

УДК: 631.84:631.816.12

## ПОВЫШЕНИЕ ОКУПАЕМОСТИ АЗОТНЫХ ПОДКОРМОК ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ОРИГИНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ИХ ОПТИМАЛЬНЫХ ДОЗ

© 2023 г. Ю. Ф. Осипов<sup>1</sup>, А. А. Новикова<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко  
350000 Краснодар, Центральная усадьба КНИИСХ, Россия

\*E-mail: Ana.nov@mail.ru

Поступила в редакцию 29.01.2022 г.

После доработки 01.09.2022 г.

Принята к публикации 14.10.2022 г.

В центральной зоне Краснодарского края РФ, на черноземе предкавказском слабовыщелоченном сверхмощном на базе Национального центра зерна им. П.П. Лукьяненко в течение более 15 лет проводили исследование новых, более эффективных способов расчета оптимальных доз азотных подкормок озимой пшеницы, отличающихся высокой окупаемостью. Методологической основой исследования было предположение о том, что при расчете оптимальных доз азотных удобрений необходимо учитывать исходный уровень эффективного плодородия почвы, состояние агрофитоценоза и планируемую урожайность. Решение поставленной задачи возможно лишь с помощью системного анализа связи урожайности озимой пшеницы с вышеуказанными факторами, построения регрессионной множественной нелинейной математической модели и математического моделирования различных ситуаций при поиске оптимальных доз подкормок. В качестве исходной информации были использованы данные, полученные в многолетних многофакторных полевых опытах, которые завершились разработкой 2-х новых способов определения оптимальных доз азотных подкормок озимых колосовых культур (первой и второй), отвечающих вышеуказанным требованиям. Приведены результаты 3-х летних полевых опытов по изучению эффективности и окупаемости азотных подкормок озимой пшеницы в зависимости от способов их расчета. Агроклиматические условия в годы проведения исследований, хотя и были различными, но в целом оказались относительно благоприятными для получения хорошего урожая озимой пшеницы. В 2015 и 2016 гг. проводили сравнительные испытания эффективности и окупаемости 2-х новых способов расчета оптимальных доз 1-й и 2-й азотных подкормок озимой пшеницы. Для сравнения были выбраны 2 известных, широко применяемых на практике, “табличных” метода (прототипы 1 и 2). В 2015 г. исследование проводили с сортом Гром (предшественник – кукуруза на зерно), в 2016 г. – с сортом Юка (предшественник – озимая пшеница). Показано, что применение оригинальных методов расчета оптимальных доз 1-й и 2-й азотных подкормок озимой пшеницы существенно повышало их эффективность и окупаемость (как 1-й, так и 2-х в сумме) по сравнению с прототипами (на 35–200%), при этом, окупаемость азотных подкормок, дозы которых рассчитаны по прототипам, составляла ~12–14 кг/кг (в среднем за 2 года), а окупаемость подкормок, рассчитанных по оригинальным методикам, – 22–24 кг/кг. В 2021 г. (предшественник – соя, сорта Адель и Баграт) изучили эффективность и окупаемость азотных подкормок при расчете их доз только по оригинальным методикам. Было показано, что даже при высоком уровне урожайности озимой пшеницы в контроле (~60 ц/га в среднем для обоих сортов) применение 2-х азотных подкормок, дозы которых рассчитаны по оригинальным методикам, позволило достичь урожайность озимой пшеницы 80–90 ц/га при их окупаемости ~22 кг зерна/кг д.в. удобрений.

**Ключевые слова:** озимая пшеница, урожайность, системный анализ, математическое моделирование, определение оптимальных доз азотных подкормок, эффективность и окупаемость удобрений

**DOI:** 10.31857/S000218812301009X, **EDN:** FDXDNK

### ВВЕДЕНИЕ

Эффективное применение удобрений, их высокая окупаемость очень важны как для отдельного сельскохозяйственного предприятия, так и для всего сельского хозяйства РФ в целом. В то же

время, как указано в работе [1], по этим критериям Россия существенно уступает развитым странам. Усугубляет положение значительный дисбаланс азота, фосфора и калия в почве большинства регионов [2]. В связи с этим, разработка новых,

более точных способов расчета оптимальных доз удобрений, повышающих их эффективность и окупаемость, является весьма актуальной задачей. Под эффективностью подкормок понимаем прирост урожайности озимых колосовых культур в результате их применения.

