

7. Ольгаренко Г.В. Технические средства для орошения плодово-ягодных насаждений // Вестник Коломенского государственного педагогического института. – 2009. – № 1. – С. 131-134.

8. Оптимизация схемы минерального питания при выращивании земляники на капельном орошении в Волгоградской области / В.В. Бородычев, В.М. Гуренко, М.В. Шишлянникова, Е.А. Стрижакова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2013. – № 1. – С. 14-20.

9. Особенности водного режима почвы при капельном орошении сельскохозяйственных культур / Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, О.А. Белик // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 4. – С. 22-25.

10. Формирование саженцев сливы при капельном орошении в условиях Нечерноземной зоны / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев, В.М. Градусов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 6. – С. 23-35.

11. Ягодные культуры в Центральном районе России / И.В. Казаков, С.Д. Айтжанова, С.Н. Евдокименко, В.Л. Кулагина, Н.В. Андропова. – М.: ФГБНУ ВСТИСП, 2016. – 233 с.

12. Dubenok N.N., Gemonov A.V. Lebedev A.V. The influence of drip irrigation on growth of plum seedlings in Central Non-Black soil Zone of European Russia // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 82014.

13. Formation of plum seedlings under drip irrigation in Central Non-Black Soil region of Russia / Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V., Glushenkova E.V. // RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2019. Т. 14. № 1. С. 40-48.

14. Dubenok N.N. Moisture consumption by plum seedlings under drip irrigation in the Central Nonchernozem zone of Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. – 2020. – Vol. 15. – No 2. – P. 191-199.

FORMATION OF RASPBERRY SEEDLINGS WITH DRIP IRRIGATION IN THE NON-CHERNOZEM ZONE

*N.N. Dubenok, Academician of the Russian Academy of Sciences, K.Y. Ilchenko, A.V. Gemonov,
Candidate of Agricultural Sciences, Russian State
Agrarian University – K.A. Timiryazev Agricultural Academy (RGAU-K.A. Timiryazev Agricultural Academy)
49 Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation, e-mail: info@rgau-msha.ru*

Information on the effect of drip irrigation regimes on the growth and development of raspberry seedlings is presented. The main biometric indicators of plants and data on the dynamics of soil moisture were obtained. The impact of drip irrigation on plant growth and development is assessed.

Keywords: raspberry, drip irrigation, Non-Chernozem zone, humidity dynamics.

УДК 631.51:631.8:587:631.4

DOI: 10.25680/S19948603.2022.127.19

ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ И АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОРОШАЕМОЙ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

*Н.Н. Шулико, к.с.-х.н., О.Ф. Хамова, к.б.н.,
А.Ю. Тимохин, к.с.-х.н., Е.В. Тукмачева, к.б.н.,
ФГБНУ «Омский АНЦ»,
644012, Россия, г. Омск, пр-т Королева, 26, shuliko-n@mail.ru*

В длительном стационарном опыте определяли численность различных физиологических и экологотрофических групп микроорганизмов. Внесение минеральных удобрений на фоне орошения в лугово-черноземной почве привело к увеличению количества микрофлоры. Под посевами преобладали процессы иммобилизации азота микроорганизмами ($K_{иммоб.} = 1,28-2,31$ ед.). Со статистической достоверностью показано, что количество биологически активного азота в почве (ее нитрификационная способность) зависело от запасов нитратного азота, увеличиваясь при внесении удобрений и возделывании азотфиксирующих культур. Отмечено положительное влияние изучаемых факторов на интенсивность разложения клетчатки в почве, как показатель почвенного плодородия. Комплекс благоприятных для растения условий, складывающихся на орошаемых землях, способствовал формированию высокой продуктивности сельскохозяйственных культур. Установлено, что применение проводимых агроприемов не оказало негативного воздействия на экологическое состояние агроценоза.

Ключевые слова: микробиоценоз, агрохимические свойства почвы, удобрения, плодородие, орошение.

Для цитирования: Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Тимохин А.Ю., Тукмачева Е.В. Изменение биологических и агрохимических свойств орошаемой лугово-черноземной почвы при длительном применении удобрений. // Плодородие. – 2022. – №4. – С. 71-78. DOI: 10.25680/S19948603.2022.127.19.

Для жизнедеятельности микроорганизмов необходима определенная влажность почвы, которая нередко близка к оптимальной для растений. В этой связи, при изучении мелиоративного земледелия актуальны ис-

следования по снижению возможного негативного воздействия орошения на почвенную экосистему и растения. При этом основное внимание нужно уделять проблеме влияния орошения на вероятные изменения мик-

робиологической активности и питательного режима почв [1, 2].

Микроорганизмы выполняют функции формирования плодородия почв и питания растений [3, 4]. Они играют ведущую роль в круговороте азота, лимитирующего продуктивность большинства наземных экосистем; микробным популяциям присущи специфические особенности [5, 6].

Микробиоценозы очень изменчивы по численности и составу в течение вегетационного периода, что определяется динамикой основных экологических факторов среды, в том числе антропогенных (термо- и влагообеспеченность, свет, давление, свойства почвы, мелиорация, внесение удобрений и др.). Не все факторы одинаковы по своему значению, влияние некоторых из них более значительно. Оптимизация водного режима при орошении вызывает изменения агрохимических и биологических свойств почв, которые усиливаются при внесении удобрений [7, 8]. Известно, что при применении орошения изменяется интенсивность деятельности микрофлоры: увеличивается численность аммонификаторов, нитрификаторов и уменьшается число денитрификаторов [8, 9, 10].

В орошаемом земледелии роль азота особенно велика. Азот – один из самых сложных элементов питания растений, трудно поддающихся регулированию. Принципы рационального азотного питания растений должны базироваться на том, чтобы добиваться в почве бездефицитного баланса гумуса и накопления легкоразлагающегося органического вещества, обеспечивающего стабильный темп образования минерального азота в почве [11].

