

ДОСЛІДЖЕННЯ Й ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ SOIL SURVEY and SOIL QUALITY ASSESSMENT

УДК 631.421:57.087

Оцінка ймовірності просторової мінливості вмісту гумусу у картуванні ґрунтів на басейновій основі

В.О. Белоліпський*, Т.М. Лактіонова, М.М. Полулях

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 18.04.2017 Отримано після доопрацювання 12.09.2017 Затверджено до друку 15.11.2017 Доступно онлайн 05.12.2017	<p>Імовірнісне оцінювання вмісту гумусу, його просторової мінливості та динаміки змін виконано на прикладі чорнозему звичайного в системі чотирьох водозборів у межах басейну річки Айдар у Луганській області України. Для розрахунків використано дані вмісту гумусу в орному шарі ґрунту за два терміни обстежень – 1970 і 2011 рр. Виявлено, що втрати вмісту гумусу за 41 рік становлять 0,015 і 0,020 % у межах Білолуцького і Старобільського водозборів та 0,024 і 0,029 % на водозборах Курячівському і Бахмутівському. Констатовано стабілізацію вмісту гумусу у верхній частині басейну (4,5 %) та його зменшення нижче за течією від 6,13 → 4,79 → 4,10 % (1970 р.) до 4,08 → 4,07 → 3,55% (2011 р.). В цілому у ґрунтах басейну р. Айдар відбулось зменшення вмісту гумусу з 4,58±0,13 % (1970 р.) до 4,03±0,05 % (2011 р.). Статистичний аналіз даних проведено за такими показниками: число спостережень (n); середнє значення ($\bar{x}_{сер.}$); дисперсія (S^2); стандартне відхилення (S); коефіцієнт варіації (C_v); абсолютна помилка середнього ($S_{сер.}$); медіана (M); асиметрія (A); ексцес (E). Аналіз імовірності природи вмісту гумусу виконано за такими критеріями: індекс вмісту гумусу – відношення фактичного вмісту гумусу у контрольній точці до середнього арифметичного; теоретична крива ймовірності (крива розподілу Пірсона III типу), побудована за середнім арифметичним, коефіцієнтом варіації (C_v) і коефіцієнтом асиметрії (C_s).</p> <p>Виявлено, що ймовірність прояву середніх (типових) значень вмісту гумусу на досліджених об'єктах визначається системою водозборів і не перевищує 50 %. При цьому у випадку зі значеннями коефіцієнтів варіації $C_v=10,5$ і 12,1 % (Старобільський і Білолуцький водозбори відповідно) відхилення ймовірностей від середнього рівня вмісту гумусу (4,05 і 4,38 %) у бік зниження не перевищують 40 % територіального поширення, а у випадку значень $C_v=18,6$ і 19,7 % ймовірність і відхилення від типового рівня (3,50 і 4,05 % гумусу у Бахмутівському та Курячівському водозборах) становить 60 %.</p> <p>Просторова мінливість вмісту гумусу у ґрунтах всіх чотирьох водозборів не виходить за межі середньої ($C_v = 10,47 - 19,65$ %). За результатами аналізу просторового розподілу ґрунтів за групами вмісту гумусу у чотирьох водозборах побудовано інтегровану картосхему вмісту гумусу у ґрунтах басейну р. Айдар в цілому та визначено площі ґрунтів з різними параметрами.</p>
<p><i>Ключові слова:</i></p> <p>Вміст гумусу; Ймовірність; Басейн; Водозбір; Чорнозем звичайний; Просторова неоднорідність.</p>	

* E-mail: lg-stanzia@ukr.net

1. Вступ

Вміст гумусу є одним з найважливіших ґрунтових індикаторів, який широко використовують у наукових дослідженнях і проектувальних роботах для оцінювання як сучасного стану ґрунту, так і трендів його змін з метою виявлення або прогнозування ризику деградації. Важливість оцінювання вмісту гумусу витікає з визнання його ролі у формуванні та відтворенні родючості й продуктивності ґрунту, що в сучасних уявленнях ґрунтознавців світу тісно пов'язується з поняттями «якість ґрунту» (*soil quality*) і «безпека ґрунту» (*soil security*) [1-3].

«Ми живемо в еру вуглецю» – так сказав президент Міжнародної спілки ґрунтознавців *Jaе E. Yang* у передмові до збірки матеріалів, що доповідались на конференції, присвяченій глобальному висвітленню питань і проблем, пов'язаних з ґрунтовим вуглецем (*Global Soil C Conference*), проведеної у червні 2013 у США, де висловили свої наукові погляди більше ста вчених з тридцяти країн світу [4].

Сьогодні існує безліч запитів на тематичну інформацію щодо просторово орієнтованих параметрів властивостей ґрунтів. Інформація у вигляді тематичних карт середнього і великого масштабів є первинним матеріалом для створення стратегії сталого регіонального землекористування – комплексного вирішення завдань екологічно й економічно раціонального використання орних земель [5]. Вміст гумусу є найважливішою агрономічною та екологічною (точніше – енвіронментальною, за аналогією з використовуваним у світовому ґрунтознавстві терміном «*environmental*» – навколишнє

середовище) характеристикою ґрунту – основою для розробки як агротехнологій, так і ґрунтоохоронних програм і стратегій водозбереження.

Карти вмісту гумусу – головний компонент у наборі матеріалів, потрібних для розробки локальних систем землеробства, сівозмін, способів обробітку ґрунту, системи протиерозійних заходів тощо. Картографічне відображення вмісту гумусу і його динаміки є потрібним шаром цифрового картографування і районування ґрунтів, їхніх функцій і властивостей.

Важливим є інтерпретація базової інформації про вміст гумусу у ґрунті на певній території. Наприклад, території окремого водозбору, яка може розглядатися як сукупність певних умов (кліматичних, геоморфологічних, антропогенного навантаження тощо), що впливають на динаміку гумусового стану ґрунту. Динамічні зміни можна легко виявити шляхом порівняння даних двох турів обстеження, виконаних через певний (не менше 20-25 років) проміжок часу. Таке фіксування дозволяє розкрити не лише абсолютні зміни параметрів гумусового стану ґрунту, але й специфіку локальної просторової динаміки, що залежить від природних особливостей території. Як виявилось, час також є важливим фактором і для визначення просторової варіабельності вмісту гумусу – більш висока стабільність у просторі присутня на тих ділянках, де тип землекористування довго не змінювався [6].

Варіабельність у просторі параметрів вмісту гумусу багато дослідників розглядають як критерій оцінки змін гумусованості ґрунтів певної території у часі. Однак, сукупність факторів, що впливають на цю варіабельність, згідно з висновками широкого кола дослідників, є настільки ж різноманітною, наскільки різноманітними є напрями досліджень і розмір досліджуваного простору, а також природні умови, характер використання земель та інтенсивність антропогенного навантаження.

Системний аналіз літератури щодо досліджень просторової варіабельності вмісту ґрунтового органічного вуглецю (SOC – *soil organic carbon*) дозволяє констатувати згадування у публікаціях як мінімум чотирьох груп факторів, які впливають і на вміст гумусу, і на коефіцієнт варіації (Cv): I – тип землекористування; II – рельєф; III – властивості ґрунтів; IV – кліматичні характеристики на досліджуваній території.

