

гумуса к минерализации. Такое отношение наблюдалось в варианте с внесением одних минеральных удобрений ($C_{гк}: C_{фк}=1,86$). Заделка навозной жижи в почву с осени и, в большей степени добавление в нее ингибитора нитрификации Entec FL, увеличивало содержание гуминовых кислот относительно контроля на 4,5 и 5,8 % $C_{общ}$ соответственно. При этом количество нерастворимого остатка (гумина) снизилось на 4,5 и 6,0 % $C_{общ}$ соответственно. Тип гумуса при данном агроприеме из гуматно-фульватного трансформируется в гуматный ($C_{гк}: C_{фк}=2,01-2,05$). Весенняя заделка в почву навозной жижи, как отдельно, так и совместно с ингибитором Entec FL, также положительно подействовала на групповой состав гумуса, но в меньшей мере, чем осенняя ($C_{гк}: C_{фк}=1,91-1,92$).

Заключение. Под влиянием минеральных и органических удобрений улучшается агрофизическое и гумусное состояние лугово-черноземной почвы рисового агроценоза. В большей степени на свойства почвы повлияло внесение навозной жижи с осени в дозе 30 т/га, модифицированной ингибитором нитрификации Entec FL DMPP. При использовании этого агроприема снижается плотность почвы на 4,4 %, возрастает общая пористость на 1,2 %, увеличивается степень гумификации органического вещества на 4,5-5,8 % $C_{общ}$, улучшаются состав гумуса ($C_{гк}: C_{фк}=2,05$) и его обогащенность азотом ($C: N=8,0$).

Литература

1. *Агрохимические методы исследования почв* / Под ред. А.В. Соколова. – М.: Изд-во Наука, 1975. – 656 с.
2. Безуглова О.С. Влияние орошения на химические свойства темно-каштановой почвы / О.С. Безуглова, В.И. Степовой, И.Г. Ковалёва // Почвоведение. – 1995. – № 5. – С. 602-607.

3. Голов В.И. Экологическое состояние пахотных почв Дальнего Востока и ближайшие перспективы их использования / В.И. Голов, М.Л. Бурдуковский, Н.В. Иваненко, Ю.А. Попова // Вестник ДВО РАН. – 2020. – № 1. – С. 66-74.

4. Гуторова О.А. Динамика показателей плодородия лугово-черноземной почвы при длительном возделывании риса / О.А. Гуторова, В.А. Романенков, А.Х. Шеуджен // *Агрохимия*. – 2019. – № 10. – С. 25-34.

5. Гуторова О.А. Эколого-агрохимическое состояние почв рисовых агроландшафтов / О.А. Гуторова, А.Х. Шеуджен. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2020. – 348 с.

6. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В.В. Медведев. – М.: Агропромиздат, 1988. – 159 с.

7. Николаева С.А. Устойчивость почв дельтовых экосистем в условиях интенсивного орошения (для целей рисосейания) / С.А. Николаева // Почвоведение. – 1995. – № 10. – С. 1226-1232.

8. Система рисоводства Краснодарского края / Под ред. Е.М. Харитоновой. – Краснодар: ВНИИ риса, 2005. – 340 с.

9. Шеуджен А.Х. Азот и гумус: методы их определения / А.Х. Шеуджен, В.П. Суев, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова, Л.М. Онищенко, Х.Д. Хурум, В.В. Дроздова, М.А. Осипов, С.В. Кизинек. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2021. – 176 с.

10. Шеуджен А.Х. Методика агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2015. – 661 с.

11. Щедрин В.Н. Свойства лугово-черноземных почв после ротации севооборотов с различной водной нагрузкой при циклическом орошении рисовых полей / В.Н. Щедрин, Л.М. Докучаева, Р.Е. Юркова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2020. – № 2(38). – С. 1-17.

12. Maie N. Origin and properties of humus in the subsoil of irrigated rice paddies. I. Leaching of organic matter from plow layer soil and accumulation in subsoil / N. Maie, A. Watanabe, M. Kimura // Soil Sci. and Plant Nutr. – 1997. – V. 43. – № 4. – P. 901-910.

13. Sheudzen A.Kh. Humus state of the soil under liquid manure application on Kuban rice crops / Kh.A. Sheudzen, O.A. Gutorova // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2021. – V. 659. – 012021.

14. Tanji K.K. Characterizing redox status of paddy soils with incorporated rice straw / K.K. Tanji, S. Gao, S.C. Scardaci, A.T. Chow // Geoderma. – 2003. – N 3-4. – T.114. – P. 333-353.

UDC: 631.862.2: 631.82: 631.452

CHANGES IN THE PROPERTIES OF THE MEADOW-CHERNEAR SOIL OF THE RICE AGROCOENOSIS WITH THE APPLICATION OF FERTILIZERS

A.Kh. Sheudzen^{1,2}, O.A. Gutorova¹, H.D. Hurum¹, Yu.N. Ashinov³

¹Kuban State Agrarian University named after Trubilin, ul. Kalinina, 13, Krasnodar, 350044, Russia, E-mail: ashad.sheudzen@mail.ru

²Federal scientific rice centre, pos. Belozernyi, 3, Krasnodar, 350921, Russia

³Maikop State Technological University, st. Pervomaiskaya, 191, Republic of Adygea, Maykop, 385000, Russia

The influence of mineral and organic fertilizers on the agrophysical and humus state of the meadow-chernozem soil of rice agroecocenosis in the conditions of Kuban is considered. The use of slurry as an organic fertilizer since autumn at the rate of 30 t/ha, modified with a nitrification inhibitor Entec FL DMPP, helps to reduce soil density by 4,4 %, increase total porosity by 1,2 %, and improve humus composition ($C_{гк}: C_{фк}=2,05$), enrichment of humus with nitrogen at a C: N ratio of 8,0.

