

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ОБРАБОТКИ И СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ

**Е. Н. Богатырева¹, Т. М. Серая¹, О. М. Бирюкова²,
Т. М. Кирдун¹, Ю. А. Симанкова¹**

¹Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

²Лицей им. Ф. Э. Дзержинского БГУ, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим компонентом любой агроэкосистемы являются почвенные микроорганизмы, которые осуществляют множество биологических процессов в почве, в том числе определяя направленность и интенсивность трансформации соединений углерода и азота, принимают главное участие в разложении органических остатков, изменении химических свойств и преобразовании минерального состава почвы, что, в конечном итоге, влияет на характер питания растений в процессе онтогенеза.

В этой связи стратегия управления микробными сообществами почвы является одним из перспективных путей повышения почвенного плодородия в условиях рационального ведения сельскохозяйственного производства, особенно экологически безопасного земледелия [1–3]. Основным способом управления функциями почвенного микробиома является изменение условий обитания микроорганизмов – это внесение органических и минеральных удобрений, приемы обработки почвы, севообороты и т. д.

Применяемые агротехнологии оказывают разнонаправленное влияние на состояние микробного сообщества почвы и функциональную активность разных групп почвенных микроорганизмов. За последние 20 лет российскими учеными проведено достаточно много научных исследований по изучению численности и таксономической структуры микробных систем в почвах, различающихся по химическому, физическому и гранулометрическому составам, биоклиматическим факторам, а также в зависимости от антропогенной нагрузки при возделывании сельскохозяйственных культур, по изменению их динамики в различных диапазонах времени [4–18].

В Республике Беларусь в 70–90-х гг. прошлого столетия изучением закономерностей формирования микробного сообщества и установлением его взаимосвязи с функционированием почв занимались Л. А. Карягина с соавторами [19–21] и другие ученые [22–24]. За истекший период в нашей стране изменились не только физико-химические показатели почв, но и агротехника возделывания культур, что, в свою очередь, влияет на деятельность почвенных микроорганизмов. Тем не менее, исследований по данной тематике недостаточно, можно выделить лишь следующие работы в этом направлении [25–28], что и актуализировало проведение данной работы.

Цель исследований – изучение численности основных физиологических групп микроорганизмов в разных слоях дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от приемов основной обработки и систем удобрения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены в полевом опыте с озимой пшеницей, заложенном на опытном поле Института, расположенном в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком, почве [29]. В опыте изучали три фактора: фактор А – приемы основной обработки почвы (вспашка на глубину 20–22 см и дискование на глубину 10–12 см); фактор В – системы удобрения; фактор С – глубина отбора почвенных образцов. Схема опыта представлена в таблице 1.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя перед закладкой опыта: pH_{KCl} – 5,58, содержание гумуса – 1,98 %, подвижных форм фосфора – 161 мг/кг и калия – 179 мг/кг, обменных соединений CaO – 1000 мг/кг и MgO – 164 мг/кг почвы.

Предшественник озимой пшеницы – горохо-овсяная смесь на зерно, урожайность соломы в среднем составила 3,0 т/га. После уборки солому измельчали и равномерно распределяли по делянкам; затем вносили удобрение микробиологическое «Жыцень» в дозе 3 л/га или компенсирующую дозу азота в виде КАС (N_{20}) и задисковывали. Через две недели в 1-м блоке проводили вспашку, во 2-м – дискование в один след. Удобрение микробиологическое «Жыцень» – целлюлозоразлагающее удобрение с содержанием *Pseudomonas* sp.–11 – не менее 1×10^9 КОЕ/см³; *Bacillus* sp.–49, не менее 1×10^9 КОЕ/см³. Примененный в опыте подстильный навоз имел следующие показатели (в расчете на естественную влажность): органическое вещество – 17 %, N – 0,60 %, P_2O_5 – 0,34 %, K_2O – 0,75 %, pH_{KCl} – 8,74, влажность – 73 %. Фосфорные и калийные удобрения в виде аммонизированного суперфосфата и хлористого калия внесены под основную обработку почвы, азотные – в три подкормки: в начале ранневесенней вегетации (КАС), в фазы первый узел и флаг-лист (карбамид) из расчета $N_{70+40+40}$. В варианте с внесением 40 т/га подстильного навоза КРС дозы внесения азота в первые две подкормки были на 10 кг/га ниже и составили $N_{60+30+40}$.

В течение вегетации озимой пшеницы поделочно отбирали почвенные образцы: весной в фазе кущения (главный побег и 2 побега кущения) (1-й отбор), в фазы выхода флаг-листа перед подкормкой азотными удобрениями посевов (2-й отбор) и созревания (перед уборкой) (3-й отбор)

В почвенных образцах основные агрохимические показатели определены по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); обменная кислотность pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85); подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91), обменные кальций и магний в 1 М KCl -вытяжке с определением на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30 (ГОСТ 26487-85).

Химический анализ подстильного навоза КРС выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: определение влаги и сухого остатка – путем высушивания образцов до постоянной массы (ГОСТ 26713-85), органического вещества – по ГОСТ 27980-88, pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 27979-88), общего азота – методом Кьельдаля (ГОСТ 26715-85), общего фосфора – фотометрическим методом (ГОСТ 26717-85), общего калия – пламенно-фотометрическим методом (ГОСТ 26718-85).

Таблица 1

Численность аммонифицирующих, амилалитических и целлюлозолитических микроорганизмов в дерново-подзолистой супесчаной почве

