

ИННОВАЦИИ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Н. В. АБРАМОВ, С. А. СЕМИЗОРОВ, А. М. ОКСУКБАЕВА

Государственный аграрный университет Северного Зауралья,
г. Тюмень, Российская Федерация, 625003, e-mail: vip.anv.55@mail.ru

(Поступила в редакцию 17.04.2023)

Изучена роль основной обработки в формировании азотного режима лугово-чернозёмной почвы при переходе на точное земледелие. В исследованиях 1978–1983 гг. лесостепной зоны Западной Сибири безотвальная и «нулевая» обработки почвы содерживали процесс накопления нитратного азота по сравнению с отвальной и дифференцированной. Запасы азота в нитратной форме были низкими (6,3...8,0 мг/кг) в допосевной период без внесения удобрений по обработке почвы без оборота пласта. В вариантах с отвальной и дифференцированной системой основной обработки почвы отмечен средний уровень содержания N-NO₃ в слое 0...20 см – 10,1–11,8 мг/кг. Традиционный способ внесения минеральных удобрений усредненной нормой не создавал однородного уровня содержания азота по изучаемым системам основной обработки почвы. На отвальной и дифференцированно обработанных почвах в зерновом с занятым паром севообороте в фазе кущения яровой пшеницы содержание N-NO₃ составило 15,2–16,6 мг/кг, что соответствовало высокой обеспеченности культурных растений. На полях, обработанных безотвально и без основной обработки почвы, нитратного азота накопилось только до среднего уровня обеспеченности растений – 10,1–11,8 мг/кг. В 2009–2020 гг. инновационные технологии и дифференцированное внесение минеральных удобрений с использованием систем спутниковой навигации при учёте содержания азота в нитратной форме по вариантам и повторностям опыта и планируемой урожайностью снижали пространственную вариативность его наличия до 8,2–10,4 мг/кг перед посевом яровой пшеницы. Устранение пестроты содержания N-NO₃ отмечали и в фазе кущения яровой пшеницы до 1,4–19,7 %, но с преимуществом накопления по ресурсосберегающим обработкам (11,9–12,7 мг/кг). Оптимизация азотного режима при дифференцированном внесении удобрений с использованием систем спутниковой навигации в режиме off-line обеспечила формирование наибольшей урожайности яровой пшеницы по обработкам почвы без оборота пласта 3,63–4,03 т/га. Полученное зерно здесь имело низкую себестоимость 6273–7040 руб/т и более высокую рентабельность его производства – 42,0–59,4 % по сравнению с отвальной обработкой.

Ключевые слова: система основной обработки почвы, азотный режим, дифференцированное внесение, минеральные удобрения, системы спутниковой навигации, яровая пшеница (*Triticum aestivum*).

The role of the main cultivation in the formation of the nitrogen regime of the meadow-chernozem soil during the transition to precision farming has been studied. In research during 1978–1983 in the forest-steppe zone of Western Siberia, non-moldboard and "zero" tillage hindered the accumulation of nitrate nitrogen in comparison with moldboard and differentiated tillage. Nitrogen reserves in the nitrate form were low (6.3...8.0 mg/kg) in the pre-sowing period without fertilization after tillage without bed rotation. In the variants with moldboard and differentiated system of basic tillage, the average level of N-NO₃ content in the 0...20 cm layer was 10.1...11.8 mg/kg. The traditional method of applying mineral fertilizers with an average rate did not create a uniform level of nitrogen content in the studied systems of the main tillage. On moldboard and differentially cultivated soils in a grain crop rotation with fallow in the tillering phase of spring wheat, the content of N-NO₃ was 15.2–16.6 mg/kg, which corresponded to the high nutrition rate of cultivated plants. On fields cultivated without moldboard and without basic tillage, nitrate nitrogen accumulated only up to an average level of plant supply – 10.1...11.8 mg / kg. In 2009–2020 innovative technologies and differentiated application of mineral fertilizers using satellite navigation systems, taking into account the content of nitrogen in the nitrate form according to the variants and repetitions of the experiment and the planned yield, reduced the spatial variability of nitrogen presence to 8.2...10.4 mg / kg before spring wheat sowing. The elimination of the variegation of the N-NO₃ content was also noted in the tillering phase of spring wheat up to 1.4...19.7%, but with the advantage of accumulation by resource-saving treatments (11.9...12.7 mg/kg). Optimization of the nitrogen regime with differentiated application of fertilizers using satellite navigation systems in off-line mode ensured the formation of the highest yield of spring wheat for tillage without reversing the layer of 3.63...4.03 t/ha. The grain obtained here had a low cost of 6273...7040 rubles/t and a higher profitability of its production – 42.0...59.4 % compared to moldboard tillage.

