

---

# МЕЛІОРАЦІЯ І РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ

---

МЕЛІОРАЦІЯ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

MELIORATION AND SOIL FERTILITY

УДК 631.471:631.481+528.854:528.855

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-2.26>

---

## ОЦІНЮВАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ЗА ДОПОМОГОЮ КОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

---

**Биндич Т.Ю.** – к.б.н., с.н.с., в.о. завідувач

сектором дистанційного зондування ґрунтового покриття,

Національний науковий центр

«Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

Для забезпечення високих вимог до точності й об'єктивності даних про стан ґрунтових ресурсів країни пропонується використання багатоспектральних космічних знімків високого розрізнення, для яких характерні географічна відповідність, континуальність, регулярна поновлюваність. Відзначено, що космічні знімки є тим сучасним цифровим матеріалом, який за допомогою сучасних геоінформаційних систем дозволяє проводити точне визначення неоднорідності ґрунтового покриття навіть на рівні детальних або великомасштабних обстежень. За результатами регіональних досліджень у Лісостеповій зоні, на полігоні «Лісова Стінка 1», встановлено достатню інформативність сумісного аналізу результатів класифікації космічного зображення та картограм, побудованих за крігінг-аналізом даних наземного обстеження, для визначення ґрунтових відмін. Шляхом класифікації космічних зображень відкритої поверхні ґрунту доведено ефективність їх використання для диференціації розподілу систематично близьких, орних чорноземів і визначення їх найнижчих таксонів із відмінами за загальним вмістом гумусу, гідролітичною кислотністю, вмістом фізичної глини. За результатами геостатистичного експрес-аналізу даних точкового відбору проб, які відібрані з поверхневого шару за загальним індексом Морана ( $I_M$ ) та його супутніми оцінками, встановлено, що результати класифікації даних космічної зйомки коректно відображають просторову структуру варіабельності ґрунтових властивостей у межах поверхневого шару. Цей досвід дозволяє використовувати автокореляційний аналіз даних космічних зображень і даних польових обстежень на наборі ґрунтових показників як основний метод оцінювання точності картографування ґрунтів для впровадження у практику ґрунтознавства.

**Ключові слова:** ґрунтовий покрив, космічне зображення, геостатистичний аналіз, крігінг, ґрунтове картографування.

**Byndych T.Yu. The assessment of soil cover differentiation by space imagery**

The use of high-resolution multispectral satellite images, which typically have geographical compliance, continuity, and are regularly updated, are justified as promising approach to ensuring compliance to high requirements for the accuracy and impartiality of the data on the national soil resources. It was marked that satellite images, as up-to-date digital materials, in conjunction with modern geographic information systems, provide means of precise determining the soil heterogeneity, both in detailed and large-scale surveys. According to the results of regional studies in the Forest-Steppe zone, on the polygon Lisova Stinka 1, the coherent analysis of a satellite image and a cartogram classification results, performed using kriging analysis of land survey data, is proven to be informative enough to identify soil variations. Classification of the open soil

---

*surface satellite images has proven the efficiency of their use for differentiating the distribution of systematically close, arable chernozems and determining their lowest peds, as well as variations in the total humus content, hydrolytic acidity and physical clay content. Rapid geostatistical analysis of data obtained by soil sampling of the surface layer, according to the global Moran's index (IM) and associated estimates, has shown the results of satellite imagery data classification to correctly reflect the spatial structure of variability of soil characteristics within the surface layer. This experience allows to recommend using of an autocorrelation analysis of space imaging data and field survey data on a set of soil indices as the main method for assessing the accuracy of soil-mapping for the implementation of soil science.*

**Key words:** soil cover, satellite images, geostatistical analysis, kriging, soil mapping.

**Постановка проблеми.** Необхідність інтеграції нашої країни в загальноєвропейські системи спостережень за навколишнім середовищем та екологічного землекористування, а також необхідність забезпечення сталого розвитку вітчизняного агровиробництва актуалізують розробку сучасної системи інформаційного забезпечення досліджень ґрунтового покриття (далі – ГП) на землях сільськогосподарського призначення з використанням даних багатоспектрального космічного сканування (далі – БСКС) високого просторового розрізнення, для яких характерні географічна відповідність, континуальність і регулярна поновлюваність [1, с. 18–23; 2, с. 180–210]. Цифрове представлення зображень земної поверхні є інформацією, яка за допомогою геоінформаційних систем (далі – ГІС) дозволяє точно визначати елементи неоднорідності ГП навіть на рівні великомасштабних обстежень [3–5].

