, навіть за умови виділення немалих грантових коштів на безпосередні дослідження ґрунтів [3] та широкої рекламної кампанії, з декларованих обстеженими 18 тис. га, за нашими даними, польових робіт не було зовсім. Окрім того, до цього процесу не було залучено жодного ґрунтознавця, а результати «обстежень» були побудовані лише на архівних матеріалах і мають, очевидно, гриф секретності, оскільки є недоступними як для науковців, так і широкого кола громадськості.

Повертаючись до проблеми недостатнього покриття території картами ґрунтів, вважаємо, що значно допомогти в розв'язанні цього питання може створення предикативних, або прогнозних карт ґрунтів, під якими ми розуміємо власне класичні карти із нанесеними ґрунтовими відмінами від типу до розряду включно. При цьому слід зауважити, що в цифрову епоху поняття «класичності» карти варто дещо розширити і уявляти її як елемент чи шар комплексної ґрунтознавчої геоінформаційної системи.

Українськими вченими вже проведено значну роботу щодо накопичення, опрацювання та верифікації наявної інформації, результатом якої стало створення бази даних «Властивості ґрунтів України» [4–6]. Це якісний крок вперед і він надає передумови для функціонування в майбутньому повноцінної Національної бази геопросторових даних з інтегрованою інформацією про ґрунтовий покрив, або ж окремої ГІС ґрунтів. Незважаючи на це, необхідно продовжувати роботи в даному напрямі, особливо, в плані гармонізації інформації про ґрунти з міжнародними проектами *SOTER* [7] та *SOVEUR* [8], що, завдяки зусиллям вітчизняних вчених, значною мірою реалізовано [6]. Така база даних із плином часу може акумулювати в собі всю інформацію про ґрунтовий покрив України, зокрема й дані агрохімічної паспортизації земель, регулярність проведення якої визначена законодавчо, що дозволяє встановити часову динаміку деградації/реградації земель чи ґрунтів [9]. Тому створення предикативних ґрунтових карт в існуючих умовах є процедурою, яка з досить високою точністю дозволяє на основі геостатистичних методів як аналізувати наявні карти, так і прогнозувати ґрунтову ситуацію в ареалах існуючих «білих» плям, що є на даний момент актуальним і важливим.

2. Огляд публікацій

Природокористування повинно опиратися на повну і всеохоплюючу інформацію про ґрунти, які є тим базисом, що забезпечує повноцінне функціонування екосистем різних рівнів. Загальних карт, які відображають лише географічне поширення класифікаційних генетичних груп ґрунтів на земній поверхні, недостатньо, необхідно, як правило, більш детально знати їх особливості та властивості. Тому розвиток відбувається у кількох основних напрямках: моделювання ґрунтового профілю та базових його характеристик у вигляді так званої цифрової ґрунтової морфометрії [10] і картографування параметрів властивостей ґрунтів [11–17] або таксономічних ґрунтових одиниць [17–26]. При цьому застосовуються різноманітні математичні методи: багатофакторний регресійний аналіз; гібридні геостатистичні методи; регресійний кригінг; методи нечіткої логіки; логістична регресія та ряд інших, детально проаналізованих у [27]. Застосовують їх як на велико- так і дрібномасштабному рівнях картографування з доволі високим розкидом якості фінальних моделей, залежно від методу. Одним із найбільш доступних та відносно простих методів, який дозволяє створювати карти ґрунтового покриття для місцевостей, де такі дані відсутні, є мультиноміальна логістична регресія [17, 27–31]. Основна ідея, яка лежить в основі її застосування, полягає у використанні опорних точок місцевості та приурочених до них класифікаційних ґрунтових одиниць [32]. Аналіз цифрової моделі рельєфу (ЦМР) дозволяє виділити певну кількість геоморфологічних параметрів, які пов'язані з даним ґрунтовим таксоном, і застосувати їх як предиктори (незалежні змінні). Оскільки ґрунтові таксони мають не числовий а описовий характер, тобто, належать до категоріального типу даних, а отримані з ЦМР показники, навпаки – числові, то використання логістичної регресії для побудови моделі є доволі логічним кроком. У літературі наводяться успішні приклади побудови залежностей та їх застосування як для прогнозних карт властивостей ґрунтів [33–37], так і для предикативних карт ґрунтів [2, 17, 28, 38–40].

Застосування такого підходу виправдане ще й тим, що його можна пов'язати з моделлю *SCORPAN* [20], яка, своєю чергою, впливає з класичної гіпотези В.В. Докучаєва про проблеми прогнозного ґрунтового картографування [41]. Звичайно ж, за ідеального варіанту побудови предикативної карти ґрунтів необхідно дотримуватися повного набору

параметрів SCORPAN. Проте, на практиці це не завжди є можливим через усілякі обмеження у кількості та якості вхідних даних. Виходячи з озвученої тематики дослідження слід згадати і давню ґрунтознавчу дискусію, пов'язану з різною оцінкою рельєфу та його похідних у формуванні ґрунтового покриву [42, 43]. Вважаємо, що прогрес у розв'язанні спірних питань такого роду буде можливим лише разом з удосконаленням методик моделювання. Відповідно, метою нашої роботи було обрано показ можливостей щодо побудови прогнозних карт ґрунтів з використанням типового набору матеріалів, які можуть бути доступними пересічному ґрунтознавцю в сучасних українських реаліях. До них ми відносимо, насамперед, власне великомасштабні (М1:10 000) карти ґрунтів і топографічні карти та доступне програмне забезпечення – геоінформаційні системи GRASS [44] та Quantum [45], векторизатор Easy Trace [46] та мову статистичних розрахунків R-statistic [47].

Відповідно до поставленої мети було визначено такі завдання: а) побудова ЦМР; б) оцифрування картографічних матеріалів та оцінка їх якості; в) аналіз ЦМР та генерація набору карт морфометричних та інших похідних характеристик у ГІС GRASS; г) оцінювання тісноти зв'язку та ролі згаданих параметрів у мінливості ґрунтового покриву; д) створення предикативної карти ґрунтів (карти-версії чи карти-моделі) з використанням мультиноміальної логістичної регресії як для ареалів з наявною картою ґрунтів, так і для територій, ґрунти яких не картографовані.