| Вариант | Глубина отбора, см | Численность микроорганизмов, тыс. КОЕ/г абс. сух. почвы | | | | | | | | |
|---|--------------------|---|------|------|-----------------|------|------|---------------------|-----|-----|
| | | Аммонифицирующих | | | Амилолитических | | | Целлюлозолитических | | |
| | | Отбор | | | | | | | | |
| | | 1-й | 2-й | 3-й | 1-й | 2-й | 3-й | 1-й | 2-й | 3-й |
| Вспашка | | | | | | | | | | |
| Без удобрений (контроль 1) | 0–10 | 420 | 263 | 420 | 1155 | 1076 | 998 | 158 | 184 | 139 |
| | 10–20 | 578 | 394 | 473 | 971 | 893 | 683 | 142 | 158 | 105 |
| N ₇₀₊₄₀₊₄₀ P ₆₅ K ₁₁₅ – фон | 0–10 | 840 | 1129 | 1313 | 2126 | 4515 | 3019 | 236 | 394 | 223 |
| | 10–20 | 1155 | 2363 | 1575 | 2153 | 3990 | 3124 | 210 | 289 | 184 |
| ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅ | 0–10 | 2599 | 1103 | 1916 | 4673 | 3859 | 2310 | 394 | 499 | 171 |
| | 10–20 | 3990 | 2074 | 2520 | 4121 | 3308 | 2783 | 315 | 368 | 210 |
| Фон + солома, 3 т/га | 0–10 | 1733 | 1890 | 2021 | 2048 | 2468 | 1995 | 368 | 420 | 236 |
| | 10–20 | 1838 | 2520 | 1759 | 1969 | 2363 | 1811 | 289 | 315 | 263 |
| Фон + солома + Жыцень, 3 л/га | 0–10 | 1549 | 945 | 1234 | 1995 | 1496 | 1391 | 446 | 525 | 210 |
| | 10–20 | 2363 | 1365 | 1759 | 2468 | 1339 | 1260 | 341 | 394 | 252 |
| Фон + солома + N ₂₀ (КАС) | 0–10 | 1759 | 1339 | 1260 | 1890 | 1680 | 1470 | 420 | 473 | 257 |
| | 10–20 | 1864 | 1601 | 1575 | 1916 | 1706 | 1260 | 315 | 368 | 263 |
| Дискование | | | | | | | | | | |
| Без удобрений (контроль 2) | 0–10 | 630 | 158 | 184 | 1575 | 893 | 840 | 210 | 236 | 105 |
| | 10–20 | 525 | 499 | 578 | 709 | 735 | 971 | 131 | 140 | 131 |
| N ₇₀₊₄₀₊₄₀ P ₆₅ K ₁₁₅ – фон | 0–10 | 1365 | 1339 | 1470 | 3518 | 2835 | 4200 | 323 | 473 | 236 |
| | 10–20 | 1050 | 1286 | 1391 | 1575 | 1916 | 2494 | 184 | 210 | 194 |
| ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅ | 0–10 | 2880 | 788 | 1208 | 5115 | 2625 | 3531 | 480 | 578 | 184 |
| | 10–20 | 1150 | 1418 | 1549 | 1617 | 2100 | 2835 | 200 | 202 | 210 |
| Фон + солома, 3 т/га | 0–10 | 1155 | 945 | 1208 | 2021 | 1549 | 1733 | 420 | 512 | 263 |
| | 10–20 | 998 | 1523 | 1496 | 1523 | 2520 | 2940 | 168 | 231 | 263 |
| Фон + солома + Жыцень, 3 л/га | 0–10 | 1313 | 788 | 1365 | 2363 | 1496 | 2048 | 525 | 656 | 210 |
| | 10–20 | 1155 | 1365 | 1523 | 1733 | 1916 | 2678 | 159 | 158 | 197 |
| Фон + солома + N ₂₀ (КАС) | 0–10 | 1575 | 1234 | 1181 | 2074 | 1785 | 2100 | 473 | 551 | 263 |
| | 10–20 | 1103 | 1313 | 1339 | 1418 | 2021 | 2573 | 137 | 184 | 236 |

Численность функциональных групп микроорганизмов учитывали методом посева последовательных разведений почвенной суспензии на соответствующие твердые питательные среды: аммонифицирующих – на мясо-пептонном агаре (МПА), амилолитических – на крахмало-аммиачном агаре (КАА), целлюлозоли- тических – на агаре Гетчинсона-Клейтона (АГК), актиномицетов – на агаре Гаузе №1 (АГ-1), олигонитрофилов – на агаре Эшби (АЭ), олигокарбофилов – на водном агаре по Эрскову (голодный агар – ГА), автохтонную группу микроорганизмов – на нитритном агаре по Теппер (НА) в соответствии с [30].

Для выявления зависимостей между урожайностью озимой пшеницы и чис- ленностью изучаемых физиологических групп микроорганизмов проведен пар- ный корреляционно-регрессионный анализ согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова с использованием соответствующих программ пакета MSExcel [31].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что численность всех определяемых в опыте физиологических групп микроорганизмов в значительной степени зависит от приемов обработки почвы и применяемых систем удобрения. Так, по вспашке в слое 10–20 см супесчаной почвы в период исследований численность аммо- нификаторов, использующих азот органических соединений, была заметно выше, чем в слое 0–10 см: в среднем по удобренным вариантам весной в фазе кущения озимой пшеницы превышение составило 32 %, выхода флаг-листа – 55 %, созрева- ния – 19 % (табл. 1). В то же время учет числа амилолитических микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, показал, что на протяжении всего срока наблюдений при отвальной обработке почвы между изучаемыми слоями в целом установлены небольшие различия, которые зависели от вносимых удобрений.

В блоке с дискованием при 1-м отборе почвенных проб в нижнем слое по сравнению с верхним, наоборот, наблюдалось снижение численности этих групп микроорганизмов по вариантам опыта: аммонификаторов – на 12–60 % (в вари- антах с внесением удобрений в среднем на 34 %), амилолитиков – на 25–68 % (в среднем на 48 %). В последующий срок отбора в вариантах с применением только минеральных удобрений и обработкой соломы КАС разницы в количестве аммонификаторов между слоями не обнаружено, при заделке подстилочного навоза, необработанной соломы и ее обработке удобрением Жыцень прослежи- валось заметное увеличение количества аммонификаторов в слое 10–20 см на 61–80 %, в варианте без удобрений – в 3,2 раза. Дифференциация почвенных слоев по амилолитическим микроорганизмам в этот срок, как в случае и с аммо- нификаторами, также зависела от вносимых удобрений: в вариантах с заделкой соломы их в нижнем слое было на 13–63 % больше, чем в верхнем; в остальных вариантах, наоборот, меньше на 18–32 %.

Перед уборкой урожая в удобренных вариантах при поверхностной обработке почвы отмечено относительное выравнивание численности аммонификаторов меж- ду слоями (их количество в нижнем слое было в среднем только на 13 % выше, чем в верхнем). Количество иммобилизаторов азота (на КАА) в слое 10–20 см к фазе созревания значительно возросло (на 23–70 %) по сравнению со слоем 0–10 см (исключение органоминеральная система удобрения с внесением навоза и мине- ральная система удобрения, в которых наблюдались более низкие показатели).

Распределение целлюлозолитических микроорганизмов при обоих способах обработки свидетельствовало о сокращении их численности в слое 10–20 см по сравнению со слоем 0–10 см при первых двух отборах: по вспашке – в среднем по блоку на 20–24 % при более ярко выраженном снижении по дискованию – на 60–63 %.

К фазе созревания в блоке со вспашкой в неудобренном варианте и при внесении $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ количество целлюлолитиков в нижнем слое также было меньше на 18–25 %, в вариантах с подстилочным навозом КРС, запашкой «чистой» соломы и при ее обработке удобрением Жыцень – на 11–23 % больше, чем в верхнем слое, в варианте с внесением КАС – разницы не наблюдалось. При поверхностной обработке почвы в этот период в изучаемых слоях отмечалась их стабилизация на одинаковом уровне.