Стосовно ролі *типу землекористування* у просторовій варіабельності вмісту у ґрунті органічного вуглецю, дослідники майже одностайно стверджують, що цей зв'язок є абсолютно доведеним і є найбільш помітним у верхньому шарі ґрунту [6, 7, 8, 9].

Дослідники визнають, що поверхневий шар (0-30 см), де акумульовано більше 50 % SOC [7], є найбільш чутливим, оскільки охоплює глибини, які безпосередньо залучені у взаємодію ґрунту з атмосферою, і є об'єктом антропогенного впливу [10]. Тому для верхнього шару зафіксовані значно більш високі коефіцієнти просторової варіабельності вмісту ґрунтового вуглецю [7, 11].

Для оцінювання впливу типу та інтенсивності землекористування на гумусованість ґрунту використовують навіть, так званій, коефіцієнт стратифікації (відношення вмісту гумусу у шарі 0-5 см до вмісту у шарі 5-15 см), значення якого більше 1,2 свідчить про поліпшення якості ґрунту [8].

Роль *рельєфу* розділяють на декілька складових: топографічна неоднорідність досліджуваної ділянки [12]; місце ділянки у тій чи іншій частині схилу [13, 14, 15]; висота місцевості [16, 11, 15, 17].

Закономірні висновки дослідників щодо посиленої неоднорідності вмісту органічного вуглецю у ґрунтах території з різноманітним рельєфом [12] доповнюються свідченнями про зв'язок вмісту SOC з висотою. Вважають, що вміст гумусу суттєво і позитивно корелює з висотою у гірських місцевостях [18, 16, 17, 19] і зниження температури з висотою є ключовим чинником, яким контролюється ступінь розкладу органічних речовин [20, 21]. Натомість, оберненим названо зв'язок SOC з висотою у низьких рівнинних місцевостях [16].

Роль висоти опосередковано пов'язана з варіабельністю вмісту SOC через місце досліджуваної площі на тій чи іншій позиції схилу. Більш низьку концентрацію виявлено зі збільшенням висоти місцевості і градієнту схилу [13]. Найвищий коефіцієнт просторової варіації (Cv=45,6 %) виявлено для позиції *back-slope* – частини схилу, де домінують процеси транспорту води і матеріалів, інтенсивність яких залежить від градієнту ухилу і висоти [10]. Інші автори ділять цю частину схилу на дві зони – верхню і нижню, в яких висоти можуть відрізнятися на 100 м. І, звичайно ж, спостерігають суттєву різницю у вмісті SOC – він є найвищим у верхній частині (*summit*), де інтенсивність стоку несуттєва, і монотонно знижується донизу схилу (*footslope*) [15]. Помічено також вплив експозиції схилу, який, хоча і не завжди може описуватися лінійною кореляцією, однак є дієвим фактором варіабельності вмісту у ґрунті органічного вуглецю [17].

Дослідники, що узагальнювали дані щодо просторової варіабельності різних

властивостей ґрунту констатували, що коефіцієнт просторової варіації SOC, порівняно з іншими властивостями, є середнім – $C_v = 21\text{--}41\%$, тоді як $C_v \text{ рН} = 2\text{--}12\%$, а C_v доступного фосфору – $39\text{--}157\%$ [22].

Ґрунтові запаси органічного вуглецю пов'язують з такими *властивостями ґрунту*: вміст мулу [9], електропровідність [9], фізичні характеристики [23], серед яких найбільш важливими для деяких регіонів вважають щільність будови, водоутримувальну здатність та гідравлічну провідність ґрунту [7].

Роль клімату у просторовій варіабельності SOC розглядають через вплив температури й атмосферних опадів, як просторово залежних чинників [6]. Однак, неочікувано незначною визнано частку впливу кліматозалежних змінних (менше 5% пояснюваної дисперсії у регресійних моделях) на варіабельність запасів SOC у ґрунтах Німеччини [9].

Російські автори, узагальнивши дані з європейської території колишнього СРСР, виявили високий C_v ($> 60\%$) для шару 0-100 см навіть у подібних ценозах, що знаходяться в одній біокліматичній зоні. Причини інтрабіогеоценотичної варіабельності карбону шукали у зв'язках типів біогеоценозів, рослинного покриву й умов зволоження ґрунту [24].

Попередніми дослідженнями Горбачової та Плотнікова у Північному Степу України [25] було встановлено, що еродовані чорноземи звичайні являють однорідну сукупність і мають широкий діапазон вмісту гумусу в орному шарі – від 1,6 до 6,9%, коефіцієнт варіації становить більше 20% (високий). За вмістом гумусу ці ґрунти віднесено до мало- та середньогумусних [26].

До опублікованих даних, щодо гумусованості ґрунтів Луганської області слід віднести національні карти вмісту і запасів гумусу в Національному атласі України [27] (масштаб 1:5 млн) і у виданому пізніше в ННЦ ІГА Електронному атласі властивостей ґрунтів України [28] (масштаб 1:1,5 млн).

Мета досліджень. Ймовірнісне оцінювання просторової мінливості вмісту гумусу у чорноземі звичайному в системі «басейн річки → балковий водозбір».

Для розкриття особливостей характеру просторового розподілу вмісту гумусу в ґрунтах басейну р. Айдар, приурочених до верхньої, середньої і нижньої течії, виконано статистичний аналіз даних двох турів великомасштабного обстеження (1970 і 2011), виявлено характер багаторічної динаміки, проаналізовано статистично-ймовірнісні ситуації, побудовано картосхему сучасного просторового розподілу вмісту гумусу і дано характеристики ймовірності його прояву в різних елементах системи «басейн річки → балковий водозбір».

2. Об'єкти, матеріали і методи

2.1. Об'єкт дослідження

Об'єкт дослідження – чорнозем звичайний у системі чотирьох послідовно розміщених балкових водозборів у басейні р. Айдар (окреслених у межах верхньої, середньої і нижньої течії) в Луганській області України. Водозбори приурочені до гідропостів – точок спостереження гідрометеослужби за рівнем наповнення річки, якістю води тощо.

Водозбори, назви яких співпадають із назвами гідропостів, розміщені послідовно вниз за напрямом течії річки: 1 - Білолуцький → 2 - Курячівський → 3 - Старобільський → 4 - Бахмутівський. Кожен із чотирьох балкових водозборів розглядається як просторова одиниця з певним набором геоморфологічних параметрів, завдяки яким утворюється певний режим гідрологічних та ерозійних процесів, що впливають на гумусовий стан ґрунту.

Для території кожного з водозборів зроблено вибірки з різних ґрунтових баз даних (БД) щодо вмісту гумусу у верхньому (0-25 см) шарі чорнозему звичайного.

Таким чином, об'єктом дослідження є вміст гумусу у чорноземі звичайному у басейні р. Айдар, обумовлений специфічним впливом геоморфологічних чинників у межах чотирьох балкових водозборів.

Межі балкових водозборів і географічно прив'язані місця розташування гідропостів і точок спостережень показано на рис. 1.

2.2. Джерела інформації

Окреслення меж водозборів виконано авторами за результатами аналізу геоморфологічних і гідрологічних особливостей території басейну р. Айдар на базі

топографічних карт масштабу 1 : 100 000 [29].

