

Новітні інтегративні методи дослідження стабілізації органічного вуглецю за різного обробітку ґрунту

М. А. Попірний¹, О. П. Сябрук^{1*}, Р. В. Акімова¹, М. В. Шевченко²

¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна,

²Харківський національний аграрний університет імені В. В. Докучаєва, Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 18.05.2020 Отримано після доопрацювання 07.09.2020 Затверджено до друку 15.09.2020 Доступно онлайн 01.11.2020	У землеробстві однією з технологій повернення втраченого органічного вуглецю є мінімальні та нульовий способи обробітку ґрунту, які сприяють підвищенню вмісту органічної речовини й глобальній стабілізації вуглекислого газу. Але ефективність секвестрації вуглецю в ґрунті обмежена через те, що органічний вуглець швидко вивільняється з ґрунту з поверненням до оранки. Цим і обумовлена актуальність дослідження процесів реагування гумусових молекул, що ведуть до структуривання органічної речовини ґрунту, для управління секвестрацією вуглецю та інтегративного моніторингу емісії CO ₂ . Метою роботи було виявити процеси реагування гумінових молекул як цілісної супрамолекулярної системи, що визначають стабілізацію ґрунтового вуглецю та обумовлюють динаміку емісії CO ₂ з ґрунту з використанням інтегративних біофізико-хімічних параметрів (комплексними спектроскопічними методами). Досліджували зміни інтегрованих характеристик спектрів у комплексному спектроскопічному аналізі всього екстракту гумінових кислот чорнозему типового для виявлення впливу різних способів обробітку на динаміку емісії CO ₂ з ґрунту. Комплексний спектроскопічний аналіз виконано в лабораторіях ХНУ імені В. Н. Каразіна та Науково-технологічного комплексу "Інститут монокристалів". Інструментальний контроль інтенсивності виділення діоксиду вуглецю з поверхні ґрунту проводили за допомогою портативного газоаналізатора testo 535. За результатами досліджень сучасними спектроскопічними методами нефракціонованих екстрактів гумінових кислот чорнозему типового за різного обробітку виявлено процеси переорганізації гумінової супраструктури, які характеризуються перебудовою міжмолекулярних сил, що зумовлює зміну реакційної здатності та стабільності гумінових кислот. Виявлено, що гумінова супраструктура орного чорнозему типового характеризується високою молекулярною рухомістю, зумовленою гідрофільною позитивною гідратацією та доброю розчинністю, високою сорбційною та комплексоутворювальною здатностями, але слабкою здатністю закріплюватися, внаслідок міграційного «розсіювання» вглиб ґрунтового профілю. Доведено, що найбільшими сумарними обсягами емісії CO ₂ з чорнозему типового характеризується технологія прямого посіву (нульового обробітку), чому сприяє кращий водний режим та більш повна мінералізація рослинних решток на поверхні ґрунту. За основного обробітку способом дискування на 10-12 см річні втрати вуглецю найменші. Систематична оранка (6 років поспіль) призвела до зменшення вмісту лабільної органічної речовини і фульвокислот та зниження потенційної здатності до продукування CO ₂ у верхньому шарі ґрунту порівняно з поверхневим обробітком та технологією прямого посіву.
Ключові слова: вуглекислий газ; гумінові кислоти; інтегративні методи; комплексні спектроскопічні методи; обробіток ґрунту; органічний вуглець	

* E-mail: syabryk86@gmail.com

Форма цитування: Попірний М.А., Сябрук О.П., Акімова Р.В., Шевченко М.В. Новітні інтегративні методи дослідження стабілізації органічного вуглецю за різного обробітку ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 13-28. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-02>