Key words: basic tillage system, nitrogen regime, differential application, mineral fertilizers, satellite navigation systems, spring wheat (*Triticum aestivum*).

Введение

Система основной обработки почвы в севообороте имеет одно из решающих влияний на обеспеченность культурных растений нитратным азотом. Вопрос о применении отвальной или безотвальной обработки почвы в различных почвенно-климатических условиях очень важен [1, 2, 3], так как связан с воспроизводством плодородия почвы [4].

В системах питания культурных растений азот из агрохимических факторов почвенного плодородия часто выступает основным [5, 6, 7]. Он входит в простые и сложные белки, в состав нуклеиновых кислот, содержится в хлорофилле, фосфатидах, алкалоидах и других органических веществах растительной клетки [7, 8]. Уровень содержания азота в почвах определяет продуктивность и качество сельскохозяйственных культур. Основные пути регулирования азотного режима почвы – научно обоснованные севообороты, обработка почвы, органические и минеральные удобрения.

Возрастание доли химической энергии в энергетическом балансе интенсивного земледелия создает предпосылки для сокращения затрат механической энергии на обработку почвы. Этим определяются мировые тенденции минимализации основной обработки почвы по мере наращивания химизации земледелия. Однако замена вспашки безотвальной обработкой и уменьшение ее глубины приводит к снижению биологической активности почвы и минерализации ее органического вещества [9, 10]. Как результат, обработка почвы без оборота пласта проигрывает традиционной отвальной по накоплению

нитратного азота в слое 0...30 см [11, 12]. Общепринятая же схема внесения минеральных удобрений усредненной нормой по вариантам изучаемых систем основной обработки почвы изначально их ставит в неравные условия по обеспеченности культур азотом. Цифровые технологии обеспечивают автоматизацию производственных процессов при возделывании сельскохозяйственных культур. Направление новое в аграрном секторе и набирает обороты [13, 14, 15]. Цифровое земледелие (Digital Farming) применяет всю имеющуюся информацию состояния агроценозов, технических параметров механизмов для выработки инновационных технологий выращивания культур с использованием систем спутниковой навигации [16, 17, 18]. В сочетании с тематикой и управлением данными банка точное земледелие повышает точность операций и позволяет управлять вариабельностью параметров плодородия внутри поля [19, 20, 21]. В результате для агроценозов формируются оптимальные условия продуцирования. Использование космических систем в технологических процессах возделывания сельскохозяйственных культур изменяет функцию обработки почвы в формировании азотного режима [21, 22, 23].

Цель работы – изучить роль основной обработки почвы в формировании азотного режима при использовании систем спутниковой навигации в технологических процессах возделывания яровой пшеницы.

Основная часть

В задачи исследований входило: установить влияние основной обработки почвы на динамику накопления нитратного азота в период вегетации яровой пшеницы; изучить обеспеченность культурных растений $N-NO_3$ при дифференцированном внесении азотных удобрений в режиме off-line; дать агроэкономическую оценку инновационного подхода к проведению основной обработки почвы с использованием систем спутниковой навигации.

