

Н.А. СЕЛЕЗНЕВА, А.Г. ТИШКОВА, Т.Н. ФЕДОРОВА, Т.А. АСЕЕВА

Влияние антропогенной нагрузки на изменение агробиологических свойств почвы, урожайность и качество зерна яровой пшеницы

Установлено, что при длительном антропогенном воздействии на лугово-бурые почвы происходит снижение почвенного плодородия. При этом применение возрастающих доз минеральных удобрений несколько нивелирует отрицательные изменения агрохимических и биологических свойств почвы. Изменение соотношения почвенных микроорганизмов увеличило коэффициент минерализации и скорость минерализации органического вещества почвы. Отмечено, что минеральные удобрения в период исследования оказывали положительное влияние на качество яровой пшеницы, содержание белка увеличилось в 1,3 раза.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, лугово-бурые почвы, минеральные удобрения, продуктивность, почвенная микрофлора.

The impact of the anthropogenic load on the change in agrobiological properties of the soil, the yield and quality of the spring wheat crop. N.A. SELEZNEVA, A.G. TISHKOVA, T.N. FEDOROVA, T.A. ASEEVA (Far Eastern Agricultural Research Institute, Khabarovsk).

It was found that with long-term anthropogenic effects on meadow-brown soils there is a decrease in soil fertility. In this case, the use of increasing doses of mineral fertilizers somewhat offsets negative changes in agrochemical and biological properties of the soil. Changes in the ratio of soil microorganisms have increased the mineralization rate and the rate of mineralization of soil organic matter. It was noted that mineral fertilizers during the study had a positive effect on the quality of spring wheat, the protein content increased by 1.3 times.

Key words: anthropogenic impact, meadow-brown soils, mineral fertilizers, productivity, soil microflora.

Введение

Выращивание сельскохозяйственных культур в настоящее время предусматривает научно обоснованный подход к выбору системы удобрения, которая является одним из основополагающих факторов повышения урожайности. Использование фиксированных доз минеральных удобрений без учета почвенного плодородия приводит к нарушению оптимального соотношения питательных веществ в почве, что негативно отражается на продуктивности пашни. Почва – невозобновляемый ресурс, который выполняет множество жизненно важных функций, имеющих социально-экономическое и экологическое значение. Поэтому сохранение плодородия почвы является основным

*СЕЛЕЗНЕВА Наталья Александровна – аспирант, ТИШКОВА Анна Геннадьевна – научный сотрудник, ФЕДОРОВА Тамара Николаевна – аспирант, АСЕЕВА Татьяна Александровна – доктор сельскохозяйственных наук (Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровск).

*E-mail: nataliselezneva82@mail.ru

фактором, который следует учитывать при ее интенсивном использовании¹ [2, 9]. Растения и почвенные микроорганизмы тесно связаны круговоротом питательных веществ, изменения физико-химических свойств почвы при антропогенном воздействии могут повлиять на состав и функционирование растительных и микробных сообществ [10]. Почвенные микроорганизмы играют важную роль в почвенных биогеохимических процессах. Они являются критическими факторами, определяющими степень разложения органического вещества почвы, круговорот и доступность минеральных веществ, таких как азот, фосфор и сера, способствующих росту растений. Использование удобрений влияет на разнообразие микроорганизмов – один из наиболее важных показателей здоровья почвы. Различные нормы внесения удобрений и их источники по-разному влияют на здоровье почвы² [7].

Сохранение глобальной продовольственной безопасности требует устойчивого сельскохозяйственного производства. Яровая пшеница – одна из лидирующих в мире, в том числе в России, возделываемых зерновых культур. Значение ее постоянно возрастает, поскольку она представляет собой питательную и экономически выгодную продовольственную культуру [4]. Актуальным остается вопрос увеличения урожайности и повышение качества зерна на малопродуктивных лугово-бурых почвах.

Цель исследования – изучение влияния различных доз минеральных удобрений на агрохимические и биологические свойства почв для сохранения и рационального использования почвенного плодородия и производства качественной сельскохозяйственной продукции. Задачи исследования – определить агрохимические показатели почв при внесении возрастающих доз минеральных удобрений в длительном стационарном опыте; изучить изменения почвенной микрофлоры при усилении антропогенного воздействия; оценить влияние изменения агрохимических и биологических свойств лугово-бурых почв на продуктивность и качество яровой пшеницы.