Для аналізу гумусового стану чорноземів звичайних сформовано дві вибірки із бази даних (БД) ННЦ ІГА імені О.Н.Соколовського [30]. У першій вибірці (106 точок) зібрано дані, що характеризують вміст гумусу, гранулометричний склад і потужність генетичних горизонтів ґрунтів, фіксовані під час великомасштабного обстеження ґрунтів України, яке закінчилося в Луганській області до 1970 р. У виборі точок враховано подібність гранулометричного складу і материнської породи; ступінь еродованості ґрунтів був різним.

До другої вибрано результати сучасного (2011 року) обстеження ґрунтів басейну (170 точок), проведеного з метою виявлення вмісту гумусу. Точки, за допомогою геоприв'язок, винесено в натуру. Прийнято умову, що точки забезпечені (за попередніми обстеженнями) даними вмісту гумусу, гранулометричного складу і морфометричних характеристик.

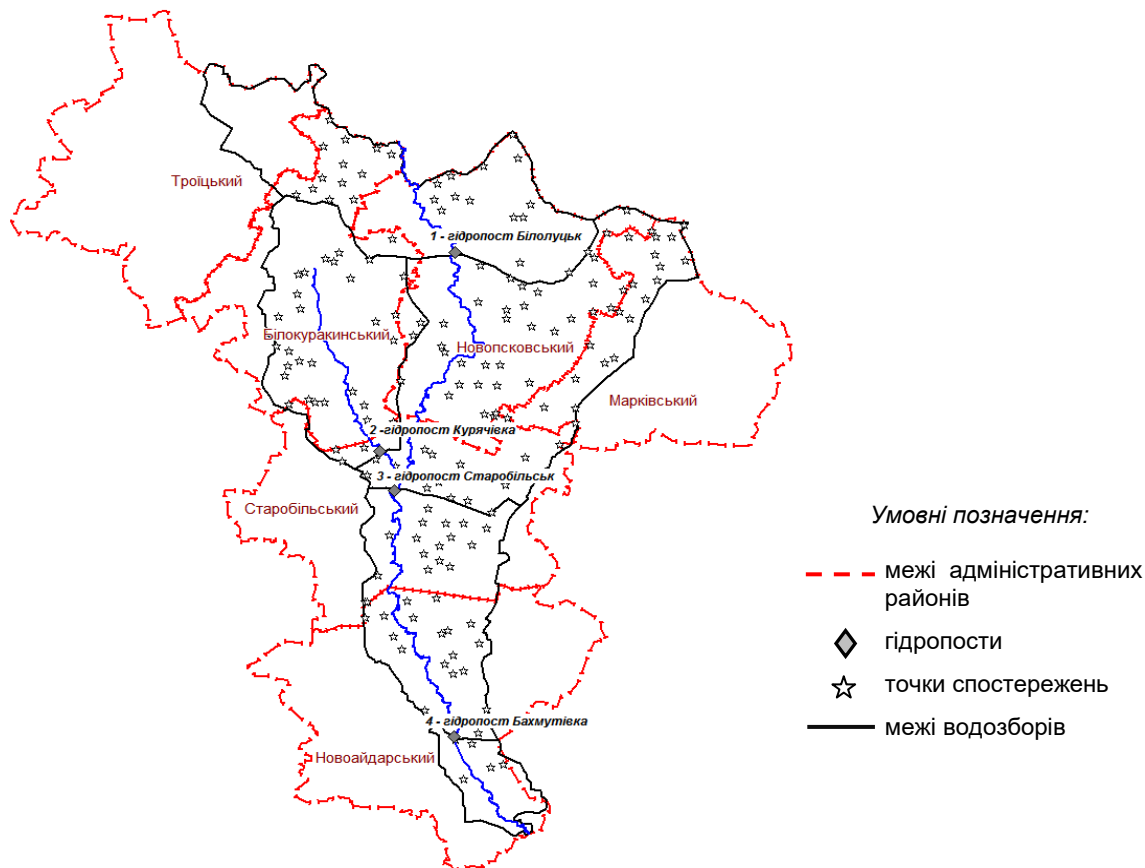


Рис. 1. Територія досліджень – басейн р. Айдар у Луганській області

Для окреслення контурів балкових водозборів було використано опубліковану інформацію про рельєф басейну р. Айдар [31], напрацювання щодо ерозійної безпеки рельєфу ріллі та екологічної структури агроландшафтів [32], а також розрахунки щодо стоку і змиву ґрунту за сучасного землеустрою [33]. Також використано офіційні публікації Держкомземагенства та довідники Державної гідрометеорологічної служби України.

Для розрахунків і обґрунтування ймовірності розподілу вмісту гумусу в ґрунтах басейну скористалися роботами українських ґрунтознавців з оцінювання еродованості ґрунтів [34, 35, 36].

Для створення картографічних матеріалів за базову основу використано карту ґрунтів Луганської області масштабу 1:100 000 [29]. Цифрове картографування, інтегрування картографічних матеріалів та розрахунок площ ґрунтів з різним вмістом гумусу виконано за допомогою програмного забезпечення Mapinfo 9.5.1.

2.3. Способи розрахунків і статистичного аналізу результатів

Статистичний аналіз вибраних даних проведено за такими показниками: число спостережень (n); середнє значення ($x_{\text{сер}}$); дисперсія (S^2); стандартне відхилення (S); коефіцієнт варіації (C_v); абсолютна помилка середнього ($S_{x_{\text{сер}}}$); медіана (M); асиметрія (A); ексцес (E).

Аналіз імовірності природи вмісту гумусу виконано за такими критеріями: (1) Індекс вмісту гумусу – відношення фактичного вмісту гумусу у контрольній точці до середнього арифметичного у варіаційному ряду; (2) Теоретична крива ймовірності (крива розподілу Пірсона III типу), побудована за трьома параметрами – середнього арифметичного значення членів варіаційного ряду, коефіцієнта варіації (C_v) і коефіцієнта асиметрії (C_s).

3. Результати й обговорення

3.1. Статистичний аналіз даних

Статистичний аналіз даних вмісту гумусу в орному шарі (0-25 см) чорнозему звичайного було проведено у межах кожного із чотирьох окреслених водозборів за двома термінами спостережень – 1970 і 2011 рр. Дані з кожного водозбору умовно розділено на чотири групи за діапазоном параметрів вмісту гумусу - <3,0; 3,1-4,0; 4,1-5,0 та >5,0 % (табл. 1 і 2). Для кожної із груп розраховано середнє арифметичне значення вмісту гумусу та інші параметри статистичних показників.

Таблиця 1

Статистичний аналіз вмісту гумусу в ґрунтах окремих водозборів басейну р. Айдар (1970 р.)