Опыты по изучению различных систем основной обработки почвы проводятся с 1977 г. В этой публикации анализируются результаты 2019–2020 гг., в сравнении с формированием азотного режима в период 1977–1991 и 2009–2011 гг. Почва опытного поля лугово-черноземная, осолодевшая, маломощная, тяжелосуглинистая. По химическому составу почва характеризуется высоким естественным плодородием. Содержание гумуса в слое 0–30 см составляет 7,96 %, актуальная кислотность 6,9 % ед.рН. Содержание подвижного фосфора (120–140 мг/кг почвы), определённого по методу Чирикова, и обменного калия (124–175 мг/кг почвы) в пахотном слое характеризуется как повышенное и очень высокое, что обеспечивает получение хорошего урожая зерновых культур, даже не применяя фосфорных и калийных удобрений.

Погодные условия 2019 г. сформировались благоприятными для выращивания яровой пшеницы. Сумма активных температур составила 2180 °С, количество осадков за вегетационный период – 324 мм, ГТК равнялся 1,49. 2020 г. был менее благоприятным, так как при сумме активных температур 2463 °С и 226 мм осадков ГТК составил 0,92. Нитратный азот определяли по Грандваль-Ляжу перед посевом, в фазе кущения – выход в трубку, перед уборкой яровой пшеницы по слоям 0–10, 10–20, 20–40 см, ГОСТ 27894.4-88. Урожай яровой пшеницы учитывали прямым комбайнированием «SAMPO 500» в 3-кратной повторности с пересчетом на 100%-ную чистоту и 14%-ную влажность. Экономическую эффективность обработки почвы и уровня минерального питания рассчитывали по общепринятой методике. Математическую обработку полученных данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием программных продуктов «Oda 1», «Oda 2», разработанных на кафедре ЭМ и ВТ ГАУ Северного Зауралья.

Азотный режим изучали в вариантах систем основной обработки почвы зернового с занятым паром севооборота: отвальная на глубину 25–27 см под однолетние травы, во втором и третьем поле – под яровую пшеницу на глубину 20–22 см плугом ПЛН (контроль). Дифференцированная обработка: отвальная под однолетние травы на глубину 25–27 см, мелкая обработка на глубину 10–12 см KOS под яровую пшеницу во втором и третьем поле. Безотвальная обработка: глубокое рыхление на 45 см чизельным плугом ПЧН-2,3 под однолетние травы и мелкая на 10–12 см культиватором KOS под яровую пшеницу во 2-м и 3-м поле. «Нулевая» – без основной обработки почвы (прямой посев).

В опытах, проведенных нами ранее, система основной обработки почвы без оборота пласта снижала накопление нитратного азота в слое 0–40 см до 4,7–6,1 мг/кг почвы до внесения минеральных удобрений перед посевом яровой пшеницы (табл. 1).

Таблица 1. Содержание нитратного азота в почве в зависимости от систем основной обработки почвы (среднее за 1978–1983 гг.), мг/кг

Система основной обработки почвы	До внесения удобрений			В фазе кущения пшеницы после внесения N_{60}		
	0...20	20...40	0...40	0...20	20...40	0...40
Отвальная	10,1	5,7	7,9	16,6	6,9	11,8
Дифференцированная	11,8	5,8	8,8	15,2	7,7	11,5
Безотвальная	8,0	4,1	6,1	10,8	5,0	7,9
Без основной обработки	6,3	3,0	4,7	10,1	4,2	7,2
НСР ₀₅	1,8	1,2	1,5	2,3	1,7	1,9

