

Урожайность яровой пшеницы при дифференцированном внесении азотных удобрений в режиме off-line

С.В. Шерстобитов, к.с.-х.н., Н.В. Абрамов, д.с.-х.н., профессор, ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья

Яровая пшеница – важнейшая продовольственная культура в Российской Федерации. Повышение продуктивности и качества зерна – главная задача сельхозтоваропроизводителей всех регионов страны [1].

Для управления ростом и развитием культурных растений необходимо обеспечить регулирование минерального питания. Сбалансированное питание азотом, фосфором и калием – это залог формирования высоких урожаев зерновых культур, в том числе яровой пшеницы [2–4].

Однако при детальном агрохимическом анализе почв по элементарным участкам поля выявлена вариабельность практически по всем показателям, что затруднит в дальнейшем сбалансированное питание, так как традиционная технология внесения минеральных удобрений предусматривает внесение усреднённой дозы по всему полю [5–10].

Внедрение геоинформационных технологий в сельское хозяйство избавляет от рутинной работы по сбору многочисленных данных о почвенном плодородии сельскохозяйственных угодий, проведения длительных математических расчётов, разработке многочисленных планов, но при этом даёт возможность более детально подобрать технологии возделывания сельскохозяйственных культур с учётом всех требований реализации сортового потенциала и почвенного покрова полей. Дифференцированное внесение минеральных удобрений в режиме off-line – один из способов сбалансировать минеральное питание сельскохозяйственных культур, но данный элемент остаётся самым трудоёмким элементом в точном земледелии [9, 11–13].

Материал и методы исследования. Погодные условия в Западной Сибири неординарные. Так, в 2015 г. за 94 дня в период вегетации яровой пшеницы выпало 296,4 мм осадков, ГТК=2,0 и характеризовался как менее благоприятный. Последующие два года исследования – 2017 и 2018 –

по погодным условиям были типичными для региона, за вегетационный период выпало 247,8–281,5 мм, ГТК=1,5–1,6, что благоприятствовало возделыванию яровой пшеницы.

Опытно-производственные поля АО ПЗ «УЧ-ХОЗ ГАУ Северного Зауралья» расположены на чернозёме выщелоченном. Плотность почвы равна 1,07–1,25 г/см³, поровое пространство – 42–57%, содержание гумуса варьирует от 7 до 9%. Наблюдается резкая дифференциация содержания азота в профиле почвы, сумма обменных оснований составляет 31,4–34,0, гидролитическая кислотность – 3,5–3,8 мг-экв/100 г почвы.

Научно-производственный опыт проводился в севообороте, применяемом в хозяйстве: кукуруза – яровая пшеница – яровая пшеница, на трёх полях с одним типом почв, включающих в себя несколько подтипов.

Площадь полей составляла 46,6; 57,8 и 36,1 га, однако площадь опыта была ниже фактической использованной – 37,5; 45,0 и 22,5 га. Площадь элементарных участков (15) варьировала от 1,5 до 3,0 га, что связано с производственной необходимостью при использовании широкозахватной техники и выявлением контрастности почвенной пестроты внутри поля [14]. Поля были разбиты не только на элементарные участки, но и на пять вариантов, где проводилась оценка эффективности дифференцированного внесения минеральных удобрений с применением навигационной системы (табл. 1).

1. Присвоенные номера элементарных участков к варианту

Поле (год); вариант: номер участка		
№63 (2017)	№67 (2015)	№76 (2018)
I: 7, 10, 11	I: 2, 7, 12	I: 7, 5, 14
II: 5, 12, 14	II: 3, 8, 13	II: 11, 2, 15
III: 4, 6, 13	III: 5, 10, 15	III: 3, 13, 12
IV: 15, 9, 8	IV: 4, 9, 14	IV: 4, 6, 10
V: 1, 2, 3	V: 1, 6, 11	V: 1, 8, 9

I вариант – контрольный (без внесения минеральных удобрений); II – внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га с учётом среднего значения содержания азота на поле «хозяйственная доза» (традиционный способ внесения); III – дифференцированное внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га с учётом содержания элементов питания по элементарным участкам; IV – дифференцированное внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 4,0 т/га с учётом содержания элементов питания по элементарным участкам; V вариант – дифференцированное внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 4,0 т/га с учётом содержания элементов питания по эле-

ментарным участкам, плюс подкормка в фазу кущения яровой пшеницы [10, 14].

