

9. Yashchenko L., Androshchuk O., Vasylenko L., Chornoivan Y. Environmental risks of heavy metal pollution in war-affected soils in Ukraine *European Journal of Environmental Sciences*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.14712/23361964.2025.3>.

10. Shulga S., Tigunova O., Andriiash H., Yemets A. Harnessing plant microbiomes to enhance crop resilience and restore war-affected soils in Ukraine. *Frontiers in Plant Science*. 2026. Vol. 17. e1868751. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1868751>.

ВПЛИВ ГУМАТУ КАЛІЮ НА МІКРОБОЦЕНОЗИ АГРОЧОРНОЗЕМІВ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ

Середа А. Є., аспірант

Гавва Д. В., к. с.-г. н., доцент

Резнік С. В., д. філософії, викладач

Державний біотехнологічний університет,
м. Харків, Україна

Сучасні агроєкосистеми Лівобережного Лісостепу України зазнають потужного антропогенного навантаження, що призводить до деградації ґрунтового покриву, порушення біогеохімічних циклів елементів та редукції біологічного різноманіття. Агрозорноземі (переважно чорноземі типові та реградівані), які історично формували потенціал вітчизняного землеробства, в умовах інтенсивної хімізації, дефіциту органічних добрив та частого використання монокультур утрачають природну стійкість. Одним із головних проявів цієї деструкції є суцесійне зміщення в мікробіоценозах: зниження чисельності корисних агрономічних груп мікроорганізмів та накопичення опортуністичної фітопатогенної мікрофлори [1, 3].

Застосування фізіологічно активних речовин гумусової природи, зокрема гумату калію, розглядається як один із найбільш перспективних прийомів біологізації землеробства. Гумати діють не лише як орґано-мінеральні стимулятори росту рослин, а й як потужні екзогенні регулятори функціонального стану ґрунтового мікробіому. Дослідження реакції мікробіоценозу на внесення гумату калію є необхідним підґрунтям для розробки ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологій відтворення родючості агрозорноземів [2, 5].

З огляду на агроєкологічні особливості Лівобережного Лісостепу та їхній вплив на мікробіом відмітимо, що ґрунтовий покрив Лівобережного Лісостепу України характеризується переважанням чорноземів типових та глибоких мало- і середньогумусних, що сформувалися на лесових породах. Кліматичні умови регіону (помірно-континентальний клімат із проявами періодичних повітряно-ґрунтових посух) накладають специфічний відбиток на функціонування ґрунтового біотичного комплексу [4]. В умовах дефіциту вологи у літній період

мікробіологічні процеси сповільнюються, а сукцесійні зміни зміщуються у бік оліготрофізації середовища. Внесення гумату калію створює додатковий буферний бар'єр: підвищує вологоутримувальну здатність ґрунтового розчину за рахунок високої гідрофільності гумінових кислот; стабілізує реакцію середовища, що оптимізує нішу проживання для бактеріальних угруповань; слугує джерелом вуглецю та калію для гетеротрофного блоку мікробіоценозу під час несприятливих гідротермічних періодів [6, 8].

