

УДК 631.4:52-83

До питання про роль рельєфу у формуванні просторової неоднорідності ґрунтових параметрів¹

К. М. Куцова

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 29.10.2021 Отримано після доопрацювання 30.11.2021 Затверджено до видання 10.12.2021 Доступно онлайн 20.12.2021	Висвітлено результати дослідження ролі рельєфу у формуванні просторової неоднорідності вмісту в ґрунті гумусу, рухомих сполук фосфору і калію, загального вмісту азоту і pH_{H_2O} у межах орного шару. Дослідження проведено на двох полях у Харківській області у зоні Лівобережного Лісостепу України. Ґрунтовий покрив одного з полів представлено сірим лісовим (Haplic Luvisol) та темно-сірим опідзоленим (Luvic Greyzem Phaeozem) ґрунтами, другого — чорноземом опідзоленим (Chernic Phaeozem) (в тому числі намитим) і темно-сірим опідзоленим (Luvic Greyzem Phaeozem) слабкосероморфним ґрунтом у комплексі з еродованими аналогами. За гранулометричним складом всі ґрунти важкосуглинкові. Віднайдено зв'язки між основними показниками родючості ґрунтів та характеристиками рельєфу обстежених земельних ділянок, створено картографічні матеріали просторового розподілу елементів живлення за використання статистичних методів обробки даних. Підтверджено існування просторової неоднорідності властивостей ґрунтів (за $C_v > 25\%$) та визначено фактори, які впливають на особливості їх просторового розподілу. З'ясовано, що існування неоднорідних форм рельєфу і, зокрема, наявність мікропонижень на обстежених ділянках, зумовлює нерівномірний розподіл опадів, чим істотно впливає на формування неоднорідності якості ґрунту в межах поля щодо вмісту поживних елементів (азот, фосфор і калій) та реакції ґрунтового середовища (pH). Результати свідчать, що найкраще забезпечено гумусом та рухомими сполуками фосфору ґрунт на найвищих точках рельєфу та у мікропониженнях і мікрозападинах. Зони збагачення рухомих калієм та азотом збігаються з пониженнями у рельєфі. Причиною розподілу елементів живлення є міграції потоків речовин, інтенсивність яких залежить від топографічних особливостей території. Виявлено, що підвищені ділянки поля характеризуються близькими до нейтральних значеннями pH_{H_2O} . На ділянках із різким ухилом поверхні виявлено відносно підкислення ґрунту. На основі здобутих результатів рекомендовано враховувати особливості просторового розподілу властивостей ґрунту у практиці внесення добрив та хімічних меліорантів.

E-mail: karinamatveeva48@gmail.com

Форма цитування: Куцова К.М. До питання про роль рельєфу у формуванні просторової неоднорідності ґрунтових параметрів. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник. 2021. Вип. 92. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 80-91.
<https://doi.org/10.31073/acss92-09>

1. Вступ

Ґрунти утворюються в результаті різноспрямованих фізичних, хімічних і біологічних процесів та є комплексною функцією гірської породи, організмів, клімату, рельєфу та часу, які зумовлюють просторову гетерогенність властивостей ґрунтів [1–3]. Численні дослідження свідчать про те, що ухил, висота і мікрорельєф, відіграють важливу роль у визначенні просторових варіацій властивостей ґрунту в різних масштабах [4–6]. Проте, просторова неоднорідність показників родючості ґрунтів і складний взаємозв'язок між ґрунтовими процесами та топографічними факторами у різних типах ландшафту залишаються недостатньо вивченими [7, 8]. Не є винятком і Харківський регіон, де орні угіддя розміщені як на увігнутих, так і опуклих формах рельєфу, ґрунти яких суттєво відрізняються за агрохімічними та продуктивними показниками, у зв'язку з чим вимагають додаткового вивчення.

На наш погляд, дослідження та аналізування просторової неоднорідності показників родючості орних ґрунтів сприятиме напрацюванню теоретичних і практичних підходів до створення моделі високоефективного агровиробництва. Інформація про реальну просторову неоднорідність властивостей ґрунту у межах поля дозволить захистити ґрунт від дефіциту елементів живлення та запобігти негативним проявам деградації, а також заощадити ресурси та, в кінцевому рахунку, сприятиме вирощуванню стабільних врожаїв конкурентоздатної сільськогосподарської продукції.

¹ Роботу виконано під керівництвом доктора с.-г. наук, с.н.с. І.В. Плisko.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Загальновідомо, що неоднорідність ґрунтового покриву має складну ієрархічну структуру — від локального до континентального рівня [9]. Складність ґрунтового покриву зумовлюється не лише типологічною розмаїтістю ґрунтів, а також їх сполученнями та розмірами ґрунтових ареалів.

Запаси поживних речовин у ґрунтах та їх доступність сільськогосподарським культурам, а також запаси продуктивної вологи в ґрунтовому середовищі, знаходяться у тісному взаємозв'язку і з природно-кліматичними умовами агроландшафтів. До таких чинників відносять особливості рельєфу, гідрогеологічних умов, ґрунтоутворних порід, клімату, але не виключають при цьому вплив зональних систем землеробства [10]. Сукупний вплив перелічених факторів визначає величину і якість урожаю сільськогосподарських культур.

Основною ознакою ґрунтового покриву вважається безперервність (континуальність), що полягає в поступовій зміні властивостей ґрунту у просторі, синхронізованій зі змінами ролі ґрунтоутворювальних факторів, а дискретність (просторова) є переважно штучною привнесеною категорією [11].

У роботах професора В.В. Медведєва [1, 12] ґрунт описується як продукт динамічного процесу, а залежність властивостей ґрунту від впливу чинників ґрунтоутворення має вірогіднісно-статистичний характер. Про що свідчить вплив комплексу ґрунтоутворювачів на формування діапазону параметрів властивостей ґрунтів. У межах земельної ділянки неоднорідність орних ґрунтів більшою мірою підпорядковується впливу мезо- і мікрорельєфу, у зв'язку зі змінами у зволоженні, різній глибині залягання підґрунтових вод, особливостями розподілу фітоценозів, мікроклімату та ін., що підтверджується результатами наукових досліджень [11, 12]. Збіг градієнтів рельєфу та трендів розміщення елементів живлення в межах окремого поля дозволяє виявити вплив горизонтальних потоків вологи на переміщення поживних речовин із внесених добрив, і формування своєрідного антропогенного горизонтального хімічного профілю орних ґрунтів.

Найбільш чутливим до зовнішніх умов, визнано шар ґрунту 0–30 см, адже більша частина змін властивостей ґрунту і умов для розвитку рослин в результаті використання довгострокових систем землеробства, типів землекористування та змін умов навколишнього середовища відбувається на цій глибині [13]. Саме у цьому просторі спостерігаються найбільш високі коефіцієнти варіації властивостей ґрунту [14].

На формування неоднорідності ґрунтового покриву впливають відмінності положення ґрунтів у рельєфі, що характеризується коливаннями висот. Мезорельєф і мікрорельєф відіграють особливу роль у перерозподілі тепла, вологи, поживних речовин у ґрунті, а також у просторовому поширенні основних типів ґрунтів.