Объекты и методы исследований

Исследования проводились в 2017–2019 гг. в длительных стационарных опытах, заложенных в 1963–1965 гг. на трех полях полевого севооборота. Объект исследования – лугово-бурые почвы, на которых в течение 55 лет воспроизводятся одни и те же условия, определяемые агротехникой. Перед закладкой опыта в 1963–1965 гг. содержание в них органического вещества (по Тюрину) было 4 %, подвижного фосфора – 1,4–4,2 мг/100 г, обменного калия – 12,5–26,6 мг/100 г, $pH_{(сол)}$ – 4,2–4,6, гидролитическая кислотность – 4,7–6,6 мг-экв/100 г, сумма поглощенных оснований – 13,2–19,8 мг-экв/100г. Индикатор изменений агрохимических свойств почвы – яровая пшеница сорта Хабаровчанка. Сорт интенсивного типа, среднеспелый, среднерослый, продолжительность периода «всходы – созревание» 75–90 сут, содержание белка в зерне 14–16 %.

Схема опыта включала следующие варианты: без удобрений – контроль; последствие известкования, проводившегося в течение 6 ротаций севооборота (32 т/га известковой муки) с доведением общей дозы Са до 2,25 г.к.; известь по 2,25 г.к. – фон; внесение на указанном фоне возрастающих доз минеральных удобрений – $N_{32}P_{32}K_{32}$, $N_{48}P_{48}K_{48}$, $N_{64}P_{64}K_{64}$, $N_{76}P_{76}K_{76}$. Минеральные удобрения вносили ежегодно перед предпосевной культивацией. Площадь делянок 150 м², повторность 4-кратная.

¹ Yang T., Siddique K.H.M., Liu K. Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review // Global Ecology and Conservation. 2020. Vol. 23. e01118. – <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01118> (дата обращения: 25.01.21).

² Gautam A., Sekaran U., Guzman J., Kovács P., Gonzalez Hernandez J.L., Kumar S. Responses of soil microbial community structure and enzymatic activities to long-term application of mineral fertilizer and beef manure // Environmental and Sustainability Indicators. 2020. Vol. 8. – <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100073> (дата обращения: 26.01.21).

Образцы почвы отбирали в фазу трубоквания. В почвенных образцах определяли: аммоний – колориметрическим методом с реактивом Несслера; нитратный азот и значения $pH_{(сол.)}$ – потенциометрическим; гидролитическую кислотность – по методу Каппена; фосфор и калий – по методу Кирсанова, обменные основания (кальций, магний) – комплексонометрическим методом; степень насыщенности почв обменными основаниями – расчетным методом; органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО.

Пробы для микробиологического анализа отбирали с соблюдением асептики. Общую численность, а также количественную характеристику основных групп (аммонифицирующих, амилитических) микроорганизмов определяли путем посева на плотные питательные среды с серией последовательных разведений почвенной суспензии согласно действующим методикам [6].

Для учета аммонифицирующих микроорганизмов, разлагающих азотсодержащее органическое вещество почвы, использовали мясептонный агар (МПА) амилитической микрофлоры, способной проводить деструкцию олиго- и полисахаридов, иммобилизацию азота, а также актиномицетов – крахмало-аммиачный агар (КАА). После посева чашки инкубировали в термостате при температуре +27 °С. Подсчет колоний, выросших на МПА, осуществляли на 2–4-е сутки инкубации, на КАА – начиная с 4-х суток по мере разрастания колоний. Пересчет количества колоний в чашках Петри на 1 г почвы (грунта) выполняли по действующей методике [5].

Определение проводили в трехкратной повторности, среднее значение использовали для дальнейшего расчета.

Статистический анализ результатов проводили по методике дисперсионного и корреляционного анализов с использованием стандартных компьютерных программ (Statistica 6.0; Microsoft Office, Excel 2003–2007).