Список використаних джерел

1. Перминова І.В. Гуминовые вещества – вызов химикам XXI века. *Химия и жизнь*. 2008. № 1. С. 50-56. URL: <https://stina.msu.ru/publications/article/3668102/>.
2. Lal R., Mohar R.H., Assi A.T., Ray R., Baybil H., Lahn M. Soil as a Basic Nexus Tool: Soils at the Center of the Food–Energy–Water Nexus. *Curr. Sustainable Renewable Energy*. 2017. Rep 4. P. 117–129. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40518-017-0082-4>
3. Piccolo A., Spaccini R., Drosos M., Vinci G., Cozzolino V. The Molecular Composition of Humic Carbon: Recalcitrance and Reactivity in Soils. *The Future of Soil Carbon, Its Conservation and Formation*, Edition: 1st, Chapter: 4, Publisher: Academic Press, Editors: Garcia Carlos, Nannipieri Paolo, Hernandez Teresa, 2018. P. 87-124. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811687-6.00004-3>.
4. Семенов В.М., Корут Б.М.. Почвенное органическое вещество. Москва: ГЕОС, 2015. 233 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25705091>.
5. Piccolo A. The supramolecular structure of humic substances. A novel understanding of humus chemistry and application in Soil Science. *Advances in Agronomy*. 2002. № 75. P. 57-133. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)75003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)75003-7).
6. Piccolo A., Spaccini R., Nieder R., Richter J. Sequestration of a Biologically Labile Organic Carbon in Soils by Humified Organic Matter. *Climatic Change*. 2004. V. 67(2). P. 329-343. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-004-1822-1>.
7. Nuzzo A., Piccolo A. Enhanced catechol oxidation by heterogeneous biomimetic catalysts immobilized on clay minerals. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2013. V. 371. P. 8-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2013.01.021>.
8. Nuzzo A., Piccolo A. Oxidative and Photooxidative Polymerization of Humic Suprastructures by Heterogeneous Biomimetic Catalysis. *Biomacromolecules*. 2013. V. 14, P. 1645-1652. DOI: <https://doi.org/10.1021/bm400300m>.
9. Nebbioso A., Piccolo A., Spaccini R. Humeomics for a structure-bioactivity relationship of Humic Substances. *Geophysical Research Abstracts*. 2011. Vol. 13. P. 10961-10980. URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-10961.pdf>.
10. Nebbioso A., Piccolo A. Advances in humeomics: enhanced structural identification of humic molecules after size fractionation of a soil humic acid. *Anal. Chim. Acta*. 2012. V. 720. P. 77-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.01.027>.
11. Добровольский Г.В. Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере. Москва: Наука, 2003. 364 с.
12. Добровольский Г.В., Никитин Е. Функции почв в биосфере и экосистемах. Москва: Наука, 1990. 261 с.
13. Cole K. Soil CO₂. 1995. [Electronic resource]. Access mode : www.global/carbon/reservoirdata.htm
14. Малханова Е.В. Эмиссия диоксида углерода мерзлотными почвами юга Витимского плоскогорья: автореф. дис. канд. биол. наук. : [спец.] 03.02.13 «Почвоведение». Улан-Уде, 2007. 19 с.