У працях академіка В.В. Медведєва [15] неодноразово підтверджено вплив рельєфу на ґрунтоутворювальний процес, що підсилює просторову неоднорідність якості ґрунтів. Це може спостерігатись у вигляді процесів ерозії або акумуляції, оглеєння або опідзолення ґрунтів, а також інших процесів міграції речовин у ґрунтовому покриві. Саме завдяки різним швидкостям руху вологи і поживних речовин, залежно від вектора, виникають різноспрямовані рухи тонкодисперсної маси [16].

Українські дослідники визнають [17], що характеристика рельєфу є обов'язковою у дослідженні ґрунтів, вбачаючи, що саме ухил поверхні та експозиція схилу є важливими показниками, які опосередковано визначають родючість ґрунтів та впливають на врожайність сільськогосподарських культур на досліджуваній земельній ділянці (полі).

Ґрунти на увігнутих і опуклих формах рельєфу показують різну якість, порівняно з лінійним мікрорельєфом, в основному, через потік води. Просторова варіабельність топографічних особливостей, таких як рельєф, ухил поверхні та крутість схилу чинять наявність схилів різної форми, окрім регулювання транспортування води і поживних речовин, також визначає гідрологічний режим ґрунту та тип рослинності [18].

Наукові пошуки дослідників ННЦ «Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» [19] дозволяють отримати додаткове підтвердження ролі висот у просторовому розподілі параметрів властивостей ґрунту, зокрема, вмісту гумусу. Найвищий вміст було зафіксовано на верхніх частинах схилу, де має місце несуттєва інтенсивність стоку. У зв'язку з чим, особливої уваги необхідно приділяти експозиції та крутості схилу — факторам, що напряду пов'язані з просторовим розподілом поживних речовин.

Польовими дослідженнями у Бразилії [20] доведено, що відмінності у просторовій варіабельності (неоднорідності) агрохімічних показників ґрунту в різних типах ландшафту,

пов'язані з варіаціями форм рельєфу, за наявності, навіть, незначних перепадів висот. Ці результати стверджують, що бічні і поверхневі потоки води в увігнутих і опуклих формах визначають специфічні середовища, які мають вплив на генетичні особливості та властивості ґрунтів та сприяють розвитку значної просторової неоднорідності властивостей ґрунту.

З іншого боку, наявність різних типів ґрунтів у межах одного поля, що пов'язано з фізико-географічним середовищем та історією розвитку ґрунтового покриву, призводить до формування різних ґрунтових властивостей: водного режиму, вмісту поживних речовин та ін. [21].

Дотримуючись теорії, за якої рельєф є чинником утворення більш розвиненого ґрунту у пониженнях території порівняно зі схилами, П.В. Голеусов та В.К. Тохтарь [22] доводять, що це відбувається внаслідок додаткового надходження вологи, продуктів ґрунтоутворення та інших факторів. Мезорельєф суттєво впливає на розподіл кліматичних елементів (температура, опади) в межах невеликих територій та сприяє формуванню специфічних мікрокліматичних умов.

Продуктивність ґрунтів полів із мікрозападами помітно зменшується, а на найбільш підвищених ділянках поля, в більшості випадків, спостерігається нижча урожайність сільськогосподарських культур доводять — Стародубцев із співавторами [23, 24]. Разом з тим дослідники підкреслюють, що роль мікрозападин проявляється не тільки у формуванні складного ґрунтового покриву. За фільтрації поверхневих вод вглиб по ґрунтових горизонтах в мікрозападах інфільтруються хімікати, забрудники, радіонукліди, а також просочується частина дрібнодисперсної твердої фази ґрунту, завдяки чому мікрозападини не замулюються століттями.

За результатами досліджень ґрунтового покриву, відображеними у роботі І.А. Сахабієва зі співавт. [25], встановлено, що зони зі значним перепадом висот (від 80 до 140 м) відзначаються просторовою варіабельністю властивостей ґрунту — від 24 до 58 %; у слаборозчленованих зонах, з плоским рельєфом, неоднорідність є суттєво нижчою і становить від 13 до 30 %. Завдяки чому, відстежується прямий вплив форми рельєфу на просторовий розподіл елементів живлення у ґрунтах.

Разом з тим, ґрунти схилів, крім просторового розподілу елементів живлення та вологи, що надходить в основному з атмосферних опадів, характеризуються проявом ерозійних процесів, особливо на опуклих формах схилів, викликаючи при цьому суттєве зниження родючості еродованих орних ґрунтів.

Дослідження В.І. Мельника та ін. [26] свідчать, що на неоднорідних за формою рельєфу ділянках відрізняються умови для розвитку рослин, зокрема, у верхній частині схилу ґрунти, здебільшого, є змитими та малородючими, але зі сприятливими кліматичними умовами. Нижня частина схилів характеризується намитими та більш родючими ґрунтами, проте може спостерігатись менш сприятливий мікроклімат для стабільного росту та розвитку сільськогосподарських культур.

Дослідженнями білоруських вчених теж доведено [27], що варіювання різних показників при окультуренні земель відбувається складним чином. За деякими параметрами можна досягти зменшення варіювання за рахунок гомогенізації ділянки, наприклад, ємність катіонного обміну, рідше, кислотність ґрунту, вміст гумусу. Інші параметри, наприклад, вміст азоту, фосфору і калію, в основному, залежать від рівня окультуреності ґрунтів, зокрема, внесення мінеральних добрив, що дозволяє регулювати кількість поживних речовин у ґрунтах та сприяє вирівнюванню їх родючості.

Отже, різні форми рельєфу відображають мікрокліматичні відмінності кожної території, у зв'язку з надходженням і віддачею радіаційного тепла, змін температури ґрунту, стоку і підйому повітряних мас, а також інших перелічених раніше чинників, які впливають на формування особливих властивостей ґрунтового покриву.

Більшість дослідників [10, 27] вважають, що закономірності змін неоднорідності показників родючості ґрунтів при окультуренні мають регіональний характер, у зв'язку з чим їх слід виявляти для кожної територіальної одиниці окремо. Адже, рельєф часто обумовлює поєднання абіотичних факторів та перерозподіляє тепло, вологу, світло, які є зональними особливостями території, тобто, залежать від широти місцевості.

Мета статті — висвітлити результати польових досліджень з виявлення просторового розподілу властивостей ґрунту у межах поля зі складним мікро- та мезорельєфом та аналізу особливостей впливу різних елементів рельєфу на неоднорідність ґрунтової родючості.

3. Об'єкти та методи досліджень

Дослідження просторової неоднорідності параметрів основних агрохімічних характеристик орного ґрунту проведено на двох об'єктах у Харківській області в зоні Лівобережного Лісостепу України.

Дослідний об'єкт № 1 — земельна ділянка на території ДП ДГ «Граківське» в с. Новий Коротич Харківського району площею 31,7 га. Ґрунтовий покрив представлено чорноземом опідзоленим (Chernic Phaeozem) (в тому числі намитим), темно-сірим опідзоленим (Luvic Greyzemic Phaeozem) слабксероморфним ґрунтом у комплексі з його еродованими аналогами. Гранулометричний склад ґрунтів у межах поля — важкосуглинковий. Схему відбирання проб ґрунту зображено на рис. 1 А, відстань між точками — 100 м. Вирощувана культура — кукурудза на зерно. Проби ґрунту відібрано у червні 2020 р.