Група за вмістом гумусу, %	Статистичні показники ¹								
	n	$\bar{x}_{сер}$	S^2	S	C_v	$S_{хсер}$	M	A	E
1 - Білолуцький									
> 5	3	6,597	1,473	1,214	18,40	0,701	6,490	-	0,392
4,1-5,0	2	4,105	0,018	0,134	3,27	0,095	4,105	-	-
3,1-4,0	5	3,794	0,022	0,149	3,94	0,067	3,790	-1,911	-0,227
< 3	2	2,430	0,005	0,071	2,91	0,021	2,430	-	-
Усі точки водозбору	11	4,486	2,354	1,534	34,20	0,463	3,950	1,381	1,218
2 - Курячівський									
> 5	4	6,135	0,564	0,751	12,24	0,376	6,285	2,226	-1,134
Усі точки водозбору	4	6,135	0,564	0,751	12,24	0,376	6,285	2,226	-1,134
3 - Старобільський									
> 5	30	5,746	0,222	0,472	8,21	0,086	5,705	-1,064	0,299
4,1-5,0	13	4,681	0,077	0,278	5,94	0,077	4,730	-0,919	-0,533
3,1-4,0	5	3,514	0,058	0,241	6,86	0,108	3,420	2,745	1,657
< 3	7	1,811	0,244	0,494	27,26	0,187	1,800	-0,997	0,177
Усі точки водозбору	55	4,791	1,979	1,407	29,37	0,190	5,150	0,579	-1,133
4 - Бахмутівський									
> 5	7	5,389	0,153	0,391	7,26	0,148	5,180	3,543	1,846
4,1-5,0	10	4,493	0,077	0,278	6,18	0,088	4,425	-0,574	0,302
3,1-4,0	12	3,713	0,078	0,279	7,51	0,080	3,810	0,738	-1,233
< 3	6	2,740	0,030	0,173	6,33	0,071	2,775	2,007	-1,239
Усі точки водозбору	35	4,104	0,843	0,918	22,38	0,155	4,000	-0,508	0,099
Загалом по басейну р. Айдар									
> 5	44	5,783	0,363	0,603	10,42	0,091	5,700	1,644	1,071
4,1-5,0	25	4,560	0,095	0,309	6,77	0,062	4,580	-1,205	-0,098
3,1-4,0	23	3,686	0,066	0,257	6,98	0,055	3,770	-0,521	-0,713
< 3	14	2,250	0,340	0,583	25,91	0,156	2,405	-0,789	-0,687
Усі точки басейну	106	4,581	1,740	1,319	28,79	0,129	4,730	-0,080	-0,374

¹ Статистичні показники: n - число спостережень; $\bar{x}_{сер}$ - середнє значення вмісту гумусу, %; S^2 - дисперсія; S - стандартне відхилення; C_v - коефіцієнт варіації, %; $S_{хсер}$ - абсолютна помилка середнього; M - медіана; A - асиметрія; E - ексцес.

Така систематизація даних у межах басейну дозволила виявити закономірні зміни вмісту гумусу в динаміці, відмінності статистичних показників в окремі періоди і в окремих частинах басейну, а також адекватно обґрунтувати ймовірнісні характеристики просторового розподілу вмісту гумусу.

Порівнюючи зміни у часі середніх параметрів вмісту гумусу на всій площі басейну помітили суттєву різницю у їх варіабельності. Коефіцієнт варіації (C_v) зменшився майже вдвічі у 2011 році порівняно з 1970 – від 28,79 до 16,37 %. Цей факт ми схильні розглядати як просторове нівелювання мінливості властивостей орних чорноземів на території басейну р. Айдар під впливом часовозалежних природних і антропогенних факторів.

Таблиця 2

Статистичний аналіз вмісту гумусу в ґрунтах окремих водозборів басейну р. Айдар (2011 р.)

Група за вмістом гумусу, %	Статистичні показники ¹								
	n	$\bar{x}_{сер}$	S^2	S	C_v	$S_{х}$	M	A	E
1 - Білолуцький									
> 5	4	5,113	0,015	0,122	2,39	0,061	5,075	2,998	1,605
4,1-5,0	19	4,651	0,068	0,261	5,62	0,060	4,710	-1,211	-0,417
3,1-4,0	6	3,608	0,059	0,243	6,74	0,099	3,630	-0,058	-0,141
Усі точки водозбору	29	4,499	0,296	0,544	12,08	0,101	4,680	-0,225	-0,840
2 - Курячівський									
4,1-5,0	20	4,601	0,074	0,271	5,90	0,061	4,590	-1,312	0,042
3,1-4,0	10	3,766	0,336	0,580	15,39	0,183	3,835	2,292	1,131
< 3	5	2,626	0,114	0,338	12,87	0,151	2,470	-2,464	0,215
Усі точки водозбору	35	4,080	0,643	0,802	19,65	0,136	4,300	-0,281	-0,841
3 - Старобільський									
4,1-5,0	37	4,384	0,057	0,238	5,42	0,039	4,370	-0,285	0,435
3,1-4,0	30	3,722	0,056	0,237	6,38	0,043	3,800	1,930	-1,446
< 3	2	2,980	0,001	0,028	0,95	0,028	2,980	-	-
Усі точки водозбору	69	4,071	0,182	0,426	10,47	0,052	4,040	0,012	-0,325
4 - Бахмутівський									
4,1-5,0	10	4,355	0,106	0,326	7,48	0,103	4,350	-1,313	0,447
3,1-4,0	19	3,498	0,062	0,248	7,09	0,057	3,490	-0,802	-0,063
< 3	8	2,645	0,062	0,249	9,40	0,088	2,725	-0,596	-0,945
Усі точки водозбору	37	3,545	0,433	0,658	18,56	0,108	3,510	-0,391	0,051
Загалом по басейну р. Айдар									
> 5	5	5,113	0,015	0,122	2,39	0,061	5,075	2,998	1,605
4,1-5,0	86	4,490	0,082	0,286	6,37	0,031	4,450	-1,035	0,137
3,1-4,0	65	3,653	0,106	0,326	8,92	0,040	3,690	4,488	0,838
< 3	14	2,661	0,076	0,276	10,36	0,074	2,725	-1,299	-0,419
Усі точки басейну	170	4,031	0,436	0,660	16,37	0,051	4,050	-0,107	-0,551

¹ Статистичні показники: n - число спостережень; $\bar{x}_{сер}$ - середнє значення вмісту гумусу, %; S^2 - дисперсія; S - стандартне відхилення; C_v - коефіцієнт варіації, %; $S_{хсер}$ - абсолютна помилка середнього; M - медіана; A - асиметрія; E - ексцес.

В обох періодах найбільш варіабельними були усереднені дані у групі з вмістом гумусу < 3,0 %. Разом з тим, середній вміст гумусу у цій групі за 41 рік достовірно збільшився (від 2,25 до 2,66 %). Натомість, в інших групах відбулося зниження середнього вмісту гумусу, найбільш помітне у групі > 5,0 % (від 5,78 до 5,11 %). Тобто, спостерігаємо перерозподіл гумусованості ґрунту у просторі.

Загалом діапазон значень вмісту гумусу у вибірці 1970 року коливався від мінімального значення 1,811 до максимального 6,597 %, а у вибірці 2011 р. був суттєво вужчим - від 2,626 до 5,113 %.

Аналізом генеральної сукупності емпіричних даних вмісту гумусу (1970 і 2011) виявлено їх однорідність і тому можливість оцінювання згідно із законом нормального розподілу. Аргументами є фактична близькість середніх арифметичних даних вмісту гумусу до медіани і значення асиметрії ($A < 3\delta$) та ексцесу ($E < 3\delta$), що свідчать про відповідність точок емпіричних даних до нормального закону розподілу та можливість їх порівняння. Надійність параметрів A, E та рівень вірогідності визначено за таблицями Стюдента.

Розглядаючи статистичні характеристики гумусованості ґрунту в окремих частинах басейну р. Айдар констатуємо, що за період 41-річного антропогенного навантаження відбулося зменшення частки випадків високого (> 5,0 %) і низького (< 3,0 %) вмісту на користь збільшення частки середньогумусованих проб ґрунту.

Отже, відбувається усереднення просторового розподілу вмісту гумусу, що підтверджується параметрами дисперсії (S^2) і стандартного відхилення (S).