Исследование эффективности азотных подкормок озимых колосовых культур проводили в течение длительного времени – с 2006 по 2021 г. На основании результатов многолетних и многофакторных полевых опытов было установлено, что существующие способы расчета доз азотных подкормок не достаточно эффективны, т.к. не учитывают влияние ряда существенных факторов и их взаимодействий на усвоение азота и продукционный процесс.

При этом с помощью программы “Множественный нелинейный регрессионный анализ” (программа создана в лаборатории биоматематических методов в КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко (г. Краснодар) в 1996 г.) было установлено, что суммарная значимость учетных факторов, используемых при расчете дозы первой азотной подкормки озимой пшеницы по общепринятой методике [3, 4] невелика, и составляет всего 40–50%.

Исходя из этого, была поставлена задача разработать новые способы определения оптимальных доз азотных подкормок. Решение этой задачи было разбито на 2 этапа: первый – построение регрессионных нелинейных множественных моделей связи дисперсии урожайности озимой пшеницы с дисперсией наиболее существенных факторов, а именно: доз азотных подкормок, исходного эффективного плодородия почвы и состояния агрофитоценоза (АФЦ) озимой пшеницы после выхода из зимовки, уровня накопленной биомассы АФЦ и содержания в ней азота (в начале фазы стеблевания); второй этап – поиск оптимальной дозы азотных подкормок (дозы 1-й и 2-й подкормок рассчитывают отдельно) с помощью компьютерной программы “Поиск аргумента по заданной функции”, где аргумент – доза азота (в подкормке), а функция – планируемая урожайность.

Созданные математические модели имеют высокий уровень детерминации (суммарная значимость учтенных факторов составляет 80–90%) и “работают” в определенной агроклиматической зоне. Оптимальные дозы подкормки рассчитывают для каждого конкретного поля отдельно с учетом этапа развития растений, состояния АФЦ, содержания минерального азота, усвояемого фосфора, обменного калия, запасов продуктивной влаги в почве (в дальнейшем (при переходе на

другую модель) для учета влагообеспеченности АФЦ стали использовать такой фактор, как “сумма осенне-зимних осадков” в условиях конкретного года и зоны возделывания) и планируемой урожайности. При этом учитывают и фитоценологические особенности сорта, т.к. в расчет входят элементы структуры АФЦ озимой пшеницы, в которой отражаются особенности генотипа. Первоначально были использованы математические модели, где функцией была искомая доза азотной подкормки, а для ее определения применяли программу “Excel” [5, 6]. В дальнейшем, по ряду причин, стали использовать математические модели, где функцией является планируемая урожайность, а аргументами (в числе прочих) – искомые дозы азотных подкормок, которые вычисляют с помощью программы “Поиск аргумента по заданной функции”. Эти способы расчета уже применяли в ряде сельскохозяйственных предприятий Краснодарского края. В статье приведены результаты трехлетних исследований (2014/2015, 2015/2016, 2020/2021 гг.).

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые опыты размещали на экспериментальных полях Национального центра зерна им. П.П. Лукьяненко в центральной зоне Краснодарского края. Климат зоны, где проводили опыты, умеренно-континентальный, с умеренным, но не устойчивым увлажнением, почва – чернозем предкавказский слабо выщелоченный сверхмощный [7].

Опыты проведены на делянках площадью в 15–20 м<sup>2</sup> (в разные годы) в пятикратной полевой повторности, делянки располагались систематически-рэндомизированно. В качестве предшественников использовали кукурузу на зерно (2015 г.), озимую пшеницу (2016 г.) и сою (2021 г.).

С целью исключения влияния сортоспецифичности (генотипической составляющей реакции сорта на уровень азотного питания) и в связи с сортосменой (при районировании) в опытах использовали несколько сортов озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.): в 2015 г. – Гром; в 2016 г. – Юка и в 2021 г. – Баграт и Адель. Все сорта озимой пшеницы, использованные в опытах, выведены в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, они были районированы в центральной зоне Краснодарского края, обладают высокой потенциальной урожайностью (до 100 ц/га) и средней устойчивостью к экстремальным условиям среды и фитопатогенам.