Співробітники сектору дистанційного зондування ГП ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (ННЦ ІГА) більше двадцяти років розробляють методологічні основи ґрунтового дешифрування даних БСКС та апробують методи використання отриманої в такий спосіб інформації для практики агроґрунтознавства в різних регіонах України [6–8]. Особливо корисним, але нині не достатньо вирішеним є питання розробки методів інтелектуального аналізу результатів ґрунтового дешифрування даних БСКС для діагностики складових частин локальних структур ГП сільськогосподарських угідь, що дозволяє оптимізувати виконання широкого спектру прикладних завдань агрономічної науки (розробка систем опробування ґрунтів, точних землеробських технологій, локальний моніторинг стану ґрунтів і визначення ділянок у межах сільськогосподарських угідь із проявами деградаційних процесів у ґрунтах – дегуміфікація, засолення, переущільнення тощо).

**Постановка завдання.** У зв'язку з цим основна мета роботи – розробка й апробація методичних підходів щодо когерентного аналізу результатів класифікації космічного зображення і даних наземних досліджень для уточнення генетичного статусу елементів ГП, їх регіоналізації та точного оцінювання стану ґрунтів.

Об'єкт досліджень – неоднорідність локальних структур ГП у межах сільськогосподарських угідь.

Предмет досліджень – латеральна неоднорідність основних фізико-хімічних показників ґрунтів у межах елементів неоднорідності ГП, що визначаються за даними БСКС високого просторового розрізнення.

**Об'єкти та методи досліджень.** Дослідження проведено на полігоні «Лісова Стінка 1», площею 113 га, який розташований в Куп'янському районі Харківської області. Цей полігон обрано у зв'язку з тим, що він знаходиться в межах реалізованого у 80-х рр. ХХ ст. проекту ґрунтоохоронного протиерозійного агроландшафту, що забезпечило наявність архівних, наукових матеріалів лабораторії охорони ґрунтів від ерозії та сектору дистанційного зондування ГП ННЦ ІГА, які виконано на початку 2000-х рр. [9–10].

Для цього полігону підібрано знімок Landsat 8 із повним набором метаданих, що дозволило опрацювати повний алгоритм ґрунтового дешифрування, який передбачав на початкових етапах визначення NDVI – для визначення ступеня відкритості поверхні ґрунту у момент зйомки, а також радіометричну й атмосферну корекцію зображення та його загально-статистичний аналіз за загальновідомими методами [11].

За аналізом наукових джерел встановлено, що дослідний полігон належить до Куп'янсько-Дворичанського фізико-географічного району Харківської височинної області, який межує з Північним Степом, що визначає певною мірою перехідні риси ҐП, котрий представлено сполученням як чорноземів типових, так і опідзолених і реградованих підтипів, середньо- та малогумусних, контурність яких ускладнено проявами ерозії [12, с. 228–229]. Перехідні риси у фізико-географічних умовах цієї території актуалізують використання новітніх джерел об'єктивної інформації для деталізації умов ґрунтоутворення, особливо на схилових, ерозійно-небезпечних землях, для яких характерно неоднорідний склад осадових порід мезозою та кайнозою, що часто мають горизонтальне залягання та перекриті лесоподібними суглинками або алювіальними відкладами [13]. Також слід нагадати, що ця територія характеризується різкоконтинентальним помірним кліматом [14, с. 12–13], а в її рельєфі переважають розчленовані, хвилясті лесові рівнини та річкові долини з терасами [15]. Загалом географічне положення цієї території зумовило більше, ніж у степових ландшафтах, вологозабезпечення, меншу повторюваність посушливих погод і суховійних явищ порівняно з типовими степовими ландшафтами, а значна історія сільськогосподарського використання зумовила збереження лісових масивів переважно у вигляді байрачних лісів. На степових ділянках поширена асоціація весняно-горицвітово-типчакково-волосистоковилова, але наявність у травостой горицвіту весняного та місцями осоки низької вказує на їх належність до лучних степів [15, с. 193–194]. Архівна карта ҐП полігону представляє переважний розподіл різновидів чорнозему сильнореградованого.