Определяли в почве стандартные показатели pH в солевой вытяжке по ГОСТу 26483-85, содержание подвижных форм фосфора и калия в чернозёмах выщелоченных и типичных – по методу Чирикова и ГОСТу 26204-91; содержание нитратного азота – ионометрическим методом по ГОСТу 26951-86; расчёт доз азотных удобрений производили методом элементарного баланса. Статистические результаты были рассчитаны с помощью программ Excel и Snedecor, а также по Б.А. Доспехову.

Основную обработку почвы проводили осенью после уборки предшествующей культуры плугом К-744+ПН-8-35 на глубину 22–27 см. Весной при наступлении физической спелости почвы проводили ранневесеннее боронование в два следа агрегатом Т-150+СП-11+22БЗСС-1,0. Высевали яровую пшеницу в оптимальный для лесостепной зоны период 15–20 мая на глубину 5–6 см посевным комплексом John Deere 730 в агрегате с трактором New Holland, норма посева составляла 6,2 млн всх. семян яровой пшеницы сорта Новосибирская 31. Уборку проводили прямым комбайнированием в фазу полной спелости яровой пшеницы с измельчением соломы [10, 14].

Результаты исследования. Земля – основное средство производства в сельском хозяйстве, способность удовлетворять растения в питательных веществах, воздухе, воде, тепле и обеспечивать стабильно высокие урожаи. Современная химия способна предоставлять сельхозтоваропроизводителям большой спектр минеральных удобрений, которые обеспечивают сбалансированное питание. Однако внесение минеральных удобрений без комплексного мониторинга приводит к дисбалансу питания растений.

Дифференцированное внесение азотных удобрений в режиме off-line предусматривает ежегодное агрохимическое обследование научно-производственных полей по содержанию нитратного азота (N-NO₃) в слое почвы 0–40 см [10, 14]. Результаты агрохимического анализа почвы в период исследования показали значительную и среднюю выравненность содержания нитратного азота в почве (табл. 2).

На контрольном варианте, где не вносились минеральные удобрения, за период исследования на всех трёх полях содержание N-NO₃ не превышало 10,0 мг/кг почвы, только в 2015 г. на элементарном участке №12 его содержание повысилось до 13,2 мг/кг почвы. Обеспеченность растений азотом на контроле была низкая, отмечалась тенденция общего снижения нитратного азота.

Средняя доза минеральных удобрений при традиционной технологии составляла 93 и 109 кг/га аммиачной селитры, обеспеченность нитратным азотом была низкая и варьировала от 7,0 до 11,8 мг/кг почвы в 2015 г. и 2017 г. соответственно. Очень

2. Содержание N-NO₃ в слое почвы 0–40 см перед посевом яровой пшеницы, мг/кг почвы

Способ внесения минеральных удобрений	Поле № 66		Поле № 63		Поле № 76	
	2015 г.	среднее	2017 г.	среднее	2018 г.	среднее
Контроль (без удобрений)	8,4	9,4	7,9	7,8	4,0	4,7
	6,7		8,3		6,0	
	13,2		7,1		4,2	
Традиционный	7,9	9,9	9,8	9,3	4,4	4,1
	11,9		9,1		4,2	
	9,8		9,1		3,7	
Дифференцированный на планируемую урожайность 3,0 т/га	12,6	14,0	8,1	11,9	4,4	5,5
	11,4		12,0		6,3	
	17,9		15,5		5,8	
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га	9,0	10,5	109,0	42,2	5,4	5,4
	11,1		11,5		5,4	
	11,3		6,2		5,4	
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га + подкормка	12,4	14,6	14,5	14,0	5,4	6,0
	14,2		17,4		3,8	
	17,1		10,0		8,7	
НСР ₀₅	3,0	–	47,3	–	2,3	–

3. Дозы внесения аммиачной селитры, кг/га в ф.м.

