

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.461:633.11«324»:631.5(470.62/.67)
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-55-64

Численность эколого-трофических групп микроорганизмов в зависимости от технологии возделывания озимой пшеницы на черноземе обыкновенном

Елена А. Менькина, Надежда Н. Шаповалова, Анастасия А. Воропаева

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

Контактное лицо

Елена А. Менькина, кандидат сельскохозяйственных наук, лаборатория почвоведения и агрохимии, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр; 356241 Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никитина, 49.
Тел. +79187474997
Email zzigen@list.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0512-8893>

Формат цитирования

Менькина Е.А., Шаповалова Н.Н., Воропаева А.А. Численность эколого-трофических групп микроорганизмов в зависимости от технологии возделывания озимой пшеницы на черноземе обыкновенном // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 55-64. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-55-64

Получена 25 июня 2020 г.
Прошла рецензирование 14 августа 2020 г.
Принята 21 сентября 2020 г.

Резюме

Цель. Изучить влияние технологии возделывания на численность эколого-трофических групп микроорганизмов и урожайность озимой пшеницы на черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья.

Материал и методы. Численность микроорганизмов определяли методом подсчета колоний на плотных питательных средах по общепринятым методикам.

Результаты. Определена численность микроорганизмов, трансформирующих органические и минеральные формы азота, и почвенных дрожжей в зависимости от метеорологических условий, обработки почвы и удобрений. Наиболее существенное влияние на активность микробиоты почвы оказали минеральные удобрения. В разные по влагообеспеченности годы удобрения улучшали питательный режим почвы, что способствовало усилению развития растений, активности микрофлоры и повышению урожайности озимой пшеницы. В обеих технологиях наибольшая численность всех изученных групп микроорганизмов отмечена при внесении полного минерального удобрения – $N_{52}P_{52}K_{52}$. Эта доза удобрения обеспечила также получение самой высокой урожайности озимой пшеницы – 6,07-6,33 т/га. При сбалансированном режиме питания растений ($N_{52}P_{52}K_{52}$) в обеих технологиях процессы распада и минерализации растительных остатков протекали с одинаковой скоростью. Вместе с тем, без применения удобрений суммарная активность микроорганизмов в технологии *no-till* превысила минимальную технологию на $23,4 \times 10^5$ КОЕ/г АСП, что свидетельствует о начале процесса самовосстановления почвы в третий год после перехода на прямой посев культур.

Заключение. Численность микроорганизмов является одним из самых чувствительных показателей направленности протекания сложных биохимических процессов, который позволяет оценить совокупное влияние всех факторов на общее состояние микробиоценоза почвы.

Ключевые слова

Озимая пшеница, технология *no-till*, мелкая обработка почвы, микроорганизмы, трансформирующие соединения азота, почвенные дрожжи, урожайность.

Number of ecological-trophic groups of microorganisms depending on technology of winter wheat cultivation on ordinary chernozem of the Central Caucasus

Elena A. Menkina, Nadezhda N. Shapovalova and Anastasia A. Voropayeva

North Caucasus Federal Agrarian Research Centre, Mikhailovsk, Russia

Principal contact

Elena A. Menkina, Candidate of Agricultural Sciences, Laboratory of Soil Science and Agrochemistry, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre; 49 Nikonova St, Mikhailovsk, Stavropol Territory, Russia 356241.

Tel. +79187474997

Email zzigen@list.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0512-8893>

How to cite this article

Menkina E.A., Shapovalova N.N., Voropayeva A.A. Number of ecological-trophic groups of microorganisms depending on technology of winter wheat cultivation on ordinary chernozem of the Central Caucasus. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 55-64. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-55-64

Received 25 June 2020

Revised 14 August 2020

Accepted 21 September 2020

Abstract

Aim. To study the influence of cultivation technology on the number of ecological and trophic groups of microorganisms and the yield of winter wheat on the common chernozem of the Central Caucasus.

Material and Methods. The number of microorganisms was determined by counting colonies on dense nutrient media according to generally accepted methods.

Results. The number of microorganisms that transform organic and mineral forms of nitrogen and soil yeast was determined, depending on meteorological conditions, soil cultivation and fertilizers. Mineral fertilizers had the most significant effect on the activity of the soil microbiota. In years of varying moisture availability, fertilizers improved the nutrient regime of the soil, which contributed to increased plant development, microflora activity and increased winter wheat yield. In both the technologies applied, the largest number of all groups of microorganisms studied was observed when applying a complete mineral fertilizer - $N_{52}P_{52}K_{52}$. This dose of fertilizer also provided the highest yield of winter wheat – 6.07-6.33 t/ha. With a balanced plant nutrition regime ($N_{52}P_{52}K_{52}$), the processes of decomposition and mineralization of plant residues proceeded at the same rate in both technologies. At the same time, without the use of fertilizers, the total activity of microorganisms in the no-till technology exceeded the minimum technology by 23.4×10^5 column-forming units, which indicates the beginning of the process of self-healing of the soil in the third year after the transition to direct sowing of crops.

Conclusion. The number of microorganisms is one of the most sensitive indicators of the direction of complex biochemical processes, allowing us to assess the combined influence of all factors on the overall state of the soil microbiocenosis.

Key Words

Winter wheat, no-till technology, shallow processing of soil, microorganisms transforming nitrogen compounds, soil yeast, productivity.