3. Об'єкти і методи досліджень

Як об'єкт було обрано фрагмент території Чернівецької області (5210 × 3940 м), який географічно розташований у межах Прут-Дністровського межиріччя (Північна Буковина) з контрастними геоморфологічними умовами і має різне адміністративне підпорядкування та господарське використання (Рис. 1а). Вибір тестового полігону був обумовлений намаганням продемонструвати процес вирішення проблем, характерних для робіт такого роду [2, 48, 49]. Система координат проекту була приведена до СК 1963 (зона X2), листи топографічних карт М 1:10 000 – М-35-125-В-в-{1,2,3,4} (Рис. 1б) сканували та геореєстрували з використанням векторної математичної основи, а геоприв'язку карт ґрунтів здійснювали до характерних точок місцевості та адміністративних меж існуючих на даний момент сільських рад (Чорнівської (А), Топорівської (Б) та Рідківської (В) Новоселицького району Чернівецької області) і частини колишнього Садгірського району м. Чернівці (Г). Інформативні матеріали базувалися на серії архівних карт ґрунтів колгоспу ім. Леніна у с. Топорівці (територія Топорівської та Чорнівської сільських рад) та колгоспу «Пам'ять Ілліча» у с. Рідківці, складених за матеріалами великомасштабного обстеження ґрунтів 1958 р. та наступного коректування 1979 та 1978 рр. відповідно. Після зведення номенклатурного списку до єдиної системи та узгодження контурів і типів ґрунтів на межах господарств, інформацію було дигіталізовано (оцифровано) та отримано попередні дані щодо відсотка покриття території ґрунтовими обстеженнями: з 2053 га загальної площі для 367 га, або 17 %, дані повністю відсутні (Рис. 2, табл. 1). «Білі» плями приурочені саме до території населених пунктів Рідківці, Топорівці та м. Чернівці.

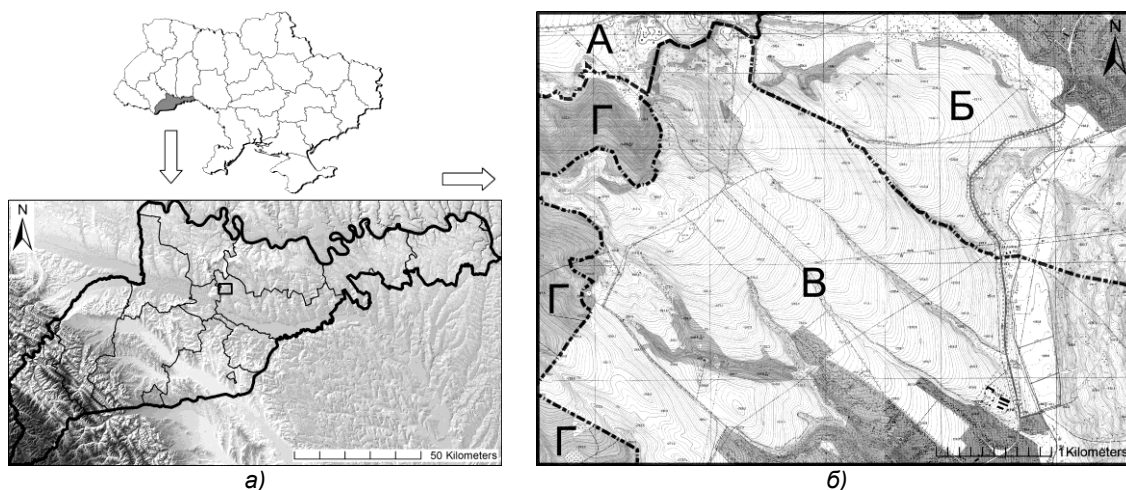


Рис. 1. Географічне розташування регіону досліджень: а) в межах України та області (фон – SRTM (NASA); б) тестовий полігон (фон – топографічні карти М 1:10 000)

Таблиця 1

Номенклатурний перелік ґрунтів території моделювання

№	Номенклатурний перелік ґрунтів	Архівна карта. Площа, га/%	Предикативна карта в ареалі архівної			Предикативна карта		Комбінована карта	
			Площа, га/%	% відносно архіву	Чутливість, %	Площа, га/%	% відносно архіву	Площа, га/%	% відно- сно архі- ву
1	Чорноземи легкоглиністі на щільних дочетвертинних глинах	35,14/1,71	5,02/0,24	14,30	5,29	5,03/0,25	14,33	35,15/1,71	100,14
2	Чорноземи середньозміті легкоглиністі на щільних дочетвертинних глинах	90,19/4,39	69,29/3,38	76,89	23,88	83,92/4,09	93,13	104,82/5,11	116,32
3	Чорноземи середньозміті легкоглиністі на щільних дочетвертинних глинах на давніх зсувах	4,02/0,20	0,37/0,02	9,01	0,00	0,61/0,03	14,86	4,26/0,21	103,76
4	Чорноземи слабозміті легкоглиністі на щільних дочетвертинних глинах	32,48/1,58	13,73/0,67	42,33	4,21	21,12/1,03	65,12	39,87/1,94	122,93
5	Чорноземи сильнозміті легкоглиністі на щільних дочетвертинних глинах	54,96/2,68	43,73/2,13	79,49	35,24	79,35/3,87	144,24	90,58/4,41	164,65
6	Лучні карбонатні глейові пілуват-важкосуглинкові на давньому алювії	158,56/7,72	185,56/9,04	117,09	90,22	200,16/9,75	126,31	173,16/8,44	109,27
7	Лучні карбонатні намиті пілуват-важкосуглинкові на сучасному делювії, підстеленому з 0,3-0,5 м давнім делювієм	4,76/0,23	0,04/0,00	0,85	0,00	0,06/0,00	1,27	4,78/0,23	101,24
8	Лучно-болотні карбонатні пілуват-важкосуглинкові на давньому делювії	58,63/2,86	42,54/2,07	72,46	28,87	65,46/3,19	111,50	81,55/3,97	138,91
9	Лучно-болотні пілуват-важкосуглинкові на давньому делювії	11,56/0,56	9,36/0,46	81,42	31,06	10,21/0,50	88,82	12,41/0,60	107,96
10	Мочари легкоглиністі на дочетвертинних глинах	10,31/0,50	0,93/0,05	9,06	0,00	0,97/0,05	9,45	10,35/0,50	100,84
11	Сірі лісові поверхнево глеюваті пілуват-середньосуглинкові на лесоподібних породах	450,49/21,95	528,21/25,73	117,23	80,71	586,80/28,59	130,23	509,08/24,80	112,98
12	Сірі лісові поверхнево глеюваті середньозміті пілуват-важкосуглинкові на лесоподібних породах	102,19/4,98	46,10/2,25	45,10	12,64	59,67/2,91	58,37	115,76/5,64	113,24
13	Сірі лісові поверхнево глеюваті слабозміті пілуват-середньосуглинкові на лесоподібних породах	386,59/18,83	524,26/25,54	135,63	66,56	641,75/31,26	166,03	504,08/24,56	130,41
14	Сірі лісові поверхнево глеюваті сильнозміті пілуват-важкосуглинкові на лесоподібних породах	57,09/2,78	40,47/1,97	70,92	18,70	45,56/2,22	79,84	62,18/3,03	108,96
15	Ясно-сірі лісові поверхнево глеюваті пілуват-середньосуглинкові на лесоподібних породах	1,76/0,09	0,83/0,04	44,93	20,83	1,49/0,07	80,65	2,42/0,12	130,99
16	Ясно-сірі лісові поверхнево глеюваті середньозміті пілуват-важкосуглинкові на лесоподібних породах	56,11/2,73	50,52/2,46	90,15	39,80	52,45/2,56	93,59	58,04/2,83	103,57
17	Ясно-сірі лісові поверхнево глеюваті слабозміті пілуват-середньосуглинкові на лесоподібних породах	39,53/1,93	4,72/0,23	11,91	2,10	4,88/0,24	12,32	39,69/1,93	100,18
18	Ясно-сірі лісові поверхнево глеюваті сильнозміті пілуват-важкосуглинкові на лесоподібних породах	112,57/5,48	109,04/5,31	96,93	39,24	169,52/8,26	150,70	173,05/8,43	153,84
19	Темно-сірі лісові пілуват-важкосуглинкові на лесоподібних породах	1,41/0,07	0,41/0,02	28,53	0,00	0,58/0,03	40,36	1,58/0,08	109,96
20	Темно-сірі лісові середньозміті пілуват-важкосуглинкові на лесоподібних суглинках	6,54/0,32	1,10/0,05	16,75	0,00	2,12/0,10	32,27	7,56/0,37	115,09
21	Темно-сірі лісові слабозміті пілуват-важкосуглинкові на лесоподібних суглинках	7,14/0,35	0,59/0,03	8,21	0,00	2,75/0,13	38,28	9,30/0,45	129,44
22	Виходи щільних карбонатних порід (елювій щільних карбонатних порід)	3,95/0,19	0,00/0,00	0,00	0,00	0,02/0,00	0,51	3,97/0,19	101,79
	Дані відсутні	366,76/17,87	375,92/18,31	102,48	-	18,26/0,89	4,98	9,10/0,44	2,48
	Всього	2052,74/100	2052,74/100	-	-	2052,74/100	-	2052,74/100	-