В 2015 и 2016 годах эффективность новых способов расчета оптимальных доз азотных подкормок

мок изучали в сравнении с 2-мя стандартами ( $St_1$  и  $St_2$ ), где  $St_1$  – вариант опыта, в котором азотные подкормки не применяли,  $St_2$  – вариант опыта, где использовали азотные подкормки, дозы которых были рассчитаны традиционными методами (прототипы) [3, 4]. В 2021 г. использовали только  $St_1$ .

При изучении эффективности первой азотной подкормки, удобрения вносили в период начала весенней вегетации растений (конец февраля – начало марта) по следующей схеме, варианты: 1 ( $St_1$ ) – подкормку не вносили, 2 ( $St_2$ ) – подкормку вносили, ее дозу рассчитывали по прототипу 1, 3 – подкормку вносили, ее дозу рассчитывали по оригинальному методу 1.

При изучении эффективности 2-х азотных подкормок удобрения вносили по следующей схеме, варианты: 1 ( $St_1$ ) – подкормки не вносили, 2 ( $St_2$ ) – подкормки вносили (первую и вторую), расчет доз производили по прототипам 1 и 2, 3 – подкормки вносили (первую и вторую), расчет доз производили по оригинальным методам 1 и 2. При этом первую подкормку вносили как указано выше, а вторую – в фазе стеблевания (IV–V этапы органогенеза по Куперман [8]).

В качестве удобрений использовали  $N_{aa}$  (34%), АФ (12 и 50%),  $K_x$  (60%). В 2015 и 2016 гг. дозы подкормок рассчитывали как по прототипам 1 и 2, так и по оригинальным методам 1 и 2, в 2021 г. – только оригинальными методами. Остальная агротехника соответствовала рекомендациям, принятым для центральной зоны Краснодарского края.

Эффективное плодородие почвы определяли в 2-х слоях: 0–20 и 20–40 см. Нитратный азот ( $N-NO_3$ ) определяли ионометрическим методом (ГОСТ-26951-86), азот аммония ( $N-NH_4$ ) – по ГОСТ-26489-85, содержание усвояемых форм фосфора и обменного калия – по Мачигину (ГОСТ-26205-97).

Влагообеспеченность АФЦ озимой пшеницы перед расчетом дозы первой азотной подкормки определяли по сумме осенне-зимних осадков (за IX–XII и I–II месяцы), выпавших на конкретных полях института в конкретном сельскохозяйственном году (по данным метеопоста НЦЗ им. П.П. Лукьяненко).

Оценку состояния агрофитоценоза (АФЦ) озимой пшеницы проводили согласно методикам, разработанным ранее (Методики разработаны в отделе физиологии и биофизики растений КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко, Заключительный отчет “Модель сорта озимой пшеницы”, 1986 г.). В частности, определение густоты АФЦ и удель-

ной биомассы АФЦ озимой пшеницы производили на 2-х учетных площадках (по 0.25 м<sup>2</sup>) на каждой из 3-х несмежных полевых повторностей. Определение густоты АФЦ (стеблей/м<sup>2</sup>) перед 1-й азотной подкормкой озимой пшеницы проводили в начале весеннего отрастания растений (III–IV этап органогенеза) путем их выкапывания и подсчета общего количества стеблей (длиной >1 см) и в среднем в варианте опыта для каждого из сортов.

Определение удельной биомассы АФЦ (г/м<sup>2</sup>) перед 2-й азотной подкормкой озимой пшеницы проводили в начале стеблевания растений (IV–V этап органогенеза) путем выкапывания растений с учетных площадок, отделением надземной биомассы от подземной (отделением надземной части каждого стебля от подземной проводили по границе между зеленой и белой частью стебля) и взвешиванием полученной биомассы с дальнейшим расчетом величины удельной биомассы АФЦ в среднем в варианте. Одновременно с этим проводили определение содержания общего азота в биомассе озимой пшеницы (по Кьельдалю, ГОСТ 13496.4-93). Биологическую урожайность озимой пшеницы определяли в период восковой спелости (XII этап органогенеза) путем скашивания растений на 2-х учетных площадках во всех повторностях каждого варианта, подсушивания снопов и обмолотом их на стационарной молотилке, взвешиванием зерна и расчетом средней урожайности в варианте и сорта с приведением ее к базисной влажности 14%.