15. Загирова С.В. Структура ассимиляционного аппарата и CO₂-газообмен у хвойных. Екатеринбург, 1999. 108 с.
16. Загирова С.В. Структура и CO₂-газообмен хвой. *Физиология растений*. 2000. Т. 47. № 6. С. 825-830.
17. Медведев В.В. Нульовий обробіток в європейських країнах. Харків: ТОВ «ЕДЕНА», 2010. 202 с.
18. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. Москва: Агропромиздат, 1988. 158 с.
19. Витер А.Ф. Динамика углекислого газа в почвенном воздухе. *Сб. науч. работ НИИ с.-х. Центрально-Черноземной полосы*. Воронеж, 1973. Т. 10. – С. 13-17.
20. Витер А.Ф., Турсов В.И., Докучаева В.В. Углекислота как элемент питания растений и ее регулирование различными обработками почв. Влияние технологического возделывания сельскохозяйственных культур на плодородие почв. Воронеж, 1985. С. 134-140.
21. Масютенко Н.П., Масютенко М. Потери углекислого газа из чернозема типичного за вегетационный период. Потери углерода из органического вещества почвы в зависимости от антропогенных факторов и экспозиции склона. *Материалы международной научной конференции «Современное состояние черноземов»*. Ростов-на-Дону, 2013. С. 188-190.
22. Орлов Д.С. Свойства и функции гуминовых веществ. Гуминовые вещества в биосфере. Москва: Наука, 1993. 237 с.
23. Бахшиев Н.Г. Введение в молекулярную спектроскопию. Ленинград: ЛГУ, 1987. 216 с.
24. Cabaniss S.E., McVey I.F. Aqueous infrared carboxylate absorbances: aliphatic monocarboxylates. *Spectrochim Acta*. 1995. V. 51. P. 2385-2395.
25. Cabaniss S.E., Leenheer J.A., McVey I.F. Aqueous infrared carboxylate absorbances: aliphatic di-acids. *Spectrochim Acta*. 1998. V. 54. P. 449-458.
26. Ингрэм Д. Электронный парамагнитный резонанс в биологии. Москва: Мир, 1972. 295 с.
27. СВЧ-диэлектрметрия биотехнологических жидкостей / Т. А. Жилиякова, О. А. Горобченко, О. Т. Николов, Г. В. Голубничая. Киев: Проект "Наукова книга", 2015. 109 с.
28. Николов О.Т., Жилиякова Т.А. Измерение комплексной диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков с большими потерями. *Журнал физической химии*. 1991. №5. Т. 65. С. 1417-1420.
29. Сябрук О.П., Чечуй О.Ф. Методи вимірювань інтенсивності емісії CO₂ у системі ґрунт-рослина / За ред. М. М. Мірошніченка. Харків: ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», 2016. 36 с.
30. Термометры метеорологические стеклянные. Технические условия: ГОСТ 112-78. [Действ. от 1981-01-01]. Москва: Стандартинформ, 2006. 15 с.
31. Якість ґрунту. Визначення сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод (ISO 11465:1993, IDT) : ДСТУ ISO 11465-2001. [Чинний від 2003–01–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2002. 10 с. (Національний стандарт України).
32. Макаров Б.Н. Упрощенный метод определения дыхания почвы. *Почвоведение*. 1957. № 9. С. 119-122.
33. Ларина Н.К., Касаточкин В.И. Спектральные методы исследования гуминовых веществ почв. Москва, 1966. 171 с.
34. Орлов Д.С. Спектрофотометрический анализ гумусовых веществ. *Почвоведение*. 1966. №11. С. 120-130.
35. Панкратова К.Г., Щелоков В.И., Сазонов Ю.Г. Использование диффузной отражательной ИК-спектроскопии для экспрессной оценки содержания гуминовых кислот в гуминовых препаратах. *Агрохимия*. 2005. №7. С. 77-86.
36. Ayton G.S., Noid W.G., Voth G.A. Multiscale modeling of biomolecular systems: in serial and in parallel. *Curr Opin Struct Biol*. 2007. V. 17. P.192–198.
37. Lehn J.M. Toward complex matter: Supramolecular chemistry and self-organization. *PNAS*, 2002. V. 99. P. 4763-4768.
38. Маршэлл Е. Биофизическая химия. Москва: Мир, 1981. Т.1. 360 с.
39. Рубин А.Б. Биофизика. Москва: Книжный дом «Университет», 1999. Т. 1, 2. 488 с.
40. Либов В.С. Успехи и перспективы использования метода локального поля при изучении спектральных проявлений резонансных взаимодействий в конденсированной среде. *Журнал физической химии*. 1980. Вып 4, Т. 54. С. 817-828.
41. Pédrot M., Davranche M. Dynamic structure of humic substances: rare earth elements as a fingerprint. *J. Colloid Interface Sci*. 2010. V. 345. P. 206-221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.01.069>.
42. Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR, ¹³C NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy / P. Gonzalez, L. Martin-Neto, S. Saab, E. Novotny E. [et al.]. *Geoderma*. 2004. V. 118 P. 181-190. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00192-7).
43. Кудеярова А.Ю. Об информативности электронных спектров гумусовых веществ. *Почвоведение*. 2001. № 11. С. 1323-1331.
44. Кудеярова А.Ю. Приложение фундаментальных положений химии к пониманию механизмов образования и трансформации гумусовых веществ (обзор литературных и собственных экспериментальных данных). *Почвоведение*. 2007. № 9. С. 1048-1063.
45. Кудеярова А.Ю. Электронная спектроскопия как метод изучения влияния анионов, минеральных кислот и удобрений на структурные характеристики гумусовых кислот. *Агрохимия*. 2007. № 11. С. 71-84.
46. Piccolo A., Stevenson F.J. Infrared spectra of Cu²⁺, Pb²⁺ and Ca²⁺ complexes of soil humic substances. *Geoderma*. 1982. V. 27. P. 195-208.
47. Stevenson F.J., Gosh K.M. Infrared spectra of humic acid and related substances. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1971. V. 35. P. 471-483.
48. Альшуплер С.А., Козырев Б.М. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. Москва: Наука, 1972. 366 с.
49. Конформационные перестройки супраструктуры гуминовых кислот чернозема типичного в зависимости от способов обработки почвы / Е.В. Скрыльник, М.В. Шевченко, М.А. Попирный, О.Т. Николов. *Известия национальной академии наук Беларуси. Серия биологические науки*. 2018. №2, Т. 63.С. 209-221.
50. Кустов А.В. Термодинамика гидрофобных эффектов в бинарных и тройных системах, содержащих тетраалкиламмониевые ионы, аминокислоты и неэлектролиты: автореф. дис. доктора хим. наук: [спец.] 02.00.04. Иваново, 2012. 22 с.
51. Кутуля Л.А., Пивоваревич Л.П., Сузов Ю.Н. Протоноакцепторная способность гетероароматических метилкетонев при образовании Н-комплексов с фенолом. *Реакц. способность орг. соединений*. 1973. Вып. 1, Т.10. С. 119-127.
52. Кутуля Л.А., Пивоваревич Л.П., Сузов Ю.Н. Протоноакцепторная способность арилиденациетонев и их гетероциклических аналогов при образовании Н-связи. *Журнал орг. химии*. 1975. Вып. 10, Т. 2. С. 2094-2099.
53. Emil S., Kinsinger C. Integration of omics sciences to advance biology and medicine. *Clin Proteomics*. 2014. № 11(1). 45 p.
54. Nebbioso A., Piccolo A. Basis of a humeomics science: chemical fractionation and molecular characterization of humic biosuprastructures. *Biomacromolecules*. 2011. V. 12. P. 1187-1199.
55. Наумовська О.І. Зміни показників фізико-хімічних та біологічних властивостей чернозему типового правобережного Лісостепу в умовах застосування ґрунтозахисних технологій : автореф. дис. канд. с.-г. наук: [спец.] 06.01.03 «Агрогрунтознавство і агрофізика». Київ: НАА, 2003. 24 с.
56. Agren G.I., Hyvonen R., Nilsson T. 2007. Are Swedish forest soils sinks or sources for CO₂ - model analyses based on forest inventory data. *Biogeochemistry*. № 82. P. 217-227.
57. Raich J.W. Schlesinger W.N. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*. 1992. V. 44B. P. 81-89.
58. Davidson E.A., Savage K., Verchot L.V. Minimizing artefacts and biases in chamber based measurements of soil respiration. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2002. №113. P. 21–37.
59. Трофименко П.І., Борисов Ф.І. Визначення маси вуглецю під час його виділення з ґрунту за допомогою газоаналізатора. *Вісник ЖНАЕУ*. Житомир, 2014. № 2. С. 345 – 349.
60. Спосіб визначення інтенсивності емісії газів з ґрунту (на прикладі CO₂) / П. І. Трофименко, О. П. Сябрук, Ф. І. Борисов [та ін.]. Харків: ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», 2019. 29 с.
61. Lifeng H., Li H., Zhang X. Using conservation tillage to reduce greenhouse gas emission in northern China. *Department of Agricultural Engineering*. China Agricultural University, 2008. P. 78-82.

