

7. Кузнецова А.И., Лукина Н.В., Тихонова Е.В., Горнов А.В. и др. Аккумуляция углерода в песчаных и суглинистых почвах равнинных хвойно-широколиственных лесов в ходе восстановительных сукцессий // Почвоведение. – 2019. – № 7. – С. 803-816. DOI: 10.1134/S0032180X19070086.

8. Кулаков В.А., Алтухин Д.А. Эффективность длительного (69 лет) применения минеральных и органических удобрений на суходольных пастбищах Нечерноземной зоны // 75 лет Географической сети опытов с удобрениями. Мат-лы Всерос. сов. – М.: ВНИИА, 2016. – С. 148–153.

9. Налиухин А.Н., Рыжакова А.А. Азотфиксация клевера лугового при применении удобрений и известковании // Агрохимия. – 2021. – № 11. – С. 65-71. DOI: 10.31857/S0002188121110090.

10. НДК. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2017 г. Ч. 1. – М., 2019. – 471 с.

11. Порфирьев Б.Н. О «зеленом» векторе стратегии социально-экономического развития России // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2021. – Т. 227. – № 1. – С. 128-136.

12. Сычев В.Г., Налиухин А.Н. Изменение климата и углеродная нейтральность: современные вызовы перед аграрной наукой // Плодородие. – 2021. – № 5. – С. 3-7.

13. Сычев В.Г., Налиухин А.Н., Шевцова Л.К., Рухович О.В., Беличенко М.В. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур:

результаты длительных полевых оптов Географической сети России // Почвоведение. – 2020. – № 12. – С. 1521-1536. DOI: 10.31857/S0032180X20120138.

14. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. – 2020. – № 6. – С. 3-13. DOI: 10.31857/S0002188120060125.

15. Треначев Е.П. Агрохимические аспекты биологического азота в современном земледелии. – М.: Агроконсалт, 1999. – 532 с.

16. Шевцова Л.К., Хайдуков К.П., Алиев А.М. Влияние длительного применения удобрений и химических средств защиты растений на содержание активных компонентов и качественный состав гумуса дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // Агрохимия. – 2013. – № 11. – С.3-9.

17. Franzluebbers A.J. Soil organic carbon in managed pastures of the southeastern United States of America // Integrated Crop Management, 2010. Vol. 11. P. 163-175.

18. Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food Security // Science. 2004. Vol. 304. P. 1623-1627.

19. Romanovskaya A.A., Gytarsky M.L., Karaban' R.T., Konyushkov D.E., Nazarov I.M. (2002). Ni-trous oxide emission from agricultural lands in Russia // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. Vol.7. No. 1. P. 31-43.

20. Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and global carbon cycle // Biogeochemistry. 2000. Vol. 48. P. 7-20.

21. WMO Greenhouse Gas Bulletin. 2021. No.17. Geneva, WMO, P. 3.

STUDY OF FLOWS OF CARBON AND NITROGEN IN LONG-TERM FIELD EXPERIMENTS OF THE GEOSSET WITH THE PURPOSE OF REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND INCREASING THE DEPOSITION OF CARBON DIOXIDE BY AGROCENOSSES

V.G. Sychev, A.N. Naliukhin
Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry
Pryanishnikov ul. 31a, 127434 Moscow, Russia, E-mail: naliukhin@yandex.ru

The main reserves of carbon are in the composition of soil organic matter. That is why the soil organic carbon (SOC) balance in agriculture can serve as one of the main criteria for assessing the emission and deposition of CO₂ by agrocenoses. In view of the natural resistance of soil organic matter to transformation, the assessment of the slowly varying content of SOC over time can be carried out only in long-term field experiments. It is shown that in the experiments of the Geographic Network, it is possible to estimate the fluxes of carbon and nitrogen depending on fertilization systems on the main types of soils in various natural-agricultural zones of the country. It was revealed that organo-mineral fertilization systems in 50% of long-term experiments contribute to an increase in the content of SOC in comparison with the initial level. In variants without the use of fertilizers, a significant decrease in the content and reserves of humus is noted, which indicates that they are an absolute source of C-CO₂. In meadow-pasture agrocenoses, the accumulation of organic matter occurs even without fertilization due to the large influx of readily decomposable organic matter in the composition of the cut-root residues. At the same time, the use of fertilizers increased SOC reserves by more than 2.5 times compared to the control. Soils, nitrogen, and organic fertilizers are the main source of nitrous oxide into the atmosphere. Scientifically substantiated combinations of mineral and biological nitrogen, the use of slow-acting nitrogen fertilizers, as well as nitrification inhibitors contribute to a significant reduction in N₂O emissions. At present, it is necessary to clarify the losses of the amount and forms of nitrogen using experiments using the stable nitrogen isotope ¹⁵N and modern isotope mass spectrometric equipment. Thus, long-term field experiments with Geographic Network fertilizers are unique monitoring experiments in which studies can be carried out to achieve carbon neutrality and reduce emissions of nitrous oxide, as well as other greenhouse gases.

Key words: greenhouse gases, long-term field experiments, carbon neutrality, mineral and biological nitrogen.