Ежегодная отвальная обработка и дифференцированная (с отвальной обработкой под однолетние травы и безотвальной под яровую пшеницу и ячмень) к посеву зерновых до внесения азотных удобрений способствовали увеличению содержания $N-NO_3$ в слое 0–40 см до 7,9–8,8 мг/кг почвы. Это также соответствовало низкому уровню содержания нитратного азота. Однако, эти системы основной обработки почвы обеспечивали его накопление в слое 0–20 см до 10,1 и 11,8 мг/кг – среднего уровня содержания. Одним из основных источников пополнения почв азотной пищей для растений выступает внесение минеральных удобрений. Врезание перед посевом яровой пшеницы аммиачной селитры 60 кг/га д.в. способствовало увеличению содержания нитратного азота в слое почвы 0–20 см к фазе кушение – выход в трубку до уровня высокой обеспеченности растений 15,2–16,6 мг/кг почвы на вариантах отвальной и дифференцированной систем основной обработки. Преимущество этих обработок по содержанию $N-NO_3$ отмечено и в слое 0–40 см – 11,5 и 11,8 мг/кг почвы. Рост содержания нитратного азота после применения минеральных удобрений отмечен на безотвально обработанном поле и без основной обработки в слое 0–20 см, но только до среднего уровня обеспеченности – 10,1–10,8 и низкого – в слое 0–40 см 7,2–7,9 мг/кг.

Таким образом, в вариантах отвальной и дифференцированной основной обработки формировался более благоприятный азотный режим почвы для культурных растений, по сравнению с безотвальной и «нулевой». В этих вариантах основной обработкой почвы зафиксировано снижение величины урожая яровой пшеницы на 0,30 и 0,95 т/га при абсолютных значениях 3,45 и 2,82 т/га соответственно. По вспашке и дифференцированной (отвальная под горох с овсом на сенаже, и безотвальная под зерновые культуры) обработкам урожайность яровой пшеницы была одинаковой – 3,77 и 3,78 т/га. Расчеты показали, что по изучаемым системам основной обработки почвы между урожайностью яровой пшеницы и содержанием нитратного азота в пахотном слое была средняя теснота связи (0,472). Согласно коэффициенту детерминации, нитратный азот в фазе кушение – выход в трубку определял величину урожайности яровой пшеницы всего лишь на 22,3%.

По многим водно-физическим свойствам (содержание продуктивной влаги, интенсивность испарения с поверхности поля, структура почвы, её водопрочность и др.) почвы, обработанные без оборота пласта, имеют преимущества перед вспашкой [24, 25].

Эффективность положительного влияния ресурсосберегающих систем основной обработки почвы будет более действенной, если создать внутриверхневую выравненность по агрохимическим показателям почвенного плодородия, так как на отдельных участках они могут быть ограничивающим фактором получения хороших урожаев. В системе точного земледелия предлагается перейти на дифференцированное внесение минеральных удобрений с учётом содержания элементов питания по элементарным участкам (в опытах – по вариантам обработки и повторностям). Пространственная неоднородность полей по почвенному плодородию требует иного подхода к составлению агрохимических картограмм и их дальнейшего предназначения. Алгоритм управления производственными процессами агроценозов в режиме off-line предусматривает детальное агрохимическое обследование почвы поля. Для этого создаётся картосхема с элементарными участками, которые фиксируются в географических координатах (рис. 1).