Keywords: rice, meadow-chernozem soil, mineral fertilizers, slurry, nitrification inhibitor, soil density, total porosity, humus, humus group composition.

УДК 579.2:631.8:587:631.4

DOI: 10.25680/S19948603.2023.131.19

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ОРОШАЕМОМ СЕВООБОРОТЕ

Н.Н. Шулико, к.с.-х.н., А.Ю. Тимохин, к.с.-х.н., Е.В. Тукмачева, к.б.н., А.А. Вейнбендер, ФГБНУ «Омский АНЦ»

644012, Россия, г. Омск, пр-т Королева, 26, shuliko-n@mail.ru

Исследования проводили в 2020-2022 г. в лесостепной зоне юга Западной Сибири (Омская обл.), в многолетнем (более 40 лет) стационарном опыте в вариантах со средней и высокой обеспеченностью подвижным фосфором (по Чирикову). Под культурами восьмипольного зерноотрубного севооборота: многолетние травы (ежа сборная) в смеси с эспарцетом песчаным, сорго сахарным, определяли численность различных физиологических групп мик-

поорганизмов, содержание азота нитратов в пахотном слое почвы, урожайность культур. Сочетание факторов орошения, применения минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}$) в посевах многолетних трав и сорго стимулировало рост численности бактерий-аммонификаторов на 26 и 30%, амилитической микрофлоры на 41 и 52%, фосфоромобилизующих бактерий на 110 и 28%, целлюлозоразрушающих микроорганизмов на 56 и 46% соответственно по отношению к контрольному варианту. В почве под посевами культур преобладали иммобилизационные процессы, способствующие сохранению органического вещества почвы (коэффициент иммобилизации МПА/КАА > 1). При длительном применении азотных и фосфорных удобрений уровень $N-NO_3$ в почве был высоким, снижение его происходило по мере роста растений. Наибольшее положительное воздействие изучаемые агроприемы оказали на урожайность сорго, увеличение в сравнении с контролем составило 1,65 т/га, или 39%. Установлены корреляционные зависимости средней и сильной степени между отдельными группами почвенных микроорганизмов и урожайностью сорго ($r=0,65$; $r=0,68$, $r=0,71$, $r=0,91$).

Ключевые слова: орошение, минеральные удобрения, почвенные микроорганизмы, севооборот, нитратный азот, урожайность.

Для цитирования: Шулико Н.Н., Тимохин А.Ю., Тукмачева Е.В., ВейнбENDER А.А. Эффективность применения минеральных удобрений в орошаемом севообороте// Плодородие. – 2023. - №2. – С. 82-88.
DOI: 10.25680/S19948603.2023.131.19.

Применение различных систем удобрения в длительных опытах неоднозначно влияет на показатели плодородия почв и урожайность сельскохозяйственных культур. Важным механизмом оптимизации минерального питания, обеспечивающим реализацию биологического потенциала растений, служит процесс минерализации органического вещества за счёт внесения удобрений и деятельности почвенных микроорганизмов [1].

В почвах непрерывно происходят процессы синтеза, трансформации и аккумуляции органических и минеральных веществ при участии микрофлоры [2]. Минеральные удобрения, вносимые в умеренных дозах, активизируют жизнедеятельность микроорганизмов различных физиологических групп. В почвах возрастает численность аэробных и анаэробных азотфиксаторов, аммонификаторов, целлюлозоразрушающих бактерий, актиномицетов и микрогрибов [3-5].

Интенсификация возделывания сельскохозяйственных культур с применением орошения позволяет в условиях Сибири получать достаточно высокие урожаи. Однако оптимизация водного режима при орошении приводит к изменениям агрохимических и биологических свойств почв, которые усиливаются при внесении удобрений [6].

Цель исследований - установить изменение биологических и агрохимических свойств орошаемой лугово-черноземной почвы, уровень урожайности агрокультур при использовании интенсивной технологии возделывания, компенсирующей дефицит влаги и элементов минерального питания.

Методика. Исследования проводили в 2020-2022 г. в орошаемом восьмипольном зернотравяном севообороте под культурами: многолетние травы (ежа сборная) в смеси с эспарцетом песчаным, сорго сахарным; в вариантах опыта без внесения удобрений при средней обеспеченности подвижным фосфором (по Чирикову 100 мг/кг почвы) – контроль и с применением азотно-фосфорных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}$ при высоком содержании P_2O_5 , более 150 мг/кг – удобрённый.

Регулирование влажности тяжелосуглинистых почв проводится в интервале от влажности разрыва капилляров до наименьшей влагоёмкости почвы. Поливы назначали по данным контроля за содержанием влаги в слое почвы 0,6 и 1,0 м каждые 10 дней и выполняли дождевальными машинами ДКШ-64 «Волжанка». Поливная норма 300 м³/га. Оросительная норма определялась погодными условиями вегетационного периода. Источ-

ник воды – р. Омь с минерализацией воды в июне 0,33 г/л, химизм – гидрокарбонатно-хлоридный, кальциево-магнийевый.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднелесная тяжелосуглинистая с содержанием гумуса в слое 0-0,2 м около 7% (по Тюрину), мощность гумусового горизонта 0-0,45 м. Реакция почвенной среды в пахотном слое нейтральная – $pH_{вод}$ 7,0-7,2. Незасоленный слой почвы составляет 2,5-3,0 м. В глубже лежащей толще, до 3-4 м, содержание солей значительно варьирует по слоям – от слабого до среднего засоления, химизм сульфатно-содовый или содово-сульфатный [7].

