

УДК 631.111.3:631.416.8:631.438
DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.112.3>

ПРОСТОРОВА ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ЧОРНОЗЕМІ ПІВДЕННОМУ В МЕЖАХ ОДНОГО ПОЛЯ

Бурикiна С.І. – к.с.-г.н., завідувач науково-технологічного відділу агрохімії,
грунтознавства та органічного виробництва,

Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція
Національної академії аграрних наук України

Капустiна Г.А. – к.с.-г.н., заступник директора,
Одеська філія ДУ «Інститут охорони ґрунтів України»

Ямкова Н.А. – завідувач відділу геоінформаційних систем і проектування,
Одеська філія ДУ «Інститут охорони ґрунтів України»

Дослідження були складовою частиною договору № 5/03/19 із впровадження наукових розробок, отриманих під час виконання фундаментальної тематики «Розробити технології ефективного застосування добрив, меліорантів та інших агрохімічних заходів у сівозмінах України» (ПНД «Родючість, охорона і раціональне використання ґрунтів»).

Аналіз результатів останнього туру агрохімічного обстеження орних земель мережі дослідних господарств Одеської ДСДС показав наявність площ різного ступеня забруднення важкими металами, що поставило науковців установи перед необхідністю підбору або розробки способів їх реабілітації. І перш за все треба було вивчити мінливість концентрацій рухомих форм окремих металів у межах конкретного поля і по можливості встановити джерело(а) їх варіабельності. Роботи розпочаті у 2019 році на орних землях ДП ДГ «Южний», яке розташоване в Біляївському районі в межах приміської зони м. Одеси.

Для детального обстеження була вибрана ділянка поля, особливістю якої була наявність мезорельєфу: невелика впадина в нижній частині вздовж всієї довжини, по якій йшов природний стік води. Ділянка розділена на дві частини паралельно впадині: точки відбору від № 1 до № 10 розташовувались у верхній половині ділянки до впадини, точки з № 11 до № 20 – вздовж впадини.

У пробах ґрунту визначали вміст рухомих форм важких металів I класу небезпеки (цинк, кадмій, свинець), II класу небезпеки (кобальт, мідь) та III класу (марганець).

У результаті встановлено, що на сільськогосподарському угідді площею 500х400 м спостерігається значна (більш ніж 20%) просторова варіабельність рухомих форм (амонійно-ацетатного буфера) важких металів. За однакових умов досліджень найбільша варіабельність відзначалася у Pb (57,6%) та Cu (47,7%).

Наявність у рельєфі ділянки добре вираженої мікрозападини веде до перерозподілу концентрацій рухомих форм важких металів: вміст Zn, Cu, Co, Cd та Pb вздовж западини від 35,5% до 77,1% вищий, а марганцю на 21,6% – нижчий за рівнинну частину ділянки і відрізняється на 2–3 градації забезпеченості.

Високий і підвищений вміст кобальту, міді та свинцю свідчить про початковий етап забруднення орного шару. Наявність тенденції до забруднення території вимагає більш детального агрохімічного та агробіологічного обстеження і уточнення наявних картограм.

Довготривале сільськогосподарське використання можливо зумовило слабку кореляцію між вмістом важких металів та такими показниками, як гумус та pH_{H_2O} .

Ключові слова: чорнозем південний, важкі метали, кореляція, варіабельність.

Burykina S.I., Kapustina G.A., Yamkova N.A. Spatial variability of heavy metal in southern chernozem within a single field

The study was part of contract No. 5/03/19 on the introduction of scientific developments obtained within the fundamental topic "Developing technologies for the efficient use of fertilizers, ameliorants and other agrochemical practices in the field rotations of Ukraine" (IPA "Fertility, protection and rational use of soils"). Analysis of the results of the last round of agrochemical survey of arable lands of the network of research farms of the Odessa DSDS showed the presence of areas of varying degrees of contamination with heavy metals, which put the scientists of the institution before the need to select or develop ways to rehabilitate them. And first of all it

was necessary to study the variability of concentrations of mobile forms of certain metals within a specific field, and, if possible, to determine the source(a) of their variability. Work started in 2019 on arable land of the state research enterprise "Yuzhny", which is located in the Belyaevsky district within the suburban zone of Odessa.