УДК 631.17:631.4

DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.11

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ПРИБАВКИ УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ОТ ДОЗ АЗОТА И ЕГО ОКУПАЕМОСТЬ

Сообщение 2

О.В. Волюнкина, к.с.-х.н.
ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук»
641325, г. Екатеринбург, с. Садовое, Кетовский р-н, Курганская обл., ул. Ленина 9, Россия,
E-mail: kniish@ketovo.zaoral.ru

Показаны результаты 40-летнего стационарного эксперимента, проведённого на Шадринском опытном поле Курганского НИИСХ. В зернопаровом севообороте пар-3 пшеницы испытано действие одного фосфорного удобрения и трёх уровней насыщения азотом пашни N₄₀₋₈₀₋₁₂₀ на фоне P₃₀. Действие P₃₀ на урожайность 1-й пшеницы было невысоким (+1,6 ц/га), так как содержание подвижного фосфора в почве участка выше среднего – 74 мг/кг. Закономерность слабого влияния фосфорного удобрения сохранилась в остальных полях севооборота и на бес-

сменной пшенице (+0,3, +0,6 ц/га). Потребность растений в азоте у 1-й пшеницы по пару невелика, поэтому предельные прибавки от трёх уровней насыщения пашни N_{40} по отношению к фону P_{30} составили, соответственно, 1,8; 0,9; 0,6 ц/га, урожай на контроле 24,7 ц/га. Вполне очевидно снижение окупаемости азота. В следующем поле севооборота проявилась высокая отзывчивость пшеницы на азот. Тем не менее, только первая порция азотного удобрения $N_{40}P_{30}$ отличилась высокой предельной прибавкой в 8 ц/га по отношению к P_{30} при урожайности на контроле 17,0 ц/га. Вторая и третья порции N_{40} к предыдущим вариантам давали предельные прибавки 3 и 0,2 ц/га. Следовательно, оплата 1 кг азота предельными прибавками (в кг/кг) снижалась с 20 до 7,5 и 0,5. В завершающем поле севооборота потребность в азоте ещё выше. Здесь предельные прибавки от трёх порций по N_{40} на фосфорном фоне составили 11,1; 0,7 и 0,7 ц/га при урожае на контроле 15,4 ц/га. Подсчёт предельных прибавок нацелен на поиск экономически выгодного повышения дозы азотного удобрения с условием получения окупаемости около 10 кг зерна на 1 кг азота.

Ключевые слова: зернопаровой севооборот, бессменная пшеница, состав удобрения, предельные прибавки от предельных доз азота.

Для цитирования: *Волынкина О.В.* Предельные прибавки урожая сельскохозяйственных культур от доз азота и его окупаемость // Плодородие. – 2021. – №6. – С. 41-46. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.11.

Значение химизации земледелия становится очевидным при рассмотрении индекса применения минеральных удобрений в России в разные годы и соответственного изменения урожайности зерновых культур. В 1960 г. в стране приходилось 7 кг удобрений в д.в. на 1 га посева, в 1980 г. – 68, 1990 г. – 90, в 2000 г. снизилось до 20 кг/га. Сбор зерна менялся по четырём годам, соответственно, 10,7; 12,9; 18,5 и 15,6 ц/га. В 2015 г. индекс увеличился с 20 до 42 кг д.в./га минеральных удобрений, что в совокупности с другими причинами (в частности с последствием ранее применяемых удобрений) повысило среднюю урожайность зерновых до 24 ц/га [7]. В настоящее время из 20 млн т производимых в России удобрений в стране используется 2,5 млн т при значительно более высоком суммарном показателе выноса питательных элементов урожаями [4]. Рациональное природо- и землепользование предусматривает восполнение утраченных почвенных ресурсов питания растений [8]. Сдерживает расширение внедрения интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур с достаточным уровнем химизации, диспаритет цен на зерно и промышленную продукцию. Так, в последние годы на эквивалент зерна для приобретения единицы ресурса приходилось повышение стоимости топлива на 5%, зерноуборочных комбайнов на 26, аммиачной селитры на 37 и аммофоса на 50% [9].

Подбор оптимальных доз удобрений – одно из важных условий точного земледелия, он на 54,5% оказывает влияние на структуру расходов. Это влияние складывается из экономии на оплату труда на 5%, расход топлива – 13,7, семян – 14,2, удобрений – 18,2 и пестицидов на 3,4% [1]. Математическое моделирование при поиске оптимальных доз удобрений основывается на агрономической и экономической оценке доз в опытах. Очень важно, чтобы выбранная доза окупалась приростом урожая. Причём, критерий максимума чистого дохода предпочтительнее критерия максимума урожайности [10].

Реализация большинства аграрных новаций – процесс медленный, он начинается «с новаторов, которых не более 2%, затем идут ранние внедренцы (14%), раннее большинство (34%) и далее следует позднее большинство. Такую цепочку надо активно создавать и поддерживать» [5]. В Курганский НИИСХ фермеры неоднократно обращались за консультациями к агрохимикам института по вопросу о применении фосфорных удобрений. Им дан совет определить содержание под-

вижного P_2O_5 в почве своих полей и при низкой обеспеченности фосфором рекомендация о необходимости внесения аммофоса локально в рядки при посеве с несколькими контрольными полосами. Применив фосфор, один из фермеров произвел учёт, согласно которому прибавка урожая оказалась высокой, что убедило его регулярно применять фосфорные удобрения.

