

УДК 63:54

## БАЛАНС АЗОТА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ РОССИИ И ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

© 2020 г. С. А. Шафран

*Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова  
127434 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия*

*E-mail: shafran38@mail.ru*

Поступила в редакцию 07.11.2019 г.

После доработки 28.11.2019 г.

Принята к публикации 10.03.2020 г.

Обобщение многочисленного экспериментального материала с использованием методов математического моделирования позволило разработать нормативы окупаемости азотных удобрений прибавкой урожая зерновых культур для основных типов почв страны. Использование этих нормативов позволяет устанавливать дозы азота с учетом агрохимических свойств почв и уровня планируемой урожайности, прогнозировать эффективность применения азотных удобрений, оценивать их экономическую эффективность.

*Ключевые слова:* баланс азота, нормативы окупаемости азотных удобрений, эффективность азота, типы почв, агрохимические свойства.

**DOI:** 10.31857/S0002188120060113

### ВВЕДЕНИЕ

В мировом производстве минеральных удобрений азотные занимают первое место. В нашей стране азот также сыграл важную роль в развитии земледелия. Во второй половине XX века в России быстрыми темпами стала развиваться промышленность по производству минеральных удобрений. Начиная с 1966–1970 гг. по 1986–1990 гг., их применение почти утроилось и во все периоды внесение азотных удобрений преобладало над фосфорными и калийными. Затем произошел резкий спад в применении удобрений, но при этом применение азотных удобрений сократилось в меньшей степени по сравнению с фосфорными и калийными. Если использование фосфора и калия уменьшилось в 12 с лишним раз, то азота – только в 5.3 раза. Соотношение вносимых удобрений изменилось в пользу азота и составляет в последние годы 1 : 0.37 : 0.23. Доля азота от общего внесения составляла 62–64%. Согласно уровню применения азотных удобрений, изменился баланс азота в земледелии России. До 1975 г. вынос азота урожаями превышал его поступление в почву с минеральными и органическими удобрениями. Затем в течение 3-х последующих пятилеток внесение азота стало больше его выноса урожаями, основной поток которых был направлен в Нечерноземную зону. В 1990-х гг. применение

азотных удобрений резко сократилось. Ежегодный дефицит этого элемента стал составлять 19–35 кг/га (табл. 1). Это означает, что значительная часть урожая формируется за счет ресурсов почвы и если их не восполнять, то рано или поздно

**Таблица 1.** Баланс азота в земледелии России (среднее за год), кг/га пашни

Год	Внесение с удобрениями		Вынос урожаям	Баланс
	минеральными	органическими		
1966–1970	10	9	31	–12
1971–1975	18	12	33	–3
1976–1980	23	16	36	3
1981–1985	29	20	29	20
1986–1990	36	20	34	22
1991–1995	16	10	34	–8
1996–2000	8	4	33	–21
2001–2005	7	2	30	–21
2006–2010	10	4	33	–19
2011–2015	10	3	40	–27
2016	12	3	46	–31
2017	12	3	50	–35
2018	13	3	42	–26

**Таблица 2.** Урожайность озимой пшеницы в зависимости от содержания минерального азота в почвах без внесения удобрений, ц/га

Почвы	Содержание N <sub>мин</sub> в почве		
	низкое	среднее	повышенное и высокое
Дерново-подзолистые	12.4	16.3	24.6
Серые лесные	13.7	19.2	27.4
Черноземы выщелоченные	17.1	24.0	34.1
Черноземы типичные	12.8	17.9	24.8
Черноземы обыкновенные	12.2	17.1	24.6
Черноземы карбонатные	18.2	23.4	28.8
Каштановые	9.0	16.2	23.3

но это приведет к обеднению почв не только минеральным азотом, но и гумусом. В первую очередь это касается зерновых и кормовых культур, под которые азотные удобрения вносят в наименьшем количестве. Это вызвано увеличением диспаритета цен на минеральные удобрения и растениеводческую продукцию. Стало труднее получать прибавки урожайности сельскохозяйственных культур от удобрений, стоимость которых превышала бы затраты на их применение.