ВВЕДЕНИЕ

Обработка почв приводит к перестройке почвенной микрофлоры и, в первую очередь, к изменению равновесного состояния в сообществах микроорганизмов в верхних, обрабатываемых слоях почвы [1]. Технология без обработки почвы (*no-till*) предполагает создание поверхностного мульчирующего слоя, предотвращающего испарение продуктивной влаги и создающего благоприятный микроклимат для интенсивного развития почвенной биоты. Данная технология возделывания культур получает все большее распространение в мировом земледелии, но в сравнении с почвообрабатывающими технологиями, требует внесения повышенного количества гербицидов и химических средств защиты растений, что накладывает определенный отпечаток на численность обитающих в почве микроорганизмов [2-6]. На состояние микробиоты существенное влияние оказывает также пищевой режим почвы, регулируемый с помощью внесения удобрительных средств. Удобрения усиливают развитие корневых систем растений и вызывают значительные изменения в комплексе почвенных микроорганизмов, способствуя росту их численности [7; 8]. Для протекания химических реакций в наземных экосистемах требуются высокая активность и разнообразие форм почвенных микроорганизмов [9]. Состав и соотношение отдельных групп микробов в биоценозе почвы зависят от поступления в почву растительных остатков, масса которых связана с технологией обработки почвы [10; 11]. Микробиоценоз, определяющий состояние плодородия почвы, вызывает интерес многих исследователей. В этой связи оценка численности почвенных дрожжей и микроорганизмов, трансформирующих соединения азота, в зависимости от технологии возделывания озимой пшеницы вполне обоснована. Поэтому цель исследований заключалась в изучении влияния технологии возделывания озимой пшеницы по предшественнику горох на численность эколого-трофических групп микроорганизмов в черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены на экспериментальном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в 2018 и 2019 годах на озимой пшенице по предшественнику горох на зерно. Сорт озимой пшеницы Бунчук, норма высева семян 4,5 млн шт./га. Почва – чернозём обыкновенный мощный тяжелосуглинистый. Перед закладкой опыта агрохимическое состояние почвы в слое 0-20 см характеризовалось следующими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) [12] – 3,42-3,67%; подвижного фосфора и обменного калия (по Мачигину) [12] – 12-16 и 207-240 мг/кг соответственно, pH водной суспензии – 6,6-7,2. Количество нитратного азота, определяемое по методу Грандваль-Ляжу [12], – 9,4-15,1 мг/кг. Озимая пшеница возделывалась по двум технологиям с разными системами обработки почвы:

1. Мелкая обработка с лущением стерни дисковыми боронами в два следа на глубину 12-14 см и двумя предпосевными культивациями на глубину 8-10 и 6-8 см;

2. Прямой посев сеялкой Gimetal по необрабатываемой почве с применением гербицида сплошного действия из группы глифосатов.

Повторность опыта трёхкратная во времени и пространстве. Площадь деланки 132 м². Размещение вариантов опыта систематическое. Удобрения вносились в рядки при посеве культуры в следующих дозах: 1. Контроль (без удобрений); 2. N₁₂P₅₂; 3. N₅₂P₅₂K₅₂; 4. N₅₂.

В качестве удобрений использовался аммофос 12:52, нитроаммофоска 16:16:16 и аммиачная селитра. Почвенные микроорганизмы выявляли по общепринятой методике методом подсчета колоний на плотных питательных средах: МПА, Чапека и Сабуро [13]. Почвенные образцы отбирали в третий год после закладки опыта, весной в фазу колошения озимой пшеницы в трёхкратной повторности из слоя 0-20 см. Учёт урожая осуществляли механизированным способом с помощью малогабаритного комбайна «Сампо-130» с последующим пересчётом на стандартную 14% влажность. Экспериментальные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа [14].

Погодные условия в годы исследований характеризовались повышенным температурным режимом, но разным количеством выпавших осадков. Среднегодовая температура воздуха в 2018 и 2019 г. превысила среднемесячную норму на 1,2 и 1,6°C соответственно. Сумма осадков в 2018 году была близкой к климатической норме – 544 мм, а в 2019 г. – ниже нормы на 124 мм или на 22%. Существенные отличия отмечены и в распределении осадков по периодам вегетации озимой пшеницы. Так, в 2018 году за зимний период выпало 163 мм осадков (183% к норме), а в 2019 году – лишь 95 мм (106% к норме). Это сказалось на запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы в начале весенней вегетации. В 2018 году влагообеспеченность посевов озимой пшеницы в изучаемых технологиях существенно не различалась (165,8 и 169,3 мм соответственно), а в 2019 году различие между технологиями с мелкой обработкой и без обработки почвы составило 18,3 мм (149,5 и 167,8 мм соответственно). Преимущество технологии без обработки почвы обусловлено наличием на поверхности почвы большого количества растительных остатков, удерживающих осадки и препятствующих испарению влаги. Период весеннего развития растений в 2019 году в сравнении с 2018 г. был также более засушливым – сумма осадков 119 мм и 147 мм соответственно. Особенности погодных условий оказали заметное влияние на численность эколого-трофических групп микроорганизмов и эффективность удобрений, что сказалось на урожайности озимой пшеницы.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

К важным компонентам почвенной микробиоты относятся микроорганизмы-аммонификаторы, использующие органические формы азота и участвующие в деструкции растительных остатков и отмерших корней растений (протеолитические микроорганизмы). В течение двух лет исследования численность микроорганизмов, трансформирующих органические соединения азота, варьировала от 53,2 до