UDC 631.421: 631.417.2: 631.433.5

The newest integrative methods of research of soil organic carbon stabilization at different tillage

M.A. Popirny¹, O.P. Siabruk^{1*}, R.V. Akimova¹, M.V. Shevchenko²

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine

²Kharkiv national agrarian university named after V. V. Dokuchaev,
Kharkiv, Ukraine

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Received 18.05.2020 Received in revised form 07.09.2020 Accepted 15.09.2019 Available online 01.11.2020</p> <hr/> <p><i>Keywords:</i></p> <p>organic carbon; tillage system; integrative methods; complex spectroscopic; humic acids; carbon dioxide</p>	<p>In agriculture, one of the technologies for the recovery of lost organic carbon is the minimum and no-till methods, which contribute to the increase of organic matter and the global stabilization of carbon dioxide. But the effectiveness of carbon sequestration in soil by such methods is limited by the fact that organic carbon is quickly released from the soil, which is returned to plowing. Therefore, this necessitates an urgent need to study the response processes of humus molecules, leading to the structuring of soil organic matter to manage carbon sequestration and integrative monitoring of CO₂ emissions. The purpose of the work was to identify and establish the processes of response of humic molecules as a complete supramolecular system by integrative spectroscopic approach that determine the stabilization of soil carbon and determine the dynamics of CO₂ emissions from the soil. The studies were aimed at detecting changes in the integral characteristics of the spectra in complex molecular spectroscopic analysis of all humic acid (HA) extract of chernozem typical and to determine the impact of different tillage methods on soil CO₂ emissions. Complex spectroscopic analysis was performed in the advanced laboratories of KNU named after V. N. Karazin and the Scientific and Technological Complex "Institute of Single Crystals". Instrumental control of the carbon dioxide release rate from the soil surface was performed using a portable gas analyzer testo 535. With using modern spectroscopic methods of unfractionated chernozem typical humic acid extracts, there were established processes of reorganization of humic superstructure, characterized by the restructuring of intermolecular forces, which causes a change in the reactivity and stability of HA. It is revealed that humic superstructure of arable chernozem typical is characterized by high molecular mobility, due to hydrophilic positive hydration and good solubility, high sorption and complexing properties, but with poor ability to attach, due to migratory "scattering", deep into the soil profile. It is proved that the largest total volumes of CO₂ emissions from typical chernozem are characterized by the technology of direct sowing (no - tillage), this is facilitated by better water regime and fuller mineralization of plant residues on the soil surface. During basic tillage by disking of 10-12 cm, the annual carbon losses are the lowest. In addition, systematic plowing over 6 years led to a decrease in the content of labile organic matter and fulvic acids. and a reduction in the potential for CO₂ production in the topsoil compared to surface tillage and direct sowing technology.</p>