Цель исследований – определить влияние оптимизации водного режима и применения удобрений при выращивании различных сельскохозяйственных культур на биологические и агрохимические свойства лугово-черноземной почвы, выявить возможные негативные последствия изучаемых агроприемов.

Методика. Исследования проводили в 2020-2021 г. в орошаемом восьмипольном зернотравяном севообороте под многолетними (смесь эспарцета песчаного с ежой сборной) и однолетними (смесь сорго сахарного с бобами кормовыми, одновидовой посев сорго сахарного) травами 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 дозе $N_{60}P_{60}$ при высоком (более 150 мг/кг почвы) содержании P_2O_5 – удобренный вариант.

Оптимизацию водного режима проводили за счет поливов в дополнение к атмосферным осадкам (поливная норма 300 м³/га, оросительная – 300-600 м³/га, в зависимости от гидротермических условий вегетационного периода). Это позволило поддерживать влажность почвы в интервале от влажности разрыва капилляров (ВРК) до наименьшей влагоемкости (НВ). Оптимизацию условий питания проводили за счет применения умеренных доз минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}$) перед посевом культур на фоне с повышенным содержанием фосфора (100-150 мг/кг почвы по Чирикову). В опытах применяли аммиачную селитру (60 кг д.в./га) и аммофос (60 кг д.в./га). Удобрения вносили локально до предпосевной культивации сеялкой СЗП-3,6 под все изучаемые культуры в опыте.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднесуглинистая, содержание гумуса в слое 0-0,2 м около 7% (по Тюрину), мощность гумусового горизонта 0-0,45 м.

Микробиологический посев осуществляли глубинным способом на твердых питательных средах [12]. Абсолютные значения количества микробов различных групп в КОЕ/г переводили в % относительно варианта с максимальной численностью (100%) [13]. Интенсивность разложения целлюлозы определяли в полевых условиях аппликационным методом по Тихомировой [14], содержание азота нитратов – по Грандваль Ляжу [15].

Погодные условия вегетационного периода 2020 г. в июне-июле были засушливыми (ГТК – 0,89-0,20 соответственно). В июне дожди прошли лишь в третьей декаде месяца – 44 мм осадков при норме 51 мм. Благоприятным по температуре и количеству осадков был август (ГТК=0,89).

Вегетационный период 2021 г. сложился неблагоприятно для роста и развития зерновых культур. Экстремально высокие дневные температуры воздуха в мае на фоне сильного порывистого ветра, а также их резкое понижение ночью до 0,3°C спровоцировали интенсивную потерю почвенной влаги, при этом отмечено рекордное увеличение среднемесячной температуры воздуха – на 4,3°C выше нормы. Недостаток тепла в июне составил 1,1°C, осадки были ниже нормы на 10,3 мм, днём воздух прогревался до 32,6°C, ночью температура опускалась до 2,8°C. Июль также характеризовался резкими перепадами температур – днём до 36,2°C, ночью до 8,4°C, дефицит осадков за месяц составил 32,2 мм. Август характеризовался тёплой погодой, основные осадки выпали в первой и второй декадах. Дефицит атмосферных осадков на фоне экстремально высоких температур воздуха в течение вегетации ускорил развитие и созревание возделываемых с.-х. культур.

Результаты и их обсуждение. В 2020 г. под посевом сорго сахарного на удобренном фоне отмечена максимальная суммарная биологическая активность. Наиболее высокой численность была на фоне внесения удобрений у бактерий-сапрофитов, амилитических микроорганизмов, олигонитрофилов и фосфатмобилизующих бактерий, за счет чего повышалось общее количество определяемых микробов в сравнении с другими вариантами опыта (табл. 1).

При сочетании орошения с применением минеральных удобрений под всеми культурами севооборота отмечалось усиленное развитие как бактериальной микрофлоры, так и грибов (преимущественно представители родов *Aspergillus* и *Penicillium*), что связано с улучшением минерального питания, повышенной влажностью почвы [8, 16]. В целом в удобренных вариантах отмечалась стимуляция практически всех определяемых групп микроорганизмов.

Разложение целлюлозы в почве осуществляют различные представители бактерий, грибов и простейших, активность которых зависит от количества почвенного азота.

В 2020 г. целлюлозолитическая активность была наиболее высокой под многолетними травами, составляя 92,7-95,6% (рис. 1). Несущественные различия в интенсивности разложения целлюлозы на неудобренном фоне и при применении удобрений, связаны, видимо, с достаточным количеством доступного азота в почве, необходимого микроорганизмам. Известно, что при

выращивании многолетних трав наблюдается достоверное обогащение почвы биологическим азотом, а при внесении технического азота продуктивность фиксации азота бобовыми снижается [16].

В вариантах на однолетних травах интенсивность разложения целлюлозы была несколько ниже, чем под многолетними травами, усиливаясь при применении удобрений.

Содержание нитратного азота под культурами севооборота на удобренном фоне снижалось от среднего и высокого в начале вегетации до очень низкого к периоду созревания. В вариантах с внесением удобрений количество нитратов оставалось на среднем и высоком уровнях (табл. 2).

1. Относительная оценка влияния минеральных удобрений на численность микроорганизмов в орошаемой лугово-черноземной почве, % (2020 г.)

Вариант	Аммонификаторы на МПА	Микроорганизмы, потребляющие минеральный азот на КАА	Олигонитрофилы	Фосфотомобилизующие бактерии	Целлюлозоразрушающие микроорганизмы	Нитрификаторы	Грибы	Общее количество микроорганизмов
1. Сорго + бобы (К)	66,0	52,0	42,0	38,8	59,2	36,7	74,6	45,1
2. Сорго + бобы (У)	82,6	65,5	48,1	53,8	100,0	100,0	66,5	56,6
3. Мн.травы 1-го г.ж. (К)	58,3	48,6	29,7	29,7	44,1	33,1	33,5	35,6
4. Мн.травы 1-го г.ж. (У)	71,6	82,2	49,0	45,5	63,5	35,0	100,0	54,5
5. Сорго (К)	71,1	69,8	49,1	60,3	50,9	45,2	32,2	58,4
6. Сорго (У)	100,0	100,0	100,0	100,0	57,9	66,9	50,2	100,0

Примечание. К – контрольный вариант, У – удобрённый вариант (здесь и далее).