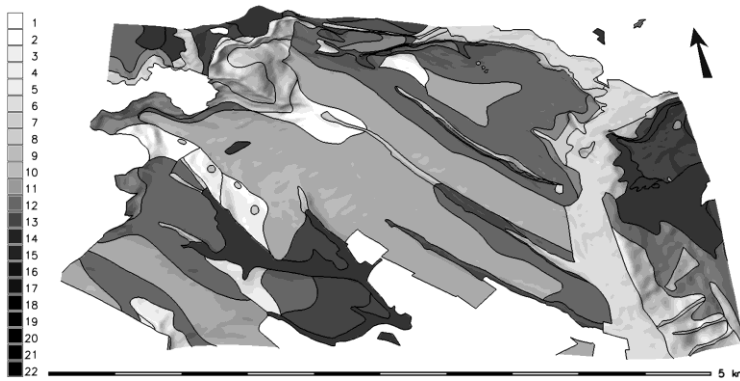


Рис. 2. Драпована оригінальною ґрунтовою картою ЦМР території досліджень (номери ґрунтів відповідають їх порядку у номенклатурному переліку в табл. 1)

Цифрову модель рельєфу (в рисунках – *dem*) з роздільною здатністю 10 м будували за допомогою регуляризованих напружених сплайнів [50] в ГІС GRASS. Вона слугувала основою для виділення таких морфометричних характеристик рельєфу: крутість (*slope*) та експозиція (*aspect*) схилів (модуль *r.slope.aspect* [51]); кривизна поверхні (профільна, планова, поздовжня, мінімальна та максимальна – *profc*, *planc*, *longc*, *minic* та *maxic* відповідно) – модуль *r.param.scale* на основі [52]; дані сонячної радіації (*rad*) – модуль *r.sun* [53]; форма рельєфу (*gmf*) в *r.geomorphon* [54]. Також були згенеровані додаткові карти гідрологічних показників: топографічного індексу вологості (*twi*) [55] в *r.topidx*; акумуляції (*flowaccum*) та напрямку водних потоків (*flowdirect*) в *r.terraflow* [56]; довжини водних потоків (*flowlength*) [57] в *r.flow* та відстані до них (*diststream*), модуль *r.stream.distance* [58]). В основі побудови предикативної моделі поширення ґрунтових таксонів лежала мультиноміальна логістична регресія [17, 30, 31] із запропонованою [29] та апробованою [2] методикою щодо створення навчальної вибірки. Для оцінки якості моделі використали індекс *kappa* Когена [17, 40, 59–62], який, в даному випадку, показує ступінь відповідності між оригінальними та прогнозними даними.

4. Аналіз результатів досліджень

Згаданий вище набір предикторів та власне ґрунтових одиниць був підданий кореляційному аналізу. Оскільки кореляційна матриця є гетерогенною, тобто, складається як з категоріальних (ґрунтові таксони – 22 одиниці, геоморфологічні класи рельєфу – 10 видів), так і континуальних даних (висоти, експозиції, похили, кривизни тощо), то було використано кілька різновидів аналізу, зокрема, кореляція Пірсона (між числовими даними), полісеріальна (між числовими та категоріальними змінними) [63] та V-коефіцієнт Крамера (між категоріальними параметрами) [64].

Значення даного коефіцієнта між ґрунтовими таксонами та формами рельєфу становить 0.29 (Рис. 3), що хоча й не показує домівного впливу рельєфу на розподіл ґрунтів, але дозволяє припустити існування опосередкованої залежності. Окрім того, слід враховувати, що надто висока деталізація виділення форм рельєфу може понижувати тісноту зв'язку. При цьому, відповідно до шкали Чеддока, кореляція з іншими параметрами не виходить за межі слабкої для крутості, експозиції та напрямку водних потоків (0,17, 0,16 і 0,16 відповідно) та дуже слабкої для решти предикторів. Зв'язок між формами рельєфу та кривизною поверхні є помірним (окрім мінімальної та максимальної кривизни, де він є слабким), а з іншими змінними – слабкий та дуже слабкий. З отриманих результатів слід заключити, що незважаючи на досить низькі значення багатьох коефіцієнтів кореляції, вони, здебільшого, є статистично значущими при $p=0.05$, 0.01 і навіть 0.001 (Рис. 3). Деякі параметри (наприклад, мінімальна кривизна та абсолютні висоти, планова та профільна кривизна) показали тотожний характер варіювання та зв'язків з іншими ознаками, що вже на цьому етапі дозволило деякі з них (мінімальну та профільну кривизни) виключити з переліку предикторів моделі. Тіснота зв'язку між абсолютними висотами та довжинами водних потоків знаходиться на межі помірної та помітної (+0,50), відстанню до водних потоків і топографічним індексом зволоження – помірною (+0,38 та -0,26). Абсолютні висоти на слабкому і дуже слабкому рівні корелюють як з орієнтацією та крутістю схилів, так і кривизною (окрім мінімальної). Топографічний індекс зволоженості на помітному рівні пов'язаний з крутістю схилу, плановою та

Для опрацювання даних було використано інструментальні можливості доступного програмного забезпечення: георектифікація картографічного матеріалу – ГІС *Quantum* [45], оцифрування – *Easy Trace* [46], підготовка карт морфометричних параметрів – ГІС *GRASS* [44] та побудова предикативної моделі ґрунтового покриття – мова статистичних розрахунків *R-statistic* [47].