162,3×10⁵ КОЕ/г АСП с минимальными значениями на контроле без применения удобрений (табл. 1). Активность этой группы микроорганизмов определялась погодными условиями года и дозой удобрений, вносимых в рядки при посеве культуры. Система обработки почвы существенного влияния на этот показатель не оказала ($F_{\text{факт.}} < F_{\text{табл.}}$). Практически на всех вариантах опыта численность микроорганизмов в более засушливом 2019 году в сравнении с 2018 г. была достоверно ниже на 10,0-15,3×10⁵ КОЕ/г АСП. Исключение составили варианты с внесением фосфорсодержащих удобрений ($N_{12}P_{52}$ и $N_{52}P_{52}K_{52}$) в технологии с мелкой обработкой почвы, в которых количество аммонифицирующих микроорганизмов по годам исследований существенно не менялось и находилось в пределах 70,0-73,6 и 143,9-147,7×10⁵ КОЕ/г АСП соответственно. В наибольшей степени численность микроорганизмов, трансформирующих органические соединения азота, зависела от дозы и вида минерального удобрения. В обеих изучаемых технологиях, как с обработкой, так и без обработки

почвы, максимальная активность этих микроорганизмов отмечена при использовании полного минерального удобрения $N_{52}P_{52}K_{52}$ (86,7-87,9×10⁵ КОЕ/г АСП). Далее в убывающем порядке следовали азотное удобрение (31,0-71,0×10⁵ КОЕ/г АСП) и азотно-фосфорное (9,1-12,7×10⁵ КОЕ/г АСП). Известно, что в технологиях с обработкой почвы для разложения 1 тонны пожнивных остатков требуется внесение 8-12 кг азота. Как видно из таблицы 1, в нашем опыте применение N_{52} в технологии с мелкой обработкой почвы в сравнении с контролем способствовало более чем двукратному увеличению численности аммонифицирующих микроорганизмов – с 59,1 до 130,1×10⁵ КОЕ/г АСП. В технологии без обработки почвы данный показатель возрастал лишь в 1,4 раза. Это свидетельствует о более низкой интенсивности процессов трансформации органических соединений азота вследствие накопления растительных остатков на поверхности почвы при локализации азотного удобрения и микроорганизмов – в более глубоких слоях почвы.

Таблица 1. Влияние технологии возделывания озимой пшеницы на численность микроорганизмов, использующих органические формы азота, в весенний период, 10⁵КОЕ/г АСП

Table 1. Impact of winter wheat cultivation technology on the number of microorganisms using organic forms of nitrogen in spring, 10⁵ colony forming units/g absolutely dry soil

Система обработки почвы System of processing of the soil	Доза удобрения, кг д.в./га Fertilizer dose, kg active ingredient/ha	Численность аммонификаторов Number of ammonifiers				Разность Difference	
		2018	2019	среднее average	по годам by years	по обработкам with processing	по удобрениям with fertilizers
Мелкая (12-14 см) Shallow (12-14 cm)	Контроль Control	64,9	53,2	59,1	-11,7	-	-
	$N_{12}P_{52}$	73,6	70,0	71,8	-3,6	-	12,7
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	147,7	143,9	145,8	-3,8	-	86,7
	N_{52}	137,5	122,7	130,1	-14,8	-	71,0
Без обработки Without processing	Контроль Control	76,6	62,2	69,4	-14,4	10,3	-
	$N_{12}P_{52}$	83,9	73,1	78,5	-10,8	6,7	9,1
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	162,3	152,3	157,3	-10,0	11,5	87,9
	N_{52}	108,0	92,7	100,4	-15,3	-29,7	31,0
НСР₀₅ по факторам НСР ₀₅ by factors					4,6	$F_{\text{факт.}} < F_{\text{табл.}}$	6,5
НСР₀₅ частных средних НСР ₀₅ individual averages		14,9	11,4	13,1			

В течение двух лет исследований количество микроорганизмов, участвующих в трансформации минерального азота в почве (амилолитическая группа), превышало количество бактерий, трансформирующих органические азотистые соединения, – на 2,9-10,3×10⁵ КОЕ/г АСП. Вместе с тем, коэффициент минерализации, представляющий собой соотношение групп микроорганизмов, использующих минеральный и органический азот (K_m =Чапек/МПА), при разных системах обработки почвы и дозах удобрений практически не различался и находился в пределах

1,02-1,08 (2018 г.) и 1,04-1,17 (2019 г.) (рис. 1). Это свидетельствует о практически равной скорости протекания процесса высвобождения аммонийного азота из растительных остатков в почву (минерализация органического вещества) и процесса поглощения минеральных азотистых соединений микробным сообществом почвы (иммобилизация азота). В засушливых условиях 2019 г. в технологии без обработки почвы на контроле (без удобрений) прослеживалась тенденция к повышению K_m (1,17) вследствие более сильного ослабления процесса

деструкции растительных остатков, чем поглощение минерального азота микроорганизмами.

На численность микроорганизмов, трансформирующих минеральный азот почвы, также как и органические соединения, из трёх изучаемых факторов (год, обработка почвы, удобрения) существенное влияние оказали лишь погодные условия года и дозы минеральных удобрений (табл. 2). При этом направленность действия этих факторов совпадала. Другими словами, в разных условиях года в обеих технологиях максимальная и практически равная численность этих групп микроорганизмов наблюдалась

при рядковом применении полного минерального удобрения ($N_{52}P_{52}K_{52}$) – 151,9-167,7 и 149,1-158,5×10⁵ КОЕ/г АСП в 2018 и 2019 гг. соответственно. При внесении аммиачной селитры (N_{52}) отмечен более интенсивный прирост амилотических микроорганизмов в технологии с мелкой обработкой почвы в сравнении с технологией *no-till* – в среднем за два года 72,1 и 29,1×10⁵ КОЕ/г АСП соответственно. По данным других исследователей, это может быть связано с большей доступностью кислорода и лучшей прогреваемостью перемешиваемой почвы [10].