В 2014/2015 сельскохозяйственном году погодные условия были благоприятными для роста и развития растений озимой пшеницы, но отличались рядом особенностей. В частности, осень выделялась ранним наступлением холодов, зима, напротив, была теплее обычного. Сумма осадков за осенне-зимний период 2014/2015 г. составила 297.8 мм, что было на 16% меньше среднемноголетней. Гидротермический режим в весенние месяцы был близок к среднемноголетним показателям, а лето (июнь) отличалось большим количеством осадков и теплой погодой. Агротехнический анализ пахотного слоя почвы перед закладкой опыта показал, что содержание нитратного азота в почве было очень низким (2.9 мг/кг), усвояемого фосфора – очень высоким (64 мг/кг), обменного калия – высоким (472 мг/кг); реакция почвенного раствора – слабокислой (рН<sub>KCl</sub> 5.3).

В 2015/2016 г. погодные условия были также благоприятными для озимой пшеницы. Осень отличалась повышенным температурным режимом и большим количеством осадков. Зима была мяг-

**Таблица 1.** Эффективность 1-й азотной подкормки озимой пшеницы при различных способах расчета ее дозы

Год	Предшественник	Сорт	Вариант, №	Основное удобрение, кг д.в./га	Подкормка, кг N/га	Урожайность, ц/га	Прибавка урожайности**		Способ расчета доз подкормок
							ц/га	%	
2015	Кукуруза на зерно	Гром	1 (St <sub>1</sub> )	N0P0K0*	0	56.0	–	–	–
			2 (St <sub>2</sub> )		35	58.6	2.6	4.6	Прототип 1
			3***		50	67.6	11.6	20.7	Оригинальный способ 1
2016	Озимая пшеница	Юка	1 (St <sub>1</sub> )	N0P0K0*	0	33.7	–	–	–
			2 (St <sub>2</sub> )		90	52.9	19.2	57.0	Прототип 1
			3		72	59.4	25.7	76.3	Оригинальный способ 1
2021	Соя	Адель	1 (St <sub>1</sub> )	N20P50K100	0	63.1	–	–	–
			3		70	79.2	16.1	25.5	Оригинальный способ 1
			1 (St <sub>1</sub> )		0	57.0	–	–	–
		3	57		78.9	21.9	38.4	Оригинальный способ 1	
		Баграт	1 (St <sub>1</sub> )		0	57.0	–	–	–
			3		57	78.9	21.9	38.4	Оригинальный способ 1

\*В эти годы основное удобрение не вносили в связи с высоким исходным содержанием в почве усвояемого фосфора и обменного калия.

\*\*По сравнению с вариантом 1 (St<sub>1</sub>).

\*\*\*Вариант 3 – оригинальный метод 1.

2015 г. – 3.6

2015 г. – 4.7

P, % 2016 г. – 4.3

HCP<sub>05</sub>, ц/га

2016 г. – 5.7

2021 г. – 4.5

2021 г. – 6.0

кой (теплее обычного). За осенне-зимний период 2015/2016 г. выпало 402 мм осадков, что на 14% больше среднесуточного показателя (353 мм). Начало весенней вегетации наступило раньше обычных сроков. Лето отличалось значительным количеством осадков в период налива зерна, что вызвало его “стекание”, ухудшение качества и некоторое снижение урожайности.

Агрохимический анализ пахотного слоя почвы перед посевом показал, что содержание нитратного азота в нем было очень низким (1.7 мг/кг); усвояемого фосфора – очень высоким (120 мг/кг), обменного калия – высоким (492 мг/кг). Реакция почвы – слабокислая (рН<sub>KCl</sub> 5.1).