Результаты и обсуждение

Применение возрастающих доз минеральных удобрений оказало значительное влияние на изменение агрохимических свойств почвы (табл. 1). Обменная кислотность возросла в среднем в 1,1 раза, почвы стали менее кислыми, изменения гидролитической кислотности были незначительными.

Таблица 1

Влияние длительного применения удобрений на изменение свойств лугово-бурой почвы

Вариант	$pH_{сол.}$	Hг, мг-экв/100 г почвы	Ca + Mg, мг-экв/100 г почвы	V, %
Контроль (без удобрений)	4,3	4,0	18,9	82,39
Фон + $N_{32}P_{32}K_{32}$	4,7	3,4	22,1	85,57
Фон + $N_{48}P_{48}K_{48}$	4,6	3,7	21,9	85,64
Фон + $N_{64}P_{64}K_{64}$	4,6	4,2	21,0	83,43
Фон + $N_{76}P_{76}K_{76}$	4,7	3,5	22,1	86,18

Увеличение суммы обменных оснований при внесении минеральных удобрений составило в среднем 2,9 мг-экв/100 г, что улучшило степень насыщенности почвы основаниями на 2,8 % в сравнении с контрольным вариантом (без удобрений).

Наблюдали выраженную тенденцию увеличения в почве содержания подвижного фосфора и обменного калия во всех вариантах систематического внесения удобрений. Наибольшее влияние на содержание подвижного фосфора оказали повышенные дозы удобрений ($N_{64}P_{64}K_{64}$, $N_{76}P_{76}K_{76}$), его содержание возросло на 0,9–1,7 мг/100 г в сравнении с контрольным вариантом (табл. 2). Только длительное применение минеральных удобрений в дозе $N_{76}P_{76}K_{76}$ позволило повысить группу по обеспеченности подвижным фосфором.

Таблица 2

**Изменение агрохимических показателей почвы под яровой пшеницей
при длительном применении удобрений**

Варианты	N-NO ₃ +N-NH ₄ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы	K ₂ O, мг/100 г почвы	Органическое вещество, %
Контроль (без удобрений)	5,4	0,9	5,1	2,8
Фон + N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	10,3	1,2	8,1	3,2
Фон + N ₄₈ P ₄₈ K ₄₈	11,2	1,5	9,8	3,4
Фон + N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄	11,6	1,8	10,7	3,6
Фон + N ₇₆ P ₇₆ K ₇₆	10,7	2,6	11,0	3,1

Содержание обменного калия зависело от дозы минеральных удобрений и соответственно повышалось с разной степенью интенсивности (табл. 2). В вариантах с применением минеральных удобрений в дозе N₇₆P₇₆K₇₆ отмечены наибольшие положительные изменения в содержании обменного калия (в 2,2 раза) в сравнении с контрольным вариантом.

Наибольший прирост органического вещества был в вариантах с дозами минеральных удобрений N₄₈P₄₈K₄₈, N₆₄P₆₄K₆₄, в сравнении с контрольным вариантом его содержание увеличилось в 1,3 раза. В этих же вариантах наблюдали наибольшее содержание минерального азота, которое увеличилось в среднем на 6,0 мг/кг в сравнении с контролем.

В исследуемых почвах агроценозов количество амилотической микрофлоры больше, чем аммонифицирующей, что оказывает существенное влияние на развитие процессов минерализации органического вещества, которые характеризует величина коэффициента минерализации (табл. 3). В условиях агроценоза слишком большое значение коэффициента минерализации (>3–5) может косвенно свидетельствовать о повышении скорости разложения специфического органического вещества почвы – гумуса.

Таблица 3

Влияние доз минеральных удобрений на коэффициент минерализации в посевах пшеницы

Вариант	Коэффициент минерализации (соотношение КАА/МПА)
Контроль (без удобрений)	1,56
Фон + N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	1,19
Фон + N ₄₈ P ₄₈ K ₄₈	1,18
Фон + N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄	1,14
Фон + N ₇₆ P ₇₆ K ₇₆	1,16

Внесение различных доз минеральных удобрений снижает величину данного коэффициента в 0,7 раза по сравнению с контрольным вариантом, что, в свою очередь, может свидетельствовать о замедлении процессов минерализации гумусовых веществ при внесении элементов минерального питания.