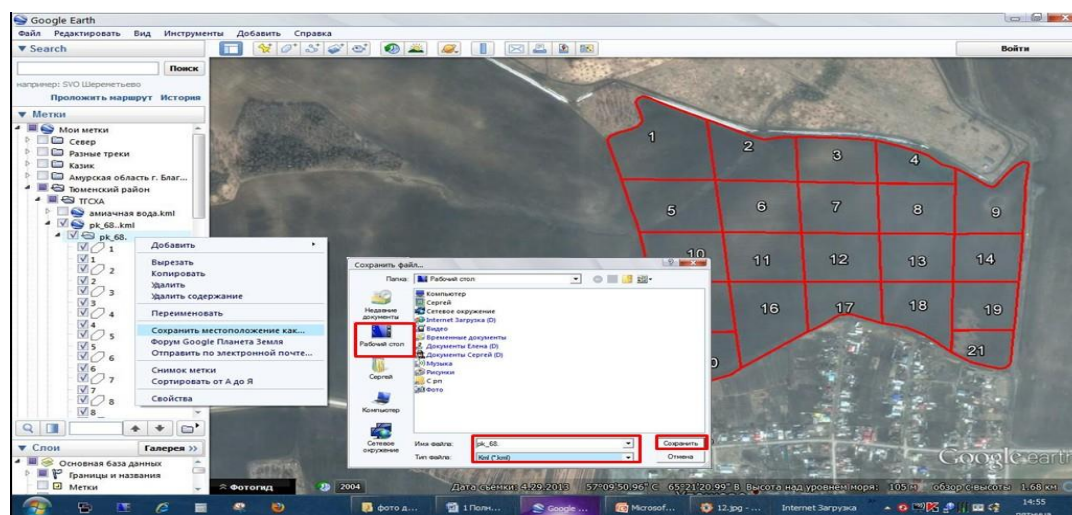


Рис. 1. Картосхема с элементарными участками.

Отбор почвенных проб проводили автоматически пробоотборником конструкции ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья (г. Тюмень), позволяющим отбирать смешанную пробу в слое 0–40 см, со временем отбора 4–7 секунд на 1 пробу в зависимости от плотности почвы. Почвенные пробы отбирали

мобильным комплексом на базе автомобиля внедорожника УАЗ-23632. Полученные данные содержания элементов питания не усредняются в среднем по полям севооборота, а учитываются для внесения минеральных удобрений по микроучасткам. Агрохимическая картограмма в цветовой гамме с фактическими данными нитратного азота составляется по элементарным участкам (рис. 2).

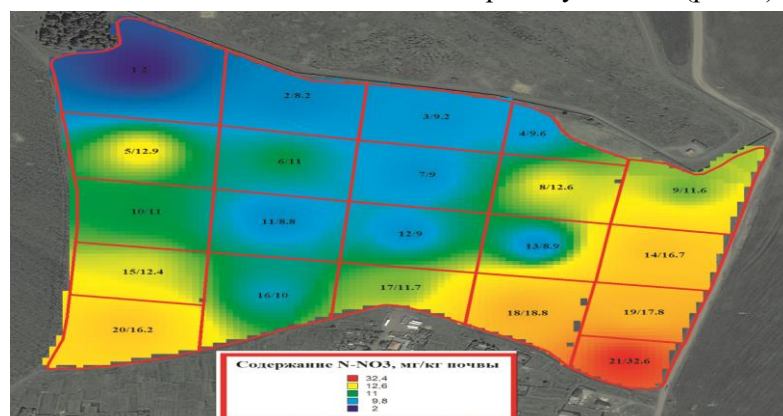


Рис. 2. Картограмма содержания нитратного азота в почве, мг/кг

После создания электронной карты опытного поля, его агрохимического обследования составляется карта задания для дифференцированного внесения удобрений, которая экспортируется механизатору в бортовой навигационный компьютер (БНК) трактора (рис. 3).



Рис. 3. Карта задания дифференцированного внесения удобрений.

Подобраны исполняющие механизмы, установленные на сеялку СКП-2,1Л: центральный блок управления, датчик определения перемещения рычага редуктора, приёмник навигационных спутниковых сигналов и исполняющий механизм (редукторный электромотор или линейный электроактуатор), жгут связи и управления. Дифференцированное внесение азотных удобрений перед посевом зерновых культур выполняли в автоматическом режиме при движении посевного агрегата по делянкам опыта. Приёмник навигационных сигналов передаёт сигнал о местоположении агрегата на поле бортовому навигационному компьютеру, содержащего в себе электронную карту задания. Установленный в кабине трактора БНК, обработав информацию, подаёт сигнал о заезде в следующий элементарный участок (повторность опыта). Блок управления бортового навигационного компьютера передает задание линейному актуатору размер выхода (закрытия) рабочей части катушки для внесения аммиачной селитры согласно карте задания. Этот процесс обеспечивает дифференцированное внесение удобрений с учетом содержания нитратного азота в почве и планируемой урожайности культуры по повторностям и вариантам опыта.