В течение всего срока наблюдений численность автохтонных микроорганизмов, способных усваивать гумусовые компоненты почвы, в супесчаной почве по вспашке в слое 10–20 см была заметно ниже, чем в слое 0–10 см: в среднем по вариантам с внесением удобрений снижение составило 28–44 % (табл. 2). В блоке с дискованием в один след в качестве основной обработки почвы при 1-м отборе почвенных образцов для микроорганизмов-деструкторов гумуса в нижнем слое также характерно уменьшение численности в среднем на 49 % (кроме варианта, где по соломе применяли КАС – разницы не наблюдалось), в остальные сроки отбора – различия между слоями зависели от вносимых удобрений, четких закономерностей не установлено. Однако в целом полученные по дискованию усредненные данные показали, что количество автохтонов в удобренных вариантах на протяжении всего времени исследования в слое 10–20 см, точно также как и по вспашке, было меньше, чем в слое 0–10 см: весной в фазе кущения – на 44 %, к фазам выхода флаг-листа и созревания – на 13–20 %.

Актиномицеты представляют собой сообщество мицелиальных бактерий, которые принимают непосредственное участие в трансформации всевозможных компонентов органического вещества почвы и продуцировании пигментов гумиподобного типа. При традиционной обработке почвы по актиномицетам в варианте без удобрений также зафиксировано их меньшее число в нижнем слое на протяжении всего периода исследований, как и для автохтонов. В удобренных вариантах в начале вегетации снижение численности в слое 10–20 см по сравнению со слоем 0–10 см составило 39–44 %.

К фазе выхода флаг-листа более низкое содержание актиномицетов в нижнем слое сохранялась только при минеральной системе удобрения и в варианте с внесением подстилочного навоза КРС; при запашке соломы их количество в слое 10–20 см превышало численность в слое 0–10 см на 9–26 %. Перед уборкой меньшие значения по численности актиномицетов в удобренных вариантах соответствовали верхнему 10-сантиметровому слою, количество в слое 10–20 см на 50–76 % было выше. Следует отметить вариант с применением 40 т/га подстилочного навоза КРС, в котором весной в фазе кущения и в предуборочный период наблюдалось более равномерное их распределение по всему пахотному слою (0–20 см).

В целом, по усредненным данным при обоих способах обработки почвы в начале и середине вегетации озимой пшеницы на фоне применяемых систем удобрений актиномицеты менее активно развивались в слое 10–20 см, их количество на 16–53 % было меньше, чем в слое 0–10 см; к фазе созревания развитие этой группы микроорганизмов, наоборот, в нижнем слое протекало более интенсивно – превышение относительно верхнего слоя составило 16–48 %.

Таблица 2

Численность актиномицетов, автохтонных, олигокарбофильных и олигонитрофильных микроорганизмов
в дерново-подзолистой супесчаной почве

| Вариант | Глу- бина отбо- ра, см | Численность микроорганизмов, тыс. КОЕ/г абс. сух. почвы | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---|------|------|-------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
| | | актиномицеты | | | автохтонные | | | олигокарбофилы | | | олигонитрофилы | | |
| | | отбор | | | | | | | | | | | |
| | | 1-й | 2-й | 3-й | 1-й | 2-й | 3-й | 1-й | 2-й | 3-й | 1-й | 2-й | 3-й |
| Вспашка | | | | | | | | | | | | | |
| Без удобрений (контроль 1) | 0–10 | 1680 | 1181 | 2704 | 1391 | 1260 | 945 | 1496 | 840 | 1706 | 1234 | 1260 | 1076 |
| | 10–20 | 998 | 866 | 2100 | 683 | 866 | 525 | 1234 | 683 | 2783 | 1916 | 1129 | 998 |
| | 0–10 | 6300 | 3990 | 4515 | 2888 | 4725 | 1418 | 2678 | 2520 | 4069 | 3019 | 2126 | 2520 |
| | 10–20 | 3518 | 1470 | 7245 | 1706 | 2573 | 1103 | 4384 | 919 | 5906 | 4607 | 2310 | 5053 |
| ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅ | 0–10 | 3439 | 2415 | 6431 | 2363 | 3728 | 1313 | 3518 | 2625 | 4515 | 2546 | 2310 | 3255 |
| | 10–20 | 3465 | 1654 | 6851 | 2363 | 2730 | 919 | 5880 | 971 | 5171 | 4909 | 2494 | 5355 |
| Фон + солома, 3 т/га | 0–10 | 4699 | 1943 | 5329 | 2783 | 3911 | 1890 | 2835 | 2678 | 7009 | 2048 | 2126 | 4200 |
| | 10–20 | 2888 | 2441 | 9371 | 1549 | 2126 | 1181 | 5145 | 1391 | 7429 | 4305 | 3019 | 4279 |
| Фон + солома + Жыцень, 3 л/га | 0–10 | 5066 | 1706 | 5828 | 1313 | 1575 | 2100 | 3150 | 2310 | 7613 | 1444 | 2126 | 2310 |
| | 10–20 | 3360 | 1864 | 9214 | 1155 | 1470 | 1050 | 4856 | 1470 | 7061 | 2205 | 1234 | 2363 |
| Фон + солома + N ₂₀ (КАС) | 0–10 | 5408 | 1943 | 6169 | 2415 | 2783 | 2678 | 2205 | 1628 | 7298 | 1181 | 2520 | 4449 |
| | 10–20 | 3518 | 2284 | 9266 | 1706 | 2205 | 1050 | 4699 | 1234 | 7455 | 3783 | 1523 | 4778 |
| Дискование | | | | | | | | | | | | | |
| Без удобрений (контроль 2) | 0–10 | 1496 | 814 | 1733 | 1339 | 919 | 630 | 1838 | 1181 | 2021 | 1129 | 945 | 1995 |
| | 10–20 | 1418 | 578 | 2231 | 656 | 893 | 709 | 1365 | 709 | 2231 | 1943 | 1076 | 1129 |
| | 0–10 | 5959 | 1890 | 6379 | 3281 | 4279 | 1785 | 2153 | 1995 | 3203 | 3413 | 3885 | 4358 |
| | 10–20 | 1903 | 1575 | 7455 | 1601 | 2573 | 1234 | 4646 | 1365 | 5499 | 3714 | 1916 | 2231 |
| ПН КРС, 40 т/га + N ₆₀₊₃₀₊₄₀ P ₄₀ K ₃₅ | 0–10 | 3400 | 1943 | 7823 | 3471 | 2205 | 1916 | 2675 | 1549 | 2993 | 3315 | 2651 | 3806 |
| | 10–20 | 1915 | 1706 | 6799 | 1650 | 2468 | 1523 | 5980 | 1575 | 4909 | 3688 | 3216 | 3649 |
| Фон + солома, 3 т/га | 0–10 | 3176 | 1995 | 6221 | 3570 | 3701 | 1444 | 2625 | 1286 | 3413 | 5801 | 2415 | 3071 |
| | 10–20 | 2244 | 1864 | 8400 | 1680 | 2179 | 1418 | 5513 | 1496 | 5460 | 3386 | 2048 | 4541 |
| Фон + солома + Жыцень, 3 л/га | 0–10 | 3150 | 1680 | 6773 | 3045 | 1234 | 1391 | 2415 | 1496 | 2258 | 5040 | 1444 | 1654 |
| | 10–20 | 1811 | 1418 | 8190 | 1785 | 2205 | 1339 | 5985 | 1391 | 5906 | 3701 | 2559 | 3701 |
| Фон + солома + N ₂₀ (КАС) | 0–10 | 4594 | 1916 | 6694 | 1969 | 2021 | 2389 | 1943 | 1496 | 3150 | 5919 | 2441 | 2940 |
| | 10–20 | 1733 | 1391 | 8531 | 1890 | 2284 | 1601 | 5119 | 1523 | 6090 | 3426 | 2546 | 3964 |