профільною кривизною, на помірному – з максимальною крутістю та акумуляцією потоків, з іншими параметрами кореляція відносно слабка. Кількість сонячної радіації, яка припадає на одиницю площі, помірно пов'язана з експозицією та крутістю (-0,36 та -0,47), а з іншими змінними її зв'язок слабкий. Виходячи з того, що коефіцієнт кореляції Пірсона є мірою лінійної залежності і не виключає існування іншого її виду, а також наявний розкид варіювання та тісноти зв'язків, очевидно, що вибір предикторів лише на основі кореляційного аналізу буде не зовсім коректним. Тому було залучено можливості методу головних компонент [65], де шляхом виключення було встановлено набір з 9 відносно незалежних параметрів (Рис. 4), які в подальшому використовували як базові предиктори моделі.

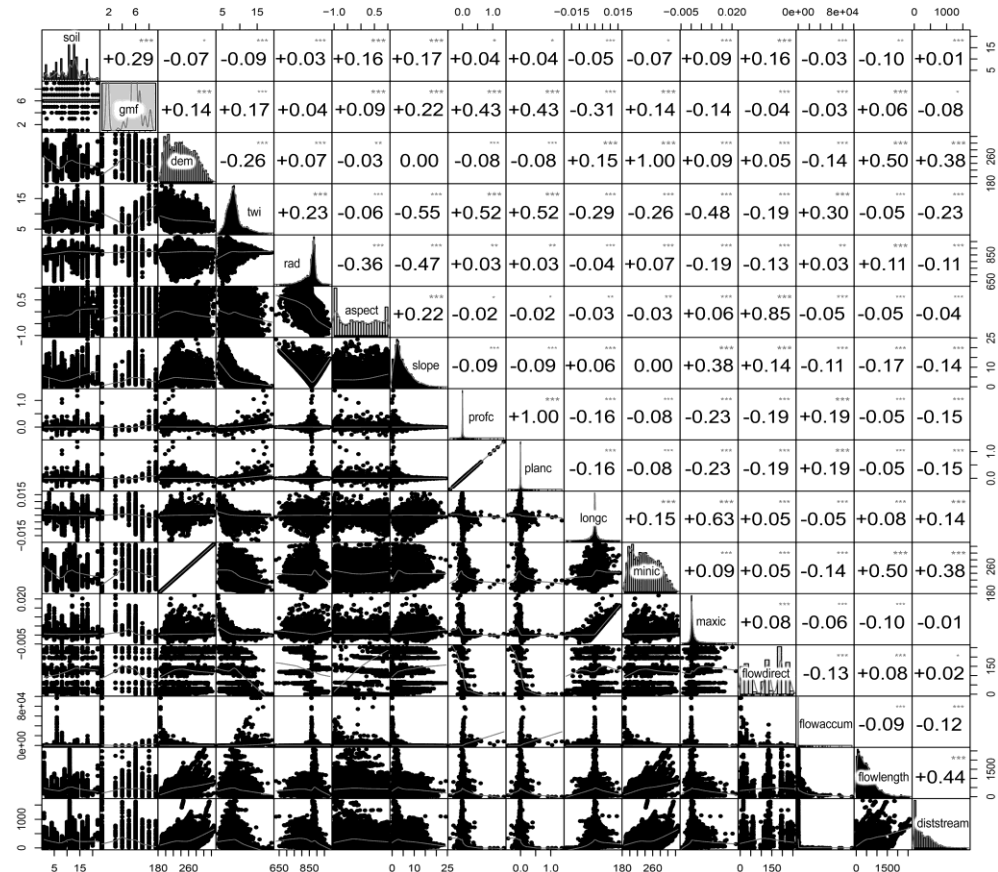


Рис. 3. Залежності між предикторами моделі та ґрунтовими таксонами (розподіл та назви змінних розташовані на діагоналі). Нижня ліва частина: двовимірні діаграми розсіювання з підібраними лініями; верхня права частина: значення коефіцієнта кореляції та рівень значущості $p < 0,001, 0,01, 0,05 \Leftrightarrow$ символи ***, **, *)

Кінцевим результатом проведеного моделювання є предикативна карта ґрунтів всієї території. Як було зауважено в методичному розділі, модель будується на основі навчальної вибірки, яку формували по медіанних осях ґрунтових таксонів. Після отримання розв'язків, модель перераховували на весь масив даних, який у нашому варіанті являє собою карту ґрунтів. Проте, щоб оцінити якісні характеристики, її слід представити у вигляді матриці помилок (Табл. 2), яка використовує крос-табуляцію для показу співвідношень значень таксономічних класів, отриманих з архівної та предикативної карт. В інтерпретації результатів припустили, що прогнозна карта потенційно неточна, а архівна – навпаки, добре відображає реальну ґрунтову ситуацію. Для побудови матриці використано всі комірки растрової ґрунтової карти, які містили інформацію про ґрунтові відміни. Головна діагональ матриці відзначена сірим кольором і показує випадки, де розрахункові класи та дані архівної карти збігаються (правильна класифікація). Сума значень діагональних елементів показує загальну кількість правильно класифікованих пікселів растру, а відношення цієї кількості до загальної кількості елементів матриці, тобто загальна точність класифікації, в даному випадку становить 55%. Позадіагональні елементи матриці вказують на випадки розбіжностей між розрахунковими й архівними таксонами, або, так звані, помилки класифікації.

Тому цікаво зробити пряме порівняння площ між даними архівної та прогнозної карт (Табл. 1), причому саме того її варіанту, який лежить у межах наявних даних архівної карти. Виявляється, що деякі ґрунти з номенклатурного переліку або взагалі не потрапили до прогнозу (22), або різко, в 10 і більше разів зменшили свою присутність (1, 3, 7, 10, 17, 20, 21). Лише кілька категорій (6, 11, 13) наростили площі, а у решти – варіації відносно архівної карти коливаються від незначних (2, 5, 8, 9, 14, 16, 18) до суттєвих (4, 12, 15, 19).

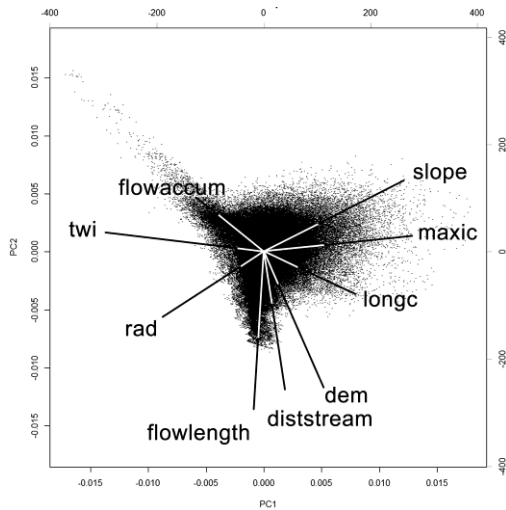


Рис. 4. Відносний внесок кожної з компонент у загальний розкид даних моделі

Проте навіть такі порівняння не дають чіткої картини точності прогнозних карт, оскільки не враховують просторову точність збігу таксонів ґрунтів. Тому для визначення точності певного розрахункового класу було розділено кількість правильно класифікованих пікселів цього класу на загальну кількість пікселів у цьому класі в досліджуваній вибірці та отримано так званий показник «чутливості» (*sensitivity*) [59], який показує наскільки добре результат класифікації для цього класу збігається з перевіряльними даними. З даних Табл. 1 чітко простежуються «домінантні» ґрунтові таксони (13, 11, 6), які, завдяки високим значенням чутливості (66.56, 80.71, 90.22 %) та значним площам (386.6, 450.5 та 158.6 га відповідно), власне й обумовили загальну точність предикативної карти в 55 %.