Отбор проб для микробиологических исследований проводили в стерильные пергаментные пакеты 3 раза в течение вегетации растений из 4-5 уколов буром на глубину 0-0,2 м. Учёт численности микроорганизмов проводили на твёрдых питательных средах: общее количество бактерий-сапрофитов, разлагающих органические азотсодержащие соединения в почве – на мясопептонном агаре (МПА); амилитических микроорганизмов, потребляющих азот в минеральной форме (NH_3) – на крахмалоаммиачном агаре (КАА), олигонитрофилов на среде Мишустинской, фосфатмобилизующих на среде Муромцева, целлюлозоразлагающих микроорганизмов на среде Гетчинсона, почвенных микрогрибов на подкисленной среде Чапека [8].

Для определения направленности почвенно-микробиологических процессов был рассчитан коэффициент минерализации – КАА/МПА и коэффициент иммобилизации – МПА/КАА [9]. Нитратный азот определяли с дисульфифеноловой кислотой по Грандваль-Ляжу [10].

Метеорологические условия в июне-июле 2020 г. были засушливыми (ГТК=0,89-0,20 ед. соответственно). В июне дожди прошли лишь в третьей декаде месяца – 44 мм осадков при норме 51 мм. Благоприятным был август (ГТК=0,89 ед.). Метеоусловия 2021 г. в целом можно охарактеризовать как засушливые и жаркие. Осадки выпадали неравномерно и носили ливневый характер. Особенно жаркими и засушливыми были май и первая половина июня, первая и третья декады июля и первая половина августа, ГТК за май-август составил 0,7 ед. Вегетационный период 2022 г. также был неблагоприятным для роста и развития сельскохозяйственных культур. Период вегетации характеризовался недостаточным увлажнением, ГТК за май-август в среднем составил 0,81 ед. Контрастность метеоусловий в

годы исследований позволила оценить действие изучаемых агроприёмов на биологическую активность и урожайность сельскохозяйственных культур.

Результаты и их обсуждение. Применение минеральных удобрений на орошаемых фонах положительно повлияло на численность различных групп микроорганизмов. Действие минеральных удобрений на почвенную микрофлору зависело от совокупного влияния факторов влажности и вида возделываемой культуры.

Одни из важных компонентов почвенной микробиоты - микроорганизмы (аммонификаторы), использующие органические формы азота, и участвующее в деструкции растительных остатков и отмерших корней рас-

тений. При внесении азотно-фосфорных удобрений в дозе ($N_{60}P_{60}$) количество бактерий-аммонификаторов увеличилось на 26% в почве под посевом многолетних трав и на 30% – под сорго. Изменения в численности бактерий, выделяемых на МПА, достоверны, доля влияния фактора применения удобрений была значительной - более 90%. Количество аминолитической микрофлоры, произрастающей на крахмало-аммиачном агаре и использующей минеральные формы азота (NH_3) для построения собственных клеток, достоверно увеличивалось на 41% в посевах многолетних трав и 52% в посевах сорго, по отношению к неудобренному варианту (доля влияния фактора удобрений 77%) (рис. 1).

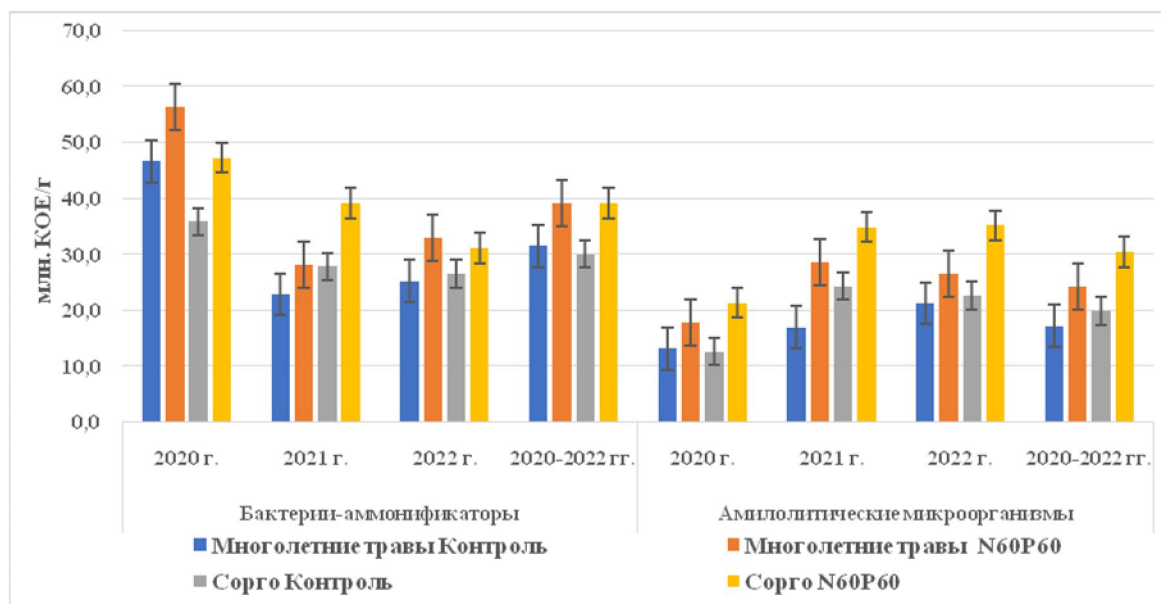


Рис. 1. Численность микроорганизмов орошаемой почвы при применении удобрений (n=9)

Стимуляция роста микроорганизмов в почве удобренных вариантов связана с ее обогащением элементами минерального питания, увеличением количества корневого опада в течение вегетации, большим количеством растительных остатков после уборки сельскохозяйственных культур на интенсивном фоне [11].

Соотношение КАА/МПА показывает взаимную связь между общей численностью микроорганизмов, использующих минеральный азот, и общим числом микроорганизмов, разлагающих органическое вещество, отра-

жающую степень участия микрофлоры в процессе трансформации органического вещества почвы [12].