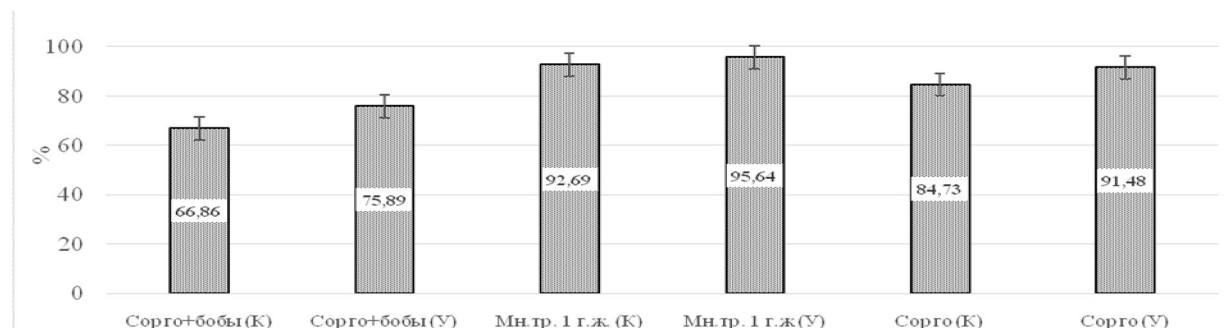


Рис. 1. Интенсивность разложения целлюлозы под культурами севооборота в зависимости от уровня минерального питания (2020 г.)

2. Содержание азота нитратов в почве под посевами культур в зависимости от уровня минерального питания, мг/кг (2020 г.)

Вариант	Исходное содержание N-NO ₃				Накоплено за счет нитрификации*			
	18.06	17.07	09.08	в среднем за вегетацию	18.06	17.07	09.08	в среднем за вегетацию
1. Сорго + бобы (К)	25,5	17	20,8	21,1	72,9	51,4	53,4	59,2
2. Сорго + бобы (У)	57,5	32,3	74,0	54,6	166,0	65,7	106,5	112,7
3. Мн.тр. 1-го г.ж. (К)	15,3	5,7	1,6	7,5	51,5	30,4	23,8	35,2
4. Мн.тр. 1-го г.ж. (У)	32,8	24,9	11,0	22,9	72,9	59,6	30,7	54,4
5. Сорго (К)	24,7	12,4	34,3	23,8	75,0	57,3	51,7	61,3
6. Сорго (У)	60,2	13,9	34,0	36,0	138,8	57,6	70,0	88,8

* 21 день компостирования почвы.

В одновидовом посеве сорго сахарного и смеси сорго с бобами количество азота нитратов в фазе 7 листьев в июне было на уровне высокого, снижаясь в фазе цветения (июль) вследствие большого расходования на формирование вегетативной массы растений. В фазе налива (август) содержание N-NO₃ в почве вновь повысилось до высокого (>20). Параллельные исследования численности микроорганизмов показали увеличение количества нитрифицирующих бактерий на удобренном фоне на 50% и более. При статистической обработке данных выявлено наличие тесной корреляционной зависимости между содержанием нитратного азота в почве и численностью нитрификаторов в фазе налива ($r=0,87 \pm 0,24$). Период вегетации был наиболее благоприятный по количеству осадков.

В почве под посевом многолетних трав содержание

нитратного азота снижалось в течение вегетации за счет выноса культурами.

Потенциальная способность почвы к нитратонакоплению, характеризующая запас легкоминерализуемых соединений азота, в период активного вегетативного роста возделываемых культур (июнь) была наибольшей. Возможно, усиление жизнедеятельности определяемой группы микроорганизмов связано с тем, что в июне почва еще не уплотнилась. Учитывая, что нитрификаторы – облигатные аэробы и требуют для развития постоянного притока кислорода, они более активны в хорошо аэрируемых, обработанных почвах. В течение вегетационного периода происходило снижение нитрификационной способности почвы по всем вариантам опыта, что можно объяснить расходом легкоминерализуемых органических соединений на образование нитратного азота (рис. 2).

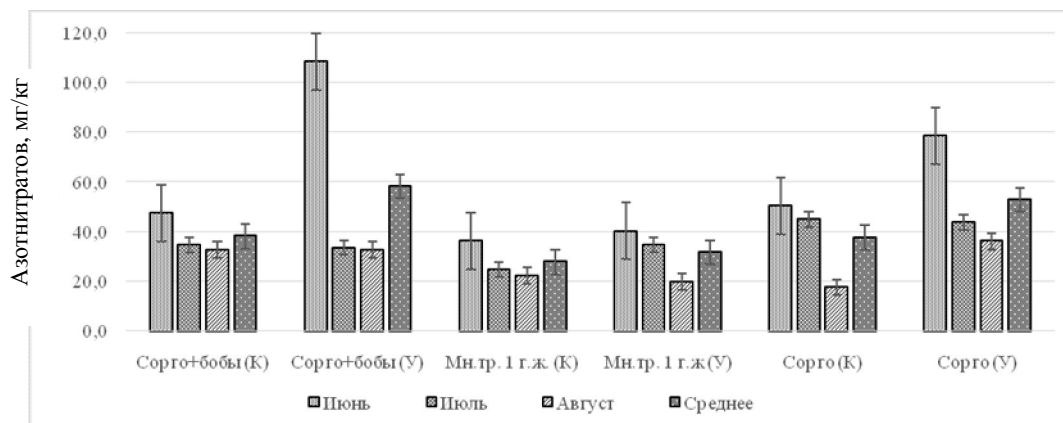


Рис. 2. Нитрификационная способность почвы под посевом с.-х. культур в зависимости от применения удобрений, слой 0-20 см (2020 г.)

