

Разработка технических средств мониторинга плодородия почв с исследованием эффективности дифференцированного внесения удобрений при точном земледелии

***В.А. Милюткин**, д.т.н., профессор, **М.А. Канаев**, к.т.н.,
ФГБОУ ВО Самарская ГСХА*

Одной из важнейших задач на сегодняшний день, стоящих перед сельхозтоваропроизводителем, является обеспечение страны отечественным продовольствием с высокими показателями

качества производимой продукции и экономически эффективным производством [1–3].

Чаще всего в хозяйствах внесение удобрений производится средней дозой по всему полю, в результате чего часть растений недополучает оптимальную дозу для роста и развития, а часть перенасыщается удобрениями, снижая их эффективность с

повышением количества нитратов в растениях. Всё это стимулирует сельхозтоваропроизводителей к использованию систем точного земледелия, контроля транспорта и т.п. В большинстве случаев данные системы ввозятся из-за границы. Это в условиях кризиса и антироссийских санкций экономически нецелесообразно, ввиду постоянно изменяющихся курсов валют сроки окупаемости данных систем резко возрастают. Очевидно, что необходимо создание отечественной системы дифференцированного внесения удобрений, с минимальной зависимостью от зарубежных партнёров [4–6].

На протяжении нескольких лет в Самарской ГСХА проводится исследование по технологии дифференцированного внесения минеральных удобрений в зависимости от мощности гумусового горизонта на полях при помощи специально разработанных технических средств. Основой для определения мощности гумусового горизонта служит дисковый твердомер [7, 8], непрерывно определяющий твёрдость почвы перед посевом, затем по рассчитанным зависимостям определяется мощность гумусового горизонта по всей посевной площади. Для определения эффективности дифференцированного внесения минеральных удобрений в зависимости от мощности гумусового горизонта был заложен опыт на посевах яровой пшеницы.

Материал и методы исследования. Опытный участок расположен в центральной зоне Самарской области в южной части лесостепи Заволжья. Рельеф опытного участка выравненный, облесённость окружающей территории – 8–10%. По южной границе участка имеются старые лесные полосы. Почва участка – чернозём типичный среднесуглинистый. Этот подтип чернозёмной почвы занимает свыше 20% всей территории Самарской области и преобладает в лесостепной зоне Заволжья. Данная почва имеет реакцию среды (рН), близкую к нейтральной, среднее содержание гумуса, сравнительно большую поглощательную способность, повышенную обеспеченность легкогидролизуемым азотом (8,9–9,8 мг/100 г почвы), среднюю обеспеченность по содержанию фосфора (7,6–7,8 мг/100 г почвы) и высокую – по содержанию обменного калия (14,8–15,2 мм/100 г почвы). Эта почва по своим физико-механическим и водным свойствам вполне отвечает требованиям успешного возделывания ведущих полевых культур.

Метеорологические условия вегетационного периода (май – 10 августа) были благоприятными для роста и развития яровой пшеницы. За этот период выпало 187 мм осадков при средней многолетней норме 134 мм, т.е. на 40% больше. Влажность почвы перед посевом в горизонте 0–100 см составила 29,1%. Коэффициент завядания был равен 16,1%. Доступная влага – 13%, объёмная масса почвы в горизонте 0–100 см – 1,2 г/см³. Запасы продуктивной влаги составили 156 мм/га (13% × 1,2 г/см³ × 10).

Среднесуточная температура воздуха была близкой к норме. Исключение составляла первая декада июня, когда средняя температура воздуха была на 5,3°C ниже среднееголетней. Сумма положительных температур за период вегетации пшеницы – 1861°C при норме 1840°C. Гидротермический коэффициент за период вегетации составил 1,0 ((187 мм × 10)/1861°C) при среднееголетней 0,72 ((134 мм × 10)/1840°C), т.е. условия увлажнения были благоприятные.

С помощью разработанного твердомера (рис.) были определены деланки с мощностью гумусового горизонта 30–50 см и 51–70 см [9]. Отобраны почвенные пробы из горизонта 0–30 см на содержание легкогидролизуемого азота, подвижного фосфора и обменного калия.