Для обоснованного распределения удобрений по полям севооборотов хозяйства желательно иметь надёжный метод диагностики питания. Для оценки условий фосфорного питания практиками проверена и используется шкала Чирикова, иногда её корректируют для местных условий, как сделано в Курганском НИИСХ [2]. В оценке азотного питания предложения различаются по глубине отбора почвенных проб. В.В. Никитин [7] на основе 50 опытов рекомендует отбирать почву до 1 м. Автор подчёркивает, что усреднённые за 10 лет данные по нитратному азоту в метровом слое дали более отчётливую картину, чем пёстрые результаты диагностики за отдельные годы. На основании этого можно заключить, что результаты диагностики должны использоваться в совокупности с данными об эффективности удобрений в полевых стационарных опытах.

Для нахождения оптимума более информативным оказывается подсчёт предельного прироста урожая от каждого шага возрастания дозы азота. Нахождение предельных прибавок урожайности культур предусмотрено одним из экономических правил. Оно гласит: любое добавление переменных средств к основным ресурсам выгодно до тех пор, пока дополнительный доход превышает дополнительный расход [3].

Цель исследований – определить окупаемость удобрений предельными прибавками урожайности пшеницы в зернопаровом севообороте и на бессменном её посеве при разном составе удобрения и возрастающих дозах азота на Шадринском опытном поле Курганского НИИСХ.

Методика. Исследования выполнены в Курганском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН – в лабораториях агрохимии и земледелия в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования по теме №0532-2021-0002 «Усовершенствовать систему адаптивно-ландшафтного земледелия для Уральского региона и создать агротехнологии нового поколения на основе минимизации обработки почвы, диверсификации севооборотов, рационального применения пестицидов и биопрепаратов, сохранения и повышения почвенного плодородия и разработать инфор-

мационно-аналитический комплекс компьютерных программ, обеспечивающий инновационное управление системой земледелия».

Системы удобрения в Курганском НИИСХ разрабатываются для зон области на разных опытных полях. В лучших условиях увлажнения на северо-западе области наиболее высокая эффективность удобрений. Здесь

размещалось Шадринское опытное поле, которое организовано в 2014 г. и существовало с 1916 по 2014 г. В восточной зоне с 1930 по 2014 г. действовало Макушинское опытное поле, в центральной зоне – Центральное опытное поле (с 1962 г. по н.в. село Садовое). В таблице 1 приведена агрохимическая характеристика почвы трёх опытных полей.

1. Агрохимическая характеристика почвы опытных полей (о.п.) в слое 0-20 см

Показатель	Центральное о.п.	Шадринское о.п.	Макушинское о.п.
	Чернозём		
	выщелоченный	обыкновенный солонцеватый	Тяжелосуглинистый
Гранулометрический состав	Среднесуглинистый	Тяжелосуглинистый	Тяжелосуглинистый
pH _{KCl} 1970/2008 г.	6,3 / 5,5	6,5 / 5,1	7,3 / 7,4*
Содержание гумуса, %	3,1-4,5	5,3-7,4	4,5-5,5
P ₂ O ₅ по Чирикову, мг/кг	37-50	74	28**
K ₂ O по Чирикову, мг/кг	200-250	120-150	170-190
N-NO ₃ по пару, кг/га, 0-100 см	117	85	194
N-NO ₃ с удалением от пара, кг/га, 0-100 см	42-55	49-58	85-117
Урожайность 1-3-й пшеницы по пару без удобрения, ц/га	23,7; 17,3; 14,5	24,7; 17,0; 15,4	22,7; 18,2; 16,3
Урожайность неудобрённой бессменной пшеницы, ц/га	12,9	14,1	12,6

*pH_{H2O}; **Есть данные и по Мачигину – 30 мг/кг.

Агроклиматические показатели северо-западной зоны Курганской области: при годовом количестве осадков 350-422 мм за вегетацию выпадает 200-228 мм; продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C – 122-133 сут. Стационарный эксперимент на Шадринском опытном поле заложен в 1972 г. и проводился 40 лет. Исследования нацелены на изучение состава удобрения и доз азота в разных полях севооборотов и на бессменных культурах. Повторность вариантов – трёхкратная. Общая площадь делянок 240-270 м², учётная – 80-90 м². Обработка почвы – осенняя вспашка. Высевали районированные сорта пшеницы. Посев осуществляли дисковой сеялкой СЗ-3,6. Учёт урожая – напрямую комбайном Sampo-500 с отбором образца для определения влажности и сорности бункерной массы зерна.

Оценка эффективности удобрений по общей и предельной прибавкам увеличения урожайности культур существенно различается. Экономически выгодным возрастание доз является, если последовательная (предельная) прибавка не уменьшается, а растёт или сохраняется на уровне её величины от первой порции удобрения.