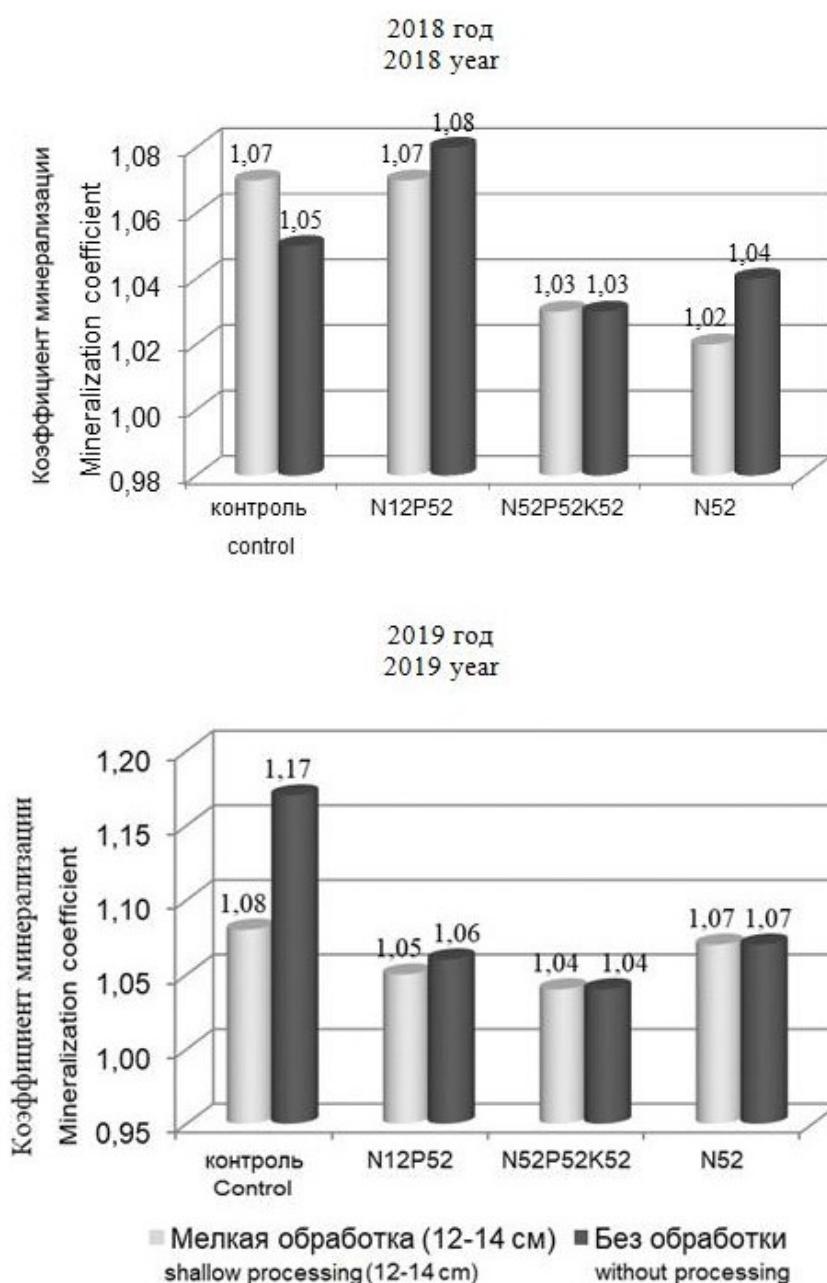


Рисунок 1. Коэффициенты минерализации азотных соединений почвы и растительных остатков в зависимости от обработки почвы и удобрений в нормальный по увлажнению (2018 г.) и в засушливый год (2019 г.)

Figure 1. Mineralization coefficients of soil nitrogen compounds and plant residues depending on soil treatment and fertilizers in normal wet (2018) and in dry years (2019)

По суммарной численности микроорганизмов, участвующих в трансформации азотных соединений почвы, корневых и растительных остатков, можно

судить об активности протекающих биохимических процессов. В обеих технологиях возделывания с разными системами обработки почвы и при внесении

различных доз удобрений суммарная активность микробов в условиях лучшей влагообеспеченности была выше, чем при недостатке влаги (рис. 2). Независимо от условий года, в технологии без обработки почвы численность микроорганизмов оказалась несколько выше, чем при обработке почвы. Исключением стало лишь применение при посеве одного азотного удобрения (N_{52}). В этом случае в технологии без обработки почвы, по-видимому, происходило усиление конкуренции в потреблении азота между высшими растениями и микробным сообществом, что подтверждается получением более высокого прироста урожайности озимой пшеницы в сравнении с обрабатываемой почвой. Наибольшая суммарная активность микробов в обеих технологиях, как и в слагающих её эколого-трофических группах, отмечена при использовании полного удобрения ($N_{52}P_{52}K_{52}$) – 29,3-33,0 млн КОЕ.