Рис. – Экспериментальный твердомер

Схема опыта включала пять вариантов:

- I – мощность гумусового горизонта 30–50 см, без применения удобрений (контроль);
- II – мощность гумусового горизонта 30–50 см и применение удобрений $N_{51}P_{35}$;
- III – мощность гумусового горизонта 51–70 см, без применения удобрений (контроль);
- IV – мощность гумусового горизонта 51–70 см + $N_{42}P_{30}$;
- V – мощность гумусового горизонта не определялась, применение удобрений $N_{47}P_{33}$.

Для исследования была использована экспериментальная сеялка DMC-Primera 300 T, изготовленная фирмой «AMAZONE-WERKE» (Германия). Она создана на базе стандартной сеялки DMC-PRIMERA 301 и имеет дополнительное оборудование (бункер и рабочие органы) для внесения удобрений одновременно с посевом.

Доза внесения была определена как средняя по двум горизонтам. Повторение четырёхкратное, учётная площадь деланки = 100 м². Посев произведён 5 мая, уборка урожая – 10 августа комбайном «Сампо», сорт пшеницы Кинельская 60.

Доза внесения удобрений определена на получение планируемого урожая 2,15 т/га зерна, исходя из среднееголетней влагообеспеченности:

$$\text{ДВУ}_{\text{т/га}} = (140 \text{ мм} + 138 \text{ мм} \times 0,7) / (110 \text{ мм/т зерна}) = 237 \text{ мм} / 110 \text{ мм/т} = 2,15 \text{ т зерна},$$

где 140 мм – запасы продуктивной влаги весной в период посева (среднепогодное);

138 мм – сумма осадков за период вегетации яровой пшеницы (среднепогодное);

0,7 – коэффициент использования летних осадков;

110 мм/т – коэффициент водопотребления.

За счёт лучшей влагообеспеченности расчётная урожайность зерна составила 2,61 т/га.

Расчётная урожайность по обеспеченности почвы питательными веществами в зависимости от мощности гумусового горизонта по азоту составляет 1,59–1,69 т/га, по фосфору – 1,57–1,65 т/га и по калию – 3,63–3,77 т/га, т.е. фактором, ограничивающим получение планируемого урожая, является содержание доступных форм азота и фосфора (табл. 1).

Для получения планируемого урожая (2,15 т/га) на участке с мощностью гумусового горизонта 30–50 см нужно внести удобрение из расчёта $N_{51}P_{33}$ (табл. 2), а на делянках с более мощным гумусовым горизонтом – $N_{42}P_{30}$ (табл. 3).

Для сбалансирования питательных веществ по фосфору необходимо внести нитроаммофоса 152 кг/га (35 кг / 23%) × 100 и для обеспечения азотом ещё и аммиачную селитру 47 кг/га (51–35 кг) / 34 × 100, или всего туков необходимо внести 199 кг/га.

Для внесения 30 кг действующего вещества фосфора, нитроаммофоса потребуется 130 кг (30 кг / 23%) × 100. Аммиачной селитры нужно внести 35 кг/га (42–30 кг) / 34%. Норма внесения туков – 165 кг/га. На хозяйственном варианте вносится средняя доза – $N_{47}P_{33}$. Нитроаммофоса нужно 143 кг и аммиачной селитры – 41 кг/га.

Результаты исследования. Дифференцированное внесение минеральных удобрений было высокоэффективным (табл. 4).

Несмотря на разные дозы внесения минеральных удобрений, урожайность при дифференцированном внесении была близкой – 2,71 т/га и 2,85 т/га. Разница в урожайности находилась в пределах ошибки опыта.