Проведённый анализ корреляционной зависимости выявил прямую связь между содержанием нитратного азота и потенциалом азотмобилизирующей способности почвы в период вегетативного роста культур (июнь) ($r=0,88\pm0,23$), в фазе налива ($r=0,50\pm0,43$), в среднем за вегетацию ($0,94\pm0,17$). Это вполне объяснимо – чем интенсивнее протекает процесс нитрификации, тем выше количество доступного азота [17].

В 2021 г. установлено, что наибольшей численностью микроорганизмов, как на фоне без удобрений, так и на удобренном фоне, выделялся вариант с посевом сорго сахарного. При высокой численности бактерий под этой культурой в почве отмечалось меньше грибов

по сравнению с другими вариантами, что может свидетельствовать о более здоровой с точки зрения наличия фитопатогенов обстановке. Видимо, рост микромицетов в почве подавлялся высокой численностью бактерий. Это связано, возможно, с хорошо развитой корневой системой сорго и его специфическими корневыми выделениями (табл. 3).

Наблюдения за динамикой нитратного азота в почве показали, что к фазе 7 листьев (10 июня) в посевах однолетних трав содержание этой формы азота в пахотном слое (0-20 см) было на уровне высокого (>20) за счет благоприятных гидротермических условий и внесения удобрений (табл. 4).

3. Относительная оценка влияния минеральных удобрений на численность микроорганизмов в орошаемой лугово-черноземной почве, % (2021 г.)

Вариант	Аммонификаторы на МПА	Микроорганизмы, потребляющие минеральный азот на КАА	Олигонитрофилы	Фосфотомобилизирующие бактерии	Целлюлозоразрушающие микроорганизмы	Нитрификаторы	Грибы	Общее количество микроорганизмов
1. Сорго + бобы (К)	66,0	52,0	42,0	38,8	59,2	36,7	74,6	45,1
2. Сорго + бобы (У)	82,6	65,5	48,1	53,8	100	100	66,5	56,6
3. Мн.тр. 1 г.ж. (К)	58,3	48,6	29,7	29,7	44,1	33,1	33,5	35,6
4. Мн.тр. 1 г.ж. (У)	71,6	82,2	49,0	45,5	63,5	35,0	100	54,5
5. Сорго (К)	71,1	69,8	49,1	60,3	50,9	45,2	32,2	58,4
6. Сорго (У)	100	100	100	100	57,9	66,9	50,2	100

4. Содержание азота нитратов в почве под посевами культур при орошении, мг/кг (2021 г.)

Вариант	Исходное содержание N-NO ₃				Накоплено за счет нитрификации*			
	10.06	16.07	17.08	в среднем за вегетацию	10.06	16.07	17.08	в среднем за вегетацию
1. Сорго + бобы (К)	24,7	20,4	21,5	22,2	63,1	62,0	41,5	55,5
2. Сорго + бобы (У)	36,8	43,5	37,2	39,2	96,3	80,7	54,1	77,0
3. Мн.тр. 1 г.ж. (К)	1,2	0,2	0,2	0,5	31,2	26,8	9,9	22,6
4. Мн.тр. 1 г.ж. (У)	8,3	4,4	0,4	4,4	41,8	34,5	13,4	29,9
5. Сорго (К)	28,5	14,0	0,3	14,3	71,2	41,8	11,5	41,5
6. Сорго (У)	55,0	89,9	37,0	60,6	117,8	103,3	54,8	92,0

* 21 день компостирования почвы.

В течение вегетации происходило снижение количества азота нитратов в почве. Применение минеральных удобрений в дозе N₆₀P₆₀ повышало содержание элемента в июле в 2 раза и более по отношению к неудобренному варианту [(сорго + бобы (У), сорго (У)]. К концу вегетации сорго содержание нитратного азота снизилось до очень низкого в контрольном варианте, оставаясь высоким в удобренном. В посевах сорго в смеси с бобами высокое содержание азота нитратов в течение вегетации поддерживалось за счет азотфиксации.

В посевах многолетних трав во все фазы развития

культуры содержание азота нитратов, постепенно уменьшаясь в течение вегетации, было на уровне очень низкого (<10). Низкое количество N-NO₃ и уменьшение его по мере роста с.-х. культур происходило в основном за счёт выноса его растениями на формирование вегетативной массы.

Накопление азота нитратов при компостировании было наиболее высоким в июне-июле, увеличение в удобренных вариантах в сравнении с контролем составляло до 55%. К концу вегетации растений, в августе, накопление азота нитратов при компостировании

снижалось, что связано с уменьшением количества мобильных соединений азота в почве. В целом, в течение вегетационного периода, нитрификационная способность почвы на фоне применения удобрений превышала контрольный вариант на 13-15% (рис. 3).

В 2021 г. наиболее высокой нитрификационная способность была в первой декаде июня, что связано, вероятно, с прошедшим в середине декады дождём и устано-

вившейся жаркой погодой. Известно, что интенсивность нитрификации и накопление нитратного азота находятся в большой зависимости от погодных условий. Хорошее увлажнение и относительно высокая температура воздуха стимулируют образование большого количества нитратов по сравнению с засушливыми или холодными метеосостояниями [17]. В течение вегетации в июле-августе наблюдалось снижение показателя.