Методика досліджень включала побудову й аналіз цифрової моделі рельєфу (далі – ЦМР) полігону, попередню обробку та класифікацію його космічного зображення, а також польове обстеження, що здійснено за вимогами чинних у країні стандартів [16–20]. Під час польових досліджень за допомогою приладів глобальної системи позиціонування (GPS) відібрано 45 проб ґрунту з його поверхневого шару за регулярною мережею (100 м). Під час аналітичних досліджень відібраних проб за камеральних умов визначено: гранулометричний і мікроагрегатний склад ґрунту за методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського [21–22], загальний вміст гумусу за методом І.В. Тюріна, за титрометричним варіантом [23], рН ґрунту за інструментальним методом із застосуванням скляного електроду в суспензії ґрунту в воді й у розчині КСІ [24], катіонно-аніонний склад водної витяжки за комплексометричним, аргентометричним і полум'яно-фотометричним методами [25–28], склад обмінних катіонів за методом Шоленберга (титрометричний варіант) [29, с. 42–50].

Створення ЦМР та обробка даних БСКС, яка передбачала прив'язку, попереднє опрацювання і перетворення зображень, облік їх оптичних характеристик у різних діапазонах спектра та розрахунок вегетаційних індексів, геостатистичний аналіз і числову таксономію за кластерним аналізом, проведено у ГІС TNT, SAGA та ENVI. Математико-статистична обробка даних аналітичних досліджень і БСКС проводилася методами дисперсійного, кореляційного, регресійного та факторно-гоаналізу в програмі Statistica.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Детальний аналіз оптичних характеристик ґрунтової поверхні у другому, третьому, четвертому, п'ятому, шостому та сьомому діапазонах сканування показав їх відмінність від нормального розподілу та виражену асиметрію в їх розподілі, що дозволило зробити попередній висновок про наявність неоднорідності ГП в межах полігону, під якою слід розуміти закономірний характер просторового варіювання ґрунтових властивостей, який встановлюється за геостатистичними оцінками. На основі статистичного аналізу визначено, що оптимальною кількістю класів для класифікації зображення ГП полігону є чотири класи.

Внаслідок сумісного, просторового аналізу результатів класифікації зображення та геостатистичного аналізу оптичних характеристик ґрунтової поверхні у всіх діапазонах сканування обрано картографічну модель, побудовану за алгоритмом ISODATA.

Детальний аналіз результатів наземних досліджень, зокрема архівних фондів матеріалів сектору ДЗ ГП ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» щодо опису вертикальної будови ґрунтів у межах цього полігону [9], дозволив визначити, що побудована за даними БСКС картосхема представила розподіл різновидів чорнозему звичайного, що цілком пояснюється розташуванням полігону в межах схилу південно-західної експозиції (рис. 1).

Певна суперечливість архівних даних і їх неузгодженість із даними архівної ґрунтової карти актуалізували повний геостатистичний аналіз даних, що отримано за регулярною мережею відбору проб, переважно для уточнення назв ґрунтових відмінностей і параметризації варіювання ґрунтових властивостей у їх межах.

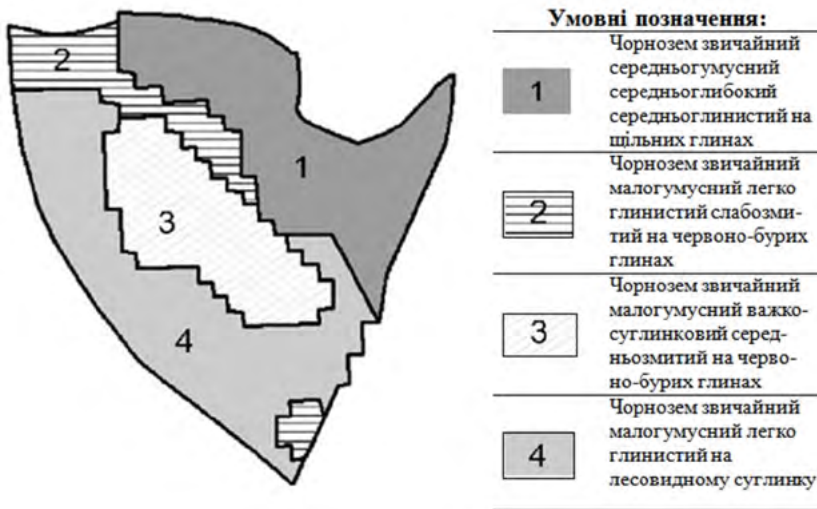


Рис. 1. Картосхема розподілу елементів неоднорідності ГП на полігоні «Лісова Стінка 1», яка побудована за даними БСКС