Дифференцированное внесение азотных удобрений в режиме off-line с использованием систем спутниковой навигации по вариантам изучаемых систем основной обработки почвы способствовало снижению пространственной вариабельности N-NO₃ уже в период посева яровой пшеницы (табл. 2). Колебания содержания нитратного азота до внесения минеральных удобрений по вариантам опыта составляли 3,6–29,0 %. Применение аммиачной селитры дифференцированно с использованием систем спутниковой навигации в режиме off-line позволило нивелировать пространственную пестроту N-NO₃ по изучаемым системам основной обработки почвы до 2,9–21,2 % с абсолютным его содержанием в слое 0–30 см 8,2–10,4 мг/кг.

Таблица 2. Содержание нитратного азота в слое почвы 0–30 см в зависимости от основной обработки почвы при дифференцированном внесении минеральных удобрений (среднее за 2009–2011 и 2019–2020 гг. Данные в таблице средние за 5 лет), мг/кг

Система обработки почвы, глубина	Сроки отбора почвенных образцов		
	перед посевом после внесения удобрений	кущение – выход в трубку	перед уборкой
Отвальная 20–22 см	10,1	10,2	6,0
Дифференцированная	8,2	11,9	5,8
Безотвальная: чизельная под горох с овсом на 45 см; мелкая под пшеницу на 10–12 см	10,4	11,9	7,3
Без основной обработки	9,1	12,7	6,6
НСР ₀₅	1,2	1,4	1,0

В период роста и развития яровой пшеницы в почве протекают два взаимоисключающих процесса накопление нитратного азота вследствие нитрификации и потребление его культурными растениями. Пространственная вариабельность содержания нитратного азота в фазе кущение-выход в трубку продолжала снижаться до 1,4–19,7 %, или на 2,2–9,3 % относительно периода до внесения удобрений. При этом явно просматривается закономерность увеличения содержания нитратного азота по вариантам обработки почвы без оборота пласта. В важный период для яровой пшеницы, когда идет закладка колоса, обеспеченность культурных растений $N-NO_3$ во всех изучаемых вариантах основной обработки почвы соответствовала среднему уровню 10,2–12,7 мг/кг. К уборке яровой пшеницы нитратного азота оставалось 5,8–7,3 мг/кг с его пространственной пестротой 9,6–20,6 %.

Инновационные технологии внесения минеральных удобрений с использованием систем спутниковой навигации решали вопросы равномерного формирования азотного режима по различным системам основной обработки почвы. Ресурсосберегающие системы основной обработки почвы, имея преимущество перед традиционной вспашкой по формированию водно-физических свойств и при снижении пространственной вариабельности содержания нитратного азота в пахотном слое, становятся более выгодными для продюцирования яровой пшеницы. Урожайность яровой пшеницы по дифференцированно обработанной почве (отвально – под однолетние травы, культивация KOS под зерновые на глубину 10–12 см) в среднем за годы исследований составила 3,63 т/га и превышала таковую по вспашке на 0,07 т/га, а рентабельность производства зерна – на 7,4 % (табл. 3). Оптимизация азотного питания при дифференцированном внесении минеральных удобрений по безотвальной мелкой обработке с чизелеванием на глубину 45 см под однолетние травы на сенаж и в варианте без основной обработки почвы позволила получить наибольшую урожайность яровой пшеницы – 4,02–4,03 т/га.

Таблица 3. Экономическая эффективность возделывания яровой пшеницы при различных системах основной обработки с дифференцированным внесением минеральных удобрений (среднее за 2009–2011 и 2019–2020 гг.)