При дозе $N_{51}P_{35}$, т.е. на делянках с мощностью гумусового горизонта 30–50 см, было получено 2,71 т зерна с 1 га, а в контроле – 1,74 т/га. Прибавка урожая от внесения удобрений составляла 56%, или

1. Расчётная урожайность зерна яровой пшеницы по обеспеченности питательными веществами

Мощность гумусового горизонта, см	Содержание элементов питания, мг/100 г			Расчётная урожайность зерна, т/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	по азоту	по фосфору	по калию
30–50	8,9	7,6	14,8	1,59	1,56	3,63
51–70	9,5	8,1	16,2	1,69	1,65	3,97

2. Расчёт доз удобрений на планируемый урожай по среднепогодной влагообеспеченности 2,15 т/га, мощность гумусового горизонта 30–50 см

Показатель	Элемент питания		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос питательных веществ на 1 т зерна, кг	41,9	11,5	17,1
Вынос питательных веществ с урожаем, кг/га	90	25	37
Содержание в пахотном горизонте, мг/100 г почвы	8,9	7,6	14,8
Содержание в пахотном горизонте, кг/га	267	228	444
Коэффициент использования элементов питания из почвы, %	25	8	14
Возможное использование из почвы, кг/га	67	18	62
Необходимо усвоить из удобрений, кг/га	23	7	–
Коэффициент использования элементов питания из удобрений, %	45	20	–
Требуется внести с минеральными удобрениями, кг/га	51	35	–

3. Расчёт доз удобрений на планируемый урожай по среднепогодной влагообеспеченности 2,15 т/га, мощность гумусового горизонта 50–70 см

Показатель	Элемент питания		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос питательных веществ на 1 т. зерна, кг	41,9	11,5	17,1
Вынос питательных веществ с урожаем, кг/га	90	25	37
Содержание в пахотном горизонте, мг/100 г почвы	9,5	8,1	16,2
Содержание в пахотном горизонте, кг/га	28,5	2,43	4,86
Коэффициент использования элементов питания из почвы, %	25	8	14
Возможное использование из почвы, кг/га	7,1	19	68
Необходимо усвоить из удобрений, кг/га	19	6	–
Коэффициент использования элементов питания из удобрений, %	45	20	–
Требуется внести с минеральными удобрениями, кг/га	42	30	–

4. Урожайность зерна яровой пшеницы

Вариант	Мощность гумусового горизонта, см	Вариант опыта	Урожайность, т/га	Прибавка урожая		
				в % к контролю	т/га	уа 1 кг д.в. удобрений, кг
I	30–50	без удобрений (контроль)	1,74	100	–	–
II	30–50	N ₅₁ P ₃₅	2,71	156	0,97	11
III	51–70	без удобрений	1,92	100	–	–
IV	51–70	N ₄₂ P ₃₀	2,85	148	0,93	13
V	30–70	N ₄₇ P ₃₃	2,25	123	0,42	5

5. Анализ структуры урожая

Вариант опыта	Дозы удобрений	Высота растений, см	Длина колоса, см	Масса колоса, г	Масса зерна в колосе, г	Число зёрен в колосе, шт.	Число колосьев на 1 м ²	Масса 1000 семян, г	Биологическая урожайность	
									г/м ²	%
I	–	63	5,4	0,83	0,53	20	385	26,5	204	100
II	N ₅₁ P ₃₅	68	5,6	0,95	0,66	21,3	445	31,0	293	144
III	–	63	5,3	0,82	0,54	20,3	382	26,7	207	100
IV	N ₄₂ P ₃₀	70	5,7	1,07	0,70	22,9	466	30,5	326	157
V	N ₄₇ P ₃₃	66	5,5	0,91	0,64	21,0	401	30,4	257	125

0,97 т зерна с 1 га и являлась достоверной. Оплата 1 кг действующего вещества удобрений прибавкой урожая была равна 11 кг зерна.

На делянках с более мощным гумусовым горизонтом на удобренном фоне (N₄₂P₃₀) урожай зерна составлял 2,85 т/га и превышал контроль (без удобрений) на 48%. За счёт удобрений получено дополнительно 0,93 т/га зерна. Оплата 1 кг питательных веществ была равна 13 кг зерна.