Проте цей показник, у даному випадку, не є найбільш надійним параметром, оскільки не враховує ймовірностей випадкової класифікації комірок растру [61]. Саме тому для оцінки точності предикативної карти ґрунтів також використали більш інформативний індекс, а саме, *каппа* Когена [17, 40, 59–62], який, завдяки врахуванню ймовірностей хибної класифікації, завжди має значення трохи нижче, ніж загальна точність. Водночас це дозволяє більш коректно оцінювати точність прогнозу в ареалах, де дані щодо ґрунтів відсутні. Отримана для наших даних величина індексу *каппа* Когена становить 0.45, що означає 45 % збігу прогнозних ґрунтових таксонів з їх відповідниками на оригінальній карті ґрунтів. Водночас постає питання – така точність прогнозування є припустимою, чи, навпаки, неприпустимою? В літературі з цього приводу існують різні думки. Так, у роботі [40] 51-67 % вважають непоганим показником. У праці [61] 67-87 % отримано для внутрішньої оцінки, а близько 30 % – для зовнішньої. Для дрібномасштабних карт ґрунтів деякі автори отримали значення *каппа* 37-54 % [28]. В роботі [17] її величина варіює в межах 35-40 %. Тому для чіткої описової характеристики рівня збігу карт пропонуємо використовувати шкалу, розроблену [62], а саме: для $каппа < 0,01$ – збіг відсутній; 0,01-0,20 – незначний; 0,21-0,40 – задовільний; 0,41- 0,60 – помірний; 0,61-0,80 – істотний і 0,81-0,99 – майже повний збіг.

Отже, точність предикативної карти з *каппа* 45 % можна вважати помірною, згідно з прийнятою градацією, та цілком задовільною щодо якості. Варто зауважити, що точність прогнозу залежить не тільки від методики, а й від ряду інших факторів. До головних віднесемо набір предикторів, складність території в геоморфологічному розумінні та якість архівної карти. Останнє залежить як від методики картування, так і від складу виконавців та якості польових і камеральних робіт. Саме з цим і трапляються проблеми. Наприклад, дуже часто можна зустріти вкрай неякісно побудовану картограму крутості схилів, яка лежить в основі виділення ґрунтових відмін різного ступеня змитості. Зрозуміло, що у такому разі навіть за максимально повного набору предикторів і найвишуканішої техніки створення навчальних вибірок, прогнозна модель буде давати похибки відносно архівної карти. Врахуємо ще тотальну відсутність у наших умовах великомасштабних геологічних карт – а породи це один з найголовніших предикторів. Незважаючи на згадані труднощі, вважаємо, що обраний нами набір предикторів непогано описує просторовий розподіл ґрунтів. Характеризуючи прогнозний варіант карти (Рис. 5а), відмітимо значно більшу просторову роздільну здатність картографування, що виявляється у глибшому пропрацюванні контурів ґрунтової ситуації та вищій деталізації невеликих ареалів ґрунтів, ніж на побудованій вручну архівній карті. Ми навмисне не провели фільтрування карти-версії з метою очищення від дрібних ареалів для можливостей подальшого її

верифікування в полі та напрацювання основних підходів до здійснення даної процедури. Аналіз предикативної карти по всій території досліджень виявляє, що тенденція до збільшення площ під ґрунтами зберігає попередній характер, але до категорій 6, 11 та 13 долучилися 5, 8, 18, які, таким чином, стали одними з основних прогнозованих ґрунтових таксонів (Табл. 1).

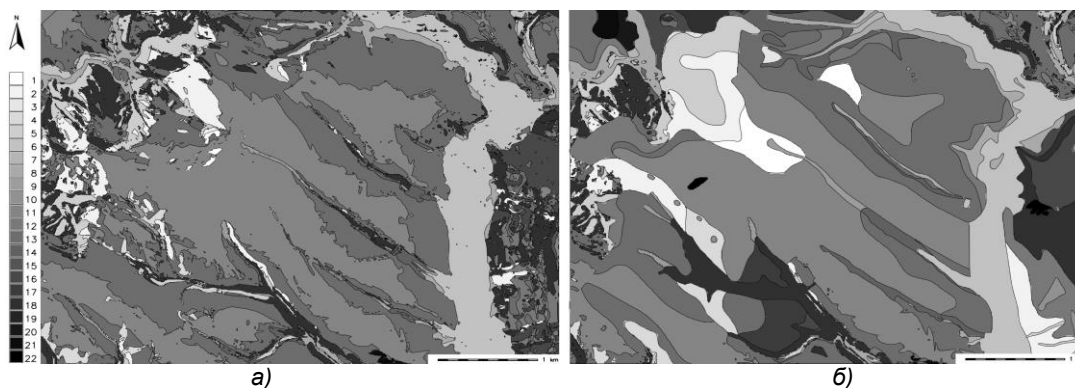


Рис. 5. Прогнозний (а) та комбінований (б) варіанти карти ґрунтів

Цікаво, що перевірка моделі на одному з доступних у мережі Internet наборів даних інших авторів [40] з пропонуваними нами предикторами, показала значно вищу точність нашої моделі відносно отриманих ними результатів: *карра* 82 % проти 67 %, тобто, відповідає майже повному збігу. Це певною мірою підштовхує до припущення, що точність отриманої предикативної карти для нашого ареалу дещо понижена і не стільки внаслідок недоліків методики чи недосконалості набору предикторів, а передусім, через імовірні помилки на архівній карті як у точності проведення контурів, так і в якості діагностики ґрунтових таксонів. Тим не менш, без верифікації в полі не можна робити такі категоричні висновки, тому архівну карту ми приймаємо за базову і, доповнюючи прогалини на ній даними з предикативної карти-версії, отримуємо комбіновану карту ґрунтів (Рис. 5б). На жаль, навіть такий її варіант містить невеликі, безсистемно розташовані ареали, для яких існуючий набір предикторів моделі не дав розв'язку щодо можливих ґрунтових таксонів (Табл. 1). Проте їх площа незначна, відносно відсутніх даних архівної карти менша в 40 разів, і, крім того, знаходиться на межі статистичної похибки виявлення (численні фрагменти по 100 м², у сумі 0,44 % від загальної площі). Саме останній варіант карти пропонується використовувати в усьому спектрі науково-виробничих завдань сьогодення.

Водночас вважаємо, що існує значний потенціал до підвищення точності прогнозування як у внутрішніх резервах методики (удосконалення процесу створення навчальної вибірки), так і в долученні ряду предикторів, які в нашому дослідженні не розглядалися. До них, першою чергою, зарахуємо дані дистанційного зондування Землі, які в ряді досліджень виявляють не тільки високу інформативність [66–70], а й економічну ефективність [1]. Згадане окреслює напрями подальших досліджень.