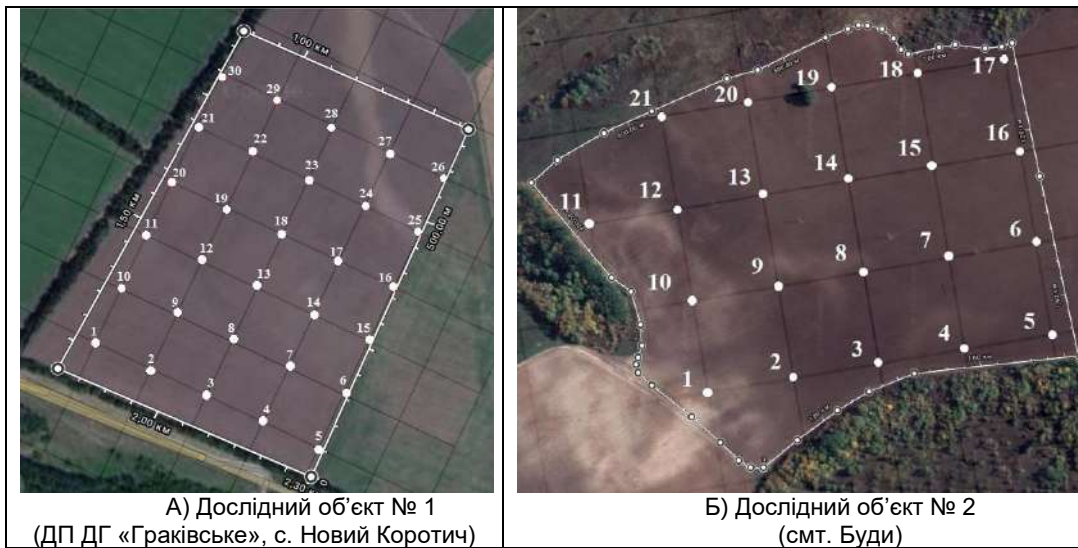


Рис.1. Схема точок відбирання проб ґрунту на дослідних об'єктах (на базі Google-мап)

Земельна ділянка має ухил поверхні 1,5-2,5 градусів, спостерігаються значні зміни висот на поверхні ділянки — від 120 до 145 м за даними топографічних карт [28] (Рис. 2 А).

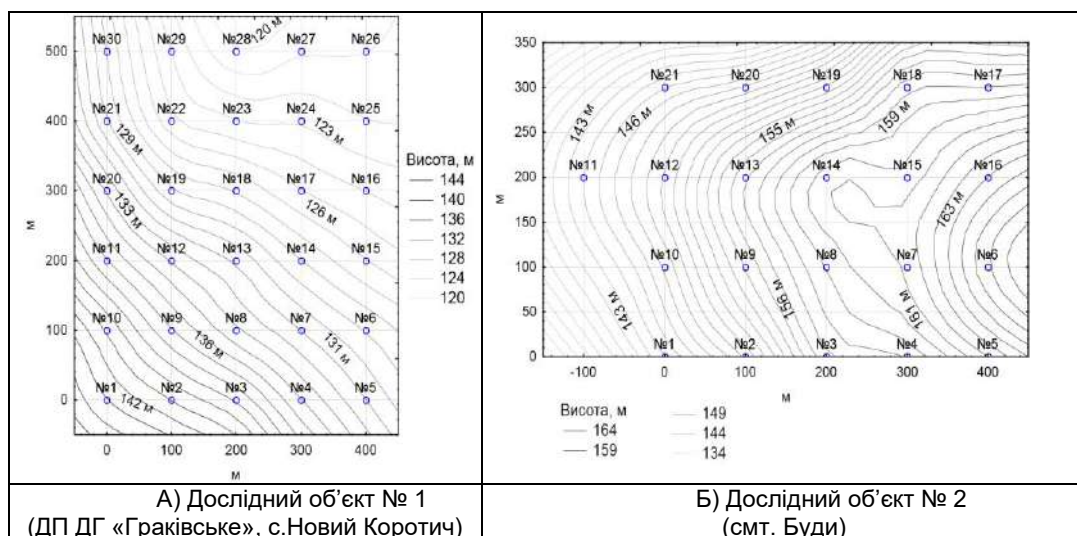


Рис. 2. Картохема рельєфу дослідних об'єктів

Дослідний об'єкт № 2 — земельна ділянка площею 20 га — частина поля, яке знаходиться біля с.мт. Буди Харківського району. Схему точок відбирання проб ґрунту зображено на рис. 1 Б, відстань між точками — 100 м. Ґрунтовий покрив ділянки представлено сірим лісовим (Haplic Luvisol) та темно-сірим опідзоленим (Luvic Greyzemic Phaeozem) ґрунтами важкосуглинкового гранулометричного складу на лесових породах та їх слабо- і

середньозмитими аналогами, які розташовані на схилах різної крутості. Проби ґрунту відібрано у липні 2020 р. Вирощувана культура — озима пшениця.

Рельєф об'єкту № 2 представлений хвилястою рівниною зі значними амплітудами висот, чергуванням підвищень та знижень поверхні, що зумовлює локальний перерозподіл тепла та вологи. Ухил поверхні змінюється від 2 до 6 градусів, перепад висот варіює від 135 до 173 м (Рис. 2 Б). Обстежена земельна ділянка характеризується низькою стійкістю до дефляції через відсутність вільної вологи та низьку грудкуватість верхнього шару ґрунту.

Загалом, обидва дослідні об'єкти характеризуються як ерозійно небезпечні території (ухил поверхні 1-5 %) з проявами ерозійних процесів, що дало змогу простежити вплив різних елементів рельєфу на неоднорідність ґрунтових параметрів. Обстежені ґрунти на обох об'єктах відносяться до автоморфного типу, що визначає перевагу рельєфу та низхідних потоків атмосферних опадів у перерозподілі елементів живлення разом із пониженням території.

Варто відмітити, що традиційними методами відбирання ґрунтових проб для аналізу вмісту поживних елементів, як в Україні, так і за кордоном [29], передбачено отримання усереднених значень показника для всього поля, що й слугує основною для розрахунку однакової дози внесення добрив на все поле. З появою можливості диференційованого внесення добрив виникла необхідність відбирати більшу кількість проб для виявлення просторової неоднорідності агрохімічних показників родючості ґрунту в межах поля. Ми використали запропонований академіком В.В. Медведєвим [12], для визначення неоднорідності властивостей орних ґрунтів, метод пробовідбирання за регулярною сіткою з географічною прив'язкою точок.