Почвенные дрожжи являются типичными копиотрофами, то есть активно размножаются на средах, богатых легкоразлагаемыми углерод-

содержащими соединениями. Поэтому эта группа микроорганизмов участвует в первичном разложении растительных остатков и аммонификации. Дрожжи относятся к низкотемпературным организмам, которые, хотя и медленно, но способны размножаться при температурах около 0° и при меньших запасах влаги в сравнении с другими микроорганизмами, поэтому роль дрожжевых грибов в разложении растительных остатков особенно важна в холодные и засушливые периоды года. Численность дрожжей в вариантах опыта изменялась в зависимости от складывающихся погодных условий, обработки почвы и удобрений. В отличие от активности микроорганизмов, трансформирующих соединения азота, количество дрожжей в более влажном 2018 г. было ниже, чем в засушливом 2019 году – на $5,6-15,8 \times 10^3$ КОЕ/г АСП (табл. 3). Это связано с большим количеством неразложившихся пожнивных остатков в 2019 г. вследствие более высокой урожайности гороха и засушливых условий послеуборочного периода и сева озимой пшеницы.

Таблица 2. Влияние технологии возделывания озимой пшеницы на численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, в весенний период, 10^5 КОЕ/г АСП

Table 2. Impact of winter wheat cultivation technology on the number of microorganisms using mineral forms of nitrogen in spring, 10^5 colony forming units/g absolutely dry soil

Система обработки почвы System of processing of the soil	Доза удобрения, кг д.в./га Fertilizer dose, kg active ingredient/ha	Численность микроорганизмов Number microorganisms				Разность Difference	
		2018	2019	среднее average	по годам by years	по обработкам with processing	по удобрениям with fertilizers
Мелкая (12-14 см) Shallow (12-14 cm)	Контроль Control	69,5	57,5	63,5	-12,0	-	-
	$N_{12}P_{52}$	78,7	73,7	76,2	-5,0	-	12,7
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	151,9	149,1	150,5	-2,8	-	87,0
	N_{52}	140,4	130,7	135,6	-9,7	-	72,1
Без обработки Without processing	Контроль Control	80,6	72,5	76,6	-8,1	13,1	-
	$N_{12}P_{52}$	91,0	77,5	84,3	-13,5	8,1	7,7
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	167,7	158,5	163,1	-9,2	12,6	86,5
	N_{52}	111,9	99,4	105,7	-12,5	-29,9	29,1
НСР₀₅ по факторам НСР ₀₅ by factors					3,9	$F_{\text{факт.}} < F_{\text{табл.}}$	5,6
НСР₀₅ частных средних НСР ₀₅ individual averages		8,0	12,7	11,2			

Сравнение технологий возделывания озимой пшеницы по влиянию, оказываемому на активность почвенных дрожжей, показало их равноценность (2018 г.) или заметное преимущество технологии с мелкой обработкой почвы (2019 г.). Применение минеральных удобрений привело к существенному увеличению численности этой группы микроорганизмов в обеих технологиях. Максимальный прирост дрожжей, также как и при изучении микроорганизмов, трансформирующих соединения азота в почве, отмечен в варианте $N_{52}P_{52}K_{52}$ – в среднем на $44,9 \times 10^3$ КОЕ/г АСП.

В течение всего периода наблюдений в обеих технологиях возделывания полное минеральное удобрение ($N_{52}P_{52}K_{52}$) обеспечило сбалансированный режим питания растений, что способствовало увеличению численности всех изучаемых эколого-трофических групп микроорганизмов и достижению наиболее высокой урожайности озимой пшеницы (табл. 4). Это связано с увеличением мощности корневых систем и объемом корневых выделений растений. В течение 2-х лет исследований существенных отличий между технологиями по урожайности озимой пшеницы

при внесении $N_{52}P_{52}K_{52}$ не отмечено (6,33 и 6,07 т/га), но средняя прибавка в сборе зерна в технологии без обработки почвы была достоверно выше (на 0,63 т/га) из-за более низкой урожайности на контроле – 4,76 и 3,88 т/га соответственно. На втором месте по влиянию на урожай озимой пшеницы в технологии с мелкой обработкой почвы оказалось азотно-фосфорное удобрение ($N_{12}P_{52}$), а без обработки почвы – азотное

(N_{52}). Это свидетельствует о более медленном протекании процессов микробиологической трансформации соединений азота в почве в технологии *no-till* из-за более низкой численности этих групп микроорганизмов и, как следствие, возникновении повышенной потребности растений в азотных удобрениях даже после азотфиксирующей культуры – гороха.