Система основной обработки почвы	Урожайность, т/га	Прямые затраты, руб/т	Прибыль, руб/га	Себестоимость, руб/т	Рентабельность, %
Отвальная на 20–22 см (контроль)	3,56	26446	2034	7428	27,4
Дифференцированная: отвальная на 22–25 под однолетние травы, культивация на 10–12 см под зерновые	3,63	25556	3484	7040	49,5
Безотвальная: чизельная под однолетние травы на 45 см; мелкая 2 года под зерновые на 10–12 см	4,02	25217	6943	6273	110,1
Без основной обработки почвы	4,03	25312	6928	6281	110,3
НСР ₀₅	0,27				

В структуре затрат по ресурсосберегающим системам основной обработки почвы азотные удобрения занимали до 10 %, стоимость которых превышала по сравнению с отвальной обработкой на 18–504 руб/га. Затраты же на выполнение основной обработки почвы снижались относительно вспашки на 1247–1628 руб/га. При цене реализации яровой пшеницы 8000 руб/т (в ценах 2019–2020 гг.) получена наибольшая чистая прибыль 6928–6943 руб/га на вариантах без основной обработки почвы и при чизелевании под однолетние травы на 45 см, с мелкой на 10–12 см под зерновые. Несмотря на увеличение издержек на применение азотных удобрений, дифференцированное их внесение с использованием систем спутниковой навигации и снижение затрат на проведение обработки почвы без оборота пласта, производство яровой пшеницы было более рентабельным на данных вариантах – 110,1–110,3 %, чем при отвальной обработке.

Таким образом, при безотвальной и «нулевой» обработках почвы природные процессы накопления нитратного азота протекали менее интенсивно, чем при отвальной и дифференцированных обработках. В вариантах обработки почвы без оборота пласта запасы $N-NO_3$ в слое 0–20 см до внесения удобрений были низкими 6,3–8,0 мг/кг, а по вспашке и дифференцированной обработке – средними 10,1–11,8 мг/кг.

Традиционный способ внесения минеральных удобрений усредненной нормой не устранял пространственной вариабельности содержания нитратного азота по изучаемым системам основной обработки почвы. В фазе кущения яровой пшеницы на отвально и дифференцированно обработанных полях в слое 0–20 см содержание $N-NO_3$ составило 15,2–16,6 мг/кг, что соответствовало высокой обеспеченности растений. На безотвально обработанных и вариантах без основной обработки почвы растения имели только среднюю обеспеченность азотом в нитратной форме – 10,1–10,8 мг/кг.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений с учетом содержания нитратного азота по вариантам основной обработки почвы снижало пространственную пестроту его наличия на 7,8 % перед посевом яровой пшеницы, а к фазе кушение – выход в трубку – на 9,3 %, но с преимуществом накопления N-NO₃ по ресурсосберегающим обработкам: 11,9–12,7 мг/кг почвы.

Оптимизация минерального питания при дифференцированном внесении азотных удобрений с использованием систем спутниковой навигации позволила получить наибольшую урожайность яровой пшеницы 3,63–4,03 т/га по изучаемым обработкам почвы без оборота пласта. Эффективность ресурсосберегающей основной обработки почвы повышается в системе точного земледелия при внесении минеральных удобрений с использованием систем спутниковой навигации.