В связи с этим назрела необходимость в дальнейшем совершенствовании методов определения потребности растений в удобрениях для того, чтобы более рационально их использовать при возделывании сельскохозяйственных культур. Вопросы диагностики азотного питания являются наиболее сложными по сравнению с фосфорным и калийным. В силу своей высокой подвиж-

ности формы минерального азота делают невозможным использование для диагностических целей методов, аналогичных применяемым при обследовании почв на содержание подвижных форм фосфора и калия с периодичностью (в зависимости от зоны) в 5–10 лет. Для определения потребности растений в азотных удобрениях необходимо ежегодное и оперативное обследование посевов.

Кроме того, эффективность азотных удобрений зависит не только от содержания доступных форм азота в почве, но и от других агрохимических показателей, таких как реакция почвенной среды и степень обеспеченности подвижными формами фосфора и калия. Многочисленные полевые опыты свидетельствуют о том, что агрохимические свойства почв оказывают гораздо большее влияние на урожайность культур и эффективность применения удобрений по сравнению с генетическими свойствами и агрометеорологическими условиями [1, 2].

Для того, чтобы эти результаты могли успешно использоваться при определении потребности сельскохозяйственных культур в элементах питания, нужна надежная научно обоснованная база, в которой результаты полевых опытов были бы привязаны к конкретным агрохимическим свойствам почв. Такие разработки выполнены ВНИИА для основных зерновых культур, картофеля, льна-долгунца и сахарной свеклы [3–6].

Цель работы – обобщение многочисленного экспериментального материала с использованием методов математического моделирования для разработки нормативов окупаемости азотных удобрений прибавкой урожая зерновых культур для основных типов почв страны.

**Таблица 3.** Прибавка урожайности озимой пшеницы от азотных удобрений в зависимости от содержания минерального азота в почве, ц/га

Почвы	Содержание N <sub>мин</sub> в почве					
	низкое		среднее		повышенное и высокое	
	N30	N60	N30	N60	N30	N60
Дерново-подзолистые	8.0	9.4	7.3	8.6	5.9	6.9
Серые лесные	6.3	7.7	4.9	6.0	3.6	4.7
Черноземы выщелоченные	5.5	7.8	4.2	6.0	3.4	4.8
Черноземы типичные	5.0	6.6	3.9	5.1	2.3	3.1
Черноземы обыкновенные	3.2	4.2	2.8	3.8	1.6	2.1
Черноземы карбонатные	3.0	4.6	2.3	3.5	1.6	2.5
Каштановые	2.0	2.8	1.5	2.1	1.1	1.4

**Таблица 4.** Прибавка урожайности яровой пшеницы от азотных удобрений в зависимости от содержания нитратного азота в почвах, ц/га

Содержание N-NO <sub>3</sub> , мг/кг	Урожайность без удобрений, ц/га	Прибавка урожайности, ц/га			
		N30	N60	N90	N120
Черноземы обыкновенные и южные Приволжского округа					
≤5	10.0	1.7	1.7	1.8	1.8
5.1–10	10.5	1.4	1.4	1.5	1.5
>10	13.6	0.4	0.4	0.5	0.4
Черноземы выщелоченные Уральского округа					
<8	16.5	4.7	5.1	5.2	5.1
8–12	18.0	3.7	4.0	4.1	4.0
>12	18.3	2.8	3.0	3.1	3.0
Черноземы выщелоченные и оподзоленные Сибирского округа					
<10	14.0	4.2	4.4	4.6	4.6
10–20	16.4	3.5	3.7	3.8	3.8
>20	16.5	0.7	0.7	0.8	0.8