Результаты и их обсуждение. В лучших условиях увлажнения северо-западной зоны области достигалась более высокая урожайность пшеницы, чем на опытных полях других зон. Поэтому для насыщения гектара пашни зернопарового севооборота, считая паровое поле, взяты средние дозы азота N₄₀₋₈₀₋₁₂₀. Для создания фона N₄₀ фактически на 1-3 полях севооборота вносили N₀₋₆₀₋₁₀₀, для фона N₈₀, соответственно, N₄₀₋₁₄₀₋₁₄₀ и для N₁₂₀ – N₈₀₋₂₀₀₋₂₀₀. На бессменной пшенице фактически применяемые дозы – N₄₀₋₈₀₋₁₂₀.

Внесение фосфорного удобрения в дозе P₃₀ на почве с высоким (по откорректированной для местных условий шкале Чирикова) содержанием подвижного P₂O₅ (74 мг/кг) на 1-й пшенице по пару дало небольшую среднюю прибавку – 1,6 ц/га. Насыщение севооборота азотом на уровне N₄₀ на 1-й культуре по пару представлено последствием азота от его применения на следующих культурах в дозах N₆₀₋₁₀₀, за счёт чего получен прирост урожайности 3,4 ц/га к контролю, а по отношению к фону P₃₀ – 1,8 ц/га. На контроле урожайность 1-й пшеницы составляла 24,7 ц/га. Несмотря на то, что в пару на Шадринском опытном поле в среднем накапливалось меньше нитратного азота, чем на других

опытных полях (см. табл. 1), действие 2-й и 3-й доз азотного удобрения на посеве по пару слабое. Предельные прибавки урожайности 1-й пшеницы в вариантах P₃₀ и N₄₀₋₈₀₋₁₂₀P₃₀ равнялись, соответственно, 1,6; 1,8; 0,9 и 0,6 ц/га (рис. 1).

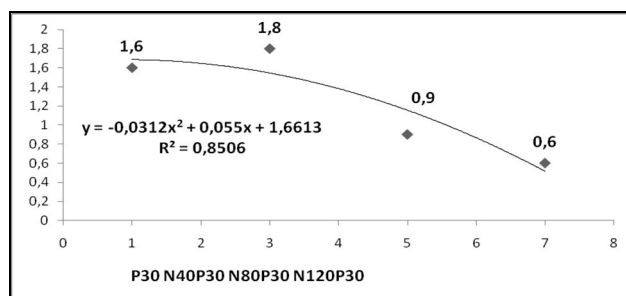


Рис. 1. Предельные прибавки от средних по севообороту фонов P₃₀ и N₄₀₋₈₀₋₁₂₀P₃₀ на 1-й пшенице по пару, ц/га, урожайность на контроле 24,7 ц/га, НСР₀₅ 1,1-1,7 ц/га

В остальных полях зернопарового севооборота в указанном стационаре фон P₃₀ тоже слабо действовал, повышая урожайность на 0,3-0,6 ц/га, на бессменной пшенице – на 0,5 ц/га. Внесение азота на 2-й пшенице после пара дало высокий эффект в виде средней прибавки от N₄₀P₃₀ – 8,6 ц/га и предельного прироста к фону P₃₀ – 8,0 ц/га (рис. 2). Следующие два внесения по N₄₀ дали предельные прибавки 3,0 и 0,2 ц/га. Следовательно, оплата трёх внесений азота N₄₀ последовательными прибавками урожая существенно различалась: 20; 7,5 и 0,5 кг/кг.

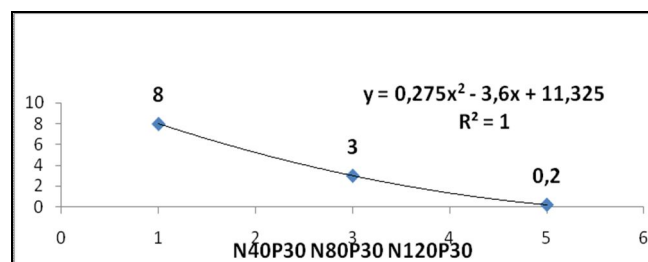


Рис. 2. Предельные прибавки от средних по севообороту доз азота N₄₀₋₈₀₋₁₂₀ на фоне P₃₀ на 2-й пшенице по пару, урожайность на контроле 17,0 ц/га, НСР₀₅ 2,2-2,7 ц/га

В конце севооборота в метровом слое почвы содержание нитратного азота снижалось до 49 кг/га, повышалась засорённость посева, что вызывало высокую отзывчивость пшеницы на улучшение азотного питания. Если от P_{30} получен прирост 0,3 ц/га, то от $N_{40}P_{30}$ прибавка достигла 11,4 ц/га и непосредственно от N_{40} – 11,1 ц/га. Урожайность на контроле 15,4 ц/га. От двух следующих внесений N_{40} предельные прибавки снизились до 0,7 ц/га (рис. 3). Окупаемость 1 кг азота прибавкой уменьшилась с 28 до 1,75 кг зерна.