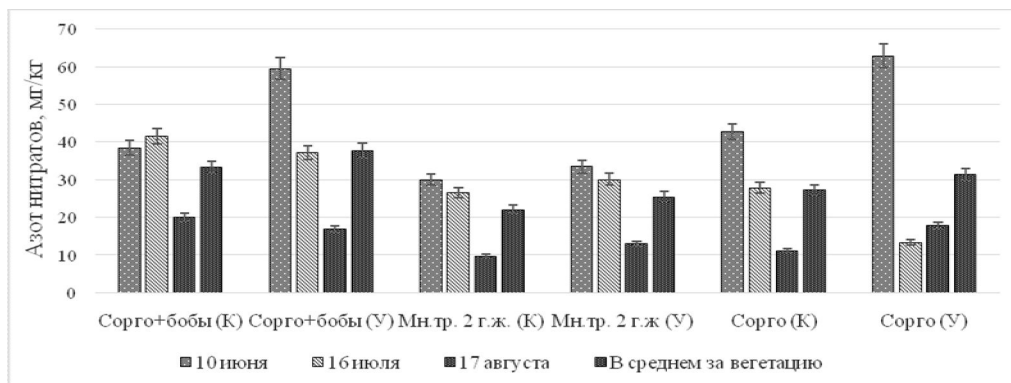


Рис. 3. Нитрификационная способность почвы под посевом с.-х. культур в зависимости от применения удобрений, слой 0-20 см (2021 г.)

Интенсивность разложения целлюлозы под культурами севооборота повышалась при применении минеральных удобрений. Ранее было показано, что их внесение стимулировало деятельность аммонифицирующей микрофлоры, в результате чего оживлялся азотный режим почвы за счет минерализации органических веществ растительных остатков и почвенного органического

вещества. Это объясняет причину усиления процесса разложения целлюлозы в почве удобренных вариантов. Внесение удобрений под сорго оказало достоверное положительное влияние на данный показатель, увеличение по отношению к контролю (неудобренному варианту) составило 47% (рис. 4).

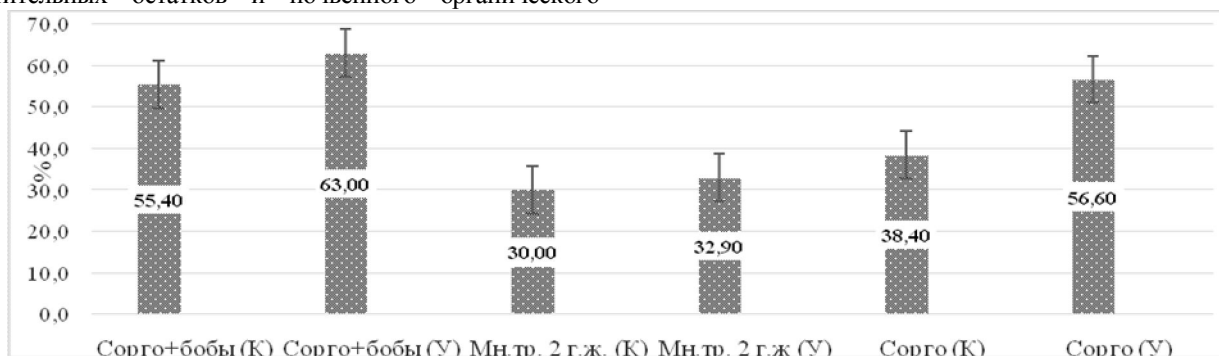


Рис. 4. Интенсивность разложения целлюлозы под культурами севооборота в зависимости от уровня минерального питания (2021 г.)

Наиболее высокой интенсивность разложения клетчатки была в почве под посевом сорго в смеси с бобами. Это связано, вероятно, со значительным количеством целлюлозоразрушающих микроорганизмов под культурой и высоким содержанием нитратного азота в пахотном слое почвы в течение вегетационного периода.

Таким образом, суммарная численность определяемой микрофлоры в 2021 г. повышалась при применении минеральных удобрений. Увеличение по отношению к контролю составило 25,5% в посевах смеси сорго и бобов, 53,1% – многолетних трав и 71,2% – сорго сахарного. Нитрификационная способность почвы на фоне применения удобрений превышала контрольный вариант на 13-15%. Применение удобрений увеличило целлюлозолитическую активность с 10 до 47% к контролю в зависимости от культуры севооборота.

Одним из показателей интенсивности минерализационных процессов в почве может быть соотношение бактерий, утилизирующих органический и минеральный азот.

За годы исследований (2020-2021) в почве под посевами сельскохозяйственных культур преобладали процессы иммобилизации или закрепления азота микроорганизмами (соотношение МПА/КАА>1). Коэффициент трансформации органического вещества (Пм), был наибольшим в почве под посевом многолетних трав, составляя 115-118 ед. (табл. 5).

Численность аммонификаторов на МПА изменялась под воздействием изучаемых факторов (минеральные удобрения, орошение) в разной степени. Под многолетними травами и сорго на удобренном фоне ($N_{60}P_{60}$) количество бактерий-сапрофитов возросло на 24 и 39% соответственно в сравнении с контролем. Доля влияния фактора применения удобрений была значительной – около 30%. Численность аминолитических микроорганизмов, ассимилирующих минеральные формы азота изменялась с аналогичной бактериям-сапрофитам тенденцией, достоверно возрастающая при внесении удобрений под многолетние

травы и сорго на 53-55% (доля фактора 84%). Применение $N_{60}P_{60}$ под сорго в смеси с бобами также

положительно влияло на количество микроорганизмов, потребляющих азот в минеральной форме.

5. Численность микроорганизмов под посевами культур при орошении, КОЕ/г (2020-2021 г.)