Способ внесения минеральных удобрений	Поле № 66		Поле № 63		Поле № 76	
	2015 г.	среднее	2017 г.	среднее	2018 г.	среднее
Контроль (без удобрений)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0		0,0		0,0	
	0,0		0,0		0,0	
Традиционный способ внесения	93,0	93,0	109,0	109,0	153,0	155,0
	93,0		109,0		154,0	
	93,0		109,0		159,0	
Дифференцированный на планируемую урожайность 3,0 т/га	61,0	45,7	120,0	86,0	153,0	143,0
	76,0		85,0		136,0	
	0,0		53,0		140,0	
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га	245,0	228,7	0,0	149,0	254,0	254,0
	222,0		200,0		254,0	
	219,0		247,0		254,0	
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га + подкормка	252,0	225,0	223,0	251,0	354,0	349,0
	192,0		217,0		368,0	
	231,0		313,0		325,0	

низкое содержание N-NO₃ наблюдалось в 2018 г.: среднее по варианту составляло 4,1 мг/кг почвы, доза аммиачной селитры – 155 кг/га (табл. 3).

Внесение аммиачной селитры на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га снизило дозу N-NO₃ на 51% в 2015 г., на 21% – в 2017 г. при средней обеспеченности нитратным азотом по варианту, и на 7,9% – в 2018 г. при низкой обеспеченности N-NO₃ в слое почвы 0–40 см.

Внесение азотных удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га по элементарным участкам поля с применением геоинформационных систем и на варианте с внесением подкормки в фазу кушения яровой пшеницы имели обеспеченность N-NO₃ в слое почвы 0–40 см всех групп от очень низкой до высокой. В 2018 г. содержание нитратного азота варьировало от 3,8 до 8,7 мг/кг почвы. Максимальное содержание N-NO₃ в 2017 г. на элементарном участке № 15 составляло 109,0 мг/кг почвы, данное увеличение связано с антропогенным фактором, а именно с неравномерным внесением органических

удобрений. Увеличение норм аммиачной селитры на варианте с планируемой урожайностью 4,0 т/га в 1,5–2,5 раза относительно традиционного варианта было обусловлено снижением нитратного азота по годам и увеличением выноса азота яровой пшеницей из почвы и удобрений.

В фазу кушения тем же маршрутом, что и в ранневесенний период, отбирали целые растения яровой пшеницы по методике Ю.И. Ермохина (1995) для проведения тканевой диагностики и последующего расчёта дозы внесения подкормки. В режиме off-line аммиачная селитра вносилась поверхностным способом, общая доза по варианту увеличивалась до 59%.

Высокий уровень обеспеченности нитратным азотом в слое почвы 0–40 см на контроле позволил получить урожайность яровой пшеницы в среднем за три года 3,09 т/га, что свидетельствует о высоком потенциальном плодородии и высокой агротехнике в производственных опытах (табл. 4).

4. Урожайность яровой пшеницы при различных способах и нормах внесения аммиачной селитры

Способ внесения минеральных удобрений	Урожайность по годам, т/га			
	2015	2017	2018	среднее
Контроль (без удобрений)	2,45	3,38	3,43	3,09
Традиционный	3,01	3,69	4,42	3,71
Дифференцированный на планируемую урожайность 3,0 т/га	3,14	3,80	4,69	3,88
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га	3,25	3,95	4,77	3,99
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га + подкормка	3,36	4,45	4,76	4,19
НСР ₀₅	0,30	0,35	0,69	0,45