Распределение олигокарбофилов в блоке со вспашкой по слоям почвы в начале активной вегетации озимой пшеницы свидетельствовало о большем их количестве (в удобренных вариантах в среднем на 74 %) в слое 10–20 см при максимальном отличие в варианте с запашкой соломы, обработанной компенсирующей дозой азота в виде КАС (+113 %). К фазе выхода флаг-листа олигокарбофильных микроорганизмов в нижнем слое, наоборот, содержалось меньше в среднем на 49 % (или на 24–64 % в зависимости от системы удобрения) вследствие более интенсивного сокращения их численности в слое 10–20 см, чем в слое 0–10 см. В предуборочный период наблюдалось выравнивание числа олигокарбофилов между слоями за исключением минеральной системы удобрения, где количество в нижнем слое было выше на 45 %; в результате по усредненному показателю в нижнем слое их было только на 8 % больше, чем в верхнем. При дисковании во время проведения исследований установлена практически такая же закономерность по обогащению изучаемых слоев олигокарбофилами, как и вспашке: более высокое число в слое 10–20 см в начале вегетации (+131 % в среднем) и перед уборкой (+86 %) при более ярко выраженной дифференциации между слоями; к фазе выхода флаг-листа их количество в слоях в целом было равнозначным. Что касается варианта с заделкой только пожнивно-корневых остатков, то при первых двух отборах, как по вспашке, так и по дискованию количество олигокарбофилов ниже в верхнем слое (на 19–40 %) и выше к моменту уборки урожая (на 10–63 %).

Учет числа олигонитрофильных бактерий, способных расти в условиях незначительного количества доступного азота в почвенном растворе, показал, что на фоне применения удобрений при отвальной обработке почвы в начале активной вегетации растений в слое 10–20 см их на 53–220 % больше, чем в слое 0–10 см при наибольшей разнице в варианте с обработкой соломы КАС, точно также как и олигокарбофилов. К середине вегетации численность в нижнем слое в значительной степени зависела от вносимых удобрений, в то время как в слое 0–10 см количество олигонитрофилов в удобренных вариантах характеризовалось равновеликими величинами, в результате чего в нижнем слое этот показатель в варианте с запашкой «чистой» соломы превышал аналогичный в верхнем слое на 42 %, при ее обработке удобрением Жыцень и КАС – был меньше на 40–42 %, в остальных вариантах – различия отсутствовали. К завершению вегетации в блоке со вспашкой численность олигонитрофилов в слое 10–20 см была значительно выше лишь при минеральной системе удобрения (на 101 %) и органоминеральной с внесением подстилочного навоза (на 65 %), в других вариантах опыта установлено определенной равновесие между слоями. В блоке с дискованием также не наблюдалось каких-либо однонаправленных изменений в распределении олигонитрофилов по слоям супесчаной почвы.

По усредненным показателям в удобренных вариантах весной в фазе кущения по вспашке численность олигонитрофильных микроорганизмов выше на 93 % в слое 10–20 см по сравнению со слоем 0–10 см, а при дисковании, наоборот, ниже на 24 %. В фазе выхода флаг-листа их количество при обоих способах обработки почвы характеризовалось равновеликими величинами, а перед уборкой оказалось выше на 14–30 %.

В результате проведенных исследований установлено, что применяемые системы удобрения оказали разноплановое влияние на микробиоценоз дерново-

подзолистой супесчаной почвы. Так, при минеральной системе удобрения количество аммонификаторов в изучаемых слоях по вспашке и дискованию в течение вегетации озимой пшеницы превышало их уровень в удобренной почве в 2,0–8,5 раза, амилаolitikов – в 1,8–5,0 раза при наименьшей разбежке в численности целлюлозолитических микроорганизмов (1,4–2,3 раза). Применение более низкой дозы минеральных удобрений на фоне подстильного навоза обеспечило большее развитие аммонификаторов в изучаемых слоях по вспашке в начале вегетации озимой пшеницы и перед уборкой, их численность была выше на 209–245 % и 46–60 % соответственно по сравнению с минеральным фоном. По дискованию положительный эффект отмечен лишь при 1-м отборе в слое 0–10 см – рост численности этой группы микроорганизмов составил 111 %. Запашка соломы стимулировала активизацию аммонификаторов в течение всего срока наблюдений при большей эффективности в верхнем слое: за счет этого агроприема их количество увеличилось на 54–106 % в слое 0–10 см и на 7–59 % в слое 10–20 см. В блоке с дискованием при заделке соломы в верхний 10-сантиметровый слой почвы наблюдалось снижение численности аммонификаторов в этом слое (на 15–29 %) при тенденции повышения в нижнем относительно минерального фона. Применение по соломе удобрения Жыцень привело к увеличению аммонифицирующих микроорганизмов только по вспашке при 1-м отборе в слое 10–20 см – прирост был на уровне 29 %.

Что касается минерализующих бактерий на КАА, то особенно сильно их численность в супесчаной почве в период исследований возрастала весной в фазе кущения в варианте с применением подстильного навоза: по вспашке в обоих слоях до уровня 4121–4673 тыс. КОЕ/г почвы, по дискованию только в слое 0–10 см – до 5115 тыс. КОЕ/г почвы, что выше, чем при минеральной системе удобрения на 91–120 % и 45 % соответственно. Наибольшее влияние применения по соломе удобрения Жыцень на количество иммобилизаторов (на КАА) по вспашке отмечено в слое 10–20 см в начале вегетации (прирост составил 25 %). При поверхностной заделке соломы более интенсивное развитие амилаolitikов при использовании этого удобрения наблюдалось, наоборот, в слое 0–10 см – в начале и конце вегетации (+17–18 %), а также при внесении компенсирующей дозы азота в виде КАС в период от фазы выхода флаг-листа до созревания (+15–21 %). Во всех остальных случаях не выявлено положительного влияния применяемых удобрений на данную группу микроорганизмов.