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основой разработки служил метод математического моделирования, который позволил обработать большой массив экспериментальных данных, установить влияние изучаемых факторов на урожайность культур и эффективность азотных удобрений, выявить из них наиболее значимые и на этой основе создать соответствующие модели и подготовить их табличную интерпретацию. Исходной информацией для этого были полевые опыты, проведенные научно-исследовательскими учреждениями Геосети ВНИИА и агрохимической службой. В отличие от имеющихся, эти материалы разработаны для основных типов и подтипов почв в пределах Федеральных округов. При наличии достаточной информации выборки подразделялись также и по гранулометрическому составу почв. Это касалось в основном дерново-подзолистых почв. К обобщению принимали опыты, схемы проведения которых позволяли вычлнить отдельное действие азотных удобрений.

На первом этапе обобщения определяли парную корреляцию между изучаемыми факторами, и если она оказывалась достоверной и устойчивой, то данный фактор включали в модель. Влияние изучаемых факторов на результативный признак оценивали величинами коэффициентов корреляции или корреляционным отношением.

В связи с тем, что в структуре баланса азота наибольший удельный вес занимает зерновой комплекс, имеет смысл вопросы его регулирования рассмотреть на примере основных культур, составляющих этот комплекс. Для установления влияния степени обеспеченности азотом в опы-

**Таблица 5.** Прибавка урожайности пшеницы от азотных удобрений при различном содержании подвижного фосфора в почвах, ц/га

Почвы	Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					
	низкое		среднее		выше среднего	
	N30	N60	N30	N60	N30	N60
Озимая пшеница						
Дерново-подзолистые	6.3	6.9	8.3	9.2	8.5	9.4
Серые лесные	4.1	5.4	5.6	7.4	5.8	7.7
Черноземы выщелоченные	3.2	4.9	4.5	6.8	5.1	7.8
Черноземы типичные	3.3	4.7	4.3	6.3	4.5	6.6
Черноземы обыкновенные	2.3	2.9	3.0	3.8	3.4	4.2
Черноземы карбонатные	1.6	2.4	2.6	4.0	3.0	4.6
Каштановые	1.3	1.9	1.7	2.5	1.8	2.8
Яровая пшеница						
Дерново-подзолистые	3.8	4.2	4.9	5.4	6.4	7.0
Серые лесные	2.3	2.5	3.1	3.4	3.2	3.5
Черноземы выщелоченные	1.6	1.8	2.2	2.3	2.5	2.7
Черноземы обыкновенные и южные	1.0	1.3	1.4	1.7	1.6	2.1

**Таблица 6.** Прибавка урожайности пшеницы от азотных удобрений при различном содержании подвижного калия в почвах, ц/га

Почвы	Содержание K <sub>2</sub> O					
	низкое		среднее		выше среднего	
	N30	N60	N30	N60	N30	N60
Озимая пшеница						
Дерново-подзолистые	6.7	7.6	8.0	8.8	8.6	9.2
Серые лесные	4.4	6.0	5.3	7.0	6.6	7.6
Черноземы выщелоченные	3.7	5.8	4.3	6.5	4.9	7.2
Черноземы типичные	3.7	5.5	4.2	6.0	4.2	6.1
Черноземы обыкновенные	2.4	3.1	2.5	3.7	3.3	4.1
Черноземы карбонатные	2.3	3.5	2.4	3.7	2.5	3.8
Каштановые	1.4	2.2	1.7	2.5	1.7	2.5
Яровая пшеница						
Дерново-подзолистые	4.3	4.8	5.2	5.7	5.5	6.0
Серые лесные	2.5	2.8	3.0	3.2	3.1	3.4
Черноземы выщелоченные	1.8	2.0	2.2	2.4	2.3	2.4
Черноземы обыкновенные и южные	1.1	1.4	1.3	1.8	1.6	2.0
Лугово-черноземные (Дальневосточный округ)	2.7	3.1	2.9	3.3	3.0	3.4