*E-mail: syabryk86@gmail.com

Citing: Popirny M.A., Siabruk O.P., Akimova R.V., Shevchenko M.V. 2020. The newest integrative methods of research of soil organic carbon stabilization at different tillage. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 13-28. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-02>.

References

1. Perminova I.V. 2008. Humic substances - a challenge to chemists of the XXI century. *Himiya i zhizn'*. № 1. P. 50-56. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/3668102/> (Rus.).
2. Lal R., Mohtar R.H., Assi A.T., Ray R., Baybil H., Lahn M. 2017. Soil as a Basic Nexus Tool: Soils at the Center of the Food-Energy-Water Nexus. *Curr Sustainable Renewable Energy Rep* 4. P. 117-129. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40518-017-0082-4>.
3. Piccolo A., Spaccini R., Drosos M., Vinci G., Cozzolino V. 2018. The Molecular Composition of Humus Carbon: Recalcitrance and Reactivity in Soils. *The Future of Soil Carbon, Its Conservation and Formation*, Edition: 1st, Chapter: 4, Publisher: Academic Press, Editors: Garcia Carlos, Nannipieri Paolo, Hernandez Teresa. P. 87-124. DOI: 10.1016/B978-0-12-811687-6.00004-3.
4. Semenov V.M., Kogut B.M. 2015. Soil organic matter. Moscow: GEOS. 233 p. (Rus.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25705091>.
5. Piccolo A. 2002. The supramolecular structure of humic substances. A novel understanding of humus chemistry and application in Soil Science. *Advances in Agronomy*. № 75. P. 57-133. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(02\)75003-7](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(02)75003-7).
6. Piccolo A., Spaccini R., Nieder R., Richter J. 2004. Sequestration of a Biologically Labile Organic Carbon in Soils by Humified Organic Matter. *Climatic Change*. V. 67(2). P. 329-343. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-004-1822-1>.
7. Nuzzo A., Piccolo A. 2013. Enhanced catechol oxidation by heterogeneous biomimetic catalysts immobilized on clay minerals. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. V. 371. P. 8-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2013.01.021>.
8. Nuzzo A., Piccolo A. 2013. Oxidative and Photoxidative Polymerization of Humic Suprastructures by Heterogeneous Biomimetic Catalysis. *Biomacromolecules*. V. 14, P. 1645-1652. DOI: <https://doi.org/10.1021/bm400300m>.
9. Nebbioso A., Piccolo A., Spaccini R. 2011. Humeomics for a structure-bioactivity relationship of Humic Substances. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 13. P. 10961. URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-10961.pdf>.
10. Nebbioso A., Piccolo A. 2012. Advances in humeomics: enhanced structural identification of humic molecules after size fractionation of a soil humic acid. *Anal. Chim. Acta*. V. 720. P. 77-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.01.027>.
11. Dobrovolskij G.V. 2003. Structural and functional role of soils and soil biota in the biosphere. Moscow: Nauka. 364 p. (Rus.).
12. Dobrovolskij G.V., Nikitin E. 1990. Soil functions in the biosphere and ecosystems. Moscow: Nauka. 261 p. (Rus.).
13. Cole K. Soil CO₂. 1995. [Electronic resource]. Access mode : www.global/carbon/reservoirdata.htm.