По целлюлозолитическим микроорганизмам также следует отметить органоминеральную систему удобрения с внесением подстильного навоза КРС, обеспечившую их активизацию весной в начале активной вегетации и до фазы выхода флаг-листа: по вспашке в обоих слоях численность этой группы была на 122–171 % больше по сравнению с контролем и на 27–67 % относительно минеральной системы удобрения; по дискованию в слое 0–10 см – на 129–144 % и 22–49 % соответственно. К моменту созревания культуры влияние данной системы удобрения на численность целлюлоolitikов уменьшалось: превышение относительно варианта без удобрений составило 23–100 % и мало отличалось от показателей, полученных на минеральном фоне. Поверхностная заделка соломы осенью приводила к увеличению количества целлюлозолитических микроорганизмов весной в фазе кущения только в верхнем слое на 30 %, в то время как по вспашке их численность возросла в этот период по всему пахотному слою (0–20 см) на 38–56 %, а также

в фазе созревания в слое 10–20 см (+43 %). Применение по соломе удобрения Жыцень обеспечило рост численности целлюлолитиков при первых двух отборах по вспашке в обоих слоях на 18–25 %, по дискованию только в слое 0–10 см – на 25–28 %. Влияние компенсирующей дозы азота в виде КАС по соломе на их количество в этот период наблюдений было более слабым, увеличение составило не больше 17 %. В дальнейшем к фазе созревания наблюдали некоторое снижение численности целлюлолитиков при использовании удобрения Жыцень и отсутствие изменений по сравнению с необработанной соломой при внесении КАС.

При используемых способах обработки почвы внесение минеральных удобрений активизировало рост численности микроорганизмов-деструкторов гумуса и актиномицетов, участвующих в разложении сложных безазотистых полимерных соединений, до 1103–4725 тыс. КОЕ/г почвы и 1575–7455 тыс. КОЕ/г почвы, что выше, чем на контроле на 74–366 % и 34–298 % соответственно. Снижение дозы минеральных удобрений на фоне внесения подстилочного навоза обеспечило их количество либо на уровне варианта с полной дозой минеральных удобрений, либо характеризовалось более низкими показателями. Большее количество автохтонов (+38 %) в варианте с применением навоза по сравнению с минеральной системой удобрения обнаружено лишь в блоке со вспашкой в нижнем слое (10–20 см) весной в фазе кущения; актиномицетов – в верхнем слое при обоих способах обработки в предуборочный период (+23–42 %).

В вариантах с соломой преимущественное увеличение числа автохтонных микроорганизмов прослеживалось только в слое 0–10 см перед уборкой урожая: по соломе, запаханной в чистом виде, их численность составила 1890 тыс. КОЕ/г почвы, что на 33 % выше относительно минерального фона, за счет применения удобрения Жыцень прирост достиг 11 % при большем эффекте от внесения компенсирующей дозы азота в виде КАС (+42 %). По дискам лишь применение КАС по соломе активизировало рост количества микроорганизмов-деструкторов гумуса – по сравнению с фоновым вариантом их число выросло на 34 %, с необработанной соломой – на 65 %. Следует иметь в виду, что увеличение числа автохтонов под влиянием вносимых удобрений может свидетельствовать о деструкции специфических органических компонентов почвы различной степени гумификации, что негативно скажется на почвенном плодородии, на что указывали авторы работы [32].

По актиномицетам положительное влияние соломы выявлено в блоке со вспашкой в фазе выхода флаг-листа в слое 10–20 см, а также в предуборочный период в обоих слоях, где их численность возросла на 66 % и 18–29 % по сравнению с фоном. Также как и по автохтонам, обработка соломы удобрением Жыцень и КАС несколько стимулировала рост этой группы микроорганизмов только по вспашке в слое 0–10 см перед уборкой – прирост был на уровне 9–16 % относительно варианта с запашкой «чистой» соломы, в результате численность актиномицетов в этих вариантах на 1313–1654 тыс. КОЕ/г почвы (или 29–37 %) выше, чем на минеральном фоне.

При анализе численности олигокарбофилов и олигонитрофилов установлено, что при минеральной системе удобрения их количество в изучаемых слоях супесчаной почвы в период исследований составило 919–5906 тыс. КОЕ/г почвы и 1916–5053 тыс. КОЕ/г почвы, что на 17–240 % и 69–407 % выше, чем в удобренных вариантах. Органоминеральная система удобрения с внесением подстилочного навоза по сравнению с минеральным фоном способствовала увеличению олигокарбофилов

(на 24–34 %) при обоих способах обработки в верхнем слое только при 1-м отборе; олигонитрофилов – к моменту уборки урожая по вспашке (+29 %) и с середины вегетации до конца по дискованию в нижнем слое (+64–68 %). При заделке соломы заметный рост числа олигокарбофилов отмечен в блоке со вспашкой в слое 10–20 см на протяжении всего периода наблюдений (+17–51 %), в слое 0–10 см – только к уборке урожая (+72 %), в блоке с дискованием – весной в начале вегетации в обоих слоях (+19–22 %). По олигонитрофилам положительный эффект от заделки соломы получен по вспашке в слое 0–10 см к концу вегетации (+67 %) и в слое 10–20 см к фазе выхода флаг-листа (+31 %), а также по дискованию в верхнем слое в начале вегетации (+70 %) и в нижнем слое перед уборкой (+104 %). При обработке соломы стимулирующее действие на численность олигокарбофильных микроорганизмов обнаружено только к завершению вегетации при применении компенсирующей дозы азота в виде КАС по вспашке в слое 10–20 см – их количество было выше на 12 и 41 % соответственно, чем в варианте с запашкой необработанной соломы и минеральным фоном. По олигонитрофилам увеличение численности в вариантах с обработанной соломой выявлено по вспашке в слое 0–10 см в фазе выхода флаг-листа также при использовании КАС – прирост по сравнению с «чистой» соломой и минеральным фоном был на уровне 19 %.

В период исследований наименьшая численность физиологических групп микроорганизмов характерна для варианта без удобрений. Наибольшей их активизации в изучаемых слоях независимо от способов обработки способствовала минеральная система удобрения ($N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$ – фон), а также органоминеральная с внесением более низких доз минеральных удобрений ($N_{60+30+40}P_{40}K_{35}$) на фоне 40 т/га подстилочного навоза КРС. По мнению Д. Г. Звягинцева с соавторами [33], активизация деятельности микроорганизмов в зависимости от поступающего субстрата, гидротермического режима и сформированного микробного сообщества может привести к быстрому разрушению органического вещества почвы и, как следствие, отсутствию положительных изменений в гумусовом фонде. Что касается заделки соломы в супесчаную почву, а также ее обработки удобрениями Жыцень и КАС, нельзя сделать однозначного вывода, поскольку наблюдаемые изменения не носили постоянного характера: в период исследований происходила то вспышка в развитии изучаемых микроорганизмов, то отсутствие влияния на их численность или даже снижение относительно минерального фона. Это обеспечивает, по нашему мнению, формирование в почве более разнообразного микробного сообщества, характеризующегося большей эффективностью по активизации гумификационных процессов путем деструкции свежей органической биомассы с последующей трансформацией целлюлозно-лигнинных комплексов в гумусоподобные и гумусовые вещества, что, в конечном итоге, будет способствовать увеличению образования гумуса. Данное предположение подтверждается исследованиями, выполненными О. В. Орловой с соавторами [34], а также нашими исследованиями [35, 36].