5. Биоэнергетический КПД

Способ внесения минеральных удобрений	Год			Среднее
	2015	2017	2018	
Традиционный	3,30	1,60	3,60	2,83
Дифференцированный на планируемую урожайность 3,0 т/га	8,40	2,70	4,90	5,33
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га	2,00	2,10	2,90	2,33
Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га + подкормка	2,30	2,40	2,10	2,27

Внесение традиционным способом аммиачной селитры без учёта почвенной вариабельности по элементарным участкам позволило получить в среднем за три года урожайность яровой пшеницы 3,71 т/га, что было на 19% выше планируемой, при НСР₀₅=0,45. Прибавка относительно контрольного варианта составила 0,62 т/га. В 2015 и 2017 гг. обеспеченность N-NO₃ в слое почвы в среднем по варианту находилась на одном уровне – 9,3–9,9 мг/кг почвы и была низкой, урожайность составила 3,01 т/га при НСР₀₅=0,30 и 3,69 т/га – при НСР₀₅=0,35, прибавка относительно контрольного варианта (без применения минеральных удобрений) была равна 0,56 и 0,31 т/га соответственно.

В 2018 г. обеспеченность нитратным азотом была очень низкая – 3,7–4,4 мг/кг при НСР₀₅=2,3 мг/кг почвы, доза аммиачной селитры составила 155 кг/га. Однако благоприятные погодные условия позволили получить урожайность на 32% выше планируемой, или 4,42 т/га. Прибавка составила 0,99 т/га при НСР₀₅=0,69.

Дифференцированное внесение аммиачной селитры на планируемую урожайность 3,0 т/га позволяет снизить норму удобрений на 7,9–51,0% относительно традиционного способа внесения, при этом получать планируемую урожайность. Независимо от погодных условий дифференцированное внесение аммиачной селитры на планируемую урожайность 3,0 т/га позволяет получать урожайность выше планируемой от 4,5 до 36,0%, при этом прибавка варьировала от 0,11 до 0,27 т/га по сравнению с традиционным способом внесения. В период исследования наименьшая прибавка относительно контрольного варианта получена в 2017 г. – 0,42 т/га при НСР₀₅=0,35, максимальная в 2018 г. – 1,26 т/га при НСР₀₅=0,69, в среднем за три года – 0,79 т/га.

Максимально возможный биоэнергетический КПД на варианте с дифференцированным внесе-

нием азотных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га за приведённый период составил 5,33.

Исследование показало, что внесение аммиачной селитры в дозе 149,0–254,0 кг/га дифференцированным способом на планируемую урожайность 4,0 т/га не позволяет получить запрограммированную урожайность яровой пшеницы. В 2015 г. при внесении аммиачной селитры в среднем по варианту 228,7 кг/га урожайность яровой пшеницы составила 3,25 т/га при НСР₀₅=0,30, биоэнергетический КПД – 2,0. В 2017 г. средняя доза аммиачной селитры по варианту составляла 149,0 кг/га, при этом биоэнергетический КПД был равен 2,1, а урожайность – 3,95 т/га при НСР₀₅=0,35. Планируемая урожайность снизилась на 18,8%, при этом биоэнергетический КПД не превышал 2,0–2,10 (табл. 5). Увеличение биоэнергетического КПД до 2,90 в 2018 г. связано с получением урожайности больше планируемой на 19,3% – 4,77 т/га при НСР₀₅=0,69 и средней норме внесения аммиачной селитры 254 кг/га.

Дифференцированное внесение подкормки аммиачной селитрой в режиме off-line на основании тканевой диагностики по элементарным участкам поля не даёт существенной прибавки к урожайности относительно предыдущего варианта. В среднем за три года урожайность на варианте с дифференцированным внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га + подкормка была равна 4,19 т/га при НСР₀₅=0,45, прибавка относительно дифференцированного внесения на планируемую урожайность 4,0 т/га составляла 0,20 т/га, контроля – 1,1 т/га, традиционного способа внесения – 0,48 т/га. Данный вариант показал самый низкий КПД – 2,27. Это объясняется увеличением энергетических затрат на применение минеральных удобрений до 10416 МДЖ/га в связи с высокими дозами внесения аммиачной селитры – до 350 кг/га.