Зокрема, з метою оцінювання якості просторової диференціації ГП за даними БСКС та визначення закономірного характеру варіювання ґрунтових властивостей у просторі здійснено геостатистичний експрес-аналіз даних точкового відбору проб із поверхневого шару ґрунту за допомогою глобального індексу Морана ( $I_M$ ) та його супутніх оцінок ( $Z$ -оцінки та  $p$ -значення) [30, с. 19–22]. Слід

нагадати, що  $I_M$  дозволяє оцінити результати відбору проб у контексті нульової гіпотези, яка стверджує, що проаналізовані атрибути дослідного просторового об'єкта розподілені випадково, що рівнозначно його однорідності [31, с. 359–360]. Якщо враховувати, що  $p$ -значення – це ймовірність похибки судження, то її маленькі значення разом із дуже високими або дуже низькими (негативними) значеннями  $Z$ -оцінки вказують на малу ймовірність того, що просторова структура може бути представлена нульовою гіпотезою. Шляхом цього аналізу встановлено, що дослідний полігон характеризується закономірним характером варіювання більшості досліджених ознак ґрунту,  $I_M$  складає від 0,13 до 0,55 зі значною  $Z$ -оцінкою (від 1,68 до 6,04) та незначним  $p$ -значенням (від 0,001 до 0,06). Визначені класи ґрунтів із високим ступенем вірогідності є однорідними лише за окремими показниками, наприклад, за вмістом гумусу, рН сольовим, гідролітичною кислотністю та складом поглинутих катіонів, що відповідає незначній  $Z$ -оцінці (від -0,84 до 1,52) та збільшеними  $p$ -значеннями (від 0,28 до 0,91). Однак за такими ознаками ґрунту, як вміст  $Mg^{2+}$  та  $Na^+$  у складі поглинутих катіонів, вміст фракцій піску та пилу, вміст фізичної глини (ФГ) та гранулометричним показником структурності Вадюниної [32, с. 65] окремі з класів ґрунтів слід визнати неоднорідними (з  $Z$ -оцінкою від |1,72| до |2,66| та  $p$ -значенням від 0,008 до 0,02). За кількістю ознак найбільш неоднорідним є чорнозем звичайний середньогумусний середньоглинистий на щільній глині (1 клас).

Можливості ГІС дозволили провести наочний просторовий аналіз даних точкового відбору проб за допомогою інструментів побудови й аналізу гістограм і варіограмних поверхонь. Їх аналіз показав значну диференціацію ГП полігону у поверхневому шарі, що пояснюється значною інтенсивністю ерозійних процесів, які призвели до формування в серединній частинці схилу витягнутого ареалу (в напрямі з північного заходу на південний схід) значної площі, середньозмитого ґрунту, який характеризується дуже незначними показниками загального вмісту гумусу (біля 3%). Ділянки поверхні полігону, не підвернені інтенсивному змиву, розташовано майже вздовж всієї верхньої частини схилу, а також на окремих ділянках у нижній частині (конуси виносу), для яких відзначено високий сумарний вміст поглинутих катіонів. Аналіз варіограмних поверхонь показав, що найбільш еродовані ділянки схилу переважно характеризуються незначними дисперсіями за загальним вмістом гумусу, вмістом поглинутих  $Ca^{2+}$  та  $Mg^{2+}$ , а також мілкого піску та мулу, що свідчить про критичний рівень руйнівного впливу ерозії на поверхневий шар ґрунту (оранка, недотримання рекомендованих сівозмін тощо).

Подібна тенденція характерна і для просторового розподілу дисперсії гранулометричного показника структурності, який певною мірою дозволяє інтегрувати інформацію щодо характеру варіювання декількох гранулометричних фракцій ґрунту. Так, дисперсія цього показника в межах полігону однозначно знижується для еродованих ділянок, і навпаки, для незначно еродованих або не еродованих ділянок має серединні, але не найвищі значення дисперсії цього показника.