При сравнении численности изучаемых групп микроорганизмов в период вегетации озимой пшеницы отмечено, что в среднем по опыту в супесчаной почве в удобренных вариантах наибольшее количество аммонификаторов наблюдалось весной в начале вегетации, автохтонных и целлюлозолитических микроорганизмов – к фазе выхода флаг-листа, актиномицетов, олигокарбофилов и олигонитрофилов – в предуборочный период. Исключение составили микроорганизмы на МПА в блоке с дискованием в слое 10–20 см (максимум к концу вегетации),

а также олигонитрофилы и автохтоны в слое 0–10 см (максимум в начале вегетации). Что касается амилолитиков, то тренд изменений зависел от вносимых удобрений. Полученные нами данные вполне согласуются с исследованиями других ученых, согласно которым в весенний период при наличии в почве легко-разлагаемых органических соединений в большей степени активизируются микроорганизмы, усваивающие как органические, так и минеральные формы азота (на МПА и КАА); на этапе от формирования до максимального продуцирования биомассы появляются целлюлозолитики, участвующие в разложении безазотистого органического вещества почвы (клетчатки и близких к ней соединений), в этот же период наблюдается всплеск автохтонной микрофлоры, использующей гумусовые компоненты почвы, способствуя их трансформации и продуцированию; и, наконец, на конечной стадии превращения органического вещества почвы, уже подвергшегося деструкции, включаются микроорганизмы олиготрофной группы и актиномицеты [9–12, 13, 16, 28, 30, 37].

При этом по опыту в период наблюдений наиболее высокая численность аммонификаторов (3990 тыс. КОЕ/г почвы) и амилолитиков (5115 тыс. КОЕ/г почвы) отмечена весной в начале вегетации озимой пшеницы при органоминеральной системе удобрения с внесением подстилочного навоза в дозе 40 т/га по вспашке в слое 10–20 см и по дискованию в слое 0–10 см соответственно; целлюлозолитиков (656 тыс. КОЕ/г почвы) – в фазе выхода флаг-листа также в верхнем слое при обработке соломы удобрением Жыцень по дискам. Максимальное количество актиномицетов (9371 тыс. КОЕ/г почвы) и олигокарбофилов (7613 тыс. КОЕ/г почвы) наблюдалось в блоке со вспашкой перед уборкой при органоминеральной системе удобрения с запашкой «чистой» соломы в слое 10–20 см и при ее обработке удобрением Жыцень в слое 0–10 см соответственно; автохтонов (4725 тыс. КОЕ/г почвы) – в этом же блоке в слое 0–10 см в фазе выхода флаг-листа при минеральной системе удобрения; олигонитрофилов (5919 тыс. КОЕ/г почвы) – в блоке с дискованием в слое 0–10 см весной в начале вегетации при органоминеральной системе удобрения с обработкой соломы КАС.

Почвенные микроорганизмы, оказывая непосредственное влияние на многочисленные биологические процессы, протекающие в почве, могут существенно изменять характер трансформации почвенного органического вещества, что в конечном итоге сказывается на плодородии и ближайшем резерве питательных элементов для растений, и как следствие на урожайности культур. Из приведенной таблицы 3 следует, что зависимость между урожаем зерна и численностью представленных физиологических групп микроорганизмов в пахотном слое дерново-подзолистой супесчаной почвы по этапам органогенеза озимой пшеницы в большинстве случаев существенна или близка к таковой на протяжении всего срока наблюдений.

Наиболее высокие статистически значимые связи урожайности зерна с численностью изучаемых микроорганизмов в почве по вспашке в целом отмечены в межфазный период от кущения до выхода флаг-листа ($R^2 = 0,68–0,88$). В блоке с дискованием тренд наблюдаемой взаимосвязи несколько отличался.

Таблица 3

Значение коэффициента детерминации, характеризующего связь между урожайностью зерна озимой пшеницы и численностью микроорганизмов в дерново-подзолистой супесчаной почве

| Способ обработки почвы | Межфазный период развития растений | МПА | КАА | АГК | АГ-1 | НА | ГА | АЭ |
|------------------------|---|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | R^2 | | | | | | |
| Вспашка | посев – фаза кущения (главный побег и 2 побега кущения) | 0,71 ¹ | 0,72 | 0,53 | 0,80 | 0,58 | 0,92 | 0,52 |
| | кущение – фаза выхода флаг-листа | 0,88 | 0,74 | 0,78 | 0,88 | 0,69 | 0,80 | 0,68 |
| | фаза выхода флаг-листа – созревание | 0,83 | 0,66 | 0,52 | 0,70 | 0,50 | 0,64 | 0,67 |
| Дискование | посев – фаза кущения (главный побег и 2 побега кущения) | 0,67 | 0,44 | 0,87 | 0,52 | 0,66 | 0,84 | 0,78 |
| | кущение – фаза выхода флаг-листа | 0,85 | 0,65 | 0,95 | 0,79 | 0,77 | 0,78 | 0,69 |
| | фаза выхода флаг-листа – созревание | 0,87 | 0,69 | 0,53 | 0,91 | 0,64 | 0,76 | 0,63 |

¹ существенность связи при рассматриваемом объеме данных обнаруживается при $R^2 \geq 0,64$.

Урожай зерна в наибольшей степени коррелировал с численностью олигокарбофилов и олигонитрофилов в межфазный период от посева до кущения ($R^2 = 0,78–0,84$), целлюлозолитических микроорганизмов и автохтонов – от кущения до выхода флаг-листа ($R^2 = 0,95$ и $0,77$), актиномицетов – от выхода флаг-листа до созревания ($R^2 = 0,91$). Зависимость между урожайностью озимой пшеницы и количеством бактерий на МПА и КАА прослеживалась на протяжении от кущения до созревания ($R^2 = 0,85–0,87$ и $R^2 = 0,65–0,69$ соответственно).