На дослідних об'єктах точкові проби ґрунту відібрано буром із шару 0–30 см за вимогами, описаними в ДСТУ 4287:2004². Для визначення основних агрохімічних показників ґрунту застосовано такі аналітичні методи: загальний вміст гумусу — методом Тюріна в модифікації ЦІНАО за ДСТУ 4289:2004³; вміст рухомих сполук фосфору і калію — за модифікованим методом Чирикова за ДСТУ 4115:2002⁴; вмісту нітратного й амонійного азоту — за ДСТУ 4729:2007 в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського⁵; рНвод. — за ДСТУ 8346:2015⁶.

Для характеристики наявності в ґрунті поживних елементів використано шкалу рівня забезпеченості (високий, середній, низький) за національними критеріями⁷.

Картосхеми рельєфу дослідних об'єктів побудовано на основі даних топографічної карти [28]. Для оцінювання ступеня загальної варіативності та для візуалізації просторової неоднорідності досліджених показників ґрунту використано методи дисперсійного аналізу та картографічний метод обробки даних. Картосхеми (2Д діаграми) просторового розподілу досліджуваних параметрів (Рис. 3-7) побудовано у програмі Statistica.

4. Результати досліджень

У ході досліджень виявлено просторову неоднорідність основних агрохімічних показників ґрунтів та оцінено вплив елементів рельєфу на їх розподіл в межах дослідних об'єктів. У табл.1 наведено максимальні, мінімальні значення досліджених показників та значення їх коефіцієнтів варіації (Cv).

Існування неоднорідності (за $C_v > 25\%$) на об'єкті № 1 підтверджено для вмісту рухомого фосфору, на об'єкті № 2 — для вмісту гумусу та рухомого фосфору. Інші показники наближаються до цього значення Cv, але не перевищують його.

² ДСТУ 4287:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб [Чинний від 2005-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 9 с.

³ ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини [Чинний від 2005-07-01]. К.: Держстандарт України, 2005. 18 с.

⁴ ДСТУ 4115:2002 ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова [Чинний від 01.01.2003] К.: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. 6 с.

⁵ ДСТУ 4729:2007 Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського [Чинний від 2008-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 9 с.

⁶ ДСТУ 8346:2015 Якість ґрунту. Методи визначення питомої електропровідності, рН і щільного залишку водної витяжки. [Чинний від 2017-07-01]. Київ: УкрНДНЦ, 2017. 10 с.

⁷ Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / за ред. І.П. Яцука, С.А. Балюка. Вид. 2-е допов. Київ, 2019. 108 с.

Таблиця 1

Результати дослідження основних ґрунтово-агрохімічних показників орних ґрунтів на дослідних об'єктах

Показник, одиниця вимірювання	Максимальне значення	Мінімальне значення	Коефіцієнт варіації (Cv), %
<i>Дослідний об'єкт № 1</i>			
Вміст гумусу, %	3,78	2,46	9
Загальний вміст азоту, мг на кг/ґрунту	11,16	5,39	17
Вміст рухомого фосфору, мг на кг/ ґрунту	238,9	33,2	74
Вміст рухомого калію, мг на кг/ґрунту	114,60	69,29	18
pH водної витяжки	7,06	5,80	4
<i>Дослідний об'єкт № 2</i>			
Вміст гумусу, %	3,1	0,84	34
Загальний вміст азоту, мг на кг/ґрунту	14,54	7,26	20
Вміст рухомого фосфору, мг на кг/ ґрунту	26,34	1,43	64
Вміст рухомого калію, мг на кг/ґрунту	141,59	54,23	23
pH водної витяжки	6,1	5,72	2

Розглянемо детальніше просторовий розподіл неоднорідності за дослідженими показниками.

Вміст гумусу. Аналіз даних з умісту гумусу в точкових пробах показав, що за цим показником ґрунти дослідного об'єкту № 1 визначаються як ґрунти із середнім та підвищеним його вмістом (Рис. 3А). Наявний підвищений вміст гумусу зумовлюється присутністю на ділянці чорнозему опідзоленого та його намитих аналогів.

З'ясовано, що просторовий розподіл вмісту гумусу на досліджуваних ділянках є неоднорідним залежно від ухилу поверхні, у зв'язку з чим складаються різні пропорції між його акумуляцією та розкладанням. Найкраще забезпеченими гумусом виявились ґрунти, які розташовані на найвищих точках рельєфу та у місцях із мікропониженнями і мікрозападинами.

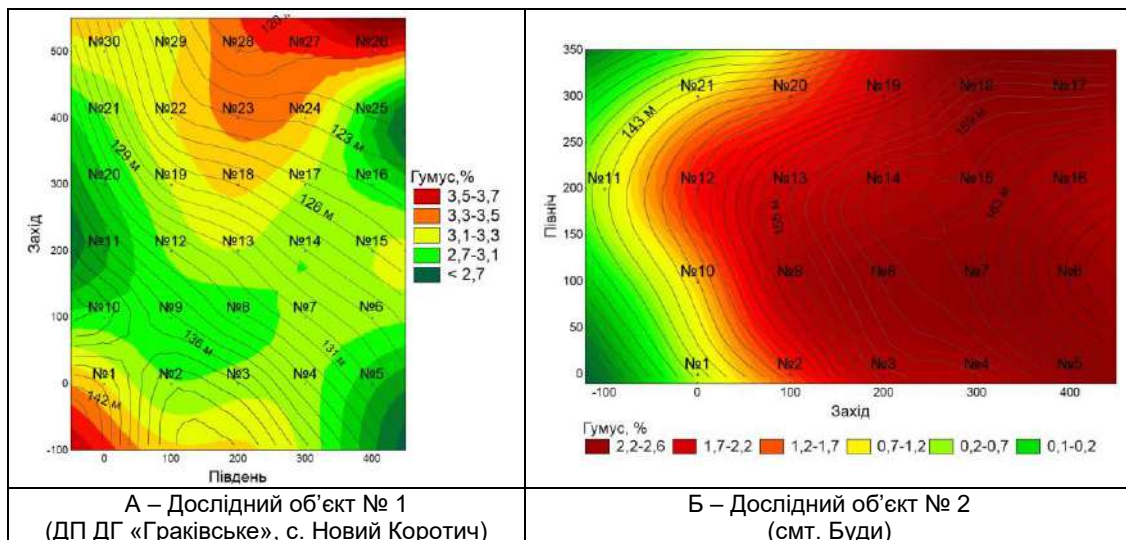


Рис.3. 2Д діаграма вмісту гумусу на дослідних об'єктах

Встановлено, що за вмістом гумусу найбільш забезпеченими є ґрунти чорноземного типу. Виявилося, що на деяких ділянках із темно-сірими ґрунтами спостерігається зниження вмісту гумусу в орному шарі, що може бути пов'язано зі змиванням гумусу вниз по профілю через його генетичну особливість — диференціацію за елювіально-ілювіальним типом, а також через наявність еродованих різновидів ґрунту

завдяки присутності «негативних» елементів рельєфу у вигляді понижень та схилів зі значним ухилом — до 6 градусів.