For a detailed survey, a section of the field was selected, the peculiarity of which was the presence of a mesorelief: a small depression in the lower part along the entire length, along which there was a natural flow of water. The plot is divided into two parts parallel to the depression: points 1–10 were located in the upper half of the plot to the basin, points 11–20 along the depression.

In soil samples, the content of mobile forms of heavy metals of hazard class I (zinc, cadmium, lead), hazard class II (cobalt, copper) and class III – manganese was determined.

As a result, it is found:

On agricultural land with an area of 500x400 m, there is a significant (more than 20%) spatial variability of mobile forms (ammonium-acetate buffer) of heavy metals. Under the same research conditions, the greatest variability was observed in Pb (57.6%) and Cu (47.7%). The presence of a well-defined micro-depression in the terrain of the site leads to a redistribution of concentrations of mobile forms of heavy metals: the content of Zn, Cu, Co, Cd and Pb along the depression is from 35.5% to 77.1% higher, and manganese is 21.6% lower than in the plain part of the site, and differs by 2-3 gradations of availability.

High and elevated content of cobalt, copper and lead indicates the initial stage of contamination of the arable layer. The presence of a tendency to pollute the territory requires a more detailed agrochemical and agrobiological survey and clarification of existing cartograms.

Long-term agricultural use may have caused a weak correlation between heavy metal content and indicators such as humus and pH_{H_2O} .

Key words: southern Chernozem, heavy metals, correlation, variability.

Просторова варіабельність фізичних та хімічних показників ґрунту відзначалась ще видатним ученим, засновником ґрунтознавства П.А. Костичевим [1]. Під час агрохімічних обстежень усунення помилок, зумовлених цією обставиною, відбувалося за рахунок удосконалення методик та частоти відбору зразків.

З розвитком теорії і практики точного землеробства виникла необхідність отримання докладної інформації про конкретне поле. Оскільки просторова варіабельність ґрунтових властивостей у масштабах навіть одного поля є однією з причин строкатості врожаю сільськогосподарських культур, то вона має бути визначена і вивчена. Наприклад, розкид урожайності соняшнику досягав 40% [2], зеленої маси в межах поля – 25%, а озимого жита та озимої пшениці – 27,8 та 28,5% [3, с. 102–104; 4, с. 65]. Диференціація родючості, за висновками дослідників, визначається виробничою діяльністю людини, системою землеробства, системою удобрення та всією історією сільськогосподарського використання земель [5, с. 74; 6, с. 68; 7; 8, с. 289].

Для аграріїв ґрунт – основний засіб виробництва і його здоров'я – запорука економічної стабільності та незалежності. А між тим господарська діяльність людини часто призводить до забруднення довкілля. Особливо небезпечне забруднення важкими металами. До важких металів, як відомо, належать більше 40 металів з атомною масою понад 50 атомних одиниць. У мікроскопічних кількостях вони, як і макроелементи, необхідні для живлення рослин, але їх надлишок отруєє ґрунт і рослину, а через харчові ланцюги – людину. Крім того, підвищення концентрації рухомих форм важких металів до гранично допустимих значень і вище викликає зниження урожайності та якості культурних рослин [9]. Так, у дослідях В.І. Кисіля [10, с. 142] встановлено, що свинець і кадмій погіршують параметри поживної цінності зеленої маси кукурудзи. Дослідження, проведені в Черкаській області, виявили залишкову кількість свинцю у зразках моркви, картоплі, буряку й цибулі й показали, що кадмій і миш'як овочі накопичують найменше [11, с. 15].

Досліджень щодо просторової варіабельності мікроелементного складу ґрунтів в Україні поки що небагато і вони мають епізодичний характер [12]. А між тим ґрунт – це складова частина біосфери, в якій формуються комплекси металів різної рухомості, визначаються міграційні шляхи та починаються основні цикли їх кругообігу. Тому є необхідність отримання і накопичення таких результатів для створення відповідного банку даних і передумов для впровадження точного землеробства, а також удосконалення методології і методів моніторингу екологічного стану ґрунтового покриву та для розробки заходів щодо зниження токсичності наявних концентрацій елементів і запобігання їх подальшого надходження.