**Таблица 7.** Прибавка урожайности озимой пшеницы от азотных удобрений при различной степени кислотности почв, ц/га

Почвы	рН <sub>KCl</sub>	Урожайность без удобрений	Дозы азота, кг/га			
			30	60	90	120
Дерново-подзолистые	≤5.5	23.1	8.2	9.2	9.8	10.2
	>5.5	25.7	10.2	11.4	12.2	12.4
Серые лесные	≤5.5	23.0	5.4	5.9	6.2	6.3
	>5.5	25.9	6.8	7.5	7.9	8.0

тах использовали различные методы определения доступных форм азота в почвах: содержание нитратного, аммонийного, щелочно-гидролизующего (по Корнфильду), легкогидролизующего (по Тюрину–Кононовой) азота, нитрификационной способности почв (по Кравкову).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты корреляционного анализа показали, что содержание азота независимо от метода его определения оказывало весьма существенное влияние на урожайность и эффективность азотных удобрений практически для всех изученных почв. Связь представляла четко выраженную криволинейную зависимость. Общая закономерность была такова: с увеличением содержания азота в почвах возрастала урожайность и снижалась эффективность азотных удобрений. Это хорошо видно на примере с озимой пшеницей. Увеличение степени обеспеченности почв, независимо от их генезиса, от низкой до повышенной степени обеспеченности минеральным азотом удваивало урожайность на всех представленных почвенных разностях (табл. 2). С повышением содержания минерального азота происходит снижение прибавки урожайности зерна (табл. 3).

Наряду с этим, при продвижении с севера на юг происходило снижение прибавки урожайности озимой пшеницы от внесения азота. На дерново-подзолистых почвах прибавка урожайности в 1.5–2.0 раза превышала данный показатель на черноземных и в 4 раза – на каштановых почвах. Аналогичная закономерность отмечена также для почв, где в качестве диагностического показателя использовали содержание нитратного азота. С повышением содержания нитратного азота в почвах возрастала урожайность яровой пшеницы в контрольных вариантах и снижалась прибавка урожайности от внесения азотных удобрений. Наиболее высокий эффект был отмечен при низкой степени обеспеченности почв нитратным азотом (табл. 4).

Наряду с содержанием доступных форм азота на эффективность применения азотных удобрений под пшеницу большое влияние оказывает степень обеспеченности почв подвижным фосфором. Увеличение содержания подвижного фосфора от низкой до повышенной группы способствует приросту урожайности как озимой, так и яровой пшеницы в 1.4–1.7 раза на всех представленных почвенных разностях (табл. 5). Аналогичная закономерность отмечена и по степени обеспеченности почв подвижным калием (табл. 6). Степень кислотности дерновоподзолистых и серых лесных почв также способствовала росту урожайности без внесения удобрений и увеличению прибавок урожайности от азотных удобрений (табл. 7).

Таким образом, из рассмотренных результатов исследований следует, что на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность при-

**Таблица 8.** Урожайность озимой пшеницы без внесения удобрений в зависимости от комплекса агрохимических свойств почв, ц/га

Почвы	Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				
	низкое		выше среднего		
	Содержание K <sub>2</sub> O				
	низкое	выше среднего	низкое	выше среднего	
Низкое содержание минерального азота					
Дерново-подзолистые	<u>7.3</u>	<u>12.1</u>	<u>12.2</u>	<u>16.5</u>	
	8.1	12.9	13.5	18.4	
Серые лесные	<u>8.7</u>	<u>12.7</u>	<u>12.4</u>	<u>16.5</u>	
	9.8	14.3	14.0	18.5	
Черноземы					
	выщелоченные	11.5	15.2	18.4	22.1
	типичные	8.6	11.5	13.7	16.6
	обыкновенные	7.7	12.2	12.6	17.1
карбонатные	11.1	13.4	23.8	26.1	
Каштановые	8.0	12.7	13.7	18.4	
Повышенное содержание минерального азота					
Дерново-подзолистые	<u>14.6</u>	<u>23.2</u>	<u>24.3</u>	<u>33.0</u>	
	16.2	30.3	27.1	36.7	
Серые лесные	<u>17.4</u>	<u>25.5</u>	<u>24.8</u>	<u>32.9</u>	
	19.6	28.7	28.0	37.0	
Черноземы					
	выщелоченные	23.1	29.7	36.8	44.2
	типичные	16.6	22.3	26.6	32.2
	обыкновенные	15.5	24.5	25.2	34.2
карбонатные	17.5	21.2	37.6	41.3	
Каштановые	14.4	22.9	24.7	33.2	