5. Висновки

Проведені дослідження виявили, що морфометричні параметри рельєфу та їх деривати (похідні) є надійним базисом предикативного моделювання просторового поширення ґрунтових відмін з достатньо високою точністю, а методика на основі мультиноміальної логістичної регресії має значну перспективу у вирішенні науково-виробничих задач. На основі кореляційного аналізу було оцінено тісноту зв'язку та роль згаданих параметрів у просторовій мінливості ґрунтового покриву, що, з залученням аналізу головних компонент, дозволило обрати 9 базових предикторів моделі: абсолютна висота; топографічний індекс вологості; кількість сонячної радіації на одиницю площі; крутість схилів; поздовжня та максимальна кривизна топографічної поверхні; акумуляція; довжина та відстань до водних потоків. Дано оцінку якості прогнозної карти ґрунтів за допомогою параметрів чутливості та точності і показано, що індекс *карра* Когена є найбільш інформативним з них. Акумуляовані в існуючих картах ґрунтів знання про ґрунтовий покрив доповнені за допомогою статистичної процедури шляхом створення повноформатної предикативної карти ґрунтів (карти-версії чи карти-моделі) та її комбінованого варіанту. Показано можливості щодо побудови прогнозних карт ґрунтів з використанням типового набору матеріалів, які можуть бути доступними пересічному

ґрунтознавцю в сучасних українських реаліях: карти ґрунтів і топографічна та безкоштовне повнофункціональне програмне забезпечення – геоінформаційні системи GRASS та Quantum, векторизатор Easy Trace і мова статистичних розрахунків R-Statistic.

Подяки

Дослідження виконано за фінансової підтримки Національної стипендіальної програми з обміну студентів, аспірантів, викладачів ВУЗів і науковців Уряду Словацької Республіки, керованої SAIA – Словацькою академічною інформаційною агенцією. Грант №2016/2017: id17680.

Автор вдячний колегам з кафедри ґрунтознавства Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича та Інституту географії Університету ім. П. Й. Шафарика в Кошицях (Словачина) за корисні поради та критичні зауваження в ході виконання роботи.

Список використаної літератури

1. Ачасов А.Б., Тітенко Г.В., Курілов В.І. Дані дистанційного зондування як основа картографування ґрунтів: економічний аспект. Вісник Харківського нац. універ. імені В.Н. Каразіна. Серія: Екологія. 2015. № 1104, Вип. 10. С. 60–66.
2. Cherlinka V. Using Geostatistics, DEM and Remote Sensing to Clarify Soil Cover Maps of Ukraine. In: Soil Science Working for a Living: Applications of soil science to present-day problems / Ed. by David Dent, Yuriy Dmytruk. Cham, Switzerland : Springer-Verlag GmbH, 2017. Jan. P. 89–100. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-45417-7_7.
3. Використання європейського досвіду у боротьбі з ерозією ґрунтів. [S. l. : s. n.], 2016. URL: <http://kitsman.bukoda.gov.ua/news/zavershivnya-transkordonnii-proekt-vikoristannyaevropeiskogo-dosvidu-u-borotbi-z-erozieyu-runt> (дата звернення: 25.05.2017).
4. Особенности построения и использования почвенных баз данных России, Украины и Беларуси (по материалам международной встречи) / С.А. Шоба, И.О. Алябина, А.В. Иванов [и др.]. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук зб., Вип. 76. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського", 2011. С. 64–72.
5. База даних «Свойства почв Украины» (структура и порядок использования) / Т.Н. Лактионова, В.В. Медведев, К.В. Савченко [и др.]. 2 изд. Харьков: ЦТ №1, 2012. 150 с.
6. Бази даних ґрунтів Болгарії, Молдови, Румунії й України та їх участь у розвитку європейського ґрунтового інформаційного простору / С. Русева, Ю. Розлога, М. Лунгу [та ін.]. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук зб., Вип. 84. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського", 2015. С. 35–48.
7. SOTER. Soil Terrain Database [Text]. [S. l. : s. n.], 2017. URL: <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/sotersoil-terrain-database> (online; accessed: 25.05.2017).
8. SOVEUR. Soil and Terrain Database for Central and Eastern Europe. [S. l. : s. n.], 2017. URL: http://geonode.isric.org/layers/geonode:soter_eu_map_unit (online; accessed: 25.05.2017).
9. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: кер. нормат. док. ДУ "Ін-т охорони ґрунтів України НААН України, Нац. наук. центр, "Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського". / О.А. Демидов, І.П. Яцук, С.Ю. Булигін [та ін.]; Під ред. І.П. Яцук, С.А. Балюк. К. : Вік принт, 2013. 103 с.
10. Hartemink A.E., Minasny B. Towards digital soil morphometrics. *Geoderma*. 2014. Oct. Vol. 230-231. P. 305–317.
11. Pennock D.J., Zebarth B.J., Jong E.De. Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. *Geoderma*. 1987. Oct. Vol. 40, no. 3-4. P. 297–315.
12. Pachepsky Y.A., Timlin D.J., Rawls W.J. Soil water retention as related to topographic variables. *Soil Science Society of America Journal*. 2001. Vol. 65, no. 6. P. 1787–1795.
13. Park S.J., McSweeney K., Lowery B. Identification of the spatial distribution of soils using a process-based terrain characterization. *Geoderma*. 2001. Oct. Vol. 103, no. 3-4. P. 249–272.
14. Prediction of soil properties by digital terrain modelling. / Igor V. Florinsky, Robert G. Eilers, G. R. Manning, L. G. Fuller. *Environmental Modelling & Software*. 2002. Jan. Vol. 17, no. 3. P. 295–311.
15. Park S.J., Van De Giesen N. Soil-landscape delineation to define spatial sampling domains for hillslope hydrology. *Journal of Hydrology*. 2004. Aug. Vol. 295, no. 1-4. P. 28–46.
16. Dynamics of soil salinity in the Canadian prairies: Application of singular spectrum analysis / Igor V. Florinsky, Robert G. Eilers, Brian H. Wiebe, Michele M. Fitzgerald. *Environmental Modelling & Software*. 2009. Oct. Vol. 24, no. 10. P. 1182–1195.
17. Malone B.P., Minasny B., McBratney A.B. Using R for Digital Soil Mapping. *Progress in Soil Science*. [S. l.] : Springer International Publishing, 2016. 262 p. ISBN: 978-3-319-44327-0. URL: http://www.ebook.de/de/product/28074067/brendan_p_malone_budiman_minasny_alex_b_mcbratney_using_r_for_digital_soil_mapping.html.
18. Mapping waterlogging of soils using digital terrain models. / Ph Merot, B. Ezzahar, C. Walter, P. Arousseau. *Hydrological Processes*. 1995. Jan. Vol. 9, no. 1. P. 27–34.
19. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. / A.-Xing Zhu, B. Hudson, J. Burt [et al.]. *Soil Science Society of America Journal*. 2001. Vol. 65, no. 5. P. 1463–1472.
20. McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B. On digital soil mapping. *Geoderma*. 2003. Nov. Vol. 117, no. 1-2. P. 3–52.
21. Walter C. Lagacherie P., Follain S. Integrating pedological knowledge into digital soil mapping. In: Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective / Ed. by Philippe Lagacherie, Alex B. McBratney, Marc Voltz. Amsterdam : Elsevier, 2006. Vol. 31 of Developments in Soil Science. P. 281–301.
22. MacMillan R.A. Experiences with applied DSM: protocol, availability, quality and capacity building. In: Digital Soil

Mapping with Limited Data / Ed. by Alfred E. Hartemink, Alex B. McBratney, Maria de Lourdes Mendonça-Santos. Amsterdam: Springer Netherlands, 2008. P. 113-135.