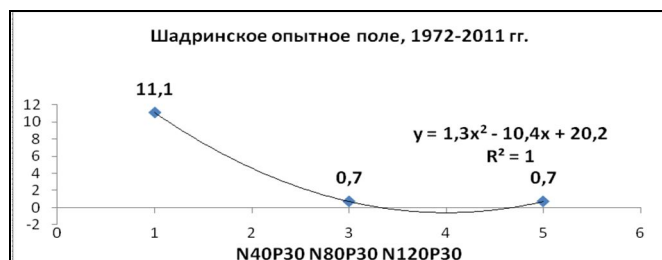


Рис. 3. Предельные прибавки от средних по севообороту доз азота на фоне P_{30} на 3-й пшенице по пару, урожайность на контроле 15,4 ц/га, НСР₀₅ 1,6-2,9 ц/га

Бессменная пшеница в эксперименте на Шадринском опытном поле испытана, как и пшеница в севообороте с паром, в условиях ежегодной вспашки. Тем не менее, урожайность повторных посевов без удобрения гораздо ниже. Она составила 14,1 ц/га, что на 1,3 ц/га ниже, чем у 3-й пшеницы после пара. Фон P_{30} дал прибавку 0,5 ц/га. Отзывчивость растений на азот выразилась прибавкой 7,7 ц/га от $N_{40}P_{30}$ и непосредственно от азота 7,2 ц/га (рис. 4) с оплатой 1 кг азота 18 кг зерна. Следующая порция N_{40} обеспечила дополнительный прирост урожая 3,5 ц/га с пока ещё неплохой окупаемостью 8,8 кг зерна/кг азота. Повышение дозы азота до третьего уровня неэффективно, так как прибавка урожайности снизилась до 0,6 ц/га с оплатой 1,5 кг/кг.

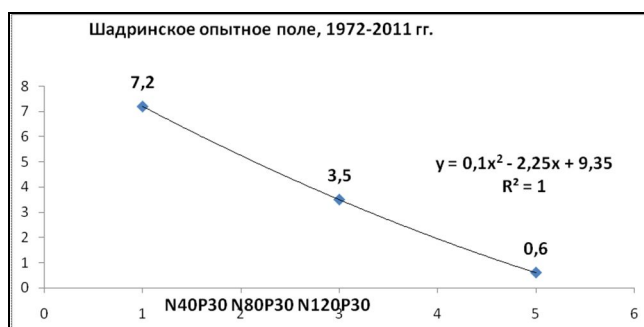


Рис. 4. Предельные прибавки от трёх доз азота на фоне P_{30} на посеве бессменной пшеницы, урожайность на контроле 14,1 ц/га, НСР₀₅ 2,1-2,7 ц/га

Благодаря более стабильному и достаточному уровню увлажнения растений в условиях Шадринского опытного поля прибавки урожая в зернопаровом севообороте в отличие от их средней величины повышались в некоторые годы до 9-14-18-22 ц/га. Наибольшее количество таких прибавок было на 2- 3-м посевах после пара и бессменно возделываемой пшенице (табл. 2)

Во влиянии на качество пшеницы вторая и третья порции N_{40} в вариантах $N_{80-120}P_{30}$, слабее действуя на урожайность, имели преимущество по содержанию клейковинных белков в зерне и числу лет с выращива-

нием зерна 3-го класса (табл. 3, 4). Это ценно, так как наблюдения за качеством зерна в производственной практике показали, что получение высокобелковой пшеницы в условиях более влажной северо-западной зоны Курганской области достигается реже.

2. Повторяемость разного уровня прибавок от N_{40} к фону P_{30} , % лет

Прибавка, ц/га	1-я пшеница по пару	2-я пшеница	3-я пшеница	Бессменная
9-22	2	48	60	40
5-8	10	32	20	30
2-4	28	15	18	25
0-1	60	5	2	5

3. Влияние удобрений на содержание клейковины в зерне пшеницы в разных полях севооборота и при бессменном возделывании, % (среднее за 1972-2011 г.)

Место в севообороте	Контроль	P_{30}	$N_{40}P_{30}$	$N_{80}P_{30}$	$N_{120}P_{30}$
1-я по пару	27,8	27,6	29,7	30,6	30,8
2-я по пару	24,6	24,0	25,5	30,4	31,2
3-я по пару	22,3	22,8	26,9	28,1	31,6
Бессменная	22,3	22,8	25,8	29,9	31,1

С повышением дозы азота от $N_{40}P_{30}$ до $N_{80}P_{30}$ содержание клейковины возрастало на 4-5 %. Отмечены различия этого эффекта по полям севооборота. Так, на 1-й пшенице после пара такое положительное действие проявилось за 40 лет всего 5 раз, а в следующем поле – 20 раз. В конце севооборота эффект наблюдался 6 лет, а на бессменной пшенице – в течение 17 лет. Переход от дозы $N_{80}P_{30}$ к $N_{120}P_{30}$ ни разу не обеспечил существенного повышения содержания клейковины у 1-й пшеницы по пару, в других полях – 3 и 7 раз и на бессменной пшенице – 3 года. Применение повышенных доз азота может быть рекомендовано на небольшой площади для надёжного получения высокобелкового зерна, которое используют для подмешивания к пшенице качеством ниже 3-го класса, с целью доведения зерна до соответствия требованиям к ценной пшенице. Повторяемость 3-го класса в 1-м поле после пара без удобрения при формировании высокой урожайности 24,7 ц/га ограничивалась 85% лет (табл. 4).