В 2020/2021 г. метеорологические условия в целом оказались благоприятными для формирования высокой урожайности озимой пшеницы. Осень характеризовалась повышенным температурным режимом (15.4°C при среднесуточном уровне 11.7°C) и недостаточным количеством

осадков. Зима была теплой со среднесуточной температурой 2.2°C. Количество осадков за осенне-зимний период было ниже среднесуточного уровня на 15% и составило 298.3 мм. В весенне-летние месяцы гидротермический режим был близок к оптимальному и соответствовал биологическим потребностям озимой пшеницы.

Агрохимический анализ пахотного слоя почвы (0–20 см) перед посевом показал, что содержание нитратного азота в почве находилось на очень низком уровне (3.5 мг/кг), а содержание доступного фосфора и обменного калия – на повышенном (48 и 322 мг/кг соответственно).

Следует отметить, что погодные условия в годы исследований, несмотря на их большое варьирование, в целом были благоприятными для получения хорошей урожайности озимой пшеницы. При этом агрохимические условия проведения опытов отличались рядом особенностей; в частности, содержание нитратов в почве в годы исследова-

**Таблица 2.** Эффективность 2-х азотных подкормок озимой пшеницы при различных способах расчета их доз

Год	Предшественник	Сорт	Вариант, №	Основное удобрение, кг д.в./га	Подкормки, кг N/га			Урожайность, ц/га	Прибавка урожайности от 2-х подкормок*		Способ расчета доз подкормок
					1-я	2-я	Σ		ц/га	%	
2015	Кукуруза на зерно	Гром	1 (St <sub>1</sub> )	N0P0K0	0	0	0	56.0	–	–	–
			2 (St <sub>2</sub> )		35	38	73	62.6	6.6	11.8	Прототипы**
			3		50	50	100	72.4	16.4	29.3	Оригинальные способы***
2016	Озимая пшеница	Юка	1 (St <sub>1</sub> )	N0P0K0	0	0	0	33.7	–	–	–
			2 (St <sub>2</sub> )		90	35	125	53.6	19.9	59.0	Прототипы
			3		72	45	117	66.6	32.9	97.6	Оригинальные способы
2021	Соя	Адель	1 (St <sub>1</sub> )	N20P50K100	0	0	0	61.3	–	–	–
			3		70	56	120	90.3	27.2	43.1	Оригинальные способы
		Баграг	1 (St <sub>1</sub> )		0	0	0	57.0	–	–	–
			3		57	53	110	81.5	24.5	43.0	Оригинальные способы

\*По сравнению с вариантом 1 (St<sub>1</sub>).

\*\*Прототип 1 и прототип 2.

\*\*\*Оригинальный способ 1 и оригинальный способ 2.

дования под всеми предшественниками было очень низким, фосфора – очень высоким, обменного калия – повышенным, что свидетельствовало о несбалансированности исходного эффективного плодородия почвы.

Статистическую обработку опытных данных проводили по [9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Многие исследователи [10, 11] указывают на то, что эффективность азотных удобрений существенно зависит от исходного содержания минерального азота и подвижных форм фосфора в почве, однако, они не предлагают способов расчета оптимальных доз азотных удобрений, в которых количественно учитывались бы эти закономерности.

Методы, которые предложены в данной работе, включают взаимодействие факторов исходного эффективного плодородия почвы и содержания азота в подкормках озимой пшеницы, что приводит к повышению эффективности и окупаемости азотных удобрений. В частности, использование этих методов при расчете доз 1-й и 2-й азотных подкормок озимого ячменя (в опытах) позволило получить в 2019 г. после предшествен-

ника кукурузы на зерно очень высокий урожай (>110 ц/га) с окупаемостью ~24 кг зерна/кг д.в. удобрений.

Изучение влияния азотных подкормок на урожайность озимой пшеницы в 2015 и 2016 гг. (табл. 1, 2), когда для расчета доз подкормок применяли как табличные [3, 4], так и оригинальные [5, 6] способы, выявило явные преимущества последних. В 2015 г. (предшественник – кукуруза на зерно, сорт Гром) первая азотная подкормка, доза которой была рассчитана по прототипу 1 (“табличный метод”, вариант 2), привела к увеличению урожайности на 2.6 ц/га, что оказалось меньше  $HCP_{05}$  в опыте. Подкормка, которая была рассчитана оригинальным методом 1 (вариант 3), привела к достоверному увеличению урожайности на 11.6 ц/га, т.е. ее эффективность оказалась выше на 9 ц/га. В 2016 г. (предшественник – озимая пшеница, сорт Юка) применение первой азотной подкормки значительно увеличило урожайность озимой пшеницы (как при расчете ее дозы по прототипу, так и при расчете оригинальным методом), что, вероятно, было связано с большим дефицитом азота и высоким содержанием фосфора в почве весной на этом участке. Однако при использовании известного метода расчета (прототип 1, вариант 2), урожайность вы-