За даними наземного відбору проб, з метою створення картограм ґрунтових властивостей, які дозволили перевірити коректність просторової диференціації ГП за даними космічного сканування, проведено геостатистичне моделювання за методом емпіричного байєсового кригінгу. Ці картограми використано для параметризації неоднорідності ГП полігону шляхом вилучення кількісних значень за контурами, які визначено за даними БСКС. Також для кожного з класів ґрунтів вилучено дані з ЦМР полігону та її похідних – картограми нахилу поверхні

та картосхеми солярних експозицій поверхні ґрунту. Для наочного оцінювання особливостей варіювання властивостей ґрунтів у межах класів ґрунтів проаналізовано квантильне представлення розподілів основних ознак ґрунту (рис. 2). Так, квантильне представлення показує чітку диференціацію ГП цього полігону за вмістом фракцій ФГ (рис. 2а) та гідролітичною кислотністю ґрунту (рис. 2б). Чітку відмінність за гідролітичною кислотністю визначено для першого та четвертого класів, тоді як для другого та третього класів її можна вважати невизначеною (рис. 2б). Сумісне, графічне представлення розподілів визначених класів за загальним вмістом гумусу у ґрунті, що апроксимовані гаусовою кривою, добре ілюструє не тільки диференціацію ГП полігону за цією ознакою, а й ширину інтервалів перекривних значень цієї ознаки, що цілком відповідає ймовірнісній природі ґрунтоутворення та формування ґрунтових властивостей (рис. 3).

Загалом за даними точкового відбору проб на полігоні «Лісова Стінка 1» встановлено, що значення цього показника в межах полігону є завищеними, і це можна пояснити довготривалим та інтенсивним впливом сільськогосподарської діяльності. За відсутності надійних даних щодо історії поля можна лише припустити, що такі нехарактерно високі для цих ґрунтів значення гідролітичної кислотності свідчать про недосконалість використаних агротехнологій, які не забезпечують відтворення родючості ґрунту або допустимих змін його природних властивостей. Наприклад, інтенсивне застосування лише мінеральних добрив збільшує ризик декальцинації поверхневого, орного шару чорноземів, що відображається на підвищенні цього показника.

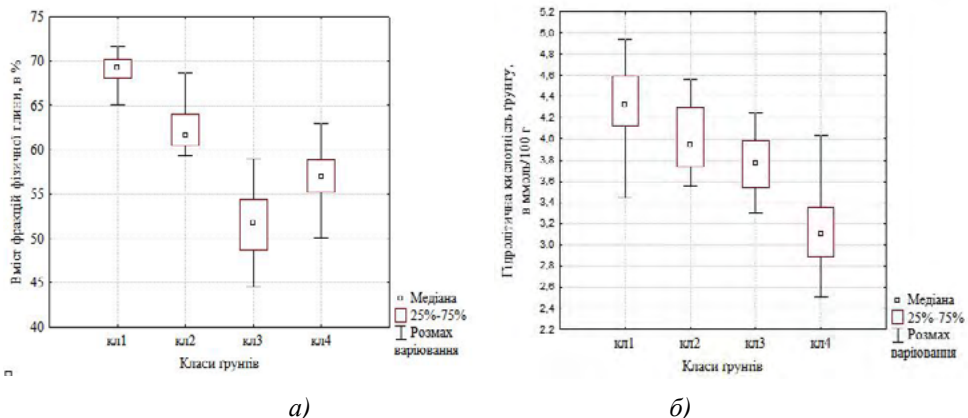


Рис. 2. Квантильне представлення варіювання ґрунтових властивостей на полігоні «Лісова Стінка 1» в межах класів, що визначено за даними БСКС

Квантильне представлення висотних відміток поверхні полігону «Лісова Стінка 1» за визначеними під час дешифрування класами ґрунтів доводить чітку висотну впорядкованість у розміщенні першого, третього та четвертого класу, які є відмінними як за ступенем еродованості, так і за ґрунтоутворюючою породою (рис. 4).