Вариант	Бактерии, растущие на МПА, млн	Микроорганизмы, потребляющие минеральный азот на КАА, млн	Олигонитрофилы, млн	Фосфотомобилизирующие бактерии, млн	Целлюлозоразрушающие микроорганизмы, тыс.	Нитрификаторы, тыс.	Грибы, тыс.	МПА/КАА	КАА/МПА	Пм
1. Сорго + бобы (К)	31,1	15,5	52,6	121,3	58,5	0,81	79,6	2,01	0,50	93,5
2. Сорго + бобы (У)	26,8	20,9	142,2	134,6	92,6	1,32	69,6	1,28	0,78	61,2
3. Мн.травы (К)	34,7	15,0	128,5	106,1	73,4	1,10	64,6	2,31	0,43	115,0
4. Мн.травы (У)	42,1	23,2	128,9	224,2	108,5	1,17	157,1	1,81	0,55	118,5
5. Сорго (К)	31,8	18,5	113,3	144,7	72,0	1,16	84,7	1,72	0,58	86,5
6. Сорго (У)	43,2	28,1	229,9	169,1	104,8	1,46	71,5	1,54	0,65	109,6
<i>HCP₀₅: A</i>	17,8	5,6	97,4	107,6	71,7	0,40	60,8	1,2	0,39	$F\phi < F_{05}$
<i>B</i>	14,5	4,6	79,5	87,8	58,5	0,33	49,7	0,98	0,32	
<i>AB</i>	25,2	7,9	137,7	152,1	101,4	0,57	86,0	1,7	0,55	

Численность олигонитрофилов достоверно увеличилась под посевами сорго в смеси с бобами при применении минеральных удобрений более чем в 2 раза по отношению к контролю. Олигонитрофилы – микроорганизмы, способные расти в условиях незначительного количества доступного азота в почве, многие из них являются диазотрофами. Стимуляция их роста при применении удобрений связана, видимо, с лучшим развитием растений на фоне питания и большим выносом азота из почвы, что способствует развитию этой группы микроорганизмов.

Количество фосфатмобилизирующих бактерий в почве под многолетними травами существенно (более чем в 2 раза) превышало контроль в варианте с внесением $N_{60}P_{60}$. На численность этой группы микроорганизмов в посевах однолетних трав применение удобрений достоверного влияния не оказало.

Внесение минеральных удобрений оказало положительное влияние на численность почвенных грибов. Так, на фоне без удобрений она колебалась от 64 до 84 тыс. КОЕ/г, при внесении $N_{60}P_{60}$ составляла 69-157 тыс. КОЕ/г. Наряду с бактериями, грибы важны как деструкторы клетчатки в почве, превращая труднодоступный органический материал в доступные соединения. Поэтому грибы испытывают потребность в элементах питания, которая удовлетворяется при внесении удобрений.

Целлюлозоразрушающие микроорганизмы имели наиболее высокую численность в удобренных вариантах под всеми исследуемыми культурами, увеличиваясь от 44 до 58% по отношению к контролю.

Наиболее высокая численность нитрифицирующих бактерий была на фоне удобрений. Внесение минеральных удобрений (доля фактора 93%), способствующих улучшению питания, как растений, так и микроорганизмов, стимулировало рост численности бактерий в почве под всеми культурами в этих вариантах от 6 до 63% по отношению к контролю (фон без удобрений). Также, увеличение их количества тесно связано с возрастающей численностью бактерий-аммонификаторов ($r=0,50\pm 0,43$). Накопление почвой катионов NH_3^+ (источник энергии), очевидно, и послужило основной причиной повышения численности нитрификаторов.

За 2020-2021 г. установлено, что при внесении минеральных удобрений наблюдалось повышение общей численности микроорганизмов в почве под посевом всех исследуемых культур. Наибольших значений общая (суммарная) численность микроорганизмов достигла под многолетними травами, достоверно увеличиваясь на фоне применения удобрений на 47% по отношению к контролю (рис. 5).

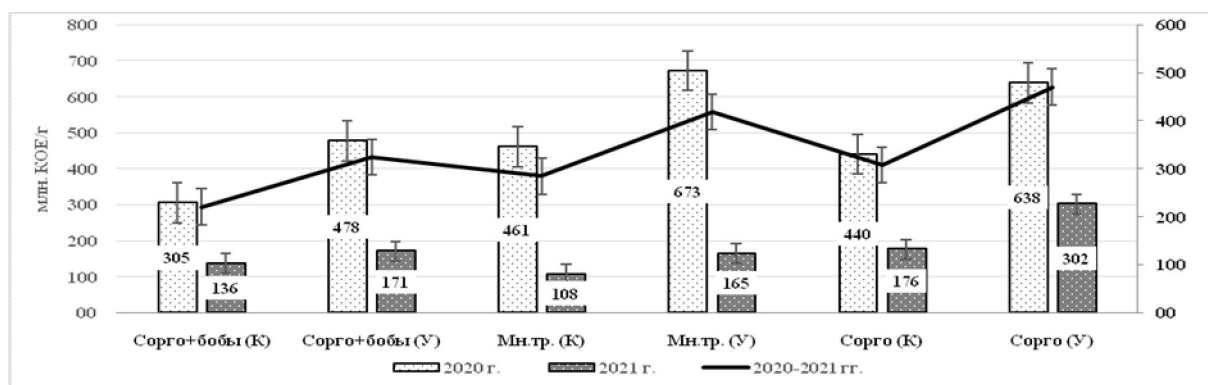


Рис. 5. Общее количество микроорганизмов под посевом культур в зависимости от применения удобрений (n=6) (2020-2021 г.)

Содержание нитратного азота под многолетними травами и сорго снижалось в процессе вегетации вследствие потребления его растениями и постепенного снижения интенсивности минерализации. Под смесью сорго с бобами количество $N-NO_3$ в динамике напротив увеличилось, что, вероятно, связано с усиленным раз-

витием нитрификаторов в этом варианте, в 2020 г. увеличение составило 50%, в 2021 г. – 200% по отношению к контролю. В среднем в удобренных вариантах количество азота нитратов было выше в сравнении с контролем более чем в 2 раза (доля влияния фактора удобрений 59%) (табл. 6). Нитрификационная способ-

ность на фоне применения удобрений превышала контрольный вариант под исследуемыми культурами, ви-

димо, за счет усиления минерализационных процессов в почве при внесении удобрений (рис. 6).