Більша частина ґрунтів дослідного об'єкту № 2 (сmt. Буди) характеризується низьким рівнем забезпеченості гумусом в орному шарі. Лише 20-25 % від загальної площі об'єкту мають середній та підвищений вміст гумусу (Рис. 3 Б). На відміну від дослідного об'єкту № 1, значні ухили поверхні дослідного об'єкту № 2 апіорі обумовлюють зниження потужності і гумусованості ґрунтів. В цьому випадку більшу роль у просторовому розподілі гумусу відіграє саме рельєф території. Найбільшим вмістом гумусу відзначаються ділянки, розташовані на найвищих точках рельєфу, що свідчить про стійкість ґрунтів до змиву горизонтальними водними потоками разом зі зменшенням крутості схилу.

Зміни вмісту гумусу мають залежність також від розподілу вмісту рухомого фосфору, що вже також було підтверджено дослідженнями вчених [29]. В цілому, ґрунти еродованих схилів характеризуються зниженим вмістом гумусу порівняно з повнопрофільними ґрунтами.

Загальний вміст азоту. Можна передбачити, що низький загальний вміст азоту також відображає залежність як від форми рельєфу на дослідному об'єкті № 2, так і від вмісту гумусу. Адже нітратна форма азоту більше піддається вимиванню атмосферними опадами вниз по профілю або за його межами, у зв'язку з чим більша загальна кількість азоту може спостерігатись у мікропониженнях (Рис. 4). До того ж з підсиленням прояву еродованості ґрунтів, з одного боку, істотно знижуються запаси азоту, а з іншого — збільшуються його втрати внаслідок водної чи вітрової ерозії та процесів денітрифікації, що призводить до необхідності застосування підвищених доз азотних добрив.

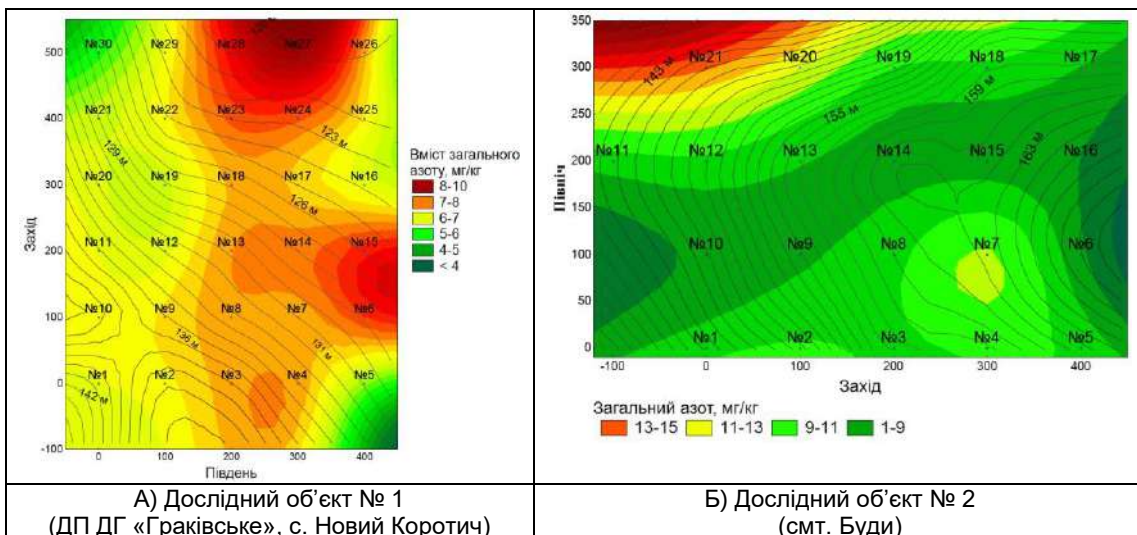


Рис. 4. 2Д діаграма загального вмісту азоту на дослідних об'єктах

Виявлено, що найбільший вміст азоту в межах дослідного об'єкту № 1 мають чорнозем опідзолені намитий та ґрунти у підвищено зволжених місцях (Рис. 4А). Звичайно, загальний вміст азоту залежить від рівня природної родючості ґрунту на кожній земельній ділянці, а також інших вагомих чинників — рівня окультуреності ґрунтів, системи удобрення, попередника, здатності поглинати рослинами елементи живлення, характеру протікання мікробіологічних процесів та ін. На дослідному об'єкті № 2 прослідковується менший вплив елементів рельєфу на просторовий розподіл загального вмісту азоту (Рис. 4Б).

В цілому, ґрунти дослідних об'єктів характеризуються дуже низьким та низьким загальним вмістом азоту, що є обґрунтованою підставою для здійснення своєчасного підживлення сільськогосподарських рослин азотними добривами.

Вміст рухомого фосфору. Просторовий розподіл вмісту рухомого фосфору в межах дослідних об'єктів характеризується дуже високим коефіцієнтом варіації (74 % для дослідного об'єкту № 1 та 64 % для дослідного об'єкту № 2) (Рис. 5).

ґрунти дослідного об'єкту № 1 характеризуються більш високим рівнем забезпеченості: більшість обстеженої площі поля характеризується середнім та високим вмістом цього елементу (Рис. 5 А).

На відміну від чорноземних ґрунтів дослідного об'єкту № 1 з високими природними властивостями та великою активною поверхнею, сірі лісові та темно-сірі опідзолені ґрунти

об'єкту № 2 характеризуються дуже низьким та низьким вмістом рухомого фосфору (Рис. 5 Б). Останнє може бути викликано здійсненням суцільного удобрення всієї площі, без урахування якості ґрунту, або внаслідок низької розчинності елементу живлення.