Мета досліджень – оцінити ступінь та закономірності просторової варіабельності вмісту важких металів у чорноземі південному на прикладі окремого сільськогосподарського угіддя.

У завдання досліджень входило встановити рівні варіабельності рухомих форм Mn, Zn, Co, Cu, Cd та Pb у межах одного поля та дати оцінку отриманим даним.

Матеріали та методи досліджень. Аналіз результатів останнього туру агрохімічного обстеження орних земель мережі дослідних господарств Одеської ДСДС показав наявність площ різного ступеня забруднення важкими металами, що поставило науковців установи перед необхідністю підбору або розробки способів їх реабілітації. І перш за все треба було вивчити мінливість концентрацій рухомих форм окремих металів у межах конкретного поля і по можливості встановити джерело(а) їх варіабельності. Роботи розпочаті у 2019 році на орних землях ДП ДГ «Южний», яке розташоване в Біляївському районі в межах приміської зони м. Одеси.

На ділянці поля загальною площею 20 га (довжина ділянки 500 м, ширина – 400 м) зразки ґрунту відбирали з орного шару (0–25 см), площа елементарної ділянки 1 га, змішаний зразок з якої складався з 15 точкових відборів. Особливістю ділянки була наявність мезорельєфу: невелика впадина в нижній частині впродовж всієї довжини, по якій йшов природний стік води. Точки відбору від № 1 до № 10 розташовані у верхній половині ділянки до впадини, точки з № 11 до № 20 – вздовж впадини.

У пробах ґрунту визначали вміст рухомих форм важких металів I класу небезпеки (цинк, кадмій, свинець), II класу небезпеки (кобальт, мідь) та III класу небезпеки (марганець). Вилучення проводили амонійно-ацетатним буфером (рН = 4,8), визначення їх вмісту – методом атомно-адсорбційної спектроскопії у відповідності до стандартних методик [13–15]. Крім цього, у зразках визначали вміст гумусу та величину рН_{H₂O}. Дані експерименту були оброблені статистичними методами з використанням пакетів Excel і Statistica 6.

Результати та їх обговорення. Аналіз даних (табл. 1) показав, що розподіл важких металів в орному шарі ділянок ґрунту, розташованих на різних відстанях від впадини, характеризується значною неоднорідністю. Мінімальне й максимальне значення концентрацій рухомих форм металів відрізняється від 2,6 (Zn, Cd) до практично 10 разів (до Pb – 9,9). Так, вміст рухомого кадмію змінюється в діапазоні від 0,26 до 0,67 мг/кг, свинцю – від 0,57 до 5,65 мг/кг, кобальту – від 0,91 до 3,44 мг/кг. У відносно більших концентраціях виявлено марганець, кобальт та свинець. Метали першої групи небезпеки становили 20,1% від загальної суми, марганець (метал III групи) – 66,2%.

Таблиця 1

Результати статистичного обробітку даних

Показник	Mn	Zn	Co	Cu	Cd	Pb
Середнє	11,68	0,55	2,06	0,35	0,45	2,55
Стандартна помилка	0,70	0,09	0,18	0,04	0,03	0,33
Медіана	11,38	0,53	1,76	0,32	0,39	2,12
Стандартне відхилення	3,14	0,15	0,82	0,17	0,14	1,47
Дисперсія	9,85	0,02	0,68	0,03	0,02	2,16
Екссес	1,75	-1,06	-1,52	-0,50	-1,37	-0,48
Асиметричність	1,06	0,24	0,27	0,12	0,44	0,74
Інтервал	13,64	0,50	2,53	0,62	0,41	5,08
Мінімальне значення	6,21	0,31	0,91	0,02	0,26	0,57
Максимальне значення	19,85	0,81	3,44	0,64	0,67	5,65
Коефіцієнт варіації	26,9	27,8	40,0	47,7	31,5	57,6
Рівень достовірності (0,95)	1,47	0,07	0,39	0,08	0,07	0,69

За вмістом рухомої форми метали особливо небезпечних груп (першої та другої) розташовуються в такий ряд: $Pb > Co > Zn > Cd > Cu$, що вказує на ризик надходження значної кількості свинцю з ґрунту в рослини.