Выводы. Дифференцированное внесение минеральных удобрений в режиме off-line на планируемую урожайность 3,0 т/га одновременно с посевом снижает их норму на 7,9–51,0% относительно традиционного способа внесения с усреднённой нормой по полю. При этом урожайность повышается относительно планируемой на 4,5 до 36,0% в зависимости от погодных условий.

Увеличение планируемой урожайности яровой пшеницы до 4,0 т/га с внесением аммиачной селитры одновременно с посевом в дозе от 149,0 до 254,0 кг/га не позволяет получить запрограммированную урожайность, её снижение достигает 18,8%, а биоэнергетический КПД не превышает 2,0–2,10.

Дифференцированное внесение в режиме off-line подкормки аммиачной селитры, по результатам тканевой диагностики, не даёт существенной прибавки урожайности относительно варианта без внесения подкормки (+0,20 т/га). При этом получен самый низкий коэффициент, так как увеличиваются энергетические затраты на применение минеральных удобрений вследствие увеличения нормы внесения аммиачной селитры до 350 кг/га.

Литература

1. Казак А.А., Логинов Ю.П. Генофонд яровой мягкой пшеницы сибирской селекции как исходный материал для создания новых сортов в регионе // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 8. С. 48–56.
2. Абрамов Н.В., Еремин Д.И. Азот текущей нитрификации и хозяйственный вынос как факторы программирования урожайности яровой пшеницы в условиях Северного Зауралья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2009. № 2 (194). С. 25–29.
3. Гамзиков Г.П. Почвенная диагностика азотного питания растений и применения азотных удобрений в севооборотах // Плодородие. 2018. № 1 (100). С. 8–14.
4. Ермохин Ю.И. Экспресс-методы химической диагностики потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях. Омск, 2010. 117 с.
5. Мудрых Н.М. Оценка плодородия почвы – основа сбалансированности питания растений // АгроЭкоИнфо. 2018, № 3 [Электронный ресурс]. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_320.doc.
6. Черноусько Ф.Л., Ермолов И.Л., Афанасьев Р.А. Основные направления роботизации земледелия // Плодородие. 2018. № 1 (100). С. 48–53.
7. Витковская С.Е. Оценка пространственной неоднородности агрохимических показателей почвы и массы растений в полевом опыте // Плодородие. 2009. № 5 (50). С. 8–9.
8. Афанасьев Р.А., Беленков А.И. Внутрипольная вариабельность плодородия почв, состояния посевов и урожайности полевых культур в точном земледелии // Фермер. Поволжье. 2016. № 4 (46). С. 36–40.
9. Якушев В.В., Якушев В.П. Перспективы «умного сельского хозяйства» в России // Вестник Российской академии наук. 2018. Т. 88. № 9. С. 773–784.
10. Шерстобитов С.В. Дифференцированное внесение азотных удобрений с использованием систем спутниковой навигации: дис. ... канд. с.-х. наук / Всерос. научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова РАСХН. М., 2015. 205 с.
11. Абрамов Н.В., Шерстобитов С.В. Дифференцированное внесение удобрений с использованием систем спутниковой навигации // Агрохимия. 2018. № 9. С. 40–49.
12. Семизоров С.А. Эффективность применения систем спутниковой навигации при посеве зерновых культур // Агропродовольственная политика России. 2015. № 10 (46). С. 31–34.
13. Якимова Л.А. Эффективность ресурсосберегающих технологий в системе точного земледелия // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. № 9 (132). С. 23–29.
14. Шерстобитов С.В. Дифференцированное внесение азотных удобрений с использованием систем спутниковой навигации С.В. Шерстобитов автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2015. 22 с.