**Таблица 3.** Окупаемость азотных подкормок озимой пшеницы при использовании типовых (прототипов) и оригинальных методов расчета их доз, кг зерна/кг азота удобрений

Год	Предшественник	Сорт	Вариант	Методы расчета доз азотных подкормок*	Дозы подкормок, кг N/га			Прибавка урожайности после подкормок, ц/га		Окупаемость подкормок, кг/кг	
					1-я	2-я	Σ	1-й	2-х	1-й	2-х
2015	Кукуруза на зерно	Гром	1 (St <sub>1</sub> )	I	35	38	73	2.6	6.6	7.4	9.0
			2	II	50	50	100	11.6	16.4	23.2	16.4
2016	Озимая пшеница	Юка	1 (St <sub>1</sub> )	I	90	35	125	19.2	19.9	21.3	15.9
			2	II	72	45	117	25.7	32.9	35.7	28.1
Среднее			1 (St <sub>1</sub> )	I	—	—	—	—	—	14.4	12.4
			2	II	—	—	—	—	—	29.4	22.2

\*Методы расчета: I – прототипы 1 и 2, II – оригинальные методы 1 и 2.

росла на 19.2 ц/га, а при использовании оригинального метода I (вариант 3) – на 25.7 ц/га, т.е. прибавка урожайности в этом случае была больше на 6.5 ц/га.

В 2021 г. после хорошего предшественника сои и при выращивании новых сортов озимой пшеницы (Адель и Баграт), еще раз была проверена эффективность разработанного оригинального метода I. Он оказался весьма эффективным, прирост урожайности после первой азотной подкормки составил 16.1 и 21.9 ц/га (для сортов Адель и Баграт соответственно).

Анализируя результаты опытов, где проводили 2 азотные подкормки озимой пшеницы (табл. 2), можно отметить их схожесть с результатами, описанными выше. В частности, когда расчет дозы подкормок проводили с помощью оригинальных методов 1 и 2, увеличение урожайности озимой пшеницы было больше, чем при расчете доз подкормок традиционными методами (прототипы 1 и 2). Например, в 2015 г. прибавка урожайности сорта Гром была равна 16.4 и 6.6 ц/га или в 2.5 раза больше. В 2016 г. прибавка урожайности сорта Юка составила 32.9 и 10.9 ц/га, то есть больше в 1.65 раза.

В 2021 г. (предшественник – соя, сорта Адель и Баграт) при изучении эффективности азотных подкормок применяли только оригинальные методы их расчета [5, 6] (табл. 2). При этом, в связи с существенным изменением климата (увеличением среднегодового количества осадков в зоне Северного Кавказа), была повышена планируемая урожайность в опыте. Показано, что применение оригинальных способов расчета доз азот-

ных подкормок позволило получить значительную прибавку урожайности: 27.2 и 24.5 ц/га для сортов Адель и Баграт соответственно и достичь высокой урожайности (~85 ц/га в среднем для обоих сортов). Таким образом, несмотря на то что в опытах использовали различные предшественники и сорта, полученные результаты четко указали на преимущество оригинальных методов расчета доз азотных подкормок.

Для того чтобы более корректно оценить результаты вышеописанных опытов, был проведен расчет окупаемости 1 кг д.в. азота удобрений прибавкой урожайности зерна озимой пшеницы (кг зерна/кг азота удобрений).

Показано (табл. 3), что окупаемость первой азотной подкормки, доза которой была рассчитана по прототипу 1 (за 2 года опыта) оказалась равной 14.4 кг/кг, а окупаемость подкормки, доза которой была рассчитана оригинальным методом 1, увеличилась до 29.4 кг/кг, т.е. фактически была в 2 раза больше.