Коефіцієнт варіації є відносним показником мінливості (варіабельності) фактора, що досліджується. Мінливість прийнято вважати незначною, якщо коефіцієнт варіації не перевищує 10%, середньою, якщо коефіцієнт варіації вище 10, але менше 20%, і значною, якщо коефіцієнт варіації більший за 20% [16, с. 163]. У нашому випадку коефіцієнти варіації для всіх металів більші за 20%, але значно відрізняються за абсолютною величиною. За ступенем варіабельності метали розташовуються в такий ряд: $Pb > Cu > Co > Cd > Zn > Mn$.

Слід звернути увагу на такий показник, як асиметричність, що характеризує щільність розподілу даних вибірки стосовно середнього значення. Якщо коефіцієнт асиметрії дорівнює нулю, це свідчить про рівномірність розподілу; при «+», як у нашому випадку, розмір правого «хвоста» більший за лівий, що добре проілюстровано рисунком. Концентрація рухомих форм Zn, Cu, Co, Cd Pb у ґрунті вздовж впадини здебільшого значно перевищує як середні значення всієї вибірки, так і середні значення вирівняної частини ділянки.

Середній вміст важких металів у зразках ґрунту вздовж впадини становить, мг/кг: Zn – 0,62, Cu – 0,44, Co – 2,44, Cd – 0,53 та Pb – 3,26, що на 35,5%, 62,9, 45,2, 42,1 та 77,1% відповідно перевищує середній вміст першої половини ділянки. У разі віддалення від впадини спостерігається збільшення лише концентрації рухомої форми марганцю (на 21,6%). Загалом, середній вміст свинцю на другій ділянці відповідає категорії «підвищений», міді та кобальту – «високий», а на першій ділянці ці метали мають «помірний» вміст.

Вплив рельєфу на варіабельність агрохімічних показників також відзначався й іншими авторами [17, с. 40; 18, с. 43].

Результати кореляційного аналізу наведені в таблиці 2. Сила кореляційного зв'язку визначається по модулю (незалежно від напрямку – прямий чи зворотний): якщо коефіцієнт кореляції дорівнює 0, обидві змінні лінійно незалежні одна від одної; до 0,2 – дуже слабка кореляція, до 0,5 – слабка; до 0,7 – середня; до 0,9 – висока кореляція і понад 0,9 – дуже висока кореляція.