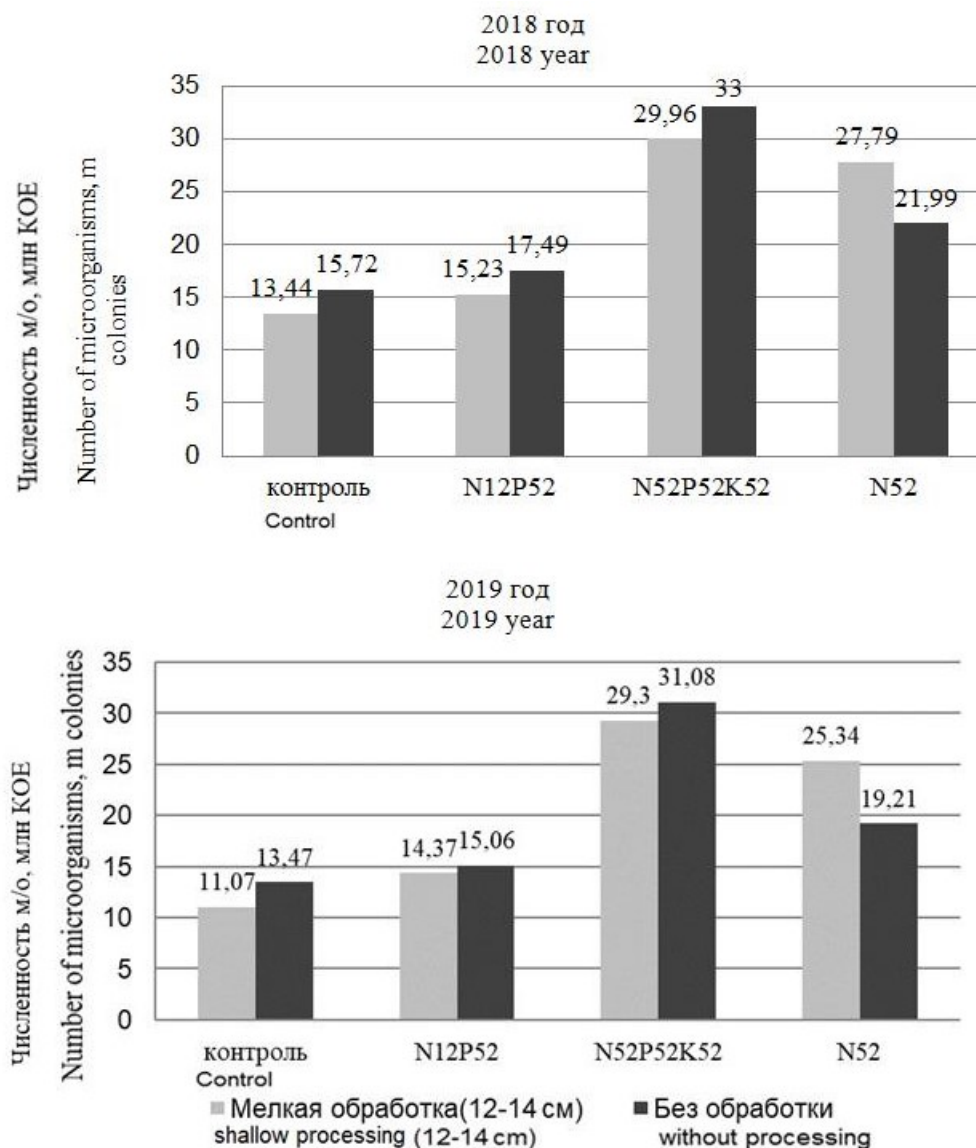


Рисунок 2. Влияние обработки почвы и удобрений на суммарную численность микроорганизмов, трансформирующих соединения азота в почве, во влажный (2018 г.) и в засушливый год (2019 г.)
Figure 2. Influence of soil treatment and fertilizers on the total number of microorganisms transforming nitrogen compounds in soil, in wet (2018) and in dry years (2019)

В обеих технологиях действие удобрений, особенно азотных, находилось в тесной зависимости от погодных условий года. При внесении в рядки аммиачной селитры в дозе N_{52} различие в урожайности по годам исследований было наиболее заметным и составило 3,16-3,39 т/га. В то время как на контроле и по другим видам и дозам удобрений оно не превышало 0,94-1,71 т/га. В засушливых условиях 2019 г. в обеих технологиях при использовании азотного удобрения урожайность культуры находилась на уровне контроля. Во влажный год (2018 г.) азотное удобрение в технологии с мелкой

обработкой почвы по эффективности действия на урожай озимой пшеницы не уступало азотно-фосфорному, а в технологии *no-till* даже значительно превосходило его, повысив урожайность до уровня, достигнутого за счёт применения полного минерального удобрения – 7,10 т/га. Таким образом, независимо от складывающихся погодных условий различия в урожайности культуры при использовании разных технологий возделывания (с обработкой и без обработки почвы) можно устранить с помощью рядкового внесения полного минерального удобрения,

которое в наибольшей степени увеличивает численность микроорганизмов, трансформирующих органические и минеральные формы азота в почве, а также почвенных дрожжей.

Таблица 3. Влияние технологии возделывания озимой пшеницы на численность почвенных дрожжей в весенний период, 10^3 КОЕ/г АСП

Table 3. Impact of winter wheat cultivation technology on the number of soil yeast in spring, 10^3 colony forming units/g absolutely dry soil

Система обработки почвы System of processing of the soil	Доза удобрения, кг д.в./га Fertilizer dose, kg active ingredient/ha	Численность почвенных дрожжей Number of soil yeast				Разность Difference	
		2018	2019	среднее average	по годам by years	по обработкам with processing	по удобрениям with fertilizers
Мелкая (12-14 см) Shallow (12-14 cm)	Контроль Control	38,4	45,8	42,1	7,4	-	-
	N ₁₂ P ₅₂	58,0	73,8	65,9	15,8	-	23,8
	N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	80,8	93,2	87,0	12,4	-	44,9
	N ₅₂	58,4	68,6	63,5	10,2	-	21,4
Без обработки Without processing	Контроль Control	35,6	41,2	38,4	5,6	-3,7	-
	N ₁₂ P ₅₂	57,4	69,7	63,6	12,3	-2,3	25,2
	N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	79,2	87,4	83,3	8,2	-3,7	44,9
	N ₅₂	55,3	62,0	58,7	6,7	-4,8	20,3
НСР₀₅ по факторам НСР ₀₅ by factors					3,2	3,2	4,6
НСР₀₅ частных средних НСР ₀₅ individual averages		4,6	6,2	9,2			

Таблица 4. Урожайность озимой пшеницы по предшественнику горох в зависимости от технологии возделывания, т/га (2018-2019 гг.)