В исследуемые годы и в среднем за 2020-2022 г. в почве под посевами преобладали процессы иммобилизации, соотношение МПА/КАА > 1 (рис. 2). Сибирские почвы обладают высокой способностью к закреплению внесенного минерального азота, содействуя его сохранению и аккумуляции в зоне корневой системы. Реминерализация иммобилизованного азота позволяет более равномерно снабжать растения его усвояемыми формами [13].

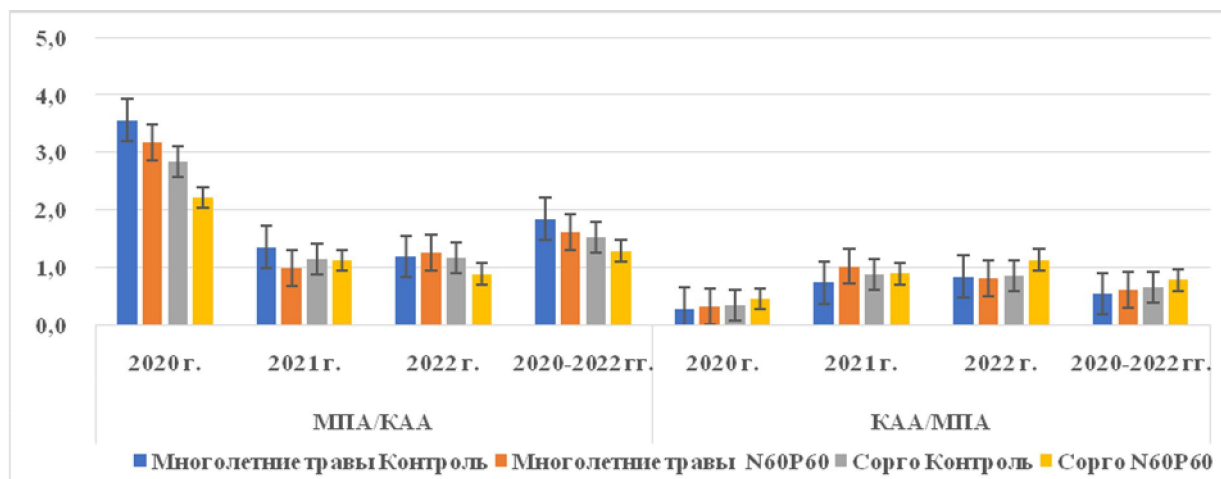


Рис. 2. Направленность почвенно-микробиологических процессов в орошаемой почве в зависимости от применения удобрений (n=9)

Следует отметить, что за время функционирования стационарного опыта произошло небольшое, но достоверное снижение содержания гумуса из-за выноса элементов минерального питания, в т.ч. азота гумуса, поскольку умеренный уровень химизации за предшествующий период обеспечивал только частичную компенсацию выноса азота урожаем. Для сохранения положительного баланса гумуса при использовании многолетних трав, особенно мятликовых, в севооборотах на орошаемых почвах необходимо внесение органических удобрений [14].

Количество олигонитрофилов, микроорганизмов, участвующих в распаде трудноразлагаемых раститель-

ных остатков и фосфоромобилизующих бактерий при применении удобрений увеличилось в большей степени под посевом сорго на 88 и 28% соответственно в сравнении с контролем (рис. 3). В почве под посевом многолетних трав при применении изучаемых агроприемов достоверным было лишь изменение фосфоромобилизующих бактерий (увеличение 110% по отношению к контролю, доля влияния фактора удобрений 77%), что связано с наличием доступного фосфора при внесении NP-удобрений. Эффективность фосфоромобилизующих бактерий проявляется в большей степени при наличии в почве достаточного количества азотного и фосфорного питания для растений.

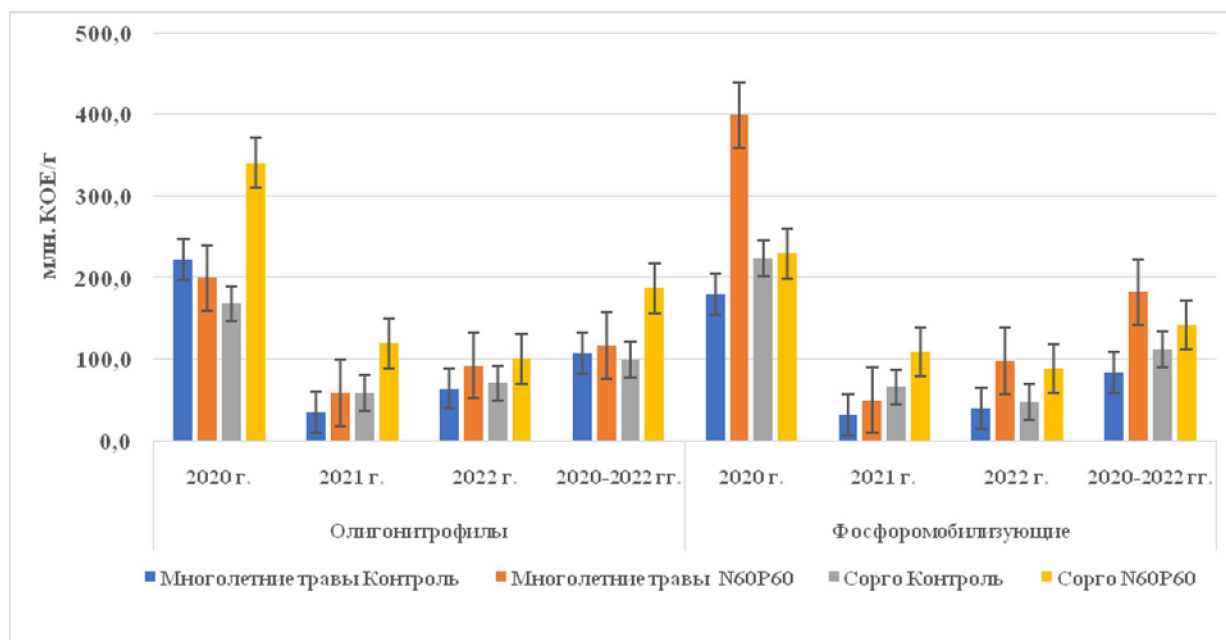


Рис. 3. Численность олигонитрофилов и фосфоромобилизующих бактерий орошаемой почвы при применении удобрений (n=9)