Функцію активної участі в деструкції гумусу пов'язують із багатьма представниками ґрунтового мікробіоценозу. Зокрема, це окремі види родів *Actinomyces*, *Aerobacter*, *Bacillus*, *Bacterium*, *Clostridium*, *Flavobacterium*, *Mycobacterium*, *Mycococcus*, *Rhodotorula* та інші. Механізми впливу гумату калію на еколого-трофічні групи мікроорганізмів є досить специфічними. Гумат калію має складну полідисперсну структуру, до складу якої входять високомолекулярні гумінові кислоти, низькомолекулярні фульвокислоти, а також комплекси мікро- та макроелементів. Його застосування на агрочорноземі викликає якісну та кількісну перебудову мікробіоценозу за кількома ключовими напрямками.. Зокрема, під дією гумату калію зростає чисельність бактерій родів *Bacillus*, *Pseudomonas* та *Micrococcus* (амоніфікуючі мікроорганізми), що розщеплюють азотовмісні органічні сполуки. Активізація амоніфікації забезпечує накопичення у ґрунті доступного мінерального азоту у формі амонію [1; 7]. Також збільшення пулу амонійного азоту в поєднанні з оптимізацією аерації створює сприятливі умови для автотрофних нітрифікуючих бактерій (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*). Це прискорює конверсію амонію в нітратну форму, запобігаючи непродуктивним втратам азоту у вигляді газоподібних сполук [4]. Гумінові сполуки є природними комплексонами та посередниками електронів у дихальних ланцюгах азотфіксуючих бактерій. Це зумовлює стимуляцію розвитку як вільноживучих та асоціативних азотфіксаторів (*Azotobacter chroococcum*, *Clostridium pasteurianum*), так і симбіотичної мікрофлори (*Rhizobium spp.*, *Bradyrhizobium spp.*). В результаті зростає обсяг біологічної фіксації атмосферного азоту [3]. Актиноміцети (*Streptomyces*) та целюлозоруйнівні мікроорганізми реагують на внесення гумату калію суттєвим збільшенням біомаси. Оскільки ці мікроорганізми є основними деструкторами стійких біополімерів (лігніну, хітину, целюлози), їх активність прискорює гуміфікацію рослинних решток та поліпшує структуру ґрунту [2, 9]. Внесення гуматів оптимізує бактеріально-грибне співвідношення (фітосанітарний стан). Спостерігається пригнічення розвитку фітопатогенних мікроміцетів (зокрема родів *Fusarium*, *Bipolaris*, *Alternaria*), що пояснюється підвищенням антагоністичної активності сапрофітної мікрофлори (насамперед грибів роду *Trichoderma*) та синтезом специфічних антибіотичних речовин актиноміцетами [3, 7].

У свою чергу динаміка спрямованості мікробіологічних процесів та ферментативна активність мають свої особливості, оскільки зміна структури мікробіоценозу безпосередньо впливає на показники біогенності та спрямованості біохімічних трансформацій у чорноземі. Так коефіцієнт

мінералізації, який розраховується як відношення чисельності мікроорганізмів, що засвоюють мінеральний азот, до амоніфікаторів, за умови застосування гумату калію спостерігається зниження даного коефіцієнта у перші фази метаболізму, що свідчить про переважання процесів синтезу органічних сполук над їх мінералізаційними процесами [1, 4]. Зменшення такого показника, як коефіцієнт оліготрофності свідчить про забезпечення мікробіоти доступними елементами живлення та вихід мікробоценозу зі стану стресу.

Якщо розглядати ферментативний потенціал, то гумат калію виступає як алостеричний активатор ґрунтових ензимів. Дослідженнями вчених зафіксовано зростання активності: каталази та дегідрогенази (на 20–35%), що віддзеркалює загальну дихальну та метаболічну інтенсивність мікробіому; уреазу – показника швидкості трансформації сечовини та амідних форм азоту; фосфатази (лужної та кислої) – що прискорює гідроліз органічних фосфорорганічних сполук та підвищує рухливість фосфатів [6, 8, 10].

Комплексний мікробіологічний аналіз чорнозему типового дослідного поля ДБТУ у Харківському районі засвідчив різноспрямований вплив внесення гуматів калію на еколого-трофічні групи мікроорганізмів. Чисельність гуматрозкладальних бактерій (НА) закономірно зменшується з глибиною (від 0,67–1,11 млн к.у.з. у контролі до 0,23–0,28 млн к.у.з. у шарі 30–40 см). Водночас внесення гуматів (особливо у варіанті «Гумат 200», шар 20–30 см) забезпечує потужну стимуляцію актиноміцетів (КАА), чисельність яких зростає до 7,86–11,09 млн к.у.з., а також азотфіксаторів на агарі Ешбі (ЕШ), показники яких сягають 10,62–14,33 млн к.у.з., що свідчить про активізацію загальних процесів трансформації органічної речовини та азотного циклу в ґрунті.