Table 4. Winter wheat yield with peas precursor depending on cultivation technology, t/ha (2018-2019)

Система обработки почвы System of processing of the soil	Доза удобрения, кг д.в./га Fertilizer dose, kg active ingredient/ha	Урожайность Productivity				Разность Difference	
		2018	2019	среднее average	по годам by years	по обработкам with processing	по удобрениям with fertilizers
Мелкая (12-14 см) Shallow (12-14 cm)	Контроль Control	5,61	3,91	4,76	-1,70		
	N ₁₂ P ₅₂	6,95	5,44	6,20	-1,51		1,44
	N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	7,02	5,64	6,33	-1,38		1,57
	N ₅₂	6,96	3,80	5,38	-3,16		0,62
Без обработки Without processing	Контроль Control	4,73	3,02	3,88	-1,71	-0,88	
	N ₁₂ P ₅₂	5,24	4,30	4,77	-0,94	-1,43	0,90
	N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	6,82	5,32	6,07	-1,50	-0,26	2,20
	N ₅₂	7,10	3,71	5,41	-3,39	0,03	1,53
НСР₀₅ по факторам НСР ₀₅ by factors					0,32	0,32	0,46
НСР₀₅ частных средних НСР ₀₅ individual averages		0,78	0,95	0,90			

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изучение численности эколого-трофических групп микроорганизмов в черноземе обыкновенном показало, что процесс самовосстановления почвы при переходе от классической технологии возделывания культур к технологии прямого посева без обработки почвы (3-й год) запущен, но находится в начальной стадии. Об этом свидетельствует то, что в технологии без обработки почвы в естественном состоянии без применения удобрений отмечена более высокая суммарная активность микроорганизмов, участвующих в трансформации корневых и растительных остатков, азотных соединений почвы – на $23,4 \times 10^5$ КОЕ/г АСП. В обеих технологиях минеральные удобрения, внесённые при посеве озимой пшеницы, повышали интенсивность процесса деструкции органических веществ и образования микробной биомассы. В наибольшей степени численность эколого-трофических групп микроорганизмов возросла при использовании полного удобрения ($N_{52}P_{52}K_{52}$): аммонификаторов – на $86,7-87,9 \times 10^5$ КОЕ/г АСП; микроорганизмов, использующих минеральный азот, – на $86,5-87,0 \times 10^5$ КОЕ/г АСП; дрожжей – на 44,9 тыс КОЕ/г АСП. Применение этой дозы удобрения обеспечило самый высокий сбор зерна (в среднем за два года 6,07-6,33 т/га) и полностью устранило различия в урожайности озимой пшеницы между технологиями с обработкой и без обработки почвы. Влияние одного азотного удобрения на микробоценоз почвы отличалось от действия комплексных удобрений. При внесении N_{52} без обработки почвы в сравнении с классической технологией наблюдалось заметное снижение интенсивности процессов трансформации азота, включающих как утилизацию органических, так и усвоение минеральных соединений. Это, скорее всего, связано с коренным изменением условий существования микроорганизмов, низкой обеспеченностью доступным фосфором и более высокой потребностью в азотных удобрениях вследствие замедленного разложения растительных остатков гороха. Поскольку численность эколого-трофических групп микроорганизмов относится к наиболее чувствительным индикаторам сложных биохимических процессов, протекающих в почве, то дальнейшие исследования позволят точно определить длительность восстановления естественного уровня плодородия почвы после многолетней обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куприченко М.Т., Менькина Е.А. Биогенность чернозема обыкновенного Предкавказья // Плодородие. 2013. N 5 (74). С. 23-24.
2. Стукалов Р.С. Анализ содержания продуктивной влаги в почве при возделывании озимой пшеницы по традиционной и No-till технологиям в севообороте // Сельскохозяйственный журнал. 2019. 1. N 1 (12). С. 20-26.
3. Гребенников А.Н., Белобров В.П., Кутюва О.В., Исаев В.А., Гармашов В.М., Чевердин Ю.И., Беспалов В.А. Микробиологическая активность миграционно-мицелярных агрочерноземов при применении разных способов их основной обработки // Агрохимия. 2018. N 3. С. 19-25. DOI: 10.7868/S0002188118030031

4. Feiziene D., Feizab V., Karklins A., Versulienė A., Janauskaite D., Antanaitis S. After-effects of long-term tillage and residue management on topsoil state in boreal conditions // Europ. J. Agron. 2018. V. 94. P. 12-24. DOI: 10.1016/j.eja.2018.01.003
5. Минникова Т.В., Кравцова Н.Е., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние прямого посева озимой пшеницы на содержание в черноземе элементов питания // Агрохимия. 2019. N 10. С. 64-71. DOI: 10.1134/S0002188119100119
6. Чернов И.Ю. Широтно-зональные и пространственно-сукцессионные тренды в распределении дрожжевых грибов // Журн. общ. биологии. 2005. Т. 66. N 2. С. 123-135.
7. Bab'eva I.P., Chernov I.Yu. Geographical aspects of yeast ecology // Phisiol. Gen. Biol. Rev. 1995. V. 9. Part 3. 54 p.
8. Менькина Е.А., Воропаева А.А. Распределение численности эколого-трофических групп микроорганизмов в пахотном слое чернозема обыкновенного Центрального Предкавказья // Известия Горского ГАУ. 2019. Т. 56. N 4. С. 21-26.
9. Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю., Головченко А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Манучарова Н.А., Марфенина О.Е., Полянская Л.М., Степанов А.Л., Умаров М.М. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // Почвоведение. 2015. N 9. С. 1087-1096. DOI: 10.7868/S0032180X15090038
10. Коржов С.И., Трофимова Т.А. Действие растительных остатков на почвенные микроорганизмы // Главный агроном. 2020. N 1. С. 10-13.
11. Турусов В.И., Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А., Сапрыкин С.В., Гармашова Л.В., Чевердин А.Ю. Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземных почв // Агрохимия. 2017. N 11. С. 3-12. DOI: 10.7868/S0002188117110011
12. Муха В.Д., Муха Д.В., Ачкасов А.Л. Практикум по агропочвоведению / Под ред. В.Д. Мухи. М.: КолосС, 2010. 367 с.
13. Теппер Е.З., Шильникова Е.З., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М.: «КОЛОС», 1972. 199 с.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