Оптимизация условий минерального питания при возделывании многолетних трав в наибольшей степени стимулировала рост численности почвенных микрогрибов. Так, на фоне без удобрений она варьировала от 26,2 до 103,0 тыс. КОЕ/г, при внесении удобрений от 46,8 до 236,1 тыс. КОЕ/г. В 2020-2022 г. увеличение численности определяемой группы микроорганизмов от удобрений составило 120% к контролю (доля влияния фактора удобрений около 40%). В литературе отмечается, что рост количества микрогрибов может происходить при подкислении почвы удобрениями при их длительном применении [15]. Поскольку основной функцией микрогрибов является разложение растительных органических остатков в почве, можно предположить, что на удобренных фонах процесс протекает более интенсивно и за счет увеличения количества разлагаемого субстрата. В посевах сорго в среднем за годы исследований существенных изменений в численности почвенных микрогрибов не выявлено.

Изменение численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов в почве под посевом сельскохозяйственных культур происходило с аналогичной предыдущим группам тенденцией, увеличиваясь при применении N₆₀P₆₀ на 46% (сорго) и 56% (многолетние травы) по отношению к контролю. Это связано с увеличенным содержанием в почве азота нитратов, необходимого для

разложения большого количества энергетического материала (рис. 4).

Применение азотно-фосфорных удобрений под ежу в смеси с эспарцетом и сорго сахарным в условиях орошения оказало стимулирующее воздействие на суммарную численность микроорганизмов. Наиболее значительной численностью микрофлоры, как на фоне без удобрений, так и на удобренном выделялся вариант с посевом сорго (398 млн КОЕ/г при уровне на контроле 361 млн КОЕ/г) (рис. 5). Это, возможно, связано с хорошо развитой корневой системой сорго и его специфическими корневыми выделениями.

Наблюдения за нитратным режимом показали, что в почве под посевом многолетних трав во все основные фазы развития культуры содержание азота нитратов на фоне без удобрений было на уровне низкого и очень низкого (<10, 10-15 мг/кг), согласно шкале обеспеченности почв нитратным азотом в слое 0-20 см [13]), на удобренном фоне в июне количество N-NO₃ было высоким за счет внесения азотно-фосфорных удобрений. В течение летнего сезона азот текущей нитрификации и минеральных удобрений использовался вегетирующим в течение нескольких месяцев травостоем до очень низких значений (рис. 6).

Количество нитратного азота под сорго было значительно выше, чем в почве под посевом многолетних трав. Это связано с тем, что при выращивании много-

летних трав почва длительное время находится в состоянии покоя (как следствие уплотнение, плохая аэрация), процессы нитрификации снижаются (нитрификаторы – облигатные аэробы), более интенсивно идёт гумусообразование [16].

Наблюдения за динамикой $N-NO_3$ под посевом сорго показали, что в июне содержание этой формы азота в пахотном слое было высоким в исследуемых вариантах,

что связано с зернобобовым предшественником (кормовые бобы) и внесением азотно-фосфорных удобрений (фон $N_{60}P_{60}$). В вариантах без удобрений количество азота нитратов варьировало от 9,6 до 26,2 мг/кг (низкое и высокое содержание), при применении $N_{60}P_{60}$ – от 24,0 до 59,7 мг/кг (высокое содержание). Уменьшение содержания $N-NO_3$ в почве по мере роста растений происходило в основном за счет потребления его растениями сорго.

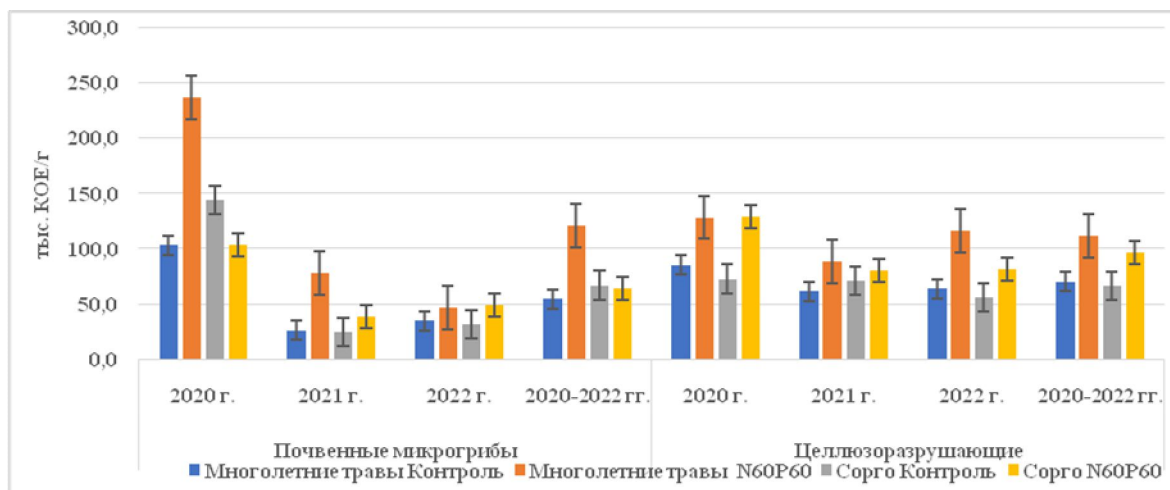


Рис. 4. Численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов орошаемой почвы при применении удобрений (n=9)