3.2. Імовірнісне оцінювання просторової варіабельності вмісту гумусу

Просторова оцінка поширення ґрунтів з різним вмістом гумусу на басейновому рівні може бути здійснена на ймовірнісній основі. При цьому точно враховується й оцінюється вплив

системи водозборів на кількісне поширення у просторі ґрунтів з різним вмістом гумусу.

Для аналізу особливостей просторового варіювання вмісту гумусу за 41 рік (від 1970 до 2011) було проаналізовано чотири системи водозборів із включенням на кожному від 45 до 60 точок спостереження. В основу аналізу було покладено побудову емпіричних і теоретичних (аналітичних) кривих забезпеченості вмісту гумусу в ґрунтах на окремих водозборах у межах басейну р. Айдар.

Побудову теоретичної кривої забезпеченості вмісту гумусу (крива розподілу Пірсона III типу) виконано з обчисленням трьох параметрів: 1) розрахунок середнього арифметичного значення досліджуваних рядів вмісту гумусу у межах водозбору; 2) розрахунок коефіцієнтів варіації (C_v); 3) розрахунок коефіцієнтів асиметрії (C_s).

Для визначення параметрів кривих забезпеченості вмісту гумусу проаналізовано ряди спостережень вмісту гумусу в інтервалі від 3 до 5 %.

Теоретичні криві забезпеченості вмісту гумусу побудовано за табличними даними ординат А. Фостера–С.І. Рибіна від середнього значення C_v : Старобільськ – 0,107; Білолуцьк – 0,120; Курячівка – 0,200; Бахмутівка – 0,190. C_s дорівнює $2C_v$, ймовірність (P) 1–99 % (рис 2). На цих зображеннях показано ймовірнісні періоди вмісту гумусу.

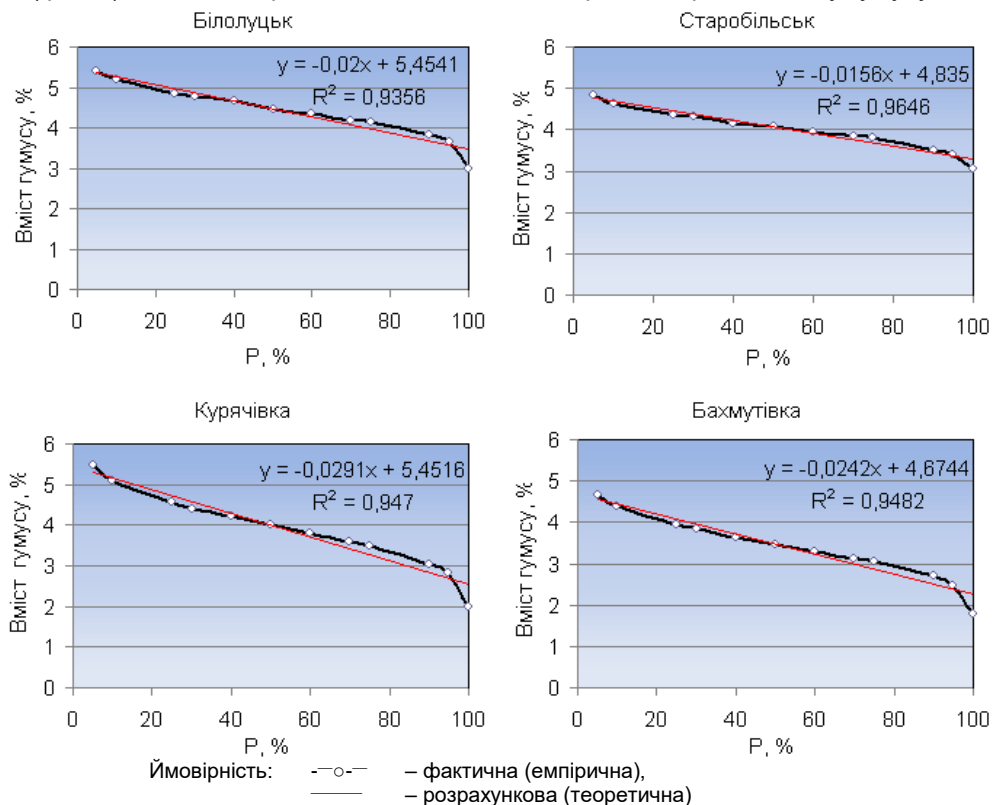


Рис. 2. Криві забезпеченості вмісту гумусу за окремими водозборами у межах басейну р. Айдар, 2011 рік

При цьому з теоретичних кривих забезпеченості у циклі порівняльних характеристик за водозборами можна виділити такі інтервали значень вмісту гумусу:

Білолуцький: < 5 % гумусу – ймовірність 20 %; 4-5 % гумусу - ймовірність 20-40 %; <4 % гумусу – ймовірність 80 %.

Старобільський: < 4 % гумусу – ймовірність 20-40 %; >4 % гумусу – ймовірність 40-65 %.

Курячівський: <4 % гумусу – ймовірність 40 %.

Бахмутівський: <4 % гумусу – ймовірність 40 %.

Виявлено, що ймовірність прояву значень вмісту гумусу на досліджених об'єктах із середнім (типовим) значенням визначається системою водозборів і не перевищує 50 %. При цьому у випадку зі значеннями коефіцієнтів варіації $C_v=10,5$ і $12,1$ % (Старобільський і Білолуцький водозбори відповідно – табл. 2) відхилення ймовірностей від середнього рівня гумусу (4,05 і 4,38 %) у бік зниження не перевищують 40 % територіального поширення. А у випадку значень $C_v=18,6$ і $19,7$ % (табл. 2) ймовірності відхилення від типового рівня (3,50 і 4,05 % гумусу – Бахмутівський та Курячівський) – 60 %. Це свідчить про те, що басейновий рівень аналізу дозволяє уникнути втрати інформації і робить її більш точною (завдяки диференціації).

Залежності, продемонстровані на графіках (рис. 2), для окремих водозборів описуються такими рівняннями:

$$\begin{aligned} \text{Білолуцький} & y = 0,02x + 5,4941; \\ \text{Старобільський} & y = 0,0158x + 4,836; \\ \text{Курячівський} & y = 0,0291x + 5,4518; \\ \text{Бахмутівський} & y = 0,024x + 4,87. \end{aligned}$$

Де 0,02 і 0,0158 % – зміни гумусу за період 1970-2011 рр. з ймовірністю 1 % (Білолуцький і Старобільський водозбори) і 0,024 і 0,029 % – з тією ж ймовірністю на водозборах Курячівському і Бахмутівському.

Вміст гумусу > 5 % визначено з ймовірністю 5-10 % на території Білолуцького і Старобільського водозборів, а в умовах системи водозборів Курячівського і Бахмутівського відбулися збільшення території з вмістом гумусу ≤ 3 % з ймовірністю 60 %.

Виявлена в цілому просторова мінливість за вмістом гумусу на різних системах водозборів обумовлює використання інформації для прогнозування ймовірнісних змін вмісту гумусу у часі з використанням диференційованих систем ґрунтоводоохоронних заходів на двох рівнях басейнових систем:

- 1) Геоморфологічний рівень з експозиційним розподілом земель, що поєднує в собі компоненти агроландшафту;
- 2) Балковий (водозбір – окремий схил) для надійного обґрунтованого режиму ґрунтоохоронних проблем землеробства (регулювання стоку, мінімізація втрат ґрунту, контроль процесів ґрунтоутворення).