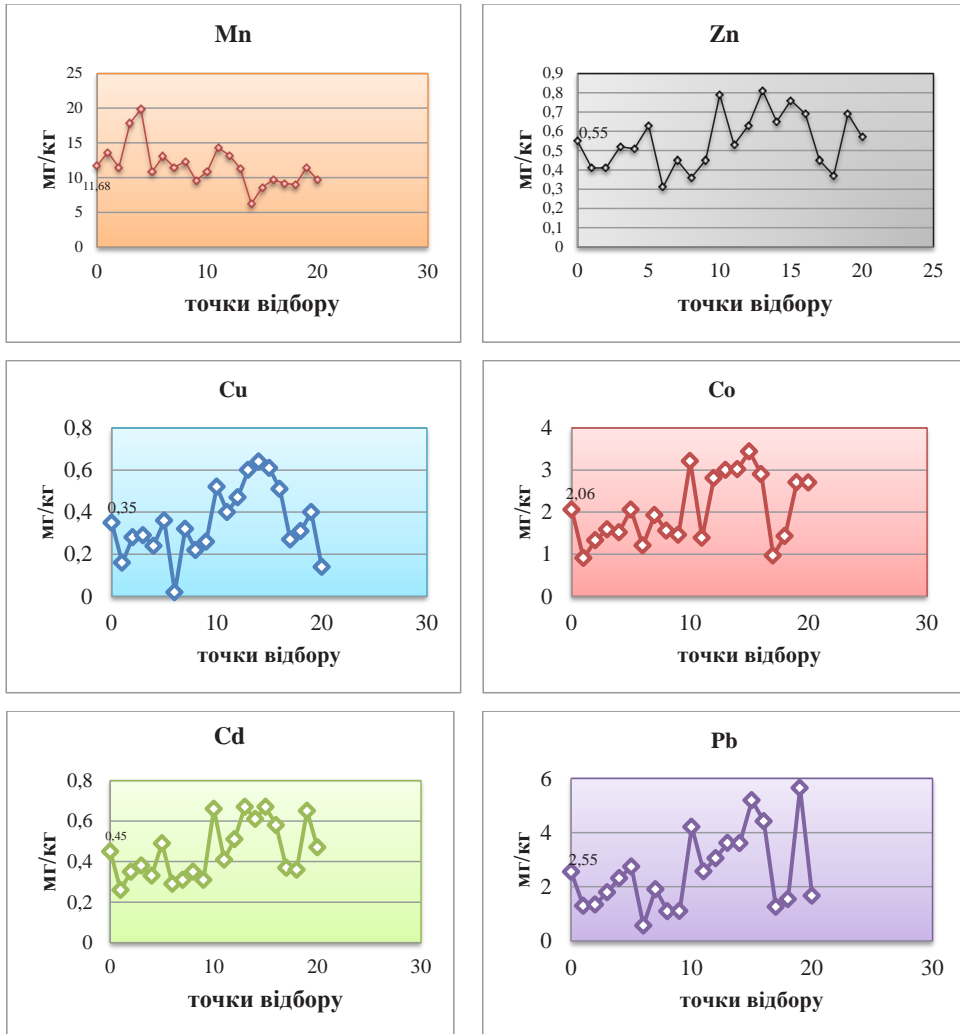


Рис. 1. Щільність розподілу індивідуальних значень стосовно середньої 0 – середнє значення вибірки

Таблиця 2

Результати кореляційного аналізу

	Mn	Zn	Co	Cu	Cd	Pb	pH	гумус
Mn	1							
Zn	-0,19	1						
Co	-0,40	0,78	1					
Cu	-0,39	0,74	0,78	1				
Cd	-0,41	0,90	0,92	0,84	1			
Pb	-0,24	0,81	0,88	0,81	0,91	1		
pH _{H2O}	-0,08	-0,15	-0,27	-0,14	-0,18	-0,21	1	
гумус	-0,33	-0,15	-0,11	-0,09	-0,08	-0,16	-0,31	1

Розчинність усіх металів, що досліджувались, погіршується із зростанням рН, про що свідчить зворотна кореляція між цими величинами, причому концентрація рухомої форми марганцю порівняно найменше зумовлена параметрами цього показника ($r = -0,08$).

Результати досліджень російських учених [19, с. 62; 20, с. 124] свідчать, що марганець найчастіше акумулюється у верхньому шарі ґрунту внаслідок його фіксації органічною речовиною: у формі Mn^{2+} – фульвокислотами, а манганати (MnO_4^- , MnO_4^{2-}) і тонкодисперсний MnO_2 фіксуються в гумінових кислотах. І тому у їхніх досліджах марганець мав високий коефіцієнт кореляції з органічною речовиною. У наших дослідженнях кореляція між марганцем та гумусом хоч і була на рівні слабкої ($r = -0,33$), але цей ступінь зв'язку на ранг вищій за кореляцію між органічною речовиною та іншими важкими металами.

Кореляція між парами важких металів усередині першої та другої груп небезпеки висока та дуже висока і має прямий напрямок.

Висновки і пропозиції. На сільськогосподарському угідді площею 500x400 м спостерігається значна (більш ніж 20%) просторова варіабельність рухомих форм (амонійно-ацетатний буфер) важких металів. За однакових умов досліджень найбільша варіабельність відзначалася у Pb (57,6%) та Cu (47,7%).

Наявність у рельєфі ділянки добре вираженої мікрозападнини веде до перерозподілу концентрацій рухомих форм важких металів: вміст Zn, Cu, Co, Cd та Pb вздовж западини від 35,5% до 77,1% вищий, а марганцю на 21,6% – нижчий за рівнинну частину ділянки і відрізняється на 2–3 градації забезпеченості.

Високий і підвищений вміст кобальту, міді та свинцю свідчить про початковий етап забруднення орного шару. Наявність тенденції до забруднення території вимагає більш детального агрохімічного та агробіологічного обстеження та уточнення наявних картограм.

Довготривале сільськогосподарське використання, можливо, зумовило слабку кореляцію між вмістом важких металів та такими показниками, як гумус та pH_{H_2O} . Необхідно перевірити це припущення на непорушених територіях.