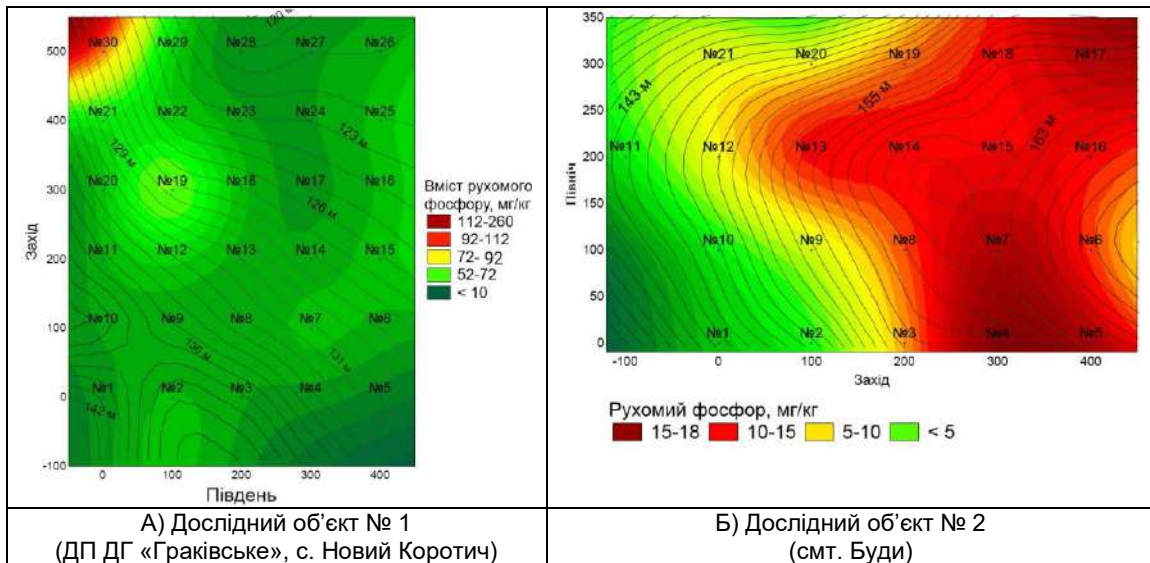


Рис.5. 2Д діаграма вмісту рухомого фосфору на дослідних об'єктах

Також на вміст рухомого фосфору значно впливає обсяг внесення мінеральних добрив, чим, певним чином, зумовлено посилення доступності фосфору рослинам [30]. Доступність і можливість екстрагування рухомого фосфору значною мірою визначається природою та зв'язком з орґано-мінеральними компонентами ґрунту. Загалом, на вміст цього елементу в ґрунтах впливає низка факторів, серед яких: вміст фосфору у материнській породі (переважно у вигляді малодоступних рослинам апатитоподібних сполук), здатність вирощуваної культури поглинати фосфор із добрив, види та норми внесених добрив та їх агрегатний стан, кількість орґанічної речовини. На просторовий розподіл вмісту рухомого фосфору впливають також неоднорідні форми рельєфу. В ході досліджень на найвищих елементах рельєфу зафіксовано найбільші значення вмісту рухомого фосфору (Рис. 5 Б).

Вміст рухомого калію. Забезпеченість досліджених орних ґрунтів рухомих калієм є дещо кращою порівняно з їх забезпеченістю рухомих фосфором, змінюючись від середнього до високого рівнів (Рис. 6). Існуючий рівень забезпеченості рухомих калієм визначається важким гранулометричним складом ґрунтів та відображає урівноважений баланс між вмістом калію і ступенем його рухомості.

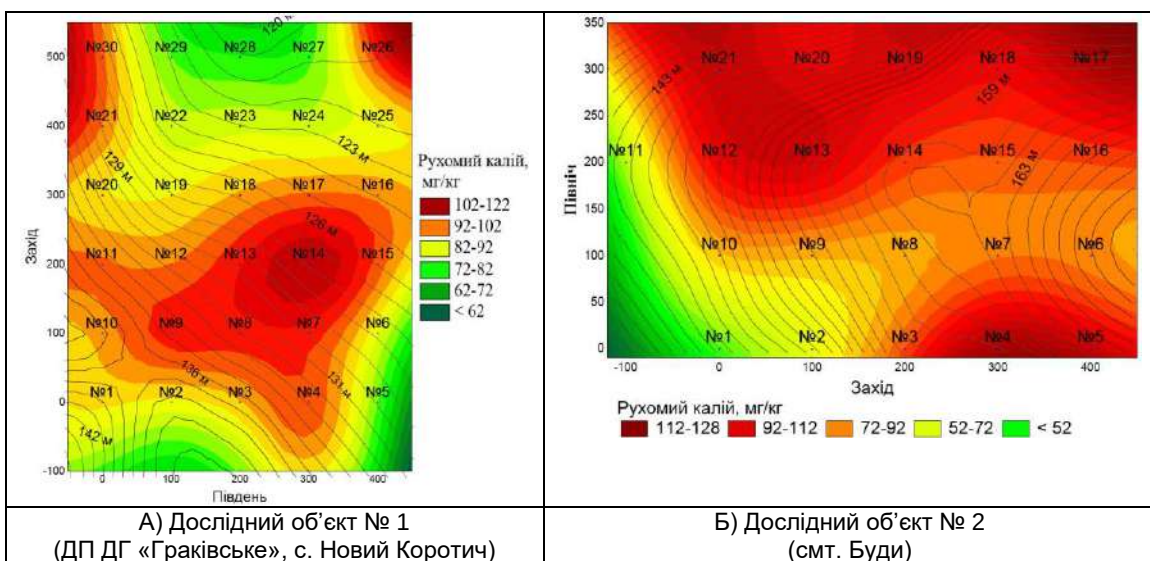


Рис.6. 2Д діаграма вмісту рухомого калію на дослідних об'єктах

Просторовий розподіл вмісту рухомого калію в межах дослідних об'єктів має тенденцію збільшення разом із пониженням форм рельєфу.

В цілому, за наявності різних елементів рельєфу можна прослідкувати тенденції просторового розподілу елементів живлення. Саме перепад висот, ухил поверхні та експозиція схилу визначено важливими показниками, які опосередковано впливають на просторовий розподіл елементів живлення.

В цілому, для дослідного об'єкту № 1 зони збагачення елементами живлення збігаються з пониженнями у рельєфі, зони збіднення — з підвищеннями. Вміст рухомого калію та загальний вміст азоту у ґрунті дослідного об'єкту № 2 підтверджують вищезазначені висновки, окрім просторового розподілу гумусу та рухомого фосфору. В даному випадку суттєву роль також відіграє стійкість ґрунту до вимивання елементів живлення, здатність поглинати елементи живлення рослинами та розроблені системи удобрення. Однозначно, на просторову неоднорідність досліджених показників родючості ґрунтів впливає ряд факторів, серед яких, більшою мірою, це — вплив господарської діяльності, кліматичних та топографічних особливостей території і просторового розподілу різновидів ґрунту.

Показник рН водний. Як відомо, кислотно-основні властивості ґрунту залежать від хімічного і мінералогічного складу, характеру і кількості органічної речовини, складу газової фази ґрунту, вологості, біологічної активності. Саме показник pH_{H_2O} є важливою властивістю ґрунту, що впливає на характер більшості фізичних, хімічних і біологічних процесів.

В ході досліджень виявлено значну просторову неоднорідність за показником $pH_{водн.}$, яка опосередковано свідчить про різноспрямований вплив природних чинників, насамперед, елементів рельєфу (Рис. 7). В межах дослідного об'єкту № 1 виявлено слабокислі, близькі до нейтральних, нейтральні та слаболужні ґрунти, дослідного об'єкту № 2 — середньокислі, слабокислі та близькі до нейтральних ґрунти. Роль рельєфу вельми чітко простежується за зіставлення карти топографії місцевості і картограм розподілу значень pH_{H_2O} . Варіабельність параметрів також пов'язана з просторовою неоднорідністю вмісту гумусу в досліджених ґрунтах.

Доведено, що на підвищених ділянках цей показник наближається до нейтральних значень, на понижених — ближче до підкислення. Швидше за все, це може бути пов'язано з особливостями міграції кальцію з підвищених частин поля у понижені або бути наслідком більш помітних втрат кальцію з вертикальними потоками на підвищених частинах поля. Таким чином, вплив рельєфу та господарської діяльності, мабуть, є першопричиною виявленої неоднорідності ґрунтового покриву за цим показником.