Примечание. Над чертой – pH ≤ 5.5, под чертой – pH > 5.5. То же в табл. 9, 10.

меняемых под них доз азотных удобрений оказывают влияние несколько факторов. Среди них – содержание доступных форм азота в почвах, степень их обеспеченности подвижными формами фосфора и калия, реакция почвенной среды. Все перечисленные факторы находятся во взаимодействии друг с другом и могут оказывать как положительное, так и в некоторых случаях отрицательное действие на урожайность и эффективность азотных удобрений. В связи с этим при оценке агрохимических показателей плодородия почв в продукционном процессе необходим учет их взаимного влияния. При этом следует иметь в виду, что каждое поле характеризуется не каждым в отдельности из перечисленных показателей, а взаимодействием этих факторов друг с другом в единой системе. Разработка соответствующих математических моделей и их табличная интерпретация позволяют оценить уровень плодородия

почв по комплексу агрохимических свойств различных почв на эффективность азотных удобрений, статистически обосновать значимость установленных зависимостей и представить в табличной форме полученные данные для основных типов почв России.

Результаты исследований показали, что для всех изученных почв комплекс агрохимических свойств оказывает большое влияние на урожайность сельскохозяйственных культур и на эффективность применения под них азотных удобрений. При переводе почв от низкой степени окультуренности в повышенную увеличивается урожайность озимой пшеницы без внесения удобрений в 2.5–4.0 раза (табл. 8).

Для каждого из рассмотренных типов почв отмечена значительная разница во влиянии степени их обеспеченности P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O и улучшении

**Таблица 9.** Прибавка урожайности озимой пшеницы от азотных удобрений в зависимости от комплекса агрохимических свойств почв, ц/га

Почвы	Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>								
	низкое				выше среднего				
	Содержание K <sub>2</sub> O								
	низкое		выше среднего		низкое		выше среднего		
	N30	N60	N30	N60	N30	N60	N30	N60	
Низкое содержание минерального азота									
Дерново-подзолистые	<u>5.2</u>	<u>6.0</u>	<u>6.8</u>	<u>7.6</u>	<u>7.4</u>	<u>8.5</u>	<u>9.0</u>	<u>10.1</u>	
	6.5	7.5	8.5	9.5	9.1	10.6	11.2	12.5	
Серые лесные	<u>4.0</u>	<u>4.6</u>	<u>5.8</u>	<u>6.1</u>	<u>6.1</u>	<u>6.9</u>	<u>7.7</u>	<u>8.5</u>	
	4.7	5.3	6.5	7.2	7.0	7.9	8.8	9.8	
Черноземы									
	выщелоченные	4.2	4.2	4.9	5.6	5.0	7.0	7.4	8.5
	типичные	3.9	4.4	4.4	4.9	5.5	6.2	6.1	6.8
	обыкновенные	2.0	2.3	3.0	3.4	3.3	3.7	4.3	4.7
карбонатные	2.0	2.3	2.2	2.5	3.8	4.4	3.9	4.7	
Каштановые	1.4	1.7	1.8	2.1	2.0	2.5	2.5	2.9	
Повышенное содержание минерального азота									
Дерново-подзолистые	<u>3.8</u>	<u>4.4</u>	<u>5.0</u>	<u>5.6</u>	<u>5.4</u>	<u>6.2</u>	<u>6.6</u>	<u>7.5</u>	
	4.8	5.5	6.2	7.0	6.7	7.8	8.3	9.2	
Серые лесные	<u>2.5</u>	<u>2.8</u>	<u>3.4</u>	<u>3.7</u>	<u>3.7</u>	<u>4.2</u>	<u>4.7</u>	<u>4.8</u>	
	2.9	3.3	4.0	4.4	4.3	4.9	5.4	6.0	
Черноземы									
	выщелоченные	2.2	2.6	3.0	3.4	3.7	4.3	4.6	5.2
	типичные	1.8	2.0	2.0	2.3	2.5	2.9	2.8	3.2
	обыкновенные	1.0	1.2	1.5	1.7	1.6	1.8	2.1	2.3
карбонатные	1.0	1.2	1.2	1.3	2.0	2.4	2.1	2.5	
Каштановые	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.5	