REFERENCES

1. Kuprichenkov M.T., Men'kina E.A. Biogenity of ordinary chernozem in the Ciscaucasia. Plodorodie [Fertility]. 2013, no. 5 (74), pp. 23-24. (In Russian)
2. Stukalov R.S. Analysis of the productive moisture content in the soil at the cultivation of winter wheat under traditional and no-till technologies in crop rotation. Sel'skokhozyaistvennyi zhurnal [Agricultural journal]. 2019, no. 1 (12), pp. 20-26. (In Russian)
3. Grebennikov A.N., Belobrov V.P., Kutovoy O.V., Isaev V.A., Garmashov V.M., Cheverdin Yu.I., Bepalov V.A. Microbiological activity of migration-mitcellar agrochernozems under different basic cultivation methods. Agrochemistry, 2018, no. 3, pp. 19-25. (In Russian) DOI: 10.7868/S0002188118030031
4. Feiziene D., Feizab V., Karklins A., Versulienė A., Janauskaite D., Antanaitis S. After-effects of long-term tillage and residue management on topsoil state in boreal

- conditions. *Europ. J. Agron.*, 2018, vol. 94, pp. 12-24. DOI: 10.1016/j.eja.2018.01.003
5. Minnikova T.V., Kravtsova N.E., Mokrikov G.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Impact of direct seeding of winter wheat on nutrition elements in black soil. *Agrochemistry*, 2019, no. 10, pp. 64-71. (In Russian) DOI: 10.1134/S0002188119100119
6. Chernov I.Yu. The latitude-zonal and spatial-successional trends in the distribution of yeasts. *Zhurnal obshchei biologii* [Biology Bulletin Reviews]. 2005, vol. 66, no. 2, pp. 123-135. (In Russian)
7. Bab'eva I.P., Chernov I.Yu. Geographical aspects of yeast ecology. *Physiol. Gen. Biol. Rev.* 1995, vol. 9, part 3, 54 p.
8. Menkina E.A., Voropaeva A.A. Distribution of the number of ecological-trophic groups of microorganisms in the arable layer of common chernozem in the Central Caucasus. *Izvestiya Gorskogo GAU* [Journal of proceedings of the Gorskoy SAU]. 2019, vol. 56, no. 4, pp. 21-26. (In Russian)
9. Dobrovolskaya T.G., Zvyagintsev D.G., Chernov I.Y., Golovchenko A.V., Zenova G.M., Lysak L.V., Manucharova N.A., Marfenina O.E., Polyanskaya L.M., Stepanov A.L., Umarov M.M. The role of microorganisms in the ecological functions of soils. *Eurasian Soil Science*, 2015, no. 9, pp. 1087-1096. (In Russian) DOI: 10.7868/S0032180X15090038
10. Korzhov I.S., Trofimova T.A. Effect of plant residues on soil microorganisms. *Glavnyi agronom* [Chief agronomist]. 2020, no. 1, pp. 10-13. (In Russian)
11. Turusov V.I., Cheverdin Yu.I., Titova T.V., Besspalov V.A., Saprikin S.V., Garmashova L.V., Cheverdin A.Yu. Relationship of microbiological parameters and physical properties of chernozem soils. *Agrochemistry*, 2017, no. 11, pp. 3-12. (In Russian) DOI: 10.7868/S0002188117110011
12. Mukha V. D., Mukha D. V., Achkasov A. L. *Praktikum po agropochvovedeniyu* [Workshop on agro-soil science]. Moscow, KolosS Publ., 2010, 367 p. (In Russian)
13. Tepper E.Z., Shilnikova E.Z., Pereverzeva G.I. *Praktikum po mikrobiologii* [Workshop on microbiology]. Moscow, KOLOS Publ., 1972, 199 p. (In Russian)
14. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 5 ed., 351 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Елена А. Менькина получила и проанализировала данные по численности микроорганизмов, написала рукопись. Надежда Н. Шаповалова получила и проанализировала данные по урожайности озимой пшеницы. Анастасия А. Ворopaева получила данные по влажности почвы и урожайности озимой пшеницы. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elena A. Menkina received and analysed data on the number of microorganisms, wrote the manuscript. Nadezhda N. Shapovalova received and analyzed data on the yield of winter wheat. Anastasia A. Voropayeva received data on soil moisture and winter wheat yield. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Елена А. Менькина / Elena A. Menkina <https://orcid.org/0000-0002-0512-8893>

Надежда Н. Шаповалова / Nadezhda N. Shapovalova <https://orcid.org/0000-0003-2485-6682>

Анастасия А. Ворopaева / Anastasia A. Voropayeva <https://orcid.org/0000-0002-3060-2737>