4. Повторяемость качества пшеницы на уровне требований к 3-му классу за 40 лет опыта, % лет (в среднем за 1972-2011 г.)

Место в севообороте	Контроль	P_{30}	$N_{40}P_{30}$	$N_{80}P_{30}$	$N_{120}P_{30}$
1-я по пару	85,0	82,5	92,5	92,5	95
2-я по пару	62,5	52,5	77,5	92,5	97,5
3-я по пару	47,5	47,5	87,5	95	100
Бессменная	42,5	42,5	67,5	92,5	97,5

Улучшение условий азотного питания позволяло повысить этот показатель до 95% лет. В следующих двух полях без удобрения 3-й класс отмечался ещё реже – в 62,5 и 47,5% лет. Фосфорное удобрение не меняло или уменьшало частоту выращивания ценной пшеницы, а на фонах применения его с азотом N_{80} 3-й класс отмечен почти все 40 лет.

Комплексная оценка влияния удобрений на урожайность и качество пшеницы подсчётом сбора клейковинных белков с урожаем указывает на эффективное применение доз на уровне $N_{80}P_{30}$ только во 2-м поле после пара и на бессменной пшенице (табл. 5).

5. Сбор клейковины с урожая пшеницы в разных полях севооборота (1972-2011 г., Шадринское опытное поле)

Вариант	1-я по пару	2-я по пару	3-я по пару	Бессменная
<i>Урожайность пшеницы, ц/га</i>				
Контроль	24,7	17,0	15,4	14,1
P ₃₀	26,3	17,6	16,1	14,6
N ₄₀ P ₃₀	28,1	25,6	26,8	21,8
N ₈₀ P ₃₀	29,0	28,8	27,5	25,3
N ₁₂₀ P ₃₀	29,6	28,8	27,6	25,9
<i>Сбор клейковины с урожаем, кг/га</i>				
Контроль	687	418	343	314
P ₃₀	726	422	367	333
N ₄₀ P ₃₀	834	653	721	562
N ₈₀ P ₃₀	887	869	773	756
N ₁₂₀ P ₃₀	912	898	873	805
<i>Последовательная прибавка сбора клейковины от удобрений, кг/га</i>				
Контроль	-	-	-	-
P ₃₀	39	4	23	19
N ₄₀ P ₃₀	108	231	354	229
N ₈₀ P ₃₀	53	216	52	194
N ₁₂₀ P ₃₀	25	29	100	49

6. Экономическая эффективность доз удобрений

Вариант	Затраты на удобрение, руб./га	Общая прибавка, ц/га, / цена 1 ц с учётом качества зерна*	Стоимость прибавки, руб./га	Прибыль, руб./га	Рентабельность, %
P ₃₀ на 1-м посеве	2110	1,6 / 1175	1880	-230	-11
N ₄₀ P ₃₀ на 1-м посеве	5033	3,4 / 1190	4046	-987	-20
N ₈₀ P ₃₀ на 2-м посеве	7882	11,6 / 1190	13804	5922	75
N ₄₀ P ₃₀ на 3-м посеве	6033	11,4 / 1166	13292	7259	120
N ₈₀ P ₃₀ на бессменной пшенице	7832	11,2 / 1190	13328	5496	70
<i>Рекомендуемые дозы</i>					
P ₁₅ на 1-м посеве	1240	1,6 / 1175	1880	640	52
N ₆₀ P ₁₅ на 2-м посеве	5226	11,6 / 1170	13572	8346	160

* Цена установлена согласно повторяемости в опыте 3-го класса зерна, основываясь на стоимости 3- и 4-го классов, которая сложилась в 2020 г.: 1200 и 1050 руб/ц.

Насыщение гектара пашни зернопарового севооборота дозой удобрения N₄₀P₃₀ на 1-м посеве приводило почти к нулевой эффективности при небольшой отрицательной рентабельности, тогда как на 3-м посеве после пара применение этой дозы было рентабельным. По соотношению затрат и прибыли самая высокая рентабельность – 120% в варианте применения дозы N₄₀P₃₀ на 3-й пшенице после пара при получении прибыли 7259 руб/га. Доза азота N₈₀ на фоне P₃₀ на 2-м посеве после пара и на бессменной пшенице обеспечивала прибыль 5922 и 5496 руб/га и рентабельность 75 и 70% соответственно. Эффективность применения более умеренных доз удобрений (2 последние строки таблицы 6), чаще используемых по рекомендациям института в производственной практике, выражена лучшими экономическими показателями.

Необходимо сделать пояснение относительно содержания P₂O₅ в почве на опытном участке: нельзя переносить данные о хорошей обеспеченности почвы фосфором в Шадринском стационаре на всю северо-западную зону. Есть примеры высокого действия фосфорного удобрения в этой зоне области.

Заключение. Применение азота в эксперименте на Шадринском опытном поле на 1-й пшенице по пару дало слабый эффект (+1,8 ц/га). Внесение фосфора тоже сопровождалось небольшим ростом урожая (1,6 ц/га), поскольку содержание подвижного фосфора в почве на участке под опытом повышенное – 74 мг/кг.