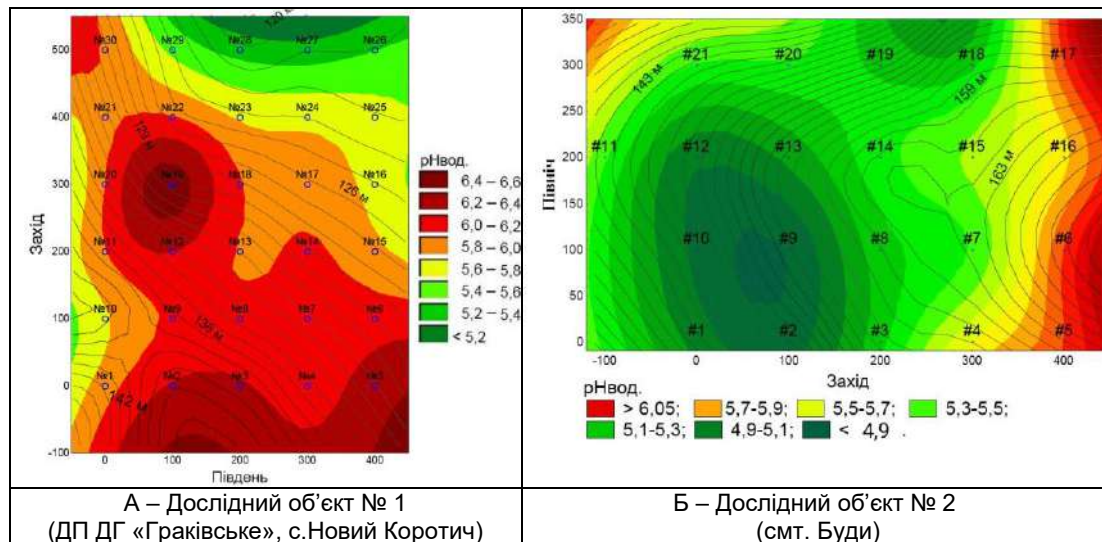


Рис. 7. 2Д діаграма значень pH_{H_2O} на дослідних об'єктах

Загалом, основна площа орних ґрунтів характеризується нейтральним та близьким до нейтрального рівнем реакції ґрунтового розчину, що забезпечує оптимальні умови для біологічної активності, азотфіксації та розкладання органічних залишків.

Виявлено, що варіювання досліджених агрохімічних показників ґрунту у просторі, помітно визначається виразністю рельєфу місцевості. Дослідження дозволили установити ґрунти з низьким рівнем забезпеченості елементами живлення. Таким чином, оптимізація

живлення рослин і підвищення родючості ґрунтів можуть бути досягнені шляхом застосування різних видів та доз добрив з урахуванням неоднорідності параметрів основних показників.

5. Висновки

Результати досліджень свідчать про те, що ґрунтовий покрив двох обстежених ділянок є неоднорідним через наявність «негативних» елементів рельєфу у вигляді понижень та схилів значної крутості.

Перерозподіл атмосферної вологи на поверхні досліджених об'єктів з таким рельєфом призводить до концентрації вологи у мікропониженнях, її фільтрації вглиб ґрунтового профілю, у зв'язку з чим спостерігається вимивання деяких елементів живлення і продуктів ґрунтоутворення. В результаті, формується дуже складний ґрунтовий покрив, представлений не тільки чорноземами типовими, але й темно-сірими опідзоленими ґрунтами та їх змитими аналогами.

З'ясовано, що існування неоднорідних форм рельєфу і наявність мікропонижень на обстежених ділянках, що, очевидно, викликало нерівномірний розподіл вологи опадів, істотно вплинуло на формування неоднорідності властивостей ґрунтів у межах одного поля (земельної ділянки).

Найбільшим умістом гумусу відзначається ґрунт на тих фрагментах поля, що розташовані на найвищих точках рельєфу, що свідчить про стійкість органічної частини ґрунтів до змиву горизонтальними водними потоками. Збільшення вмісту гумусу також притаманне ділянкам із мікропониженнями і мікрозападинами.

Просторовий розподіл загального вмісту азоту залежить від ухилу поверхні та експозиції схилу. Азот накопичується у пониженнях рельєфу, отже піддається вимиванню вологою атмосферних опадів.

На просторовий розподіл вмісту рухомого фосфору впливає неоднорідність форм рельєфу, наявність схилів різної експозиції та перепадів висот, але не виключається вплив генетичних особливостей ґрунтів з високими природними властивостями та великою активною поверхнею. Найбільші значення вмісту рухомого фосфору наявні на найвищих елементах рельєфу та схилах північно-західної експозиції.

На розподіл вмісту рухомого калію значно вплинули неоднаковість форм рельєфу та крутість ухилів поверхні. Через змивання ґрунту атмосферними водами вниз по схилу спостерігається збільшення вмісту рухомого калію у ґрунті на понижених формах рельєфу.

Виявлено, що показник pH_{H_2O} також залежить від рельєфу території. На підвищених ділянках дослідних об'єктів значення pH_{H_2O} наближаються до нейтральних, на понижених — до підкислення.

Результати вказують на доцільність впровадження диференційованого внесення добрив та хімічних меліорантів залежно від просторового розподілу властивостей ґрунту. Отримані результати дослідження сприятимуть підвищенню ефективності використання мінеральних добрив, що сприятиме нівелюванню агрохімічної строкатості полів і підвищенню урожаїв сільськогосподарських культур.

Список використаних джерел

1. Медведев В.В. Неоднорідність ґрунтів як фундаментальна проблема (частина 1). *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2009. Вип. 72. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 7–16.
2. Imhoff S., Pires da Silva A., Tormena C.A. Spatial heterogeneity of soil properties in areas under elephant-grass short-duration grazing system. *Plant and Soil*. 2000. 219(1-2), P. 161–168. <https://doi.org/10.1023/A:1004770911906>.
3. Spatial heterogeneity of soil nitrogen in a subtropical forest in China / L. Wang, P.P. Mou, J. Huang [et al.]. *Plant and Soil*. 2007. 295(1-2). P. 137–150. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9271-z>.
4. Association between lowland grassland plant communities and soil properties / C.N.R. Critchley, B.J. Chambers, J.A. Fowbert [et al.]. *Biological Conservation*. 2002. 105(2), P. 199–215. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00183-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00183-5).
5. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China / X.Y. Zhang, Y.Y. Sui, X.D. Zhang [et al.]. *Pedosphere*. 2007. 17(1). P. 19–29. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(07\)60003-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(07)60003-4).
6. Taten R., Takeda H. Forest structure and tree species distribution in relation to topography-mediated heterogeneity of soil nitrogen and light at the forest floor. *Ecological Research*. 2003. 18(5). P. 559–571. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2003.00578.x>.
7. Soil nutrients influence spatial distributions of tropical trees species / R.J. Chandran, J.W. Dalling, K.E. Harms, J.B. Yavitt. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2007. 104(3). P. 864–869. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604666104>.
8. Spatial heterogeneity of soil chemical properties in a lowland tropical moist forest / J. B. Yavitt, K. E. Harms, M. N. Garcia [et al.]. *Australian Journal of Soil Research*. 2009. 47(7), P. 674–687. <https://doi.org/10.1071/SR08258>.