3.3. Аналіз просторового розподілу вмісту гумусу в ґрунтах басейну

Аналіз сучасного просторового розподілу вмісту гумусу проведено методом побудови 2Д картограм (програмний комплекс *Surfer 12*) за даними вмісту гумусу та географічними координатами контрольних точок у межах окремих водозборів. В результаті вміст гумусу в окремих групах точок відображено ізолініями. Для прикладу наводимо 2Д картограму вмісту гумусу у ґрунтах водозбору Білолуцький (рис. 3).

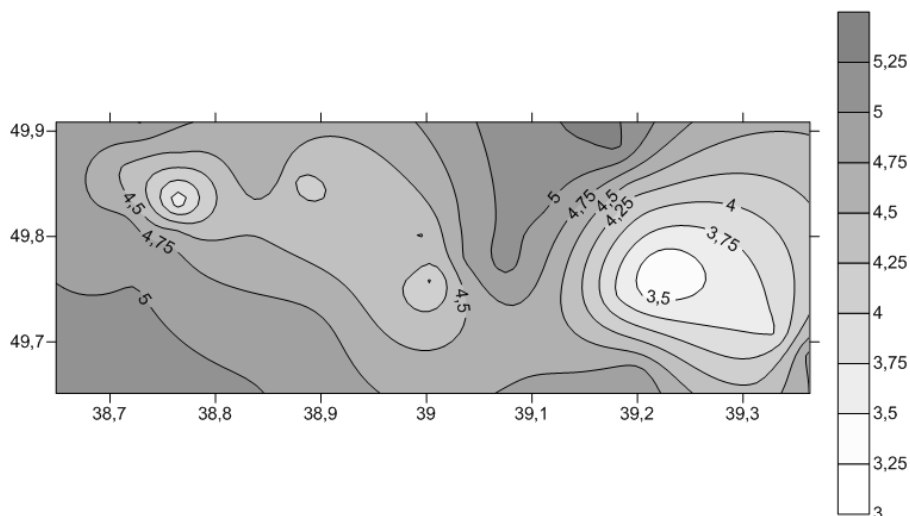


Рис. 3. Картограма вмісту гумусу (%) у ґрунтах водозбору Білолуцький з позначенням географічних координат

Гумусованість ґрунтів у досліджуваних водозборах охарактеризовано статистичними і варіаційними параметрами.

Водозбір Білолуцький. Мінливість вмісту гумусу середня, $C_v = 12,08$ % ($10 < C_v < 25$). Статистичний параметр вмісту гумусу у шарі ґрунту 0-20 см у середньому – $4,499 \pm 1,101$, максимальний – $5,113 \pm 0,061$ %. В цілому у межах водозбору переважають ґрунти з вмістом гумусу 4,1-5,0 %. За вмістом гумусу територію можна розділити на 3 зони: 1) > 5 % (західна частина водозбору); 2) 4,1-5,0 % (центральна); 3) 3,0-4,0 % (східна частина території водозбору).

Водозбір Курячівський. Мінливість вмісту гумусу середня, $C_v = 19,65$ % ($10 < C_v < 25$). Середній вміст гумусу – $4,08 \pm 0,136$, максимальний – $4,601 \pm 0,061$ %. Територія водозбору в основному співпадає з територією Білокуракинського адміністративного району. Переважають ґрунти з вмістом гумусу від 2,25 до 4,0 %. Виявлено закономірне збільшення вмісту гумусу на вододілі та у привододільній частині до 3,5-4,0 %. Ґрунти у

зоні, яка прилягає до гідрографічної мережі р. Біла (правий приток р. Айдар), є найбільш еродованими – вміст гумусу 2,5-3,25 %.

Водозбір Старобільський. Приурочений в основному до лівого берегу р. Айдар. Мінливість вмісту гумусу середня, – $C_v = 10,47\%$ ($10 < C_v < 25$). Середній вміст гумусу – $4,071 \pm 0,0512$, максимальний – $4,384 \pm 0,039\%$.

Водозбір Бахмутівський. Мінливість вмісту гумусу середня, $C_v = 18,56\%$ ($10 < C_v < 25$). Вміст гумусу у ґрунтах водозбору є найнижчим з усіх досліджених територій басейну; середній параметр становить – $3,545 \pm 0,108\%$. За групами вмісту гумусу розподіл такий: 1) 2,24-3,0 %; 2) 3,1-4,0 %; 3) 4,1-4,78 %.

За результатами аналізу просторового розподілу ґрунтів за групами вмісту гумусу у чотирьох водозборах побудовано інтегровану картосхему вмісту гумусу у ґрунтах басейну р. Айдар в цілому (рис. 4) та визначено площі ґрунтів з різними параметрами.