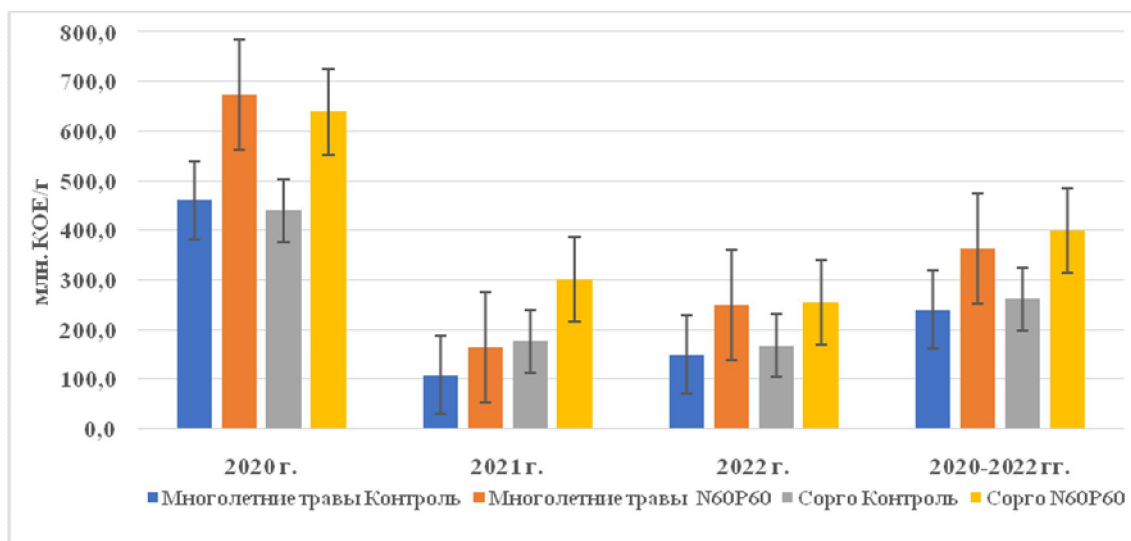


Рис. 5. Общая численность микроорганизмов под посевом с.-х. культур при орошении (n=9)

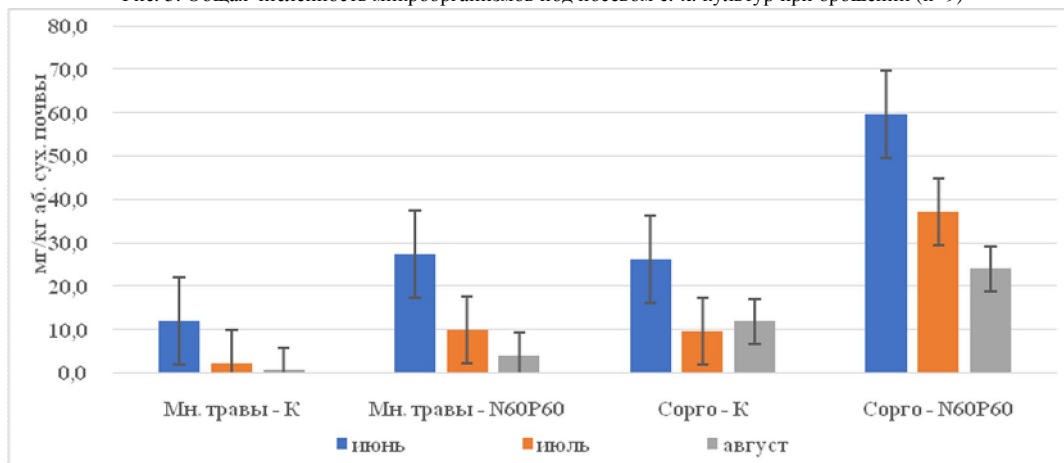


Рис. 6. Содержание азота нитратов в орошаемой почве в зависимости от применения удобрений, слой 0-20 см (в среднем за 2020-2022 г.)

Сложившиеся погодные условия, режимы влагообеспеченности и минерального питания повлияли на продуктивность исследуемых сельскохозяйственных культур.

Укос многолетних трав в 1-й год жизни (2020 г.) не проводился. В последующие годы компоненты мятликово-бобовой травосмеси вели себя по-разному. В годы исследований в травосмеси превалировал мятликовый компонент. Доля эспарцета во 2-й год жизни составляла 41-50%, в 3-й – до 47%. Урожайность ежи в смеси с эспарцетом в годы исследований составляла 3,84-4,57 т/га сухого вещества в контрольном варианте, 4,82-4,89 т/га в удобренном (табл.). Дальнейшее использование травосмеси и внесение азотных удобрений может привести к вытеснению бобовой культуры и существенно снижению её доли в ботаническом составе. В исследованиях белгородских ученых также отмечено, что выпадение бобовых трав быстрее всего происходит при выращивании их с ежой сборной. Установлена сильная отрицательная корреляция между массой растений ежи сборной и бобовых [17].

Урожайность сорго в годы исследований варьировала по сравнению с контролем, что связано с лучшей обеспеченностью растений элементами минерального питания при внесении NP-удобрений. В среднем за 2020-2022 г. исследований изучаемые агроприемы (удобрения в дозе $N_{60}P_{60}$, орошение) способствовали достоверному увеличению урожайности семян сорго на 1,65 т/га, или 39% в сравнении с контролем.