Изменение агрохимических показателей почвы влияет на микробный ценоз почвы, который играет важную роль в сохранении устойчивости агроэкосистем и повышении урожайности сельскохозяйственных культур [1, 8]. Корреляционный анализ количества аммонифицирующей и амилотической микрофлоры с агрохимическими показателями за период исследования выявил высокую степень их взаимозависимости (табл. 4). Численность микробиологического пула, как аммонифицирующего, так и амилотического, находилась в сильной и очень сильной прямой зависимости от содержания в почве элементов минерального питания, а также от степени кислотности почвы.

Установлена средняя положительная взаимосвязь численности всех групп микроорганизмов со степенью насыщенности почвы основаниями. Количество амилотиков очень слабо зависит от количества органического вещества почвы, так как основным его источником являются пожнивные остатки, содержащие мало азота, необходимого для

**Корреляционная зависимость между численностью микроорганизмов почвы
и ее агрохимическими показателями**

Количество микроорганизмов	pH сол.	V, %	N-NO ₃ +N-NH ₄ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/100 г	K ₂ O, мг/100 г	Органическое вещество, %
Аммонифицирующая микрофлора	0,83	0,69	0,83	0,94	0,96	0,54
Амилитическая микрофлора	0,98	0,61	0,61	0,99	0,84	0,28
Общее количество микроорганизмов	0,76	0,66	0,74	0,98	0,92	0,43

построения клеточных стенок данных микроорганизмов. Связь между численностью аммонификаторов и органическим веществом характеризовалась как средняя положительная, так как данная группа микроорганизмов участвует в разложении растительных и животных остатков.

Применение удобрений благоприятно сказалось на урожайности яровой пшеницы (табл. 5). Анализ результатов действия минеральных удобрений на лугово-бурых почвах в среднем за период исследований показал, что наибольшая прибавка урожайности зерна яровой пшеницы получена при внесении минерального удобрения в дозе N₇₆P₇₆K₇₆ (15,3 ц/га, или 194,3 %). Минеральные удобрения в других вариантах повышали урожайность на 5,9–13,5 ц/га в сравнении с контролем.

Таблица 5

**Влияние длительного применения удобрений
на урожайность зерна яровой пшеницы**

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка урожая	
		ц/га	%
Контроль (без удобрений)	7,9	–	–
Фон + N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	13,8	5,9	75,2
Фон + N ₄₈ P ₄₈ K ₄₈	17,6	9,7	123,6
Фон + N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄	21,3	13,5	171,3
Фон + N ₇₆ P ₇₆ K ₇₆	23,1	15,3	194,3
НСР ₀₅	3,6		

Качество зерна яровой пшеницы зависит от химического состава растений и соответственно от агрохимического состава почвы. Применение высоких доз минеральных удобрений (N₇₆P₇₆K₇₆) увеличило массу 1000 зерен в 1,2 раза по сравнению с контролем. В вариантах с внесением минеральных удобрений в дозах N₄₈P₄₈K₄₈, N₆₄P₆₄K₆₄ при улучшении азотного питания увеличение массы 1000 зерен составило 2,0 и 2,2 г. соответственно (табл. 6). Наименьшее увеличение массы 1000 зерен было в опыте с минимальной дозой минеральных удобрений.

Таблица 6

**Влияние длительного применения удобрений
на качественные показатели зерна яровой пшеницы**

Вариант	Масса 1000 зерен, г	Содержание, %			
		Белок	P ₂ O ₅	Ca	Mg
Контроль (без удобрений)	26,4	12,43	0,88	0,14	0,16
Фон + N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	27,6	13,54	0,85	0,14	0,17
Фон + N ₄₈ P ₄₈ K ₄₈	28,4	14,34	0,90	0,15	0,19
Фон + N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄	28,6	15,68	0,98	0,13	0,19
Фон + N ₇₆ P ₇₆ K ₇₆	30,5	14,63	0,81	0,12	0,18

Содержание белка в зерне – один из важных критериев его качества. Белок служит структурным каркасом формирования клейковины и определяет пищевую ценность

получаемых продуктов [3]. В процессе исследований наблюдалось снижение качественных показателей яровой пшеницы с увеличением ее урожайности. Наиболее высокие показатели качества за период исследования были в варианте с дозой минеральных удобрений $N_{64}P_{64}K_{64}$: содержание белка в сравнении с контрольным вариантом повысилось в 1,3 раза. В вариантах с дозами удобрений $N_{32}P_{32}K_{32}$, $N_{48}P_{48}K_{48}$ содержание белка увеличилось в 1,1–1,2 раза, изменение минеральных элементов было незначительным.