Значний розмах варіювання висотних відміток поверхні для другого класу, значна міжквартильна відстань і суттєве зміщення в боксі медіанного значення свідчать про перехідний характер умов утворення цього виду як елементу неоднорідності ГП, що пов'язано з посиленням сучасного процесу трансформації поверхневого шару ґрунту (посилення ерозії), який впливає на варіабельність його оптичних властивостей.

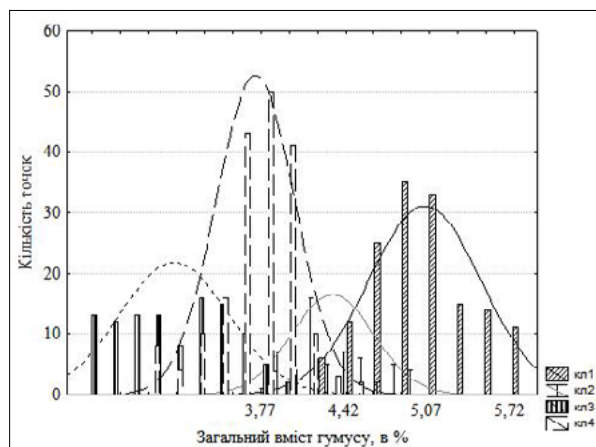


Рис. 3. Зіставлення розподілів загального вмісту гумусу для класів ґрунтів, що визначено за даними БСКС, для полігону «Лісова Стінка 1»

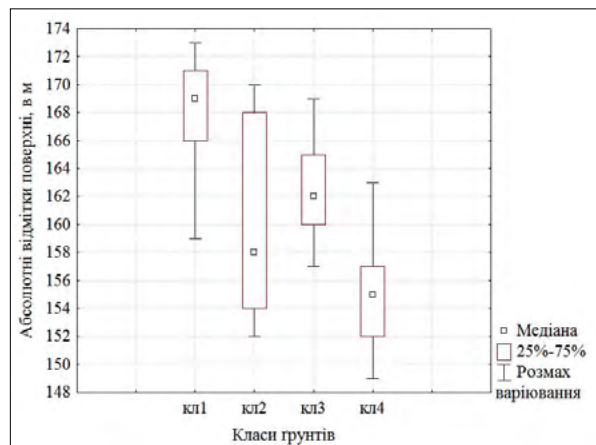


Рис. 4. Квантильне представлення висотних відміток поверхні полігону «Лісова Стінка 1» в межах класів ґрунтів, що визначено на основі даних БСКС

**Висновки і пропозиції.** Таким чином, внаслідок проведеної апробації підтверджено достатню ефективність прийомів сумісного аналізу результатів класифікації даних БСКС і геостатистичної обробки даних, що отримано шляхом вибіркового відбору проб із поверхневого шару ґрунту, для оновлення ґрунтово-картографічних матеріалів і встановлення основних закономірностей просторового варіювання властивостей ґрунту.

Встановлено високу ефективність статистико-картографічного та геостатистичних методів аналізу для перевірки коректності виділення ґрунтових контурів, що встановлює поділ ІП у просторі ознак і в реальному географічному просторі, а також дозволяє деталізувати зв'язки елементів локальних структур ІП з факторами його диференціації.

Здобутий досвід дозволяє рекомендувати автокореляційний аналіз даних БСКС і даних наземного обстеження територій за комплексом показників