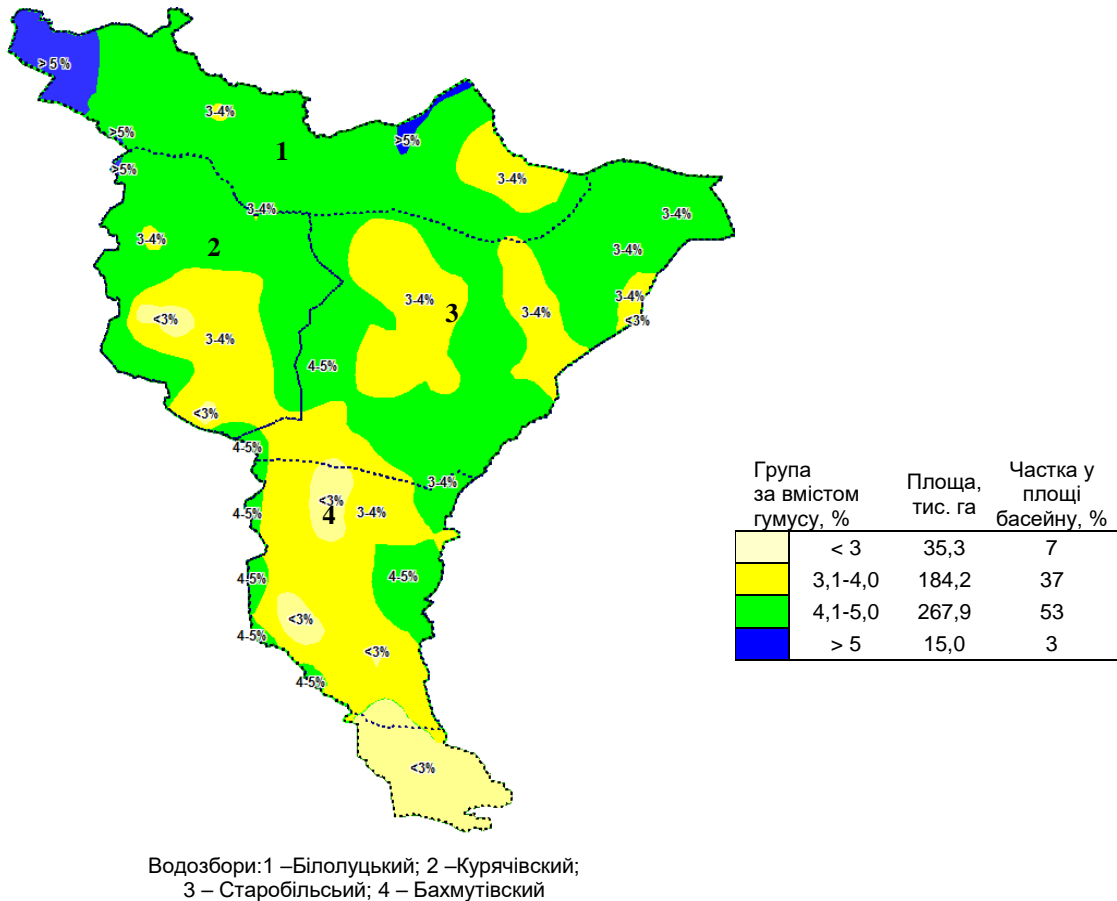


Рис. 4. Картосхема вмісту гумусу в ґрунтах басейну р. Айдар

Таким чином, аналізуючи вміст гумусу у ґрунтах басейну у напрямку за течією р. Айдар (Білолуцьк → Курячівка → Старобільськ → Бахмутівка), констатували стабілізацію параметрів у верхній частині басейну (4,5 %) та зменшення нижче за течією від 6,13 → 4,79 → 4,10 % до 4,08 → 4,07 → 3,55 %.

Загалом у верхній частині басейну (Білолуцький та Курячівський водозбори, що належать до Новопокровського та Білокуракинського адміністративних районів) поширені ґрунти, які належать до першої (>5 %) та другої (4,1-5,0 %) груп за вмістом гумусу. У середній частині басейну залягають ґрунти з умістом гумусу в межах 4,0-5,0, 3,1-4,0 та <3 % (Старобільський водозбір). Нижня частина басейну представлена найбільш деградованими ґрунтами – вміст гумусу 3,1-4,0 та <3 %.

Практично в усіх водозборах відмічається присутність ґрунтів з умістом гумусу до 3 %, що пов'язано геоморфологічними особливостями території та екологічною безпекою. При цьому найбільша їх кількість приурочена до Бахмутівського водозбору.

Детальний аналіз просторової варіабельності та ймовірності прояву значень вмісту гумусу дозволив виявити детальну картину ступеня гумусованості ґрунтів у кожному окремому водозборі і в цілому басейні. І ці дані – загальні і частинні, можуть бути у подальшому використані для вирішення різних енвайронментальних і агротехнологічних завдань.

4. Висновки

Запропоновано методичний підхід до узагальнення та обробки даних для систем регіонального моніторингу ґрунтового покриву на основі використання ймовірнісних оцінок просторового варіювання (мінливості) загального вмісту гумусу в ґрунтах за басейновим підходом, тобто, в системі «басейн річки – балковий водозбір».

Опрацювання запропонованого басейнового підходу в межах чотирьох водозборів у басейні річки Айдар (Луганська область, Україна) дозволило визначити основні закономірності динаміки вмісту гумусу в орному шарі ґрунтів цього регіону в період з 1970 до 2011 р.

Втрати вмісту гумусу за 41 рік становлять 0,015 і 0,020 % з одновідсотковою ймовірністю у межах Білолуцького і Старобільського водозборів та 0,024 і 0,029 % тієї ж ймовірності на водозборах Курячівському і Бахмутівському. Вміст гумусу > 5 % визначено з ймовірністю 5-10 % на території Білолуцького і Старобільського водозборів, а на території водозборів Курячівського і Бахмутівського відбулися збільшення площ з умістом гумусу ≤ 3 % з ймовірністю 60 %.

Закономірності розподілу вмісту гумусу в ґрунтах вниз за течією р. Айдар є основою картографування з застосуванням сучасних ГІС-технологій. Констатовано стабілізацію вмісту гумусу у верхній частині басейну (4,5 %) та його зменшення нижче за течією ріки від 6,13 → 4,79 → 4,10 % (1970 р.) до 4,08 → 4,07 → 3,55% (2011 р.). В цілому у басейні р. Айдар відбулось зменшення вмісту гумусу з 4,58±0,13 % (1970 р.) до 4,03±0,05 % (2011 р.).

Аналіз характеру просторових змін у вмісті гумусу в чорноземі звичайному, які відбулися за 41 рік, дозволяє висловити обґрунтовані припущення, що на еволюційні процеси формування ґрунтів у басейні р. Айдар, пов'язані з факторами ґрунтоутворення, накладаються деградаційні процеси.

Список цитованої літератури

1. *Global soil organic carbon assessment* / U. Stockmann, J. Padarian, A. McBratney [et al.]. *Global Food Security*. 2015. № 6. P. 9–16.
2. McBratney A., Field D.J., Koch A. The dimensions of soil security. *Geoderma*. 2014. № 213. P. 203–213.
3. *Challenges for soil organic carbon research* / A. McBratney, U. Stockmann, D. Angers [et al.] In: Hartemink A.E., McSweeney K. (Eds.), *Soil Carbon. Progress in Soil Science*. Springer International Publishing, 2014. P. 3–16.
4. Hartemink A.E., McSweeney K. (Eds.). *Soil Carbon. Progress in Soil Science*. Springer International Publishing, 2014. DOI 10.1007/978-3-319-04084-4.
5. Rossiter D.G. Digital soil mapping: Towards a multiple-use Soil Information System. *Análisis Geográficos*. 2005. № 32 (1), P. 7–15.
6. Conant R.T., Paustian K. Spatial variability of soil organic carbon in grasslands: implications for detecting change at different scales. *Environmental Pollution*. 2002. № 116. P. 127–135.
7. Batjes N.H., Dijkshoorn J.A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. *Geoderma*. 1999. Vol. 89, Iss. 3-4. P. 273–286.
8. *Local-scale spatial variability of soil organic carbon and its stock in the hilly area of the Loess Plateau, China* / Y. Wang, B. Fu, Y. Lu [et al.]. *Quaternary Research*. 2010. Vol. 73, Iss. 1. P. 70–76.
9. *Drivers for spatial variability in agricultural soil organic carbon stocks in Germany* / C. Vos, A. Don, E. Hobbey [et al.]. *Geophysical Research Abstracts*. 2017. Vol. 19, EGU2017-4939. © Author(s) 2017. CC Attribution 3.0 License.
10. Batjes N.H., Sombroek W.G. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Global Change Biology*. 1997. № 3. P. 161–173.
11. Mishra U., Riley W.J. Alaskan soil carbon stocks: spatial variability and dependence on environmental factors // *Biogeosciences*. 2012. № 9, 3637–3645. DOI: 10.5194/bg-9-3637-2012.
12. *Using information about spatial variability to improve estimates of total soil carbon* / A.N. Kravchenko, G.P. Robertson, S.S. Snap, A.J.M. Smucker. *Agronomy Journal*. 2005. Vol. 98, № 3, P. 823–829. DOI: 10.2134/agronj2005.0305.
13. *Spatial variability of soil organic carbon on different slope positions of loess hillslopes in Toshan area, Golestan province* / A. Bameri, F. Khormali, F. Kiani, A.A. Dehghani. *J. of Water and Soil Conservation*. 2012. Vol. 19 (2). P. 43–61.
14. *Spatial variability of soil organic carbon in different hillslope positions in Toshan area, Colestan province, Iran: geostatistical approaches* / A. Bameri, F. Khormali, F. Kiani, A.A. Dehghani. *Journal of Mountain Science*. 2015. 12(6). DOI: 10.1007/s11629-014-3213-z.
15. Tsui C.C., Chen Z.S., Hsieh C.F. Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan. *Geoderma*. 2004. № 123. P. 131–142.
16. *Spatial Variability of Soil Organic Carbon and Related Factors in Jiangsu Province, China* / X.W. Chuai, X.J. Huang, W.J. Wang, Q.L. Liao. *Pedosphere*. 2012. Vol. 22, Iss. 3. P. 404–414.
17. *Spatial Variability of the Topsoil Organic Carbon in the Moso Bamboo Forests of Southern China in Association with Soil Properties* / H. Zhang, S. Zhuang, H. Qian [et al.]. *PLoS ONE*. 2015. №10(3): e0119175. DOI: 10.1371/journal.pone.0119175
18. *Soil organic carbon storage changes with climate change, landform and land use conditions in Garhwal hills of the Indian Himalayan mountains* / D. Martin, T. Lal, C.B. Sachdev, J.P. Sharma. *Agr Ecosyst Environ*. 2010. № 138. P. 64–73.