6. Содержание азота нитратов в почве под посевами культур при орошении, мг/кг (2020-2021 г.)

Вариант	Июнь	Июль	Август	Среднее
1. Сорго + бобы (К)	25,1	18,7	21,2	21,7
2. Сорго + бобы (У)	47,2	37,9	55,6	46,9
3. Мн.травы (К)	8,3	3,0	0,9	4,0
4. Мн.травы (У)	20,6	14,7	5,7	13,6
5. Сорго (К)	26,6	13,2	17,3	19,0
6. Сорго (У)	57,6	51,9	35,5	48,3
<i>HCP₀₅: A</i>	14,5	43,1	22,9	8,4
<i>B</i>	11,9	35,2	18,7	6,9
<i>AB</i>	20,6	61,0	32,4	11,9

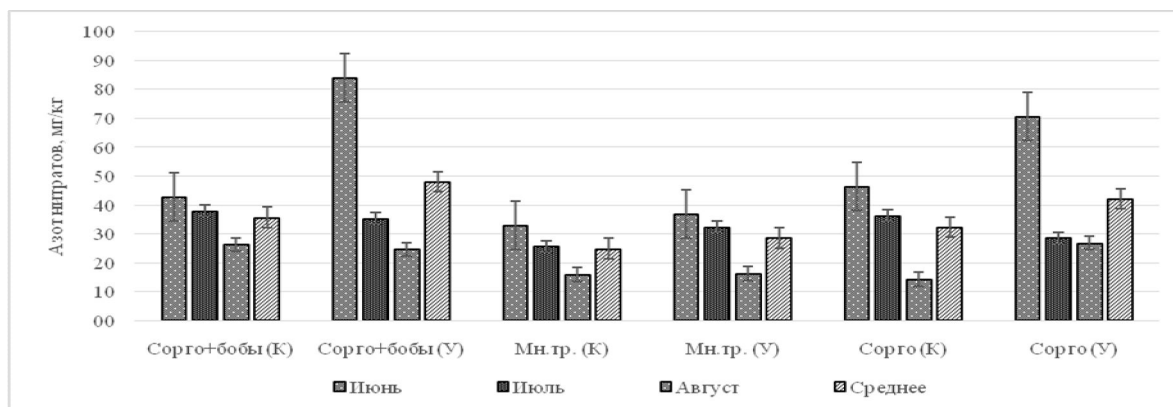


Рис. 6. Нитрификационная способность почвы под посевом с.-х. культур при орошении, слой 0-20 см (2020-2021 г.)

Наиболее высокой нитрификационная способность была в июне, что связано с обеспеченностью почвы энергетическим материалом для нитрификации. К концу вегетации (август) происходило снижение показателя по всем вариантам опыта.

Погодные условия оказали существенное влияние на интенсивность разложения целлюлозы в почве. Так в 2020 г. целлюлозолитическая активность почвы была

выше, чем в 2021 г., хотя оба года исследований были засушливыми. В 2020 г. в июне прошли дожди в третьей декаде месяца – 41 мм осадков при норме 51 мм, благоприятным был и август (ГТК=0,89), что положительно повлияло на данный показатель (рис. 7). Известно, что в увлажнённой почве, содержащей пожнивные остатки, минерализационные процессы активизируются [17].

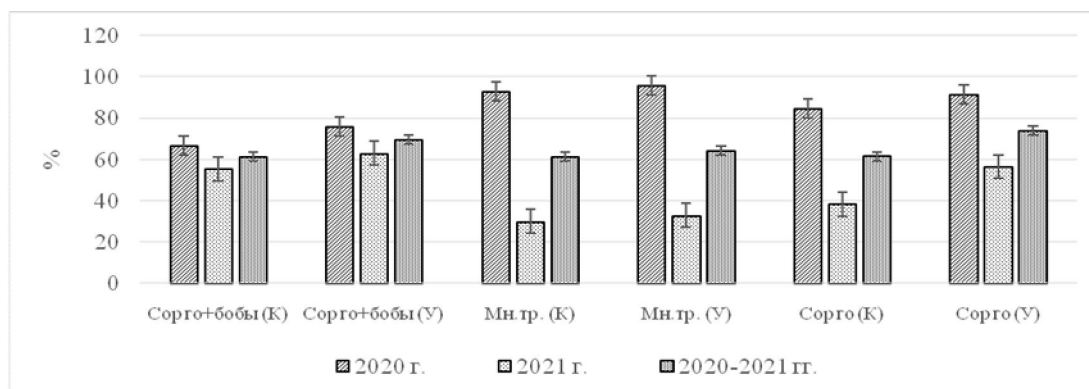


Рис. 7. Интенсивность разложения целлюлозы под культурами севооборота в зависимости от уровня минерального питания (2020-2021 г.)

В условиях вегетационных периодов 2020-2021 г. интенсивность разложения клетчатки была на 8-27 % выше на фоне с внесением удобрений. Усиление интенсивности разложения целлюлозы от применения удобрений объясняется внесением и использованием микроорганизмами дополнительных источников азота, необходимого для распада клетчатки.

Улучшение условий питания растений при орошении оказывает положительное влияние на онтогенез растений, что в итоге повышает урожайность сельскохозяйственных культур. Проведенными ранее исследованиями выявлены корреляционные связи средней и сильной

степеней между отдельными показателями биологической активности почвы и урожайностью возделываемых культур в севообороте при длительном орошении [18]. В условиях 2020-2021 г. при возделывании сорго в монокультуре и в смеси с бобами кормовыми отмечена закономерность: в удобренном варианте урожайность достоверно увеличивалась на 2,20-2,35 т/га сухого вещества составляя, соответственно, 6,96 и 6,25 т/га при уровне на контроле 4,76 и 3,90 т/га. Урожайность многолетних трав в удобренном варианте за два укоса составляла 4,21 т/га сухого вещества, что ниже контроля

на 1,29 т/га в связи со слабой отзывчивостью бобовых трав на применение азотных удобрений.