Корреляционный анализ зависимости урожайности семян сорго от численности микроорганизмов в годы исследований показал, что связь средней тесноты имеется между урожайностью и численностью фосфоромобилизирующих бактерий ($r=0,65$), аммонифицирующих бактерий ($r=0,68$), а также сильная между урожайностью и целлюлозоразрушающими микроорганизмами ($r=0,92$), олигонитрофилами ($r=0,98$), общим количеством микрофлоры ($r=0,71$).

Урожайность сельскохозяйственных культур при применении удобрений на фоне орошения, т/га сухого вещества

Культура (фактор А)	Минеральные удобрения (фактор В)	Годы исследований			
		2020	2021	2022	Среднее
Многолетние травы	Контроль	-	4,57	3,84	4,20
	$N_{60}P_{60}$	-	4,82	4,89	4,86
Сорго	Контроль	6,55	2,96	3,10	4,21
	$N_{60}P_{60}$	7,24	6,67	3,64	5,85
НСП ₀₅ : А		-	0,52	0,85	0,59
В		-	0,52	0,85	0,59
АВ		-	0,74	1,19	0,84

Судя по коэффициенту детерминации ($r^2=0,54$ – средняя положительная зависимость), увеличение количества нитратного азота в почве приводило к повышению урожайности семян сорго (рис. 7). Это объясняется тем, что азот нитратов в условиях Сибири является основным источником питания растений [19].

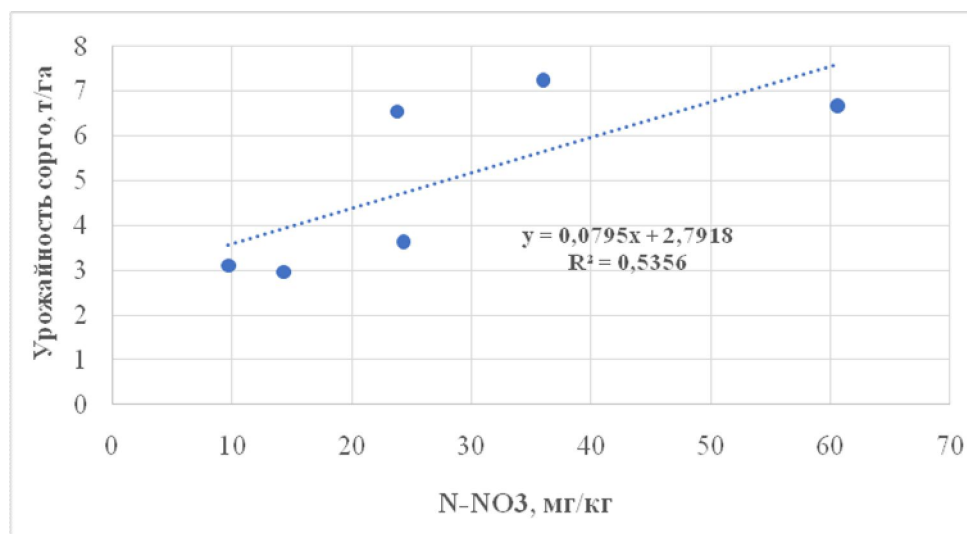


Рис. 7. Зависимость урожайности семян сорго (Y, т/га) от количества нитратного азота в почве (X, мг/кг), n=6 (в среднем за 2020-2022 г.)

Заключение. При интенсивном возделывании сельскохозяйственных культур на длительно орошаемой лугово-черноземной почве увеличилась общая численность почвенной микрофлоры, что положительно повлияло на урожайность. Так на удобренном фоне выход сухого вещества сорго был на 1,65 т/га, или на 39% выше в сравнении с контролем.

Сочетание факторов орошения, применения минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}$) в посевах многолетних трав и сорго стимулировало рост численности бактерий-аммонификаторов на 26 и 30%, амилотической микрофлоры на 41 и 52%, фосфоромобилизирующих бактерий на 110 и 28%, целлюлозоразрушающих микроорганизмов на 56 и 46% соответственно по отношению к контрольному

варианту. В почве под посевами культур преобладали иммобилизационные процессы, способствующие сохранению органического вещества почвы (коэффициент иммобилизации МПА/КАА>1).

Установлены корреляционные зависимости средней и сильной степени между отдельными группами почвенных микроорганизмов и урожайностью сорго ($r=0,65$; $r=0,68$, $r=0,71$, $r=0,91$).

Литература

1. Blair N., Faulkner R.D., Till A.R. et al. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Pt I. Broadbalk experiment // Soil Tillage Res. 2006. Vol. 91. P. 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.11.002>.
2. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chnozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer / N. N.

Shuliko, O. F. Khamova, A. Yu. Timokhin [et al.] // Sci Rep. 12, 14672 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1>.

3. Урожайность зерновых культур и уровень плодородия почвы в зависимости от внесения минеральных удобрений, типа почв в системе севооборота / И.Н. Романова, С.М. Князева, С.Н. Глушаков [и др.] // АгроСнабФорум. – 2016. – № 6(146). – С. 63-65.

4. Еремин Д. И. Минеральные удобрения и плодородие Сибирского чернозема. Результаты многолетних исследований / Д. И. Еремин // Вестник Курганской ГСХА. – 2017. – № 4(24). – С. 36-40.

5. Конова А. М. Влияние длительного применения возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность севооборота / А. М. Конова, А. Ю. Гаврилова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 11-5(53). – С. 27-30. – DOI 10.18454/IRJ.2016.53.059.

6. Черноземы: свойства и особенности орошения / В.П. Панфилов, И.В. Слесарев, А.А. Сеньков [и др.], отв. за выпуск С.С. Трофимов: Институт почвоведения и агрохимии СО РАН. – Новосибирск: Новосибирское отд. издательства Наука, 1988. – 256 с.

7. Мищенко, Л.Н. Почвы Западной Сибири: учеб. пособие / Л.Н. Мищенко, А.Л.Мельников. – Омск: ОмГАУ, 2007. – 248 с.