23. Mourier B., Walter C., Merot P. Soil distribution in valleys according to stream order. *Catena*. 2008. Jan. Vol. 72, no. 3. P. 395–404.

24. Penizek V., Boruvka L. The digital terrain model as a tool for improved delineation of alluvial soils. In: *Digital Soil Mapping with Limited Data* / Ed. by Alfred E. Hartemink, Alex B. McBratney, Maria de Lourdes Mendonça-Santos. – Amsterdam: Springer Netherlands, 2008. P. 319-326.

25. *National Mapping of Landform Elements in Support of S-Map, a New Zealand Soils Database* / James R. F. Barringer, Allan E. Hewitt, Jochen Schmidt [et al.]. In: *Advances in Digital Terrain Analysis* / Ed. by Qiming Zhou, Brian Lees, Guo-an Tang. Berlin Heidelberg : Springer, 2008. P. 443–458.

26. *Digital soil mapping at multiple scales in British Columbia, Canada* / Scott Smith, Chuck Bulmer, Eve Flager [et al.]. Program and Abstracts, 4th Global Workshop on Digital Soil Mapping, 24-26 May 2010, Rome, Italy / International Union of Soil Sciences. Rome : IUSS, 2010. P. 1–9. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/f2d8/83e9098dfa9ccad11df2ef7072e9da131dce.pdf>.

27. Florinsky I.V. *Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology*. Amsterdam : Academic Press / Elsevier, 2012. 379 p. ISBN: 978-0-12-385036-2. URL: http://www.ebook.de/de/product/15567653/igor_v_florinsky_digital_terrain_analysis_in_soil_science_and_geology.html.

28. *Digital soil mapping using logistic regression on terrain parameters for several ecological regions in Southern Brazil*. / E. Giasson, S. R. Figueiredo, C. G. Tornquist, R. T. Clarke. In: *Digital Soil Mapping with Limited Data* / Ed. by Alfred E. Hartemink, Alex B. McBratney, Maria de Lourdes Mendonça-Santos. Amsterdam: Springer Netherlands, 2008. P. 225-232.

29. Dobos E., Hengl T. Soil mapping applications. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* / Ed. by Tomislav Hengl, Hannes I. Reuter. Amsterdam : Elsevier, 2009. Vol. 33 of *Developments in Soil Science*. P. 461–479.

30. Bivand R.S., Pebesma E., Gómez-Rubio V. *Applied Spatial Data Analysis with R*. 2 edition. New York : Springer-Verlag, 2013. Vol. 10 of *Use R!* 375 p. ISBN: 978-0-387-78171-6. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-7618-4>.

31. Ripley B., Venables W.R. package nnet: Feed-forward neural networks and multinomial log-linear models. v.7.3-12. 2016. URL: <https://cran.r-project.org/package=nnet>.

32. Mapping of reference area representativity using a mathematical soilscape distance. / P. Lagacherie, J. M. Robbez-Masson, N. Nguyen-The, J. P. Barthès. *Geoderma*. 2001. Apr. Vol. 101, no. 3-4. P. 105–118.

33. McKenzie N.J., Ryan P.J. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma*. 1999. Apr. Vol. 89, no. 1. P. 67–94.

34. Lark R.M. Soil-landform relationships at within-field scales: an investigation using continuous classification. *Geoderma*. 1999. Oct. Vol. 92, no. 3. P. 141–165.

35. Modeling soil-landscape and ecosystem properties using terrain attributes. / E. Gessler, O. A. Chadwick, F. Chamran [et al.]. *Soil Science Society of America Journal*. 2000. Vol. 64, no. 6. P. 2046–2056.

36. Sampling P., Gobin A., Feyen J. Logistic modeling to spatially predict the probability of soil drainage classes. *Soil Science Society of America Journal*. 2002. Vol. 66, no. 4. P. 1390–1401.

37. Mapping landslide susceptibility with logistic regression, multiple adaptive regression splines, classification and regression trees, and maximum entropy methods: a comparative study. / Ángel M. Felicísimo, Aurora Cuartero, Juan Remondo, Elia Quirós. *Landslides*. 2013. Vol. 10, no. 2. P. 175–189.

38. Updating the 1:50,000 Dutch soil map using legacy soil data: A multinomial logistic regression approach. / Bas Kempen, Dick J. Brus, Gerard B. M. Heuvelink, Jetse J. Stoorvogel. *Geoderma*. 2009. Jul. Vol. 151, no. 3. P. 311–326.

39. Debella-Gilo M., Eitzelmüller B. Spatial prediction of soil classes using digital terrain analysis and multinomial logistic regression modeling integrated in GIS: Examples from Vestfold County, Norway. *Catena*. 2009. Apr. Vol. 77, no. 1. P. 8–18.

40. Hengl T. *A practical guide to geostatistical mapping*. 2 edition. Amsterdam: University of Amsterdam, 2009. 271 p. ISBN: 978-90-9024981-0. URL: <http://spatial-analyst.net/book/>.

41. Флоринский И. В. Гипотеза Докучаева как основа цифрового прогнозного почвенного картографирования (к 125-летию публикации). *Почвоведение*. 2012. № 4. С. 500–506. URL: <http://iflorinsky.psn.ru/Florinsky-2012a.pdf>.

42. Гедьмин А.В., Сорокина Н. П. О методе пластики рельефа. *Почвоведение*. 1988. № 6. С. 110–120.

43. Степанов И. Н. Пространство и время в науке о почвах. М. : Наука, 2003. 184 с.

44. GRASS Development Team. *Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS) Software, Version 7.2*, Open Source Geospatial Foundation. [S. l. : s. n.], 2017. URL: <http://grass.osgeo.org> (online; accessed: 25.05.2017).

45. QGIS Development Team. *QGIS Geographic Information System*, Open Source Geospatial Foundation. [S. l. : s. n.], 2015. URL: <http://qgis.osgeo.org> (online; accessed: 25.05.2017).

46. EasyTrace group. *Easy Trace 7.99*. Digitizing software. [S. l. : s. n.], 2015. URL: <http://www.easytrace.com> (online; accessed: 25.05.2017).

47. R Development Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. [S. l. : s. n.], 2017. URL: <http://www.r-project.org> (online; accessed: 25.05.2017).

48. Черлинка В.Р., Дмитрук Ю.М. Проблеми створення, георектифікації та використання крупномасштабних цифрових моделей рельєфу. *Геополітика і екогеодинаміка регіонів*. 2014. Т. 10, № 1. С. 239–244.