14. Malhanova E.V. 2007. Carbon dioxide emission by permafrost soils in the south of the Vitim plateau: author. dis. PhD: [special] 03.02.13 "Soil science". Ulan-Ude. 19 p. (Rus.).
15. Zagirova S.V. 1999. The structure of the assimilation apparatus and CO₂-gas exchange in conifers. Ekaterinburg. 108 p. (Rus.).
16. Zagirova S.B. 2000. Structure and CO₂-gas exchange of needles. *Plant physiology*. T. 47. No. 6. P. 825-830. (Rus.).
17. Medvedev V.V. 2010. Soil no-till in European countries. Kharkiv: EDENA Ltd. 202 p. (Ukr.).
18. Medvedev V.V. 1988. Optimization of agrophysical properties of chernozems. Moscow: Agropromizdat. 158 p. (Rus.).
19. Viter A.F. 1973. Dynamics of carbon dioxide in soil air. Coll. scientific. papers of scientific research institute of agricultural. Central Chernozem Belt. Voronezh. T. 10. - P. 13-17. (Rus.).
20. Viter A.F., Tursov V.I., Dokuchaeva V.V. 1985. Carbon dioxide as an element of plant nutrition and its regulation by various soil treatments. Influence of technological cultivation of agricultural crops on soil fertility. Voronezh. P. 134-140. (Rus.).
21. Masyutenko N.P., Masyutenko M. 2013. Carbon dioxide flows from typical chernozem during the growing season. Loss of carbon from soil organic matter depending on anthropogenic factors and slope exposure. Materials of the international scientific conference "The current state of chernozems". Rostov-on-Don. P. 188-190. (Rus.).
22. Orlov D.S. 1993. Properties and functions of humic substances. Humic substances in the biosphere. Moscow: Nauka. 237 p. (Rus.).
23. Bahshiev N.G. 1987. Introduction to molecular spectroscopy. Leningrad: LSU. 216 p. (Rus.).
24. Cabaniss S.E., McVey I.F. 1995. Aqueous infrared carboxylate absorbances: aliphatic monocarboxylates. *Spectrochim Acta*. V. 51. P. 2385-2395.
25. Cabaniss S.E., Leenheer J.A., McVey I.F. 1998. Aqueous infrared carboxylate absorbances: aliphatic di-acids. *Spectrochim Acta*. V. 54. P. 449-458. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1386-1425\(97\)00258-8](https://doi.org/10.1016/S1386-1425(97)00258-8).
26. Ingrem D. 1972. Electron paramagnetic resonance in biology. Moscow: Mir. 295 p. (Rus.).
27. Zhilyakova T.A., Gorobchenko O.A., Nikolov O.T., Golubnichaya G.V. 2015. Microwave dielectrometry of biotechnological liquids. Kyiv: Project "Naukova Kniga". 109 p. (Rus.).
28. Nikolov O.T., Zhilyakova T.A. 1991. Measurement of the complex dielectric constant of liquid dielectrics with high losses. *Journal of Physical Chemistry*. No. 5. T. 65. P. 1417-1420. (Rus.).
29. Siabruk O.P., Chechuj O.F. 2016. Methods for measuring the intensity of CO₂ emissions in the soil-plant system / Ed. M.M. Miroshnichenko. Kharkiv, National Scientific Center "Institute for soil science and agrochemistry research named after O. N. Sokolovsky". 36 p. (Ukr.).
30. Meteorological glass thermometers. Specifications: GOST 112-78. [Valid. from 1981-01-01]. Moscow: Standartinform, 2006. 15 p. (Rus.).
31. Soil quality. Determination of dry matter and moisture by weight. Gravimetric method (ISO 11465: 1993, IDT): DSTU ISO 11465-2001. [Valid from 2003-01-01]. Kyiv: Derzhspozhivstandart Ukraine, 2002. 10 p. (National standard of Ukraine). (Ukr.).
32. Makarov B.N. 1957 Simplified method for determination of soil respiration. *Pochvovedenie*. No. 9. P. 119-122. (Rus.).
33. Larina N.K., Kasatochkin V.I. 1966. Spectral methods for studying humic substances in soils. Moscow. 171 p. (Rus.).
34. Orlov D.S. 1966. Spectrophotometric analysis of humic substances. *Pochvovedenie*. №11. P. 120-130. (Rus.).
35. Pankratova K.G., Schelokov V.I., Sazonov Yu.G. 2005. The use of diffuse reflective IR spectroscopy for rapid assessment of the content of humic acids in humic preparations. *Agrohimiya*. No. 7. P. 77-86. (Rus.).
36. Ayton G.S., Noid W.G., Voth G.A. 2007. Multiscale modeling of biomolecular systems: in serial and in parallel. *Curr Opin Struct Biol*. V. 17. P. 192-198.
37. Lehn J.M. 2002. Toward complex matter: Supramolecular chemistry and self-organization. *PNAS*. V. 99. P. 4763-4768.
38. Marsh`ell E. 1981. Biophysical chemistry. Moscow: Mir. T.1. 360 p.
39. Rubin A.B. 1966. Biophysics. Moscow: Book House «Universitet». T. 1, 2. 488 p.
40. Libov V.S. 1980. Advances and prospects of using the local field method in the study of spectral manifestations of resonant interactions in a condensed medium. *Journal of Physical Chemistry*. Issue 4, T. 54. P. 817-828. (Rus.).
41. Pédrot M., Davranche M. 2010. Dynamic structure of humic substances: rare earth elements as a fingerprint. *J. Colloid Interface Sci*. V. 345. P. 206-221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.01.069>
42. Gonzalez P., Martin-Neto L., Saab S., Novotny E., Milori D., Dfgnato V., Colnago L., Melo V., Knicker H. 2004. Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR, ¹³C NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy. *Geoderma*. V. 118(3-4). P. 181-190. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00192-7)
43. Kudayarova A.Yu. 2001. On the informative value of the electronic spectra of humic substances. *Pochvovedenie*. № 11. P. 1323-1331. (Rus.).
44. Kudayarova A.Yu. 2007. Application of fundamental principles of chemistry to understanding the mechanisms of formation and transformation of humic substances (review of literature and our own experimental data). *Pochvovedenie*. № 9. P. 1048-1063. (Rus.).
45. Kudayarova A.Yu. 2007. Electron spectroscopy as a method for studying the effect of anions, mineral acids and fertilizers on the structural characteristics of humic acids. *Agrohimiya*. № 11. P. 71-84. (Rus.).
46. Piccolo A., Stevenson F.J. 1982. Infrared spectra of Cu²⁺, Pb²⁺ and Ca²⁺ complexes of soil humic substances. *Geoderma*. V. 27. P. 195-208.
47. Stevenson F.J., Gosh K.M. 1971. Infrared spectra of humic acid and related substances. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. V. 35. P. 471-483.
48. Al'tshuler S.A., Kozyrev B.M. 1972. Electronic paramagnetic resonance of compounds of elements of intermediate groups. M.: Nauka. 366 p. (Rus.).
49. Skryl'nik E.V., Shevchenko M.V., Popirnij M.A., Nikolov O.T. 2018. Conformational rearrangements of the humic acid suprastructure of typical chernozem depending on the methods of soil cultivation / Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Science Series. No. 2, T. 63. P. 209-221. (Rus.).
50. Kustov A.V. 2012. Thermodynamics of hydrophobic effects in binary and ternary systems containing tetraalkylammonium ions, amino acids and non-electrolytes: author. dis. doctor chem. sciences: [special] 02.00.04. Ivanovo. 22 p. (Rus.).
51. Kutulya L.A., Pivovarevich L.P., Surov Yu.N. 1973. Proton-acceptor ability of heteroaromatic methyl ketones in the formation of H-complexes with phenol. React. ability org. connections. Issue. 1, T.10. P. 119-127. (Rus.).
52. Kutulya L.A., Pivovarevich L.P., Surov Yu.N. 1975. Proton-acceptor ability of arylideneacetones and their heterocyclic analogs in the formation of an H-bond. Org. chemistry magazine. Issue. 10, T. 2. P. 2094-2099. (Rus.).
53. Emil S., Kinsinger C. Integration of omics sciences to advance biology and medicine. *Clin Proteomics*. 2014. № 11(1). 45 p.
54. Nebbioso A., Piccolo A. Basis of a humeomics science: chemical fractionation and molecular characterization of humic biosuprastructures. *Biomacromolecules*. 2011. V. 12. P. 1187-1199.
55. Naumov'ska O.I. 2003. Changes in the indicators of physicochemical and biological properties of chernozem of the typical Right-Bank Forest-Steppe in the conditions of application of soil protection technologies: author's ref. PhD: [special] 06.01.03 "Agrosoilsience and agrophysics". Kyiv: NAAN. 24 p. (Ukr.).
56. Agren G.I., Hyvonen R., Nilsson T. 2007. Are Swedish forest soils sinks or sources for CO₂ - model analyses based on forest inventory data? *Biogeochemistry*. № 82. P. 217-227.
57. Raich J.W., Schlesinger W.N. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*. V. 44B. P. 81-89.