8. Теппер, Е.З. Практикум по микробиологии: учебное пособие для вузов / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова; под ред. В.К. Шильниковой. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2004. – 256 с.

9. Муха, В.Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов / В.Д. Муха // Сб. науч. трудов Харьковского СХИ. – Харьков, 1980. – Т. 273. – С. 13-16.

10. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: МГУ, 1970. – 325 с.

11. Кураков А.В. Минеральные удобрения как фактор антропогенного воздействия на почвенную микрофлору / А.В. Кураков, В.С. Гузев, А.Л. Степанов и др. // Микроорганизмы и охрана почв. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – С. 47-85.

12. Коробова Л.Н. Научно-методические рекомендации по использованию микробиологических показателей для оценки состояния пахотных почв Сибири / Л.Н. Коробова, А.В. Танатова и др. // Новосибир ГАУ. – Новосибирск: изд-во НГАУ, 2013. – 38 с.

13. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах / Г.П. Гамзиков. – Новосибирск: РАСХН, Сиб. отд-ние, 2013. – 790 с.

14. Усовершенствование системы земледелия на мелиорируемых землях Омской области / В. С. Бойко, А. Ю. Тимохин, С. П. Гавар [и др.]. – Омск : Издательство ИП Макшеевой Е.А., 2018. – 32 с.

15. Кураков А.В. Минеральные удобрения как фактор антропогенного воздействия на почвенную микрофлору / А.В. Кураков, В.С. Гузев, А.Л. Степанов и др. // Микроорганизмы и охрана почв. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – С. 47-85.

16. Содержание лабильного органического вещества в лугово-черноземной почве при длительном применении удобрений / Н. Ф. Балабанова, Н. А. Воронкова, В. Д. Дороненко [и др.] // Земледелие. – 2020. – № 2. – С. 7-9.

17. Чернявских, В. И. Продуктивность бобово-злаковых травосмесей и эффективность их возделывания на склоновых землях Юго-Запада ЦЧЗ / В. И. Чернявских // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 7. – С. 42-45.

18. Хамова О.Ф. Биологическая активность длительно орошаемой лугово-черноземной почвы в условиях интенсивного использования / О.Ф. Хамова, В.С. Бойко, А.Ю. Тимохин, Н.Н. Шулико, Е.В. Тукмачева // Вестник ОмГАУ. – 2019. – № 1 (33). – С. 53-61.

UDC: 579.2:631.8:587:631.4

EFFICIENCY OF APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS IN IRRIGATED CROPPING ROTATION

**N.N. Shuliko, Cand. Agr. Sci., A.Yu. Timokhin, Cand. Agr. Sci.,
E.V. Tukmacheva, Cand. Biol. Sci., A.A. Veinbender, graduate student
FSBT Omsk agricultural research center, 644012, Russia,
Omsk, Pr. Korolev's 26, e-mail: shuliko-n@mail.ru**

*The studies were carried out in 2020-2022 years in the forest-steppe zone of the south of Western Siberia (Omsk region), in a long-term (43 years) stationary experiment, in variants with an average and high supply of mobile phosphorus (according to Chirikov). Under crops of an eight-field grain-grass crop rotation: perennial grasses (urchin *Dactylis glomerata*, sainfoin (*Onobrychis*)), sorghum (*Sorghum*), the number of various physiological groups of microorganisms, the nitrogen content of nitrates in the arable soil layer, and crop rotation crop yields were determined. The combination of irrigation factors, the use of mineral fertilizers ($N_{60}P_{60}$) in crops of perennial grasses and sorghum stimulated an increase in the number of ammonifying bacteria by 26 and 30%, amylolytic microflora by 41 and 52%, phosphorus mobilizing bacteria by 110 and 28%, cellulose-decomposing microorganisms by 56 and 46% %, respectively, in relation to the control variant. Immobilization processes prevailed in the soil under crops, contributing to the conservation of soil organic matter (immobilization coefficient $MPA/KAA > 1$). With long-term use of nitrogen-phosphorus fertilizers, the level of $N-NO_3$ in the soil was high, its decrease occurred as the plants grew. The studied agricultural practices had the greatest positive impact on the yield of sorghum seeds, the increase in comparison with the control was 1,65 t/ha or 39%. Correlation dependences of medium and strong degree were established between individual groups of soil microorganisms and sorghum yield ($r=0,65$; $r=0,68$, $r=0,71$, $r=0,91$).
Keywords: irrigation, mineral fertilizers, crop rotation, soil microorganisms, nitrate nitrogen, productivity.*

УДК 631.43

DOI: 10.25680/S19948603.2023.131.20

АГРЕГАТНЫЙ СОСТАВ И ПЛОТНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

**Г.Ю. Рабинович, д.б.н., Е.А. Подолян, к.с.-х.н., Т.С. Зинковская, к.с.-х.н.,
Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»
119017, Москва, Пыжевский пер., д.7, стр. 2
2016vniimz-noo@list.ru**

Дефицит традиционных органических удобрений требует поиска эффективных и в то же время менее затратных технологий поддержания плодородия почв, к которым можно отнести и внесение осадка сточных вод (ОСВ). В представленной работе изучали применение ОСВ г. Твери совместно с торфом, опилками, соломой из расчета 60 т/га удобрительной смеси в звене полевого севооборота. Такие смеси оказывают положительное влияние на агрегатный состав и плотность сложения пахотного горизонта дерново-подзолистой супесчаной почвы. Наибольший эффект наблюдался в вариантах, где соотношение ОСВ и других компонентов (опилок, торфа, соломы) составляло 1:1.

Ключевые слова: осадок сточных вод, удобрительные смеси, физические свойства почвы, агрегатный состав, плотность почвы.