49. Черлинка В.Р. Адаптація великомасштабних карт ґрунтів до їх практичного використання у ГІС. *Агрехімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук зб., Вип. 84. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського, 2015. С. 20–28.

50. Mitášová H., Mitáš L. Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation. *Mathematical Geology*. 1993. Vol. 25, no. 6. P. 641–655.

51. Hofierka J., Mitášová H., Neteler M. Geomorphometry in GRASS GIS. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* / Ed. by Tomislav Hengl, Hannes I. Reuter. Amsterdam: Elsevier, 2009. Vol. 33 of *Developments in Soil Science*. P. 387–410.

52. Wood J.D. The geomorphological characterisation of digital elevation models : Phd thesis.; University of Leicester, UK. Leicester: UoL, 1996. 185 p. URL: <https://ira.le.ac.uk/bitstream/2381/34503/1/U077269.pdf>.

53. Hofierka J., Šúri M. The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications.

Proceedings of the Open source GIS-GRASS users conference / Ed. by Marco Ciolli, Paolo Zatelli; Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale. Trento, Italy: Università di Trento, 2002. 11-13 September. P. 1–19.

54. Jasiewicz J., Stepinski T.F. Geomorphons – a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology*. 2013. Jan. Vol. 182. P. 147–156.

55. Soil attribute prediction using terrain analysis. / Ian D. Moore, P. E. Gessler, G. A. Nielsen, G. A. Peterson. *Soil Science Society of America Journal*. 1993. Vol. 57, no. 2. P. 443–452.

56. Efficient flow computation on massive grid terrain datasets. / Lars Arge, Jeffrey S. Chase, Patrick Halpin [et al.]. *Geoinformatica*. 2003. Vol. 7, no. 4. P. 283–313.

57. Mitášová H., Hofierka J. Interpolation by regularized spline with tension: II. Application to terrain modeling and surface geometry analysis. *Mathematical Geology*. 1993. Vol. 25, no. 6. P. 657–669.

58. Jasiewicz J.A., Metz M. A new GRASS GIS toolkit for hortonian analysis of drainage networks. *Computers & Geosciences*. 2011. Aug. Vol. 37, no. 8. P. 1162–1173.

59. Kuhn M. Building Predictive Models in R Using the caret Package. *Journal of Statistical Software*. 2008. Vol. 28, no. 5. P. 1–26.

60. Li W., Zhang C. A Random-Path Markov Chain Algorithm for Simulating Categorical Soil Variables from Random Point Samples. *Soil Science Society of America Journal*. 2007. Vol. 71, no. 3. P. 656–668.

61. Extrapolating regional soil landscapes from an existing soil map: Sampling intensity, validation procedures, and integration of spatial context. / Clovis Grinand, Dominique Arrouays, Bertrand Laroche, Manuel Pascal Martin. *Geoderma*. 2008. Jan. Vol. 143, no. 1. P. 180–190.

62. Landis J.R., Koch G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977. Mar. Vol. 33, no.1. P. 159-174. URL: <http://www.jstor.org/stable/2529310>.

63. Fox J. Polycor: Polychoric and polyserial correlations. R package version 0.7-9. 2016. P. 1–10. URL: <http://CRAN.R-project.org/package=polycor>.

64. Bilder C.R., Loughin T.M. Analysis of Categorical Data with R. Boca Raton: Taylor & Francis, 2014. 523 p. ISBN: 978-1-4987-0676-6. URL: http://www.ebook.de/de/product/24343964/christopher_r_bilder_thomas_m_loughin_analysis_of_categorical_data_with_r.html.

65. Venables W.N., Ripley B.D. Modern Applied Statistics with S. New York: Springer Science & Business Media, 2002. Feb. Vol. 53. 495 p. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-21706-2>.

66. Булыгин С.Ю., Ачасов А.Б., Лисецкий Ф.Н. Использование интегрального анализа данных дистанционного зондирования и цифровых моделей рельефа при картографировании почвенного покрова черноземной зоны. *Научные ведомости Белгородского государственного университета*. Серия: Естественные науки. 2012. № 21 (140). Вып. 21. С. 143–153.

67. Shatokhin A.V., Achasov A. B. Use of modern technologies for mapping the soil cover of the Northern Donets Steppe. *Eurasian Soil Science*. 2005. Vol. 38, no. 7. P. 695–702.

68. Використання даних супутникової зйомки в системах точного землеробства / С. Р. Трускавецький, Т. Ю. Биндич, Л. П. Коляда [та ін.]. *Інженерія природокористування*. 2017. № 1 (7). С. 29–35.

69. Ачасов А.Б., Ачасова А.О. Методичні основи сучасного просторового моніторингу ґрунтів. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. Серія: Екологія. 2011. №944, Вип. 6. С. 20–27.

70. Трускавецький С.Р. Використання багатоспектрального космічного сканування та геоінформаційних систем у дослідженні ґрунтового покриву Полісся України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня. канд. с.-г. наук : [спец.] 03.00.18 «ґрунтознавство» / Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського. Харків, 2006. 20 с.

UDC 631.4:551.4:004.942

MORPHOMETRIC PARAMETERS OF RELIEF AS BASIS FOR PREDICTIVE MODELING OF SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL COVER

V.R. Cherlinka*

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine

P. J. Šafárik University, Kosice, Slovak Republic

*E-mail: v.cherlinka@chnu.edu.ua

The main goal was to show the possibilities for using morphometric parameters of relief for predictive modeling of spatial distribution of soil cover on the basis available materials and software. The tasks: the construction of DEM, digitization and quality assessment of cartographic material, generating a set of maps and other derivatives morphometric characteristics, analysis of dependency and the role of these parameters in the variability of soil cover, creating predicative soil maps. The object of research: a fragment of the Chernivtsi region with complex geomorphological conditions. Basic methods: correlation analysis, principal component analysis, multinomial logistic regression. Revealed that morphometric parameters of relief and its derivatives are a reliable basis predictive modeling and methodology based on multinomial logistic regression has great prospects in the research and production tasks. Based on correlation analysis was assessed dependency and the role of predictors in the soil cover variability. With the assistance of principal components analysis allowed to choose 9 of them: absolute height, topographic wetness index, solar radiation per unit area, slopes, longitudinal and maximum curvature of the topographic surface, accumulation, length and distance to water streams. The estimation quality of predictive soil maps with accuracy and sensitivity parameters shows, that index Kappa Cohen is the most informative from them. The accumulated in soil maps knowledge about soil supplemented statistical procedures made possible creating a full-predicative soil maps (map-version or map-model) and its combined version. Was shown the possibilities to build predictive maps of soil cover using a typical set of materials that may be available for soil scientists in modern Ukrainian realities: soil and topographic maps and full-featured free software – GRASS and Quantum GIS, digitizer Easy Trace, R – Language and Environment for Statistical Computing).

Keywords: *morphometric parameters; digital elevation model; DEM; soil map; correlation; logistic regression; predictors; prediction.*