Полученное зерно здесь имело низкую себестоимость 6273–7040 руб/т при более высокой рентабельности его производства – 49,5–110,3 %, по сравнению с отвальной обработкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вильямс, В. Р. Собрание сочинений. Утрата почвой условия плодородия и система его восстановления / В. Р. Вильямс. – М.: Московский рабочий, 1948. – С. 180–281.
2. Мальцев, Т. С. Вопросы земледелия / Т. С. Мальцев. – М., 1955. – 432 с.
3. Власенко, А. Н. Возможности экологизации технологий в земледелии Сибири / А. Н. Власенко, Н. Г. Власенко // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 9. – С. 21–24.
4. Абрамов, Н. В. Влияние дифференцированной основной обработки почвы на урожайность яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья / А. Н. Абрамов, С. А. Семизоров // Научные инновации – аграрному производству: Междунар. науч.-практ. конф. – Омск: ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П. А. Столыпина, 2013. – С. 108–110.
5. Гамзиков, Г. П. Агрохимия азота в агроценозах / Г. П. Гамзиков. – Новосибирск, 2013. – 790 с.
6. Sherstobitov, S. The results of the differential mineral fertilization in the automatic mode according to the task map / S. Sherstobitov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Workshop «Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering – MIP: Engineering – 2019», Krasnoyarsk, 04–06 апреля 2019 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. – P. 62011. – DOI 10.1088/1757-899X/537/6/062011.
7. Ермохин, Ю. И. Метод «испрод» оптимальных уровней содержания и ионного равновесия в почве и растениях. Агроарию быть / Ю. И. Ермохин. – Омск: ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П. А. Столыпина, 2021. – 420 с.
8. Демина, О. Н. Влияние минеральных удобрений на нитратный режим и нитрификацию чернозема выщелоченного в Северном Зауралье / О. Н. Демина, Д. И. Еремин // Агрохимический вестник. – 2021. – № 2. С. 10–14. doi: 10.24412/1029-2551-2021-2-002.
9. Власенко, А. Н. Система no-till на черноземных почвах Северной лесостепи Западной Сибири / А. Н. Власенко, Н. Г. Власенко // Плодородие. – 2021. – № 3 (120). – С. 81–83. doi: 10.25680/S19948603.2021.120.15.
10. Spatial distribution prediction of agro-ecological parameter using kriging / V. Yakushev, A. Petrushin, O. Mitrofanova [et al.] // E3S Web of Conferences: Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019, Moscow, 20–22 ноября 2019 года. – Moscow: EDP Sciences, 2020. – P. 06030. – DOI 10.1051/e3sconf/202016406030.
11. Сдобников, С. С. Вопросы земледелия в целинном крае / С. С. Сдобников. – М.: Колос, 1964. – 256 с.
12. Перфильев, Н. В. Эффективность систем основной обработки темно-серой лесной почвы при возделывании ячменя / Н. В. Перфильев, О. А. Вьюшина, А. Н. Власенко // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2021. – Т. 51. – № 1. – С. 11–17. doi: 10.26898/0370-8799-2021-1-1.
13. Цифровое земледелие / В. И. Кирюшин, А. Л. Иванов, И. С. Козубенко [и др.] // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2018. – № 5. – С. 4–9.
14. Петриков, А. В. Использование инновационных технологий различными категориями хозяйств и совершенствование научно-технологической политики в сельском хозяйстве / А. В. Петриков // АПК: экономика, управление. – 2018. – № 9. – С. 4–11.
15. Proceedings of the International Conference on Sustainable Development of Cross-Border Regions: Economic, Social and Security Challenges (ICSDCBR 2019) : The conference proceedings, Bamaul, 19–20 апреля 2019 года. – Bamaul: Atlantis Press, 2019. – 996 p.
16. Bauer V. P., Podvoisky G. L., Kotova N. E. Adaptation Strategies of the U.S. Companies to the Digitalization of Production // The world of new economy. 2018. Vol. 12. No. 2. P. 78–89. (In Russ.) <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2018-12-2-78-89>.
17. Якушев, В. П. Вариограммный анализ для обоснования технологий точного земледелия / В. П. Якушев, Е. Е. Жуковский, В. В. Якушев // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – № 3. – С. 16–20.
18. Афанасьев, Р. А. Агрохимические принципы точного земледелия / Р. А. Афанасьев // Геоинформационные технологии в сельском хозяйстве: Сб. статей. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2013. – С. 3–7.
19. Информационное обеспечение современных систем земледелия в России / В. П. Якушев, В. В. Якушев, С. Ю. Блохина [и др.] // Вестник Российской академии наук. – 2021. – Т. 91. – № 8. – С. 755–768. doi: 10.31857/S0869587321080090.
20. Application of photometry for crops online diagnostics of the nitrogen nutrition of plants / O. A. Shchuklina, N. N. Langaeva, I. N. Voronchikhina