Заключение. Внесение минеральных удобрений на фоне орошения привело к увеличению численности микроорганизмов в лугово-черноземной почве. За годы исследований в почве под посевами преобладали процессы иммобилизации азота в плазме микроорганизмов ($K_{\text{иммоб.}} = 1,28-2,31$ ед.). Наибольший коэффициент трансформации органического вещества отмечен в варианте внесения азотно-фосфорных удобрений под многолетние травы (118 ед.). Оптимизация минерального питания обеспечивала повышение общей численности микроорганизмов, нитрификационной способности и интенсивности разложения целлюлозы в почве под посевом исследуемых культур севооборота. Комплекс благоприятных для растения условий, складывающихся на орошаемых землях, способствовал формированию высокой продуктивности сельскохозяйственных культур. Установлено, что применение изучаемых факторов не оказало негативного влияния на экологическую ситуацию в почве, напротив стимулировало рост численности агрономически ценных групп микроорганизмов.

Литература

1. Мелиоративное земледелие Западной Сибири: учеб. пособие / Н.А. Рендов, В.С. Тараканов, С.И. Мозылева. – Омск: ООО ИПЦ «Сфера», 2009. – 160 с.
2. Шалагинова Л.И. Влияние минеральных удобрений при орошении на микрофлору и эффективное плодородие черноземов выщелоченных // Л.И. Шалагинова, И.А. Федотов, Т.Ю. Хвоина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2006. – №6. – С. 28-31.
3. Orudzheva N.I. Microbiological characteristics of different types of irrigated soils in the subtropical zone of Azerbaijan // Euras. Soil Sci. 2011. V. 44. № 11. P. 1241–1249.
4. Kuzyakov Y., Blagodatskaya E. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review // Soil Biol. Biochem. 2015. V. 83. P. 184–199.

5. Rietz D.N., Haynes R.J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity // Soil Biol. Biochem. 2003. V. 35 № (6). P. 845–854.
6. Иванов А.Л. Роль микробиологии в оценке почвенных ресурсов // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – №6. – С. 26-28.
7. Тимохин А.Ю., Бойко В.С. Зернобобовые культуры в системе орошаемого агроценоза. – Омск : ФГБНУ "Омский аграрный научный центр", 2021. – 164 с.
8. Хамова О.Ф., Бойко В.С., Тимохин А.Ю., Шулико Н.Н. Биологическая активность орошаемой лугово-черноземной почвы и продуктивность сои в зависимости от условий минерального питания в южной лесостепи Западной Сибири // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2018. – № 4. – С. 96-100.
9. Guo W., Andersen M.N., Qi X.-B., Li P., Li Z.-Y., Fan X.-Y., Zhou Y. Effects of reclaimed water irrigation and nitrogen fertilization on the chemical properties and microbial community of soil // J. Integr. Agricult. 2017. V. 16. № 3. P. 679–690.
10. Лисецкий Ф.Н. Изменчивость микробиоты при различных режимах увлажнения почв / Ф.Н. Лисецкий, А.В. Землякова, А.Д. Кириченко // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. – 2018. – № 4. – С. 368-376. – DOI 10.1134/S0002332918040094.
11. Гамзиков, Г.П. Агрохимия азота в агроценозах / Г.П. Гамзиков. – Новосибирск: РАСХН, Сиб. отд-ние, 2013. – 790 с.
12. 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.
13. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв / Л. А. Карягина. – Минск: Наука и техника, 1983. – 181 с.
14. Тихомирова, Л.Д. Биологический метод определения плодородия почвы / Л.Д. Тихомирова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 1973. – №5. – С. 15-18.
15. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 655 с.
16. Бойко, В.С. Полевое кормопроизводство на орошаемых черноземах в лесостепи Западной Сибири / В. С. Бойко. – Омск : ИП Макшеевой Е.А., 2019. – 312 с. – ISBN 978-5-6041257-7-9.
17. Холмов, В.Г. Биологическая активность почвы при минимальной обработке под зерновые культуры / В.Г. Холмов, Л.Н. Святская // Сельскохозяйственная биология. – 1984. – №8. – С. 99-103.
18. Шулико, Н.Н. Экологическое состояние лугово-черноземной почвы при длительном орошении / Н. Н. Шулико, А. Ю. Тимохин, Е. В. Тукмачева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 3. – С. 79-85.

CHANGES IN BIOLOGICAL AND AGROCHEMICAL PROPERTIES OF IRRIGATED MEADOW CHERNOZEM SOIL WITH LONG-TERM FERTILIZER APPLICATION

N.N. Shuliko, Candidate of Agricultural Sciences, O.F. Khamova, Ph.D.,
A.Yu. Timokhin, Ph.D., E.V. Tukmacheva, Ph.D.,

Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk ANC", 644012, Russia, Omsk, Koroleva Ave., 26, shuliko-n@mail.ru

In a long-term stationary experiment, the number of various physiological and ecological-trophic groups of microorganisms was determined. The introduction of mineral fertilizers against the background of irrigation in the meadow-chernozem soil led to an increase in the amount of microflora. Under the crops, the processes of nitrogen immobilization by microorganisms prevailed ($K_{\text{иммоб.}} = 1.28-2.31$ units). It has been shown with statistical significance that the amount of biologically active nitrogen in the soil (its nitrification capacity) depended on the reserves of nitrate nitrogen, increasing with the application of fertilizers and the cultivation of nitrogen-fixing crops. The positive influence of the studied factors on the intensity of fiber decomposition in the soil as an indicator of soil fertility was noted. The complex of favorable conditions for the plant, developing on irrigated lands, contributed to the formation of high productivity of agricultural crops. It has been established that the use of ongoing agricultural practices did not have a negative impact on the ecological state of the agro-cenosis.

Key words: microbiocenosis, agrochemical properties of the soil, fertilizers, fertility, irrigation.