Вторая и третья культуры после пара хорошо отзывались на применение азотного удобрения. Прибавки от N₄₀ составили 8-11 ц/га при урожайности на контроле 17,0 и 15,4 ц/га соответственно. Добавление к N₄₀ ещё 40 кг/га азота давало дополнительный эффект только на 2-й пшенице после пара, но он был ниже и равнялся 3,0 ц/га. Бессменное возделывание пшеницы без удобрений даже при ежегодной вспашке приводило к снижению её

На 1- и 3-й пшенице по пару самые высокие предельные прибавки сбора клейковины с урожаем получены от первой порции N₄₀. Для рекомендаций сельскохозяйственным предприятиям северо-западной зоны Курганской области по подбору оптимальных доз удобрений наряду с результатами обсуждаемого опыта учитываются материалы параллельных экспериментов с дозами азотного и фосфорного удобрений. Стоит отметить, что шаг изменения дозы азота в Шадринском опыте был большим. Совокупный анализ данных нескольких экспериментов позволяет считать вполне достаточным применение доз N₁₅₋₂₀ на 1-й пшенице после пара, N₃₀₋₅₀ на 3-й и N₆₀₋₇₀ на 2-й и бессменной на фоне P₁₅ в рядки при посеве.

Для части вариантов опыта сделана экономическая оценка приёма удобрения (табл. 6).

урожайности до 14,1 ц/га. Улучшение условий азотного питания с помощью насыщения севооборота N₄₀₋₈₀P₃₀ давало предельные прибавки урожайности пшеницы от 1- и 2-й порций азота, соответственно, 7,2 и 3,5 ц/га. Третья доза азота N₁₂₀ неэффективна.

Азотное удобрение, повышая урожайность пшеницы, оказывало влияние и на качество зерна. Так, без удобрения уровень качества 3-го класса по содержанию клейковины даже у 1-й пшеницы по пару отмечен только в 85% лет. Достаточно было внесения дозы N₄₀P₃₀, чтобы этот показатель повысился до 92,5% лет. При следующих дозах азота на 1-й пшенице по пару изменения были незначительными – до 92,5 и 95% лет. У 2-й и 3-й пшеницы после пара на не удобряемых фонах ещё реже наблюдался 3-й класс качества зерна – в 62,5 и 47,5% лет соответственно. С применением N₄₀P₃₀ повторяемость 3-го класса повышалась до 77,5 и 87,5% лет, а при внесении N₈₀P₃₀ – до 92,5 и 95% лет. Повышение дозы до N₁₂₀ вносило небольшое улучшение – до 97,5 и 100% лет. На бессменной пшенице без удобрения частота 3-го класса ещё ниже – 42,5% лет, за счёт 1-й дозы она повышалась лишь до 67,5%. Дозы N₈₀₋₁₂₀ обеспечивали получение 3-го класса в 92,5-97,5% лет.

В 1-м поле по пару затраты на N₄₀P₃₀ почти равнялись стоимости общей прибавки (3,4 ц/га) при отрицательной рентабельности (-20%). В последующих полях после пара затраты на удобрение N₄₀₋₈₀P₃₀ равнялись 5033 и 7882 руб/га, они окупались благодаря высоким прибавкам урожая (8-11 ц/га). Сумма прибыли (в руб/га): 5922 во 2-м поле на фоне N₈₀P₃₀ и 7259 в 3-м – в варианте N₄₀P₃₀. На бессменной пшенице фон N₈₀P₃₀ дал следующие экономические показатели: прибыль 5496 руб/га и рентабельность 70%.

Рекомендации. Основываясь на умеренном накоплении нитратов в пару на Шадринском опытном поле, выгоднее всего азот и фосфор применять под пшеницу

по пару небольшими дозами в виде нитрофоски или других комплексных удобрений, содержащих два или три элемента питания по 16-20 кг д.в./га, рядковым способом при посеве. Решение вопроса о применении фосфора всецело зависит от наличия подвижного фосфора в почве. При уровне его содержания в обсуждаемом эксперименте 74 мг/кг, фосфор можно не применять или обходиться малой дозой его в комплексных удобрениях в стартовом применении. С уменьшением содержания подвижного фосфора до 20-40-50 мг/кг (такие поля встречаются в северо-западной зоне области) применение фосфорного удобрения на 1-й пшенице по пару обязательно в дозах $P_{15-20-30}$ в рядки при посеве. Выбор дозы зависит от уровня формируемых урожаев и содержания в почве подвижного P_2O_5 .

Учитывая, что шаг изменения доз азота в опыте равнялся 40 кг/га азота, а прибавка от 2-й порции N_{40} снижалась по сравнению с 1-й в 2,6-3,1 раза, более приемлемыми на 2-й культуре после пара и бессменно возделываемой пшенице можно считать дозы $N_{60-65-70}$, на 3-й $N_{40-50-60}$. В условиях северо-запада Курганской области в зернопаровом севообороте частота выращивания ценной пшеницы существенно возрастёт на фонах $N_{15-20}P_{15}$ на 1-м посеве и $N_{60-70}P_{15}$ в остальных полях.