Заключение

В стационарном опыте на лугово-бурой почве Хабаровского района установлено, что длительное антропогенное воздействие привело к ухудшению ее плодородия, снизило содержание органического вещества и минерального азота, а также суммы поглощенных оснований.

Применение минеральных удобрений несколько уменьшило негативное влияние антропогенного воздействия на агрохимические свойства почвы, способствовало поддержанию в ней количества органического вещества и минерального азота. Внесение минеральных удобрений повысило содержание подвижных фосфатов на 33,3–189 %. При систематическом внесении минеральных удобрений положительные изменения отмечены в содержании обменных форм калия, содержание которого возросло в 1,6–2,2 раза. В исследуемых почвах агроценозов количество амилитической микрофлоры больше, чем аммонифицирующей, что оказывает существенное влияние на развитие процессов минерализации органического вещества и может косвенно свидетельствовать о повышении скорости разложения гумуса. Изменения агрохимических свойств почвы при длительном антропогенном воздействии повлияли на продуктивность и качество яровой пшеницы. Максимальный урожай (23,1 ц/га) и прибавка (15,3 ц/га) зерна яровой пшеницы получены при применении минеральных удобрений в дозе $N_{76}P_{76}K_{76}$, при этом высокие показатели содержания белка и минеральных компонентов получены при внесении удобрения $N_{64}P_{64}K_{64}$ (15,68 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. Глушень Е.М., Дубойский М.В. Микробиологическая активность почв как показатель экологического состояния агроценозов // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. Минск: Изд. дом «Белорусская наука», 2018. С. 448–457.
2. Ерёмин Д.И. Влияние длительного использования органоминеральной системы удобрения зернового севооборота на динамику подвижного калия чернозема выщелоченного // Плодородие. 2013. № 2. С. 28–31.
3. Жученко А.А. Ресурсный потенциал производства зерна в России (теория и практика). М.: Агрорус, 2004. 1109 с.
4. Рафальская В.А., Радикорская В.А., Тимошенко Э.В. Действие биопрепаратов на урожайность и качество зерна сортов яровой пшеницы // Дальневост. аграр. вестн. 2010. № 1 (13). С. 11–13.
5. Терещенко Н.Н., Акимова Е.Е., Минаева О.М. Практикум по микробиологии для оценки плодородия почвы и качества грунтов: учебно-метод. пособие для студентов биол. специальностей. Томск: ТГУ, 2011. 96 с.
6. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробноценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: науч.-метод. пособие / Нижегородская с.-х. акад. Нижний Новгород, 2012. 64 с.
7. Basu S., Kumar G., Chhabra S., Prasad R. New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering // Phytomicrobiome for Sustainable Agriculture. 2020. P. 149–157.
8. García-Delgado C., Barba-Vicente V., Marín-Benito J.M., Igual J.M., Sánchez-Martín M.J., Rodríguez-Cruz M.S. Influence of different agricultural management practices on soil microbial community over dissipation time of two herbicides // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 646. P. 1478–1488.
9. Rodríguez-Cruz M.S., Pose-Juan E., Marín-Benito J.M., Igual J. M., Sánchez-Martín M.J. Pethoxamid dissipation and microbial activity and structure in an agricultural soil: Effect of herbicide rate and organic residues // Applied Soil Ecology. 2019. Vol. 140. P. 135–143.
10. Yuan X., Niu D., Weber-Grullon L., Fu H. Nitrogen deposition enhances plant-microbe interactions in a semi-arid grassland: The role of soil physicochemical properties // Geoderma. 2020. Vol. 375. P. 3688–3697.