реакции почвенной среды на действие азотных удобрений. Например, при увеличении содержания подвижного фосфора от низкого по повышенного в дерново-подзолистых почвах прибавка урожайности озимой пшеницы возрастала в 1.4 раза. При аналогичной степени обеспеченности почв подвижным калием прирост урожая увеличивался в 1.2–1.3 раза, а при одновременном улучшении фосфатного и калийного режимов – в 1.7–1.8 раза (табл. 9). Таковую же закономерность наблюдали и для других почв. Разница состояла лишь в абсолютных величинах прибавки урожайности и соотношениях между низко- и повышено обеспеченными группами почв.

Немалый интерес представляют также данные, отражающие влияние комплекса агрохимических свойств почв на окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая, поскольку, распо-

лагая такими данными, представляется возможность выбрать оптимальный вариант применения азотных удобрений, исходя из имеющихся условий (табл. 10). Основополагающими при этом являются экономические показатели. Сюда относятся соотношения цен на минеральные удобрения и сельскохозяйственную продукцию, которые постоянно меняются. В зависимости от этого изменяются также и границы окупаемости удобрений, отражающие величину прибавки урожая, стоимость которой равна затратам на применение удобрения. Например, в ценах 2019 г. средняя стоимость зерна пшеницы 3-го класса составила 13250 руб./т, 4-го – 10650, 5-го – 8650 руб./т, а стоимость аммиачной селитры в ф.м. – 12500 руб./т, общие затраты на ее применение в д.в. – 64700 руб./т. Следовательно, граница окупаемости аммиачной селитры для пшеницы 3-го класса составляет 4.9, 4-го – 6.1 и

**Таблица 10.** Окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы в зависимости от комплекса агрохимических свойств почв, кг/кг