19. *Spatial dependence* and the relationship of soil organic carbon and soil moisture in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico / H.Q. Wang, C.A.S. Hall, J.D. Cornell, M.H.P. Hall. *Landscape Ecol.* 2002. № 17. P. 671–684.
20. Powers J.S., Schlesinger W.H. Relationships among soil carbon distributions and biophysical factors at nested spatial scales in rain forests of northeastern Costa Rica. *Geoderma.* 2002. № 109. P. 165–190.
21. Garten C.T. Comparison of forest soil carbon dynamics at five sites along a latitudinal gradient. *Geoderma.* 2011. № 167–168. P. 30–40.
22. Mulla D.J., McBratney A.B. Soil spatial variability. In: *Handbook of soil science*, edited by: Sumner M.E., CRC Press, Boca Raton, 2000. P. A321–A352.
23. *Analysis of factors* controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands / W.I. Parton, D.S. Schimel, C.V. Cole, D.S. Ojima. *Soil Science Society of America Journal.* 1987. № 51 (5). P. 1173–1179.
24. Ryzhova I.M., Podvezennaya M.A. Spatial variability of the organic carbon pool in soils of forest and steppe biogeocenoses. *Eurasian Soil Science.* 2008. V. 41, Iss. 12. P. 1260–1267. DOI: 10.1134/S106422930812003X.
25. Горбачева А.Е., Плотникова Т.В. Закономерности распределения содержания гумуса в обыкновенных черноземах Донбасса. *Почвоведение.* 1974. № 8. С. 41–48.
26. Плотников Т.В., Другов О.Н. Ґрунти Луганської області. Луганськ: Донбас, 1969. 68 с.
27. Національний атлас України. Київ: ДНВП «Картографія», 2007. 440 с.
28. Електронний атлас карт властивостей ґрунтів України [Електронний ресурс]. Харків, 2007. 1 електрон. опт. диск (CD-ROM): кольор.; 12 см. Систем. вимоги: Pentium; Windows-95, 98, 2000, XP. Назва з титулу екрану.
29. Топографічні карти Луганської області (масштаб 1:100 000) [Електронний ресурс]. URL: http://geoknigi.com/view_map.php?id=54. Назва з титулу екрану.
30. База даних «Свойства почв Украины» (структура и порядок использования) / Т.Н. Лактионова, В.В. Медведєв, К.В. Савченко [и др.]. Изд. 2-ое. Харьков: ЦТ № 1, 2012. 150 с.
31. Белоліпський В.О. Ґрунтоохоронна оптимізація агроландшафтів. Навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2012. 399 с.
32. Белоліпський В.О., Полулях М.М. Еколого-економічна оптимізація сівозмін при формуванні агроландшафтів. *Міжвід. тем. наук. зб. "Землеробство"*. Вип. 85. Київ, 2013. С. 89–99.
33. Вплив біоумусу на протиерозійну стійкість чорнозему звичайного / В.О. Белоліпський, Ю.І. Усатенко, М.М. Полулях [та ін.]. *Вісник аграрної науки.* 2012. С. 52–56.
34. Куценко М.В. Тимченко Д.О. Про створення та інформаційне забезпечення системи охорони ґрунтів від ерозії в Україні. *Агрохімія і ґрунтознавство.* Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 75. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2011. С. 116–120.
35. Булигін С.Ю. Формування екологічно сталих агроландшафтів. К.: *Урожай*, 2005. 298 с.
36. Канаш О.П. До питання про еколого-економічні проблеми сучасного землекористування. *Науковий вісник НАУ*, 2006. № 4. С. 160–164.

UDC 631.421:57.087

Probabilistic nature of humus content and estimation of heterogeneity at mapping of soils on basin principle

V.O. Belolipskyi*, T.M. Laktionova, M.M. Poluliakh

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky»,

Kharkiv, Ukraine

*E-mail: lg-stanzia@ukr.net

Estimation of the probabilistic nature of humus content, its spatial heterogeneity and dynamics of changes are made on the example of Chernozem ordinary in the system of four watersheds in the river basin of Aidar in Lugansk region of Ukraine. It was used for the calculations humus content for two periods - 1970 and 2011. It was found that the loss of humus content for 41 years is 0.015 and 0.020 % within the limits of Bilolutsky and Starobilsk watersheds and 0.024 and 0.029 % in the watersheds areas of Kuryachivsky and Bakhmutovsky. The stabilization of humus content in the upper part of the basin (4.5 %) and its decrease below the current from 6.13 → 4.79 → 4.10 % (1970) to 4.08 → 4.07 → 3.55 % (2011).

As a whole, in the soils of the Aidar River basin since 1970 there was a decrease in the content of humus from 4,58 ± 0,13 % (1970) to 4,03 ± 0,05 % (2011). The statistical analysis of the data was carried out according to the following indicators: number of observations (n); mean value (\bar{x}_{mean}); dispersion (S^2); standard deviation (S); variation coefficient (Cv); absolute error ($S_{x_{\text{mean}}}$); median (M); asymmetry (A); excess (E). The analysis of the probability of the nature of the humus content is performed according to the following criteria: humus content index – the ratio of actual humus content in the control point to the arithmetic mean; theoretical curve of theoretical probability curve (Pearson type III curve), constructed by arithmetic mean, coefficient of variation (Cv) and coefficient of asymmetry (Cs).

It was found that the probability of displaying average (typical) values of humus content on the investigated objects is determined by the system of catchments and does not exceed 50 %. At the same time, in the case of values of the coefficients of variation Cv = 10,5 and 12,1 % (Starobilsk and Belolutsky watersheds, respectively), the deviation of the probabilities from the average content of humus (4.05 and 4.38 %) in the direction of decline does not exceed 40 % of the territorial distribution, and in the case of values Cv = 18.6 and 19.7 %, the probability and deviation from the typical level (3.50 and 4.05 % humus in the Bakhmut and Kuryachiv watersheds) is 60 %.

The spatial variability of the humus content in the soils of all four catchments does not exceed the average (CV = 10.47 – 19.65 %). According to the results of the analysis of the spatial distribution of soils by groups of humus content in four catchment areas, an integrated map of humus content in the basins of the Aidar River in general was constructed and the area of soils with different parameters was determined.

Key words: humus content; probability; basin; catchment; Chernozem ordinary; degradation.