Окупаемость 2-х азотных подкормок озимой пшеницы при расчете дозы по прототипам 1 и 2 составила 12.4 кг/кг, при использовании оригинальных методов 1 и 2 – 22.2 кг/кг, т.е. была прослежена та же закономерность. В 2021 г. после предшественника сои, при возделывании новых сортов озимой пшеницы и использовании только новых методов расчета доз подкормок расчет окупаемости азотных подкормок (табл. 4) показал ее высокий уровень: 30.6 кг/кг – после первой подкормки и 21.9 кг/кг – после 2-х азотных подкормок, что подтвердило результаты, полученные в 2015 и 2016 гг.

**Таблица 4.** Окупаемость азотных подкормок озимой пшеницы при использовании только оригинальных методов расчета их доз (1 и 2), кг зерна/кг азота удобрений (2021 г., предшественник соя)

Сорт	Дозы подкормки, кг N/га			Прибавка урожайности после подкормок, ц/га		Окупаемость подкормок, кг/кг	
	1-й	2-й	Σ	1-й	2-х	1-й	2-х
Адель	70	56	126	16.0	27.1	22.9	21.5
Багра́т	57	53	110	21.9	24.5	38.4	22.3
Среднее	—	—	—	—	—	30.6	21.9

Следует отметить, что, как правило, эффективность и окупаемость 2-й азотной подкормки (следовательно, и двух в сумме) бывает ниже, чем первой подкормки, по 3-м причинам: она стимулирует развитие менее весомого компонента структуры урожая, чем первая подкормка (соответственно – озерненность колоса и густоту продуктивного стеблестоя), ее воздействие проходит при более сложных гидротермических условиях и, наконец, доза 2-й азотной подкормки зависит от дозы первой, т.к. компоненты АФЦ, на которые влияют эти подкормки, биологически отрицательно связаны между собой (чем гуще стеблестой, тем меньше озерненность колоса).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что поставленные задачи по созданию более эффективных способов расчета оптимальных доз азотных подкормок озимых колосовых культур решены. Разработаны и запатентованы: “Способ определения оптимальной дозы первой азотной подкормки озимых колосовых культур” и “Способ определения оптимальной дозы второй азотной подкормки озимых колосовых культур”, которые существенно превышают по эффективности и окупаемости (в 1.5–2.0 раза) используемые в производстве в настоящее время методы расчета доз азотных подкормок.

Применение обоих оригинальных способов при расчете оптимальных доз первой и второй азотных подкормок озимой пшеницы повышает их суммарную эффективность, что выражается в значительном приросте ее урожайности (до 30 ц/га). При этом существенно (в 1.5–2.0 раза) повышается и окупаемость удобрений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алейнов Д.П.* А готово ли наше сельское хозяйство использовать минеральные удобрения? // Эконом. сел.-хоз. и перерабат. предприятий. 2009. № 1. С. 6–11.
2. *Кудеяров В.Н.* Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // Агрехимия. 2018. № 10. С. 3–11.
3. Уход за посевами озимых колосовых культур зимой и ранней весной. Рекомендации. Краснодар, 2000. С. 17–21.
4. Системы удобрения основных полевых культур. Рекомендации. Краснодар, 2001. С. 7–9.
5. *Осипов Ю.Ф., Каленич В.И., Загородняя Т.М., Мариничева В.А., Кулик В.А., Неженец А.В.* Способ определения оптимальной дозы первой азотной подкормки озимых колосовых культур: Пат. 2609909, РФ // Б.И. 2017. № 2015115628. С. 4.
6. *Осипов Ю.Ф., Каленич В.И., Кузнецова Т.Е., Серкин Н.В., Васюков П.П., Новикова А.А., Алифференко Ю.С., Иваницкий Я.В.* Способ определения оптимальной дозы второй азотной подкормки озимых колосовых культур: Пат. 2728239, РФ // Б.И. 2020. № 2019143032. С. 4.
7. *Эйсерт Э.К., Ачканов А.Я., Дургарьян Н.Г., Мостовой О.М., Феоктистова А.Л., Хомутов Ю.В., Эйсерт Б.Э.* Справочник агрохимика Кубани. Краснодар. кн. изд-во, 1987. 718 с.
8. *Куперман Ф.М., Дворянкин Ф.А., Ржанова Е.И., Ростовцева Е.Л.* Этапы формирования органов плодоношения злаков. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1995. 319 с.
9. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
10. *Шафран С.А., Козеичева Е.С.* Продуктивность озимого ячменя и окупаемость азотных удобрений в зависимости от содержания элементов минерального питания в основных типах почв России // Агрехимия. 2016. № 3. С. 11–22.
11. *Ерошенко Ф.В., Ерошенко А.А., Шестакова Е.О., Давидянц Э.С., Сторчак И.Г., Семенюк О.В.* Азотные подкормки растений озимой пшеницы в условиях Ставропольского края // Полеводство и луговодство. 2017. № 8. С. 18–20.
12. *Осипов Ю.Ф., Каленич В.И., Новикова А.А., Алифференко Ю.С., Шаповалова Е.В., Кузнецова Т.Е., Серкин Н.В.* Новые способы расчета доз азотных подкормок озимых колосовых культур // Плодородие. 2021. № 2. С. 21–25.