ґрунту як основний метод оцінювання коректності створених за даними космічної зйомки ґрунтово-картографічних матеріалів для впровадження у практику ґрунтознавства.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Берлянт А.М. Картографический метод исследования. Москва : Изд-во МГУ, 1978. 257 с.
2. Кохан С.С., Востоков А.Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи. Київ : Вища школа, 2009. 511 с.
3. Proximal Soil Sensing, Series: Progress in Soil Science / Eds. R. Viscarra. 2010. Vol. XXIV, 448 p. URL: <http://www.springer.com/environment/soilscience/book/978-90-481-8858-1> (дата звернення: 13.06.2012).
4. Bajwa S.G., Tian L.F. Soil fertility characterization in agricultural fields using hyperspectral remote sensing. *Transactions of the ASAE*. 2005. Vol. 48 (6). P. 2399–2406.
5. Selige T. et al. Interdisciplinary research for precision agriculture preagro. The German joint project for an integrated management system. *The Regional Institut online publishing*. URL: <http://www.regional.org.au/au/gia/16/507selige.htm> (дата звернення: 13.10.2014).
6. Шатохин А.В., Лындин М.А. Сопряженное изучение черноземов Донбасса наземными и дистанционными методами. *Почвоведение*. 2001. № 9. С. 1037–1044.
7. Шатохин А.В., Ачасов А.Б. Использование современных технологий при картографировании почвенного покрова Северной Донецкой степи. *Почвоведение*. 2005. № 7. С. 790–798.
8. Трускавецький С.Р. Використання багато спектрального космічного сканування та геоінформаційних систем у дослідженні ґрунтового покриву Полісся України : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.18 / ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». Харків, 2006. 23 с.
9. Розробити алгоритм сучасної картографії ерозійно небезпечних ґрунтів різних ґрунтово-кліматичних зон країни і виявити можливості різних супутників дистанційного зондування щодо оцінки стану ґрунтів: звіт про НДР (проміжний): 01.03.01Ф / ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»; керівник Ачасов А.Б.; викон. : Ачасов А.Б. та ін. Харків, 2002. 27 с. № ДР 0101U006046.
10. Ачасов А.Б., Трускавецький С.Р. Деякі аспекти картографування чорноземів з використанням матеріалів космічного зондування. *Науковий вісник НАУ*. 2003. Вип. 67. С. 203–210.
11. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования. Москва : Техносфера, 2006. 336 с.
12. Національний атлас України. Київ : ДНВП «Картографія», 2007. 440 с.
13. Заморій П.К. Четвертинні відклади Української РСР. Київ : Вид-во Київського університету, 1961. Ч. 1. 550 с.
14. Атлас Харківської області. Укргеодезкартографія, 1993. 45 с.
15. Геоботанічне районування Української РСР /за ред. А.І. Барбарич. Київ : Наукова Думка, 1977. 303 с.
16. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Чинний від 2005–07–01. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 10 с.
17. ДСТУ ISO 10381-1:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Ч. 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT). Чинний від 2006–04–01. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 36 с.
18. ДСТУ ISO 10381-2:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Ч. 2. Настанови з методів відбирання проб (ISO 10381-2:2002, IDT). Чинний від 2006–04–01. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 28 с.
19. ДСТУ ISO 10381-3:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Ч. 3. Настанови з безпеки (ISO 10381-3:2001, IDT). Чинний від 2006–04–01. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 24 с.



20. ДСТУ ISO 10381-4:2005. Якість ґрунту. Відбирання проб. Ч. 4. Настанови щодо процедури дослідження природних, майже природних та оброблюваних ділянок (ISO 10381-4:2003, IDT). Чинний від 2006–10–01. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 16 с.
  21. ДСТУ 4730:2007. Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського. Чинний від 2008–01–01. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 18 с.
  22. ДСТУ 4728:2007. Якість ґрунту. Визначання мікроагрегатного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського. Чинний від 2008–01–01. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 15 с.
  23. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. Чинний від 2005–07–01. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
  24. ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:2005, IDT). Чинний від 2009–10–01. Київ : Держспоживстандарт України, 2012. 8 с.
  25. ГОСТ 26425–85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке. Введ. 1986–01–01. Москва : Издательство стандартов, 1986. 9 с.
  26. ГОСТ 26426–85. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке. Введ. 1986–01–01. Москва : Издательство стандартов, 1986. 7 с.
  27. ГОСТ 26427–85. Почвы. Метод определения натрия и калия в водной вытяжке. Введ. 1986–01–01. Москва : Издательство стандартов, 1986. 4 с.
  28. ГОСТ 26428–85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке. Введ. 1986–01–01. Москва : Издательство стандартов, 1986. 8 с.
  29. Методи аналізів ґрунтів і рослин : методичний посібник / за ред. С.Ю. Булигіна, С.А. Балюка, А.Д. Міхновської, Р.А. Розумної. Харків, 1999. Кн. 1. С. 42–50.
  30. Moran P.A.P. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*. 1950. № 37 (1). P. 17–23.
  31. Li Hongfei, Calder C.A., Cressie N. Beyond Moran's *I*: Testing for Spatial Dependence Based on the Spatial Autoregressive Model. *Geographical Analysis*. 2007. № 39 (4). P. 357–375.
  32. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и ґрунтов. Москва : Высшая школа, 1973. 399 с.
-