Самый низкий урожай зерна был получен при внесении усреднённой (хозяйственной) дозы (N₄₇P₃₃) на делянках с мощностью гумусового горизонта от 30 до 70 см. Здесь собрано с каждого гектара 2,25 т зерна. Прибавка урожая по сравнению с усреднённым контролем (1,83 т/га) составляла 23%.

По сравнению с дифференцированным внесением удобрений на хозяйственном варианте произошло снижение урожая на 17–21%. Здесь была и самая низкая оплата 1 кг питательных веществ – только 5 кг зерна, а при дифференцированном внесении удобрений – 11 и 13 кг зерна. Данные урожайности подтверждаются анализом структуры урожая (табл. 5).

Высота растений на контроле была 63 см, а на удобренных вариантах с дифференцированным внесением удобрений превосходила на 5–7 см. Длина и масса колоса наибольшей была на этих же вариантах. Дифференцированное внесение минеральных удобрений повысило озернёность колоса с 20 зёрен до 21,3 и 22,9 шт. Масса зерна в колосе на контроле была равна 0,53–0,54 г, на варианте с усреднённой дозой (N₄₇P₃₃) – 0,64 г, а при дифференцированных дозах 0,66 и 0,70 г. Число колосьев на единице площади по вариантам опыта значительно различалось. На контроле их число составляло 382–385 шт. на м², резко увеличилось число колосоносных стеблей при дифференцированном применении удобрений. На варианте с дозой N₅₁P₃₅ их было 445, с дозой N₄₂P₃₀ – 466, а на хозяйственном

варианте – только 401 колосоносный стебель на 1 м². Внесение удобрений значительно повысило крупность зерна, на контроле масса 1000 зёрен составила 26,6 г, а на удобренных вариантах – 30,4–31,0 г, т.е. увеличилась на 14 и 16%.

Биологическая урожайность была выше хозяйственной (обмолот комбайном), но зависимость по вариантам была аналогичной.

Вывод. Применение дифференцированного внесения удобрений при возделывании яровой пшеницы позволяет создавать наиболее благоприятные условия для роста и развития растений и рационального использовать дорогостоящие минеральные удобрения.

Литература

1. Милюткин В.А. Мировое развитие сберегающих технологий и перспективы в Российской Федерации // *Аграрная Россия*. 2002. № 6. С. 20.
2. Милюткин В.А., Орлов В.В., Кнурова Г.В. Эффективные технологические приёмы в земледелии, обеспечивающие оптимальное влагонакопление в почве и влагопотребление // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2015. № 6 (56). С. 69–72.
3. Милюткин В.А., Казаков Г.И., Цирулёв А.П. и др. Повышение продуктивности сельхозугодий внутрипочвенным внесением основных видов удобрений при точном (координатном) земледелии: монография. Самара: РИЦ СГСХА, 2013. 269 с.
4. Милюткин В.А., Несмеянова Н.И., Беляев М.А. Эффективность ресурсосберегающих элементов применения удобрений при внедрении прямого посева // *Агро XXI*. 2007. № 7–9. С. 9–13.
5. Милюткин В.А., Канаев М.А. Разработка машин для подпочвенного внесения удобрений на основе агробиологических характеристик растений // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. Самара, 2012. Вып. 3. С. 9–13.
6. Милюткин В.А. Управление производством сельскохозяйственных культур созданием оптимальных параметров влажности и температуры почвы / В.А. Милюткин, М.А. Канаев, И.В. Бородулин [и др.] // *Harvard Journal of Fundamental and Applied Studies*. 2015. № 1 (7).
7. Милюткин В.А., Канаев М.А. Новый способ дифференцированного внесения удобрений при посеве сельскохозяйственных культур // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2010. Вып. 3. С. 16–18.
8. Karlheinz К. Факторная картография полей в системе точного земледелия / К. Karlheinz, В.А. Милюткин, М.А. Канаев // *Научный обозреватель*. 2014. № 11. С. 32–34.
9. Милюткин В.А., Канаев М.А., Кузнецов М.А. Система механизации мониторинга и управления плодородием почвы в режиме on-Line // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2013. Вып. 3. С. 34–39.