9. Захарченко А.В., Алексеев В.И., Ипатова Д.В. Иерархическая концепция неоднородности почв и планирование масштаба исследования. Известия Томского политехнического университета. *Инжиниринг георесурсов*. 2016. Т. 327, № 4. С. 149-163.
10. Безніцька Н.В. Формування показників родючості і продуктивності меліорованих ґрунтів в умовах регіональних змін клімату (на прикладі Херсонської області). дис. ...канд. с.-г. наук : 06.01.02. *ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»*, 2017. 230 с.
11. Medvedev V.V. Continuity and dyscretivity of soils for fields: applied consequences for agriculture. *Fundamental and Applied Soil Science*. 2015. 16 (1–2). P. 11–25. <https://doi.org/10.15421/041502>.
12. Медведев В.В. Неоднородность почв и точное земледелие. Часть 1. Введение в проблему. Харьков: Изд. «13 типография», 2007. 296 с.
13. Mishra U., Riley W.J. Alaskan soil carbon stocks: spatial variability and dependence on environmental factors. *Biogeosciences*. 2012. No. 9, P. 3637-3645. <https://doi.org/10.5194/bg-9-3637-2012>.
14. Yihenew G.S., Getachew A. Effects of different land use systems on selected physico-chemical properties of soils in Northwestern Ethiopia. *Journal of Agricultural Scienc*, 2013. Vol. 5, No. 4. P. 114-117. <https://doi.org/10.5539/jas.v5n4p112>.
15. Медведев В.В. Неоднородность как закономерное проявление горизонтальной структуры почвенного покрова. *Ґрунтознавство*. 2010. Т. 11, № 1-2. С. 6-15.
16. Medvedev V.V. Time and spatial heterogenization of soil ploughed up. *Ґрунтознавство*. 2013. 14(1-2). P. 5-22.
17. Медведев В.В., Плиско И.В. Бонитировка и качественная оценка пахотных земель Украины. Харьков: Изд. «13 типография», 2006. 386 с.
18. Use of Topographic Models for Mapping Soil Properties and Processes / X. Li, G.W. McCarty, L. Du, S. Lee. *Soil Systems*. 2020. 4. P. 32. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4020032>.
19. Белопіський В.О., Лактіонова Т.М., Полулях М.М. Оцінка ймовірності просторової мінливості вмісту гумусу у картуванні ґрунтів на басейновій основі. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2017. Вип. 86. С. 24-34. <https://doi.org/10.31073/acss86-03>.
20. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes / Z.M. Souza, Júnior J. Marques, G.T. Pereira, D.M. Barbieri. *Scientia agricola*. 2006. Vol. 63, no.2. P. 161-168. URL: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000200008>.
21. Modern approach in farming based on estimation of soil properties variability / O.L. Tonkha, S.O. Sychevskiy, O.V. Pikovskaya, V.P. Kovalenko. *12th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. 2018. P. 68-74. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.115.17>.
22. Голєусов П.В., Тохтарь В.К. Взаимосвязь формирования почвенного и растительного покровов на участках с антропогенно нарушенной поверхностью. *Промышленная ботаника*. 2011. Вып. 11. С. 14–18.
23. Просторова неоднорідність продуктивності типових чорноземів на полях з мікрозападинам / В.М. Стародубцев, І.С. Власенко, Р.М. Басараб Д.С. Комарчук. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2018. 3(73). 8 с.
24. Milestones of the soil cover heterogeneity investigation in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine / V.M. Starodubtsev, R.M. Basarab., Yu.A. Rosamakhia I.S. Vlasenko. *Journal «Almanahul SWorld»*. Moldova, Issue 1, January 2019. P. 56-64. <https://doi.org/10.30888/2410-6615.2019-01-01>.
25. Characterization of the spatial heterogeneity of the agrochemical properties of arable chernozem soils in areas with a heterogeneous relief in the aspect of variable rate application / I.A. Sahabiev, E.V. Smirnova, K.G. Giniyatullin, L.Yu. Ryzhikh. IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science*. 2021. 659. 012071. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012071>.
26. Мельник В.И., Чигрина С.А. Микроклимат каждого из полей, как фактор влияния на темпы проведения работ и потребность в технике. *Констрування, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 2009. Вип. 39. С. 319-325. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/3049>.
27. Пространственная неоднородность почвенного покрова и агрохимических показателей почв Солигорского района / Н.В. Клебанович, А.Л. Киндеев, А.А. Сазонов [и др.]. *Земля Беларуси*. 2019. № 1. С. 39-48.
28. Топографічні карти. Харківська область. Масштаб 1: 10000 см [Електронний ресурс] URL: <https://ru-topographic-map.com/maps/v8t3/>
29. Syers J.K., Johnston A.E., Curtin D. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use: reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information. *Experimental Agriculture*. 45(01). Rome, 2009. 108 p. <https://doi.org/10.1017/S0014479708007138>

UDC 631.4:52-83

To the issue of the role of relief in the formation of spatial heterogeneity of soil parameters

K.M. Kutsova

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine
E-mail: karinamatveeva48@gmail.com

The results of the study of the role of relief in the formation of the spatial heterogeneity of humus content, available compounds of phosphorus and potassium, the total content of nitrogen and $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ within the arable layer are highlighted. The study was carried out on two fields in the Kharkiv region in the zone of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The soil cover of one of the fields is represented by gray forest (Haplic Luvisol) and dark gray podzolized (Luvic Greyzem Phaeozem) soils, the second – by podzolized chernozem (Chernic Phaeozem) (including reclaimed) and dark gray podzolized (Luvic Gremizem) with eroded counterparts. According to the granulometric composition, all soils are heavy loamy. Relationships were found between the main indicators of soil fertility and the characteristics of the relief of the surveyed land plots, cartographic materials were created for the spatial distribution of nutrients using statistical methods of data processing. The existence of spatial heterogeneity of soil properties ($\text{Cv} > 25\%$) was

confirmed and factors influencing the features of their spatial distribution were determined. It was found that the existence of heterogeneous landforms and, in particular, the presence of microdepressions in the surveyed areas, causes an uneven distribution of precipitation, which significantly affects the formation of heterogeneity of soil quality within the field – the content of nutrients (nitrogen, phosphorus and potassium) and soil pH. The results show that the soil at high relief points and in micro-depressions is better provided with humus and available phosphorus compounds. The zones of available potassium and nitrogen enrichment coincide with depressions in the relief. The reason for the distribution of nutrients is the migration of flows of substances, the intensity of which depends on the topographic features of the territory. It was found that the soil at higher parts of the field is characterized by pH_{H2O} values close to neutral. Relative acidification of the soil was found in areas with a sharp slope of the surface. Based on the results, recommended to take into account the peculiarities of the spatial distribution of soil properties in the practice of applying fertilizers and chemical ameliorants.

Keywords: soil properties; spatial heterogeneity; microrelief; nutrients; microdepressions; surface slope; coefficient of variation.

Citing: Kutsova K.M. (2021). To the issue of the role of relief in the formation of spatial heterogeneity of soil parameters. *AgroChemistry and Soil Science*. 92, 80-91. [doi:10.31073/acss92-09](https://doi.org/10.31073/acss92-09) [in Ukrainian].