Таким чином, застосування гумату калію на агроценозах Лівобережного Лісостепу України є ефективним чинником спрямованого корегування функціонально-структурної організації ґрунтового мікробоценозу. Внесення гумату калію стимулює розвиток агрономічно корисних груп мікроорганізмів (азотфіксаторів, амоніфікаторів, актиноміцетів) та активує ферментативний пул ґрунту (каталазу, дегідрогеназу, фосфатазу). Оптимізація співвідношення мікробіологічних груп сприяє оздоровленню фітосанітарного стану агроценозу шляхом супресії патогенної мікрофлори сапрофітними антагоністами (*Trichoderma spp.*, *Streptomyces spp.*). Застосування гуматів сприяє збалансуванню процесів мінералізації та гуміфікації, забезпечуючи збереження й відтворення потенційної родючості чорноземних ґрунтів.

Література

1. Jin Q., Zhang Y., Wang Q. et al. Effects of potassium fulvic acid and potassium humate on microbial biodiversity in bulk soil and rhizosphere soil of *Panax ginseng*. *Microbiological Research*. 2022. Vol. 254. e. 126914. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126914>.

2. Yang F., Tang C., Antonietti M. Natural and artificial humic substances to manage minerals, ions, water, and soil microorganisms. *Chemical Society Reviews*. 2021. Vol. 50, No. 10. P. 6221–6239. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0CS01363C>.
3. Dong L., Córdova-Kreylos A. L., Yang J., Yuan H., Scow K. M. Humic acids buffer the effects of urea on soil ammonia oxidizers and potential nitrification. *Soil Biology and Biochemistry*. 2009. Vol. 41, No. 8. P. 1612–1621. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.04.023>.
4. Dey S., Kasai T., Katayama A. Promotion of nitrogen fixation of diverse heterotrophs by solid-phase humin. *Frontiers in Microbiology*. 2022. Vol. 13. e. 853411. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.853411>.
5. Hoefle D., Sperber S., Marzban N. et al. Artificial humic acid diminishes the effect of drought on the soil microbiome. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*. 2024. Vol. 3, No. 4. e. 70034. DOI: <https://doi.org/10.1002/sae2.70034>.
6. Jiang Y. et al. Humic substances suppress *Fusarium oxysporum* by regulating soil microbial community in the rhizosphere of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Applied Soil Ecology*. 2022. Vol. 174. e. 104389. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104389>.
7. Kagan K., Goraj W., Kuźniar A. et al. Exploring the synergy between humic acid substances, dehydrogenase activity and soil fertility. *Agronomy*. 2024. Vol. 14, No. 5. e. 1031. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14051031>.
8. Tiwari J., Al Ramanathan A., Baudh K., Korstad J. Humic substances: Structure, function and benefits for agroecosystems – a review. *Pedosphere*. 2023. Vol. 33, No. 2. P. 237-249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.07.008>.
9. Mierzwa-Hersztek M., Gondek K., Klimkowicz-Pawlas A. et al. Assessing the potential of biochar aged by humic substances to enhance plant growth and soil biological activity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00242-7>.
10. Ben Farhat M., Boukhris I., Chouayekh H. Mineral phosphate solubilization by *Streptomyces* sp. CTM396 involves the excretion of gluconic acid and is stimulated by humic acids. *FEMS Microbiology Letters*. 2015. Vol. 362, No. 5. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsle/fnv008>.

ЗАГАЛЬНА ШПАРУВАТИСТЬ ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ У ЗОНАХ АГРОГЕННОГО ТА ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ

Шемякін В. В., аспірант каф. ґрунтознавства
Дегтярьов Ю. В., к. с.-г. н., доцент
Державний біотехнологічний університет,
м. Харків, Україна

Пористість ґрунту є одним із головних показників його фізичного стану, що визначає водно-повітряний режим, інфільтраційну здатність та біологічну активність агроєкосистем. Саме вона відображає співвідношення між твердою