ВЫВОДЫ

Наибольшей активизации изучаемых физиологических групп микроорганизмов независимо от способов обработки дерново-подзолистой супесчаной почвы способствовала минеральная система удобрения и органоминеральная с внесением 40 т/га подстилочного навоза КРС, что не следует однозначно рассматривать как положительное или отрицательное явление, поскольку в зависимости от складывающихся почвенно-климатических условий это может привести к быстрому разрушению органического вещества почвы и, как следствие, отсутствию положительных изменений в гумусовом фонде. При заделке «чистой» соломы и ее обработке удобрениями Жыцень и КАС наблюдаемые изменения не носили постоянного характера: в период исследований происходила то вспышка в развитии изучаемых микроорганизмов, то отсутствие влияния на их численность или даже снижение относительно минерального фона, что может способствовать формированию более разнообразного микробного сообщества, характеризующегося большей эффективностью по активизации гумификационных процессов путем

деструкции свежей органической биомассы с последующей трансформацией целлюлозно-лигниновых комплексов в гумусоподобные и гумусовые вещества, что в конечном итоге будет приводить к увеличению образования гумуса.

Наиболее высокая численность аммонификаторов в удобренных вариантах отмечена весной в начале вегетации озимой пшеницы, автохтонных и целлюлозолитических микроорганизмов – к фазе выхода флаг-листа, актиномицетов, олигокарбофилов и олигонитрофилов – в предуборочный период, тренд изменений в количестве амилолитиков зависел от вносимых удобрений. Исключение составили микроорганизмы на МПА по дискованию в слое 10–20 см (максимум к концу вегетации), а также олигонитрофилы и автохтоны в слое 0–10 см (максимум в начале вегетации).

По опыту максимальное количество аммонификаторов (3990 тыс. КОЕ/г почвы) наблюдалось весной в начале вегетации озимой пшеницы в блоке со вспашкой в слое 10–20 см при органоминеральной системе удобрения с внесением подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га; амилолитиков (5115 тыс. КОЕ/г почвы) и олигонитрофилов (5919 тыс. КОЕ/г почвы) также в этот период только по дискованию в слое 0–10 см в вариантах с внесением навоза и обработкой соломы КАС соответственно; целлюлолитиков (656 тыс. КОЕ/г почвы) – к фазе выхода флаг-листа тоже в верхнем слое по дискам при обработке соломы удобрением Жыцень. Самое большое число актиномицетов (9371 тыс. КОЕ/г почвы) и олигокарбофилов (7613 тыс. КОЕ/г почвы) отмечено по вспашке в слое 10–20 см перед уборкой при запашке «чистой» соломы и в слое 0–10 см при ее обработке удобрением Жыцень соответственно; автохтонов (4725 тыс. КОЕ/г почвы) – в этом же блоке в верхнем слое в фазе выхода флаг-листа при минеральной системе удобрения.

Установлена взаимосвязь между урожайностью зерна и численностью микроорганизмов при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве. По вспашке наиболее тесная связь отмечена в межфазный период от кущения до выхода флаг-листа ($R^2 = 0,68–0,88$). По дискованию урожай зерна в наибольшей степени коррелировал с количеством олигокарбофилов и олигонитрофилов в межфазный период от посева до кущения ($R^2 = 0,78–0,84$), целлюлозолитиков и автохтонов – от кущения до выхода флаг-листа ($R^2 = 0,95$ и $0,77$), актиномицетов – от выхода флаг-листа до созревания ($R^2 = 0,91$), бактерий на МПА и КАА – от кущения до созревания ($R^2 = 0,85–0,87$ и $R^2 = 0,65–0,69$ соответственно).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов, Т. И. Управление почвенными микробными сообществами: возможности и перспективы (обзор) / Т. И. Чернов, М. В. Семенов // Почвоведение. – 2021. – № 12. – С. 1506–1522.
2. Достижения и перспективы развития почвенной микробиологии в Московском университете / А. Л. Степанов, Н. А. Манучарова, Д. А. Никитин [и др.] // Вестник Московского ун-та. – 2023. – Т. 78. – № 4. – С. 63–69.
3. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) / Д. А. Никитин, М. В. Семенов, Т. И. Чернов [и др.] // Почвоведение. – 2022. – № 2. – С. 228–243.
4. Влияние известкования на комплекс почвенных микроорганизмов и гумусовое состояние дерново-подзолистой почвы в многолетнем опыте / Л. Г. Бакина, М. В. Чугунова, Т. Б. Зайцева [и др.] // Почвоведение. – 2014. – № 2. – С. 225–234.

5. Гармашов, В. М. Принципы и методы оптимизации основной обработки почвы и воспроизводства плодородия чернозема обыкновенного в зернопропашных севооборотах ЦЧР: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.01 / В. М. Гармашов; ФГБНУ «ВНИИСС им. А. Л. Мазлумова». – Рамонь, 2018. – 39 с.
6. Минеев, В. Г. Влияние длительного применения удобрений и известкования на биологические свойства почвы / В. Г. Минеев, Н. Ф. Гомонова, Е. В. Морачевская // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 1. – С. 3–9.
7. Русакова, И. В. Теоретические основы и методы управления плодородием почв при использовании растительных остатков в земледелии / И. В. Русакова. – Владимир : ФГБНУ ВНИИОУТ, 2018. – 142 с.
8. Московкин, В. В. Эколого-агрохимическая оценка влияния микробиологических препаратов-деструкторов растительных остатков зерновых культур в агроценозах на дерново-подзолистых супесчаных почвах: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / В. В. Московкин; ФГБНУ ВНИИОУ. – Рамонь, 2018. – 39 с.
9. Перфильев, Н. В. Системы основной обработки и формирование ассоциаций микроорганизмов в темно-серой лесной почве / Н. В. Перфильев, О. А. Вьюшина, Д. Р. Майсямова // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 10. – С. 16–18.
10. Никульчев, К. А. Влияние культур севооборота на микробиологическую активность, агрофизические свойства почвы и урожайность сои / К. А. Никульчев, Е. В. Банецкая // Земледелие. – 2020. – № 1. – С. 11–14.
11. Чернов, Т. И. Динамика микробных сообществ почвы в различных диапазонах времени (обзор) / Т. И. Чернов, А. Д. Железова // Почвоведение. – 2020. – № 5. – С. 590–600.
12. Бородин, О. И. Динамика численности микроорганизмов, участвующих в трансформации азотсодержащих веществ в посевах культур зернопропашного севооборота / О. И. Бородин, Н. В. Безлер, М. А. Сумская // Плодородие. – 2011. – № 5. – С. 19–21.
13. Активность микроорганизмов дерново-подзолистой почвы в различных агроэкосистемах / Н. С. Матюк, В. А. Шевченко, А. М. Соловьев [и др.] // Плодородие. – 2020. – № 2. – С. 61–64.
14. Мосина, Л. В. Экологическая оценка влияния органических и минеральных удобрений на микрофлору дерново-подзолистой почвы и продуктивность агроценозов в экстремальных погодных условиях / Л. В. Мосина, Г. Е. Мерзлая // Известия ТСХА. – 2013. – Вып. 5. – С. 5–18.
15. Микробное сообщество дерново-подзолистой почвы после длительного применения удобрений / Т. А. Карепина, Н. А. Лисицина, Э. А. Муравин [и др.] // Плодородие. – 2012. – № 5. – С. 29–31.
16. Мельникова, Н. А. Влияние различных способов основной обработки на биологическую активность почвы при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Заволжья / Н. А. Мельникова, Е. Х. Нечаева // Электронное периодическое изд-е Междунар. науч.-практ. журн. «Эпоха науки». – 2015. – № 4.
17. Майсямова, Д. Р. Влияние соломы на численность микроорганизмов чернозема обыкновенного при минимальной обработке / Д. Р. Майсямова, А. П. Лазарев // Аграрный вестник Урала. – 2008. – № 6. – С. 33–35.
18. Балабанова, Н. Ф. Влияние длительного применения удобрений на органическое вещество лугово-черноземной почвы и урожайность зерна яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Н. Ф. Балабанова; СибНИИСХ. – Новосибирск, 2013. – 19 с.
19. Карягина, Л. А. Влияние последствий удобрений на биологическую активность дерново-подзолистой почвы и урожай моркови / Л. А. Карягина, З. Н. Тиханович // Почвоведение и агрохимия. – 1974. – Вып. 11. – С. 122–126.