Почвы	Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>								
	низкое				выше среднего				
	Содержание K <sub>2</sub> O								
	низкое		выше среднего		низкое		выше среднего		
	N30	N60	N30	N60	N30	N60	N30	N60	
Низкое содержание минерального азота									
Дерново-подзолистые	<u>17.3</u>	<u>10.0</u>	<u>22.7</u>	<u>12.7</u>	<u>24.7</u>	<u>14.2</u>	<u>30.0</u>	<u>16.8</u>	
	21.7	12.5	28.3	15.8	30.3	17.7	37.3	20.8	
Серые лесные	<u>13.3</u>	<u>7.7</u>	<u>18.7</u>	<u>10.2</u>	<u>20.3</u>	<u>11.5</u>	<u>25.7</u>	<u>14.2</u>	
	15.7	8.8	21.7	12.0	23.3	13.2	29.3	16.3	
Черноземы									
	выщелоченные	11.7	7.0	16.7	10.2	16.7	11.7	24.7	14.2
	типичные	13.0	7.3	14.7	8.2	18.3	10.3	20.3	11.3
	обыкновенные	6.7	3.8	10.0	5.7	11.0	14.3	6.2	7.8
	карбонатные	6.6	3.8	7.3	4.2	12.7	7.3	13.0	7.8
Каштановые	4.7	2.8	6.0	3.5	7.3	4.2	8.3	4.8	
Повышенное содержание минерального азота									
Дерново-подзолистые	<u>12.7</u>	<u>7.3</u>	<u>16.7</u>	<u>9.3</u>	<u>18.0</u>	<u>10.3</u>	<u>22.0</u>	<u>12.5</u>	
	16.0	9.2	20.7	11.7	22.3	13.0	17.7	15.3	
Серые лесные	<u>8.3</u>	<u>4.7</u>	<u>11.3</u>	<u>6.2</u>	<u>12.3</u>	<u>7.0</u>	<u>15.7</u>	<u>8.5</u>	
	9.7	5.5	13.3	7.3	14.3	8.2	18.0	10.0	
Черноземы									
	выщелоченные	7.3	4.3	10.0	5.7	12.3	7.2	15.3	8.7
	типичные	6.0	3.3	6.7	3.8	8.3	4.8	9.3	5.3
	обыкновенные	3.3	2.0	5.0	2.8	5.3	3.0	7.0	3.8
	карбонатные	3.3	2.0	4.0	2.2	6.7	4.0	7.0	4.2
Каштановые	2.7	1.5	3.3	1.8	4.0	2.2	4.3	2.5	

5-го – 7.5 кг/кг. Это означает, что для того чтобы затраты на применение данного удобрения окупились, необходимо получить на каждый 1 кг азота в зависимости от качества соответственно >4.9, 6.1 и 7.5 кг зерна.

Сопоставление этих величин с данными табл. 10 показывает, что при получении зерна 3-го класса затраты на применение аммиачной селитры окупятся в дозах 30–60 кг/га на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, черноземах выщелоченных и типичных при низком содержании минерального азота. При повышенной обеспеченности положительный результат можно получить только на дерново-подзолистых и серых лесных почвах. Получение зерна 4-го класса сократит диапазон рентабельного использования аммиачной селитры, 5-го класса – позволит окупить затраты на применение данного удобрения

только в дозе 30 кг/га при низком содержании минерального азота и повышенном – подвижного фосфора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, приведенные данные показали, что их использование открывает широкие возможности для организации более рационального применения азотных удобрений. Они позволяют устанавливать дозы азота с учетом агрохимических свойств почв и уровня планируемой урожайности, прогнозировать эффективность применения азотных удобрений, оценивать при этом не только агрономическую, но и экономическую эффективность. Применение удобрений по предлагаемым нормативам даст возможность за счет оптимизации доз повысить их окупаемость,

уменьшить затраты азота на формирование урожайности сельскохозяйственных культур и снизить себестоимость их производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шафран С.А.* Влияние типа почв и содержания в них подвижных фосфатов на эффективность фосфорных удобрений // *Агрохимия*. 2015. № 3. С. 26–33.
2. *Шафран С.А., Духанина Т.М.* Значение комплексного агрохимического окультуривания в повышении эффективности азотных удобрений под пшеницу // *Агрохимия*. 2015. № 11. С. 21–30.
3. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур. М.: ВНИИА, 2016. 96 с.
4. Прогнозная оценка окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая картофеля в зависимости от агрохимических свойств почв. М.: ВНИИА, 2014. 80 с.
5. Система оценки влияния агрохимических факторов на формирование урожайности льна-долгунца. М.: ВНИИА, 2016. 124 с.
6. *Сычев В.Г., Шафран С.А., Аристархов А.Н.* Нормативы оценки и методика прогнозирования эффективности применения минеральных удобрений под сахарную свеклу в зависимости от агрохимических свойств почв. М.: ВНИИА, 2018. 188 с.

## Nitrogen Balance in Agriculture of Russia and Its Regulation in Modern Conditions

S. A. Shafran

*D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry  
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127434, Russia*

*E-mail: shafran38@mail.ru*

Generalization of numerous experimental