58. Davidson E.A., Savage K., Verchot L.V. Minimizing artefacts and biases in chamber based measurements of soil respiration. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2002. №113. P. 21–37.
59. Trofimenko P.I., Borisov F.I. 2014. Determination of carbon mass during its release from the soil using a gas analyzer. *Visnik ZhNAEU. Zhytomyr*. № 2. P. 345-349. (Ukr.).
60. Trofimenko P.I., Siabruk O.P., Borisov F.I., Miroshnychenko M.M., Tsapko Yu.L., Trofimenko N.V. 2019. The method of determining the intensity of gas emissions from the soil (for example CO₂). Kharkiv, National Scientific Center "Institute for soil science and agrochemistry research named after O.N. Sokolovsky". 29 p. (Ukr.).
61. Lifeng H., Li H., Zhang X. 2008. Using conservation tillage to reduce greenhouse gas emission in northern China. *Department of Agricultural Engineering, China Agricultural University*. P. 78-82.
62. Emtsev V., Mishustin E. 2006. *Microbiology (6th edition)*. Moscow: Drofa, 2006. P. 112-116. (Rus.).

УДК 631.421: 631.417.2: 631.433.5

Новые интегративные методы исследования стабилизации органического углерода при разной обработке почвы

М. А. Попирный¹, О. П. Сябрук^{1*}, Р. В. Акимова¹, Н. В. Шевченко²

¹Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского», Харьков, Украина,

²Харьковский национальный аграрный университет имени В. В. Докучаева, Харьков, Украина

*E-mail: svabryk86@gmail.com

В земледелии одной из технологий возвращения утраченного органического углерода являются минимальный и нулевой способы обработки почвы, которые способствуют повышению содержания органического вещества и глобальной стабилизации углекислого газа. Но эффективность секвестрации углерода в почве ограничена, из-за того, что органический углерод быстро высвобождается из почвы с возвращением пахоты. Этим и обусловлена актуальность исследования процессов реагирования гумусовых молекул, ведущих к структурированию органического вещества почвы, для управления секвестрацией углерода и интегративного мониторинга эмиссии CO₂. Целью работы было выявить процессы реагирования гуминовых молекул, как целостной супрамолекулярной системы, определяющие стабилизацию почвенного углерода и обуславливающие динамику эмиссии CO₂ из почвы с использованием интегративных биофизико-химических параметров (комплексными спектроскопическими методами). Исследовали изменения интегрированных характеристик спектров в комплексном спектроскопическом анализе всего экстракта гуминовых кислот чернозема типичного для выявления влияния различных способов обработки на динамику эмиссии CO₂ из почвы. Комплексный спектроскопический анализ выполнен в лабораториях ХНУ имени В. Н. Каразина и Научно-технологического комплекса "Институт монокристаллов". Инструментальный контроль интенсивности выделения диоксида углерода с поверхности почвы проводили с помощью портативного газоанализатора testo 535. По результатам исследований современными спектроскопическими методами нефракционированных экстрактов гуминовых кислот чернозема типичного при разной обработке почвы обнаружено процессы переорганизацию гуминовой супраструктуры, которые характеризуются перестройкой межмолекулярных сил, которые обуславливают изменение реакционной способности и стабильности гуминовых кислот. Выявлено, что гуминовые супраструктуры пахотного чернозема типичного характеризуются высокой молекулярной подвижностью, обусловленной гидрофильной положительной гидратацией и хорошей растворимостью, высокой сорбционной и комплексообразующей способностями, но слабой способностью закрепляться, вследствие миграционного «рассеивания» вглубь почвенного профиля. Доказано, что наибольшими суммарными объемами эмиссии CO₂ из чернозема типичного характеризуется технология прямого посева (нулевой обработки), чему способствует лучший водный режим и более полная минерализация растительных остатков с поверхности почвы. При основной обработки на варианте с дискованием на 10-12 см годовые потери углерода не высокие. Систематическая вспашка (6 лет подряд) привела к уменьшению содержания лабильного органического вещества и фульвокислот, и к снижению потенциальной способности к продуцированию CO₂ в верхнем слое почвы, по сравнению с поверхностной обработкой и технологией прямого посева.

Ключевые слова: гуминовые кислоты; диоксид углерода; интегративные методы; комплексная спектроскопия; органический углерод; система обработки почвы.