20. Карягина, Л. А. Особенности развития микрофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы при ее окультуривании / Л. А. Карягина, З. Н. Тиханович // Почвоведение и агрохимия. – 1977. – Вып. 13. – С. 63–72.
21. Карягина, Л. А. Влияние условий гумификации соломы на накопление общего углерода, микрофлору и активность ферментов в дерново-подзолистой почве / Л. А. Карягина, Л. М. Стефанькина // Почвенные исследования и применение удобрений : Межведомст. тематич. сб; ред. кол.: И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 1987. – Вып. 18. – С. 93–102.
22. Коляда, Т. И. Влияние тиомочевины, внесенной совместно с минеральными удобрениями, на биологическую активность почвы и урожай растений / Т. И. Коляда // Почвенные исследования и применение удобрений: межведомст. тематич. сб; ред. кол.: Н. И. Смеян [и др.]. – Минск, 1973. – Вып. 4. – С. 136–142.
23. Влияние приемов окультуривания на биогенность и биологическую активность в дерново-подзолистой почве / И. А. Юшкевич [и др.]. // Почвенные исследования и применение удобрений : Межведомст. тематич. сб; ред. кол.: Т. Н. Кулаковская [и др.]. – Минск, 1975. – Вып. 6. – С. 65–72.
24. Чиканова, В. М. Влияние органических и двойных доз минеральных удобрений на биологическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы / В. М. Чиканова // Почвоведение и агрохимия. – 1971. – Вып. 8. – С. 165–170.
25. Атрашкова, А. В. Влияние пестицидов на микрофлору дерново-подзолистой почвы Беларуси / А. В. Атрашкова // Известия Академии агр. наук Республики Беларусь. – 2001. – № 2. – С. 61–64.
26. Концевая, И. И. Оценка состояния микробоценоза почвы при обработке пожнивных остатков микробным биопрепаратом Жыцень / И. И. Концевая, Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Известия Гомельского гос. ун-та. – 2019. – № 3 (114). – С. 41–45.
27. Дайнеко, Н. М. Анализ численности микроорганизмов при использовании микробных деструкторов на пожнивные остатки соломы / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Достижения науки и образования. – 2020. – № 8 (62). – С. 11–13.
28. Щур А. В. Экологические подходы к оптимизации состава почвенного микробоценоза как основа поддержания стабильной производительной способности агроэкосистем: дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08 / А. В. Щур; Гос. учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет». – Могилев, 2016. – 326 с.
29. Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования) / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси; Проектный ин-т Белгипрозем. – Минск, 2003. – 43 с.
30. Титова, В. И. Методы оценки функционирования микробоценоза, участвующего в трансформации органического вещества: науч.-метод. пособие / В. И. Титова, А. В. Козлов. – Н. Новгород : Нижегородская с.-х. академия, 2012. – 64 с.
31. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
32. Чевердин, А. Ю. Влияние бактериальных удобрений на микробиологическую активность чернозема сегрегационного в посевах ярового ячменя / А. Ю. Чевердин, Ю. И. Чевердин, М. Ю. Сауткина // Агрохимия. – 2023. – № 11. – С. 29–35.
33. Звягинцев, Д. Г. Биология почв: учебник / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова – Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
34. Таксономический состав и организация микробного сообщества дерново-подзолистых почв после внесения соломы зерновых культур и использования препарата

Баркон / О. В. Орлова, Е. Л. Чирак, Н. И. Воробьев [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54. – № 1. – С. 47–64.

35. Богатырева, Е. Н. Влияние систем удобрения на содержание гумуса и подвижных гумусовых веществ в дерново-подзолистой супесчаной почве / Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая // Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XV Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 18 мая 2012 г., Минск : в 2 ч. / ГГАУ. – Гродно, 2012. – Ч. 1. – С. 9–11.

36. Изменение содержания и состава подвижных гумусовых веществ в дерново-подзолистых почвах под влиянием различных систем удобрения / В. В. Лапа, Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева [и др.] // Вес. НАН Беларусі. Сер. агр. навук. – 2012. – № 4 – С. 44–48.

37. Миникаев, Р. В. Управление факторами плодородия и совершенствование системы обработки почвы в агроландшафтах Среднего Поволжья: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.01 / Р. В. Миникаев; ФГБОУ ВО «Казанский гос. аграрный университет». – Казань, 2018. – 546 с.

ASSESSMENT OF THE STATE OF THE MICROBIAL COMMUNITY OF SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL DEPENDING ON THE TREATMENT METHOD AND FERTILIZER SYSTEMS

E. N. Bogatyreva, T. M. Seraya, O. M. Birukova,
T. M. Kirdun, Y. A Simankova

Summary

The article considers the influence of tillage methods and fertilization systems on the number of the main physiological groups of microorganisms in different layers of sod-podzolic sandy loam soil, and studies their dynamics in the phases of winter wheat development. It was determined that the greatest activation of the studied microorganisms, regardless of the methods of soil cultivation, was facilitated by the mineral fertilization system and the organomineral system with the introduction of 40 t/ha of cattle bedding manure. The highest number of ammonifiers in fertilized variants was noted in the spring at the beginning of the growing season, autochthonous and cellulolytics – by the phase of flag leaf emergence, actinomycetes, oligocarbophiles and oligonitrophiles – in the pre-harvest period, the trend of changes in the number of amylolytics depended on the fertilizers applied. The exceptions were microorganisms on MPA in a block with disking in a layer of 10–20 cm (maximum by the end of the growing season), as well as oligonitrophils and autochthons in a layer of 0–10 cm (maximum at the beginning of the growing season).

Поступила 21.02.25