Литература

1. Алексанов Д.С., Порфирьев Е.И. Оценка эффективности применения систем точного земледелия // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2015. – №11. – С. 35-39.
2. Волынкина О.В. и др. Системы удобрения в агротехнологиях Зауралья / Под ред. О.В. Волынкиной. О.В. Волынкина, В.И. Волынкин, Е.В. Кириллова, А.Н. Копылов, Д.В. Лысухин. Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. – 284 с.
3. Дженсен Х.Р., Уильямс М.С. Экономика применения удобрений / Под ред. Петербургского. – М.: Колос, 1965. – С. 41-68.
4. Киришин В.И. Технологическая модернизация земледелия России: предпосылки и условия // Земледелие. – 2015. – №6. – С. 6-10.
5. Козлов В.В., Рубцов Н.А. Особенности инновационного развития сельского хозяйства: мировой опыт и отечественная практика // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2014. – №10. – С. 27-29.
6. Манжина С.А. Анализ обеспечения АПК России удобрениями // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – №3 (27). – С. 199-221.
7. Никитин В.В. Методические основы диагностики азотного режима чернозёма типичного в зерносовхозном севообороте // Агрохимия. – 2013. – №2. – С. 15-21.
8. Сёмин А.Н. Рациональное природо- и землепользование как образ жизни мудрости хозяйствования // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2018. – №10. – С. 14-18.
9. Степных Н.В. Эффективность берегающих технологий в предприятиях Курганской области / Современные проблемы земледелия Зауралья и пути их научно обоснованного решения. – Куртамыш, 2014. – С. 56-59.
10. Файзильбер А.М., Матвиенко Е.Л. Оптимизация норм удобрений для полевых культур с помощью математического моделирования // Известия ТСХА. – 1990 – №4. – С. 66-73.

LIMIT INCREASES OF YIELD OF AGRICULTURAL CULTURES FROM NITROGEN DOSES AND HIS PAYBACK IN EXPERIMENTS OF THE KURGAN RESEARCH INSTITUTE (part 2)

O. V. Volynkina, leading researcher, rank-senior researcher, kand.S.H. Sciences

FSBNU "Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences" Yekaterinburg (Russia)

641325 Sadovaya village, Ketovsky r-n, Kurgan region, str. Lenin 9, Russia

E-mail: volynkina.o@bk.ru

The article shows the results of a 40-year stationary experiment conducted at the Shadrinsky experimental field of the Kurgan NIIS. In the grain crop rotation of steam-3 wheat, the effect of one phosphorus fertilizer and three levels of nitrogen saturation of a hectare of crop rotation arable land – $N_{40-80-120}$ against the background of P_{30} was tested. The effect of P_{30} on the yield of the 1st wheat was low, (+ 1.6 c/ha) since the content of mobile phosphorus in the soil of the site is above average – 74 mg/kg. The pattern of the weak influence of phosphorus fertilizer was preserved in other crop rotation fields and on permanent wheat (+ 0.3, + 0.6 c/ha). The need of plants for nitrogen in the 1st wheat is small in pairs, so the marginal increases from three levels of saturation of arable land N_{40} in relation to the background P_{30} amounted to 1.8-0.9-0.6 c/ha, the yield is in control of 24.7 c/ha. It is obvious that nitrogen payback is reduced. In the next field of crop rotation, a high responsiveness of wheat to nitrogen was manifested. However, only the first portion of nitrogen fertilizer was $N_{40}P_{30}$ distinguished by a high marginal increase of 8 c/ha with respect to P_{30} at a yield in the control of 17.0 c/ha. The second and third portions of the N_{40} to the previous versions gave marginal increases of 3 and 0.2 c/ha. Consequently, the payment of 1 kg of nitrogen with marginal increases in kg/kg decreased from 20 to 7.5 and 0.5. In the final crop rotation field, the need for nitrogen is even higher. Here, marginal increases from three portions of N_{40} on a phosphorus background amounted to 11.1; 0.7 and 0.7 c/ha at harvest in control of 15.4 c/ha. The calculation of marginal increases is aimed at finding an economically profitable increase in the dose of nitrogen fertilizer with the condition of obtaining a payback of about 10 kg of grain per 1 kg of nitrogen

Key words: grain-fallow crop rotation, permanent wheat, fertilizer composition, marginal gains from marginal nitrogen doses.

УДК 631.82:631.58

DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.12

ВЛИЯНИЕ ЛИСТОВЫХ ПОДКОРМОК НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ

М.М. Визирская¹, к.б.н., С.В. Шерстобитов², к.с.-х.н.,

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31А, mvizir@gmail.com

²ГАУ Северного Зауралья, 625003, г. Тюмень, пл. Республики, 7

Приведены результаты применения на яровой пшенице листовых подкормок на фоне почвенного внесения аммиачной селитры. В фазе кушения использовали водорастворимое НРК – удобрение марки 13-40-13 в дозе 2,0 кг/га, в фазе колошения – марки 18-18-18 в дозе 2,0 кг/га, обеспечивающие прибавки 22,73-54,8%. При применении листовых подкормок улучшается структура яровой пшеницы, увеличиваются длина растений на 9,8 см, длина