## Increasing the Payback of Nitrogen Fertilizing of Winter Wheat with the Use of Original Methods for Calculating Their Optimal Doses

Yu. F. Osipov<sup>a</sup> and A. A. Novikova<sup>a,#</sup>

<sup>a</sup>*P.P. Lukyanenko National Grain Center, Central estate of KNIISH  
Krasnodar 350000, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: Ana.nov@mail.ru*

In the central zone of the Krasnodar Territory of the Russian Federation, on the pre-Caucasian low-leached heavy-duty chernozem on the basis of the P.P. Lukyanenko National Grain Center, for more than 15 years, new, more effective methods for calculating optimal doses of nitrogen fertilizing of winter wheat, characterized by high payback, have been studied. The methodological basis of the study was the assumption that when calculating optimal doses of nitrogen fertilizers, it is necessary to take into account the initial level of effective soil fertility, the state of agrophytocenosis and the planned yield. The solution of this problem is possible only with the help of a systematic analysis of the relationship of winter wheat yield with the above factors, the construction of a regression multiple nonlinear mathematical model and mathematical modeling of various situations in the search for optimal doses of top dressing. As initial information, the data obtained in long-term multifactorial field experiments were used, which resulted in the development of 2 new methods for determining the optimal doses of nitrogen fertilizing of winter crops (first and second) that meet the above requirements. The results of 3-year field experiments to study the effectiveness and payback of nitrogen fertilizing of winter wheat, depending on the methods of their calculation, are presented. The agro-climatic conditions at the time of the research, although they were different, but in general turned out to be relatively favorable for obtaining a good harvest of winter wheat. In 2015 and 2016, comparative tests of the effectiveness and payback of 2 new methods for calculating the optimal doses of the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> nitrogen fertilizing of winter wheat were carried out. For comparison, 2 well-known, widely used in practice, “tabular” methods were selected (prototypes 1 and 2). In 2015, the study was carried out with the Grom variety (predecessor – corn for grain), in 2016 – with the Yuca variety (predecessor – winter wheat). It is shown that the use of original methods for calculating optimal doses of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> nitrogen fertilizing of winter wheat significantly increased their efficiency and payback (both 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> in total) compared with the prototypes (by 35–200%), at the same time, the payback of nitrogen top dressing, the doses of which were calculated from the prototypes, was ~12–14 kg/kg (on average for 2 years), and the payback of top dressing calculated according to the original methods was 22–24 kg/kg in 2021 (forerunner – soy, Adel and Bagrat varieties) studied the effectiveness and payback of nitrogen fertilizing when calculating their doses only by original methods. It was shown that even with a high level of yield of winter wheat in the control (~60 c/ha on average for both varieties), the use of 2 nitrogen fertilizing, the doses of which are calculated according to the original methods, allowed to achieve a yield of winter wheat of 80–90 c/ha with a payback of ~22 kg grains/kg of N fertilizers.

*Key words:* winter wheat, yield, system analysis, mathematical modeling, determination of optimal doses of nitrogen fertilizing, efficiency and payback of fertilizers.