Також необхідно вивчити напрямки міграції важких металів у ланці «ґрунт – рослина» залежно від рельєфу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Костычев П.А. Почвы чёрнозёмной области России, их происхождение, состав и свойства. Изд. А.Ф. Девриена, 1886.
2. Жуков О.В., Пономаренко С.В. Агроекологічні аспекти просторово-часової динаміки врожайності соняшнику. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/agroekologichni-aspekti-prostorovo-chasovoyi-dinamiki-urozhaynosti-sonyashniku/>.
3. Шевцов В.А. Влияние длительного окультуривания на агрофизические свойства дерново-подзолистой почвы и урожайность озимой ржи : дис. на соис. уч. ст. канд. с.-х. наук : специальность 06.01.01 «Общее земледелие, растениеводство». Москва, 2018. 147 с.
4. Попов В.П. Влияние внутривольной неоднородности содержания питательных веществ в почве на урожайность озимых зерновых культур. *ВІУА*. 2002. № 116. С. 62–67.
5. Задорожна Г.О., Бець Т.Ю. Просторова мінливість електричної провідності техноземів та зв'язок з численністю рослин. *Вісник Дніпропетровського аграрного університету*. 2011. № 1. С. 70–75.

6. Брехова Л.И., Щеглов Д.И. Воздействие антропогенного фактора на пространственную изменчивость содержания гумуса в профиле черноземов центральной России. Проблемы антропогенного почвообразования. Москва, 1997. С. 67–70.
7. Сидорова В.А. Изменение пространственной вариабельности почвенных свойств в результате антропогенного воздействия. URL: http://resources.krs.karelia.ru/krs/doc/publ2010/IB_ecol_pochv_0-30-47.pdf.
8. Paz-Gonzalez A., Vieira S.R., Taboada Castro M.T. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. *Geoderma*. 2000. Vol. 97. P. 273–292.
9. Самусенко В.Ю. Вплив важких металів на врожайність сільськогосподарських культур. URL: <http://superagronom.com/blog/494>.
10. Кисіль В.І. Агрохімічні аспекти екологізації землеробства. Харків : 13 типографія, 2005. 167 с.
11. Кухнюк О.В. Експериментальні дослідження концентрації важких металів в овочевих культурах Черкаської області. The 2nd International scientific and practical conference “Priority directions of science development”. November 25–26 2019. “Sci-conf.com.ua”. Lviv, Ukraine. 2019. P. 12–17.
12. Борисюк Б.В., Залевський Р.А. Просторова варіабельність важких металів в орному шарі сірого лісового ґрунту в середині ротації сівозміни. *Вісник ЖНАЕУ*. URL: http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/428/1/Is_the_spatial_varying_of_heavy_metals.pdf
13. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії: ДСТУ 4770.1:2007. Чинний від 2009-01-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 9 с.
14. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії: ДСТУ 4770.2:2007. Чинний від 2009-01-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 9 с.
15. Методы агрохимического анализа. Определение подвижной меди в почвах по Пейве и Ринькису в модификации ЦИНАО: ОСТ 10144-88. Введен в действие 1989-01-01. Москва, 1988. 145 с. (Отраслевые стандарты).
16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки исследований). 5-е изд., доп. и перераб. Москва : Агропромиздат. 1985. 351с.
17. Троїцький М.О., Дмитрієва Л.А. Міграція важких металів у ланці «ґрунт–рослина» в агроландшафтах Степу України. *Наукові праці. Екологія*. Випуск 167. Том 179. С. 37–40.
18. Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л. Оценка роли рельефа в пространственной изменчивости агрохимически важных почвенных свойств для интенсивно обрабатываемого сельскохозяйственного угодья. *Вести Московского университета*. 2014. Серия 17. Почвоведение. № 3. С. 36–44.
19. Карпухина Н.Ю., Карпухин М.М., Самсонова В.П., Кротов Д.Г. Пространственная изменчивость содержания тяжелых металлов в агросерой почве в масштабе сельскохозяйственного угодья. *Агрохимия*. 2012. № 8. С. 57–65.
20. Водяницкий Ю.Н. Оксиды марганца в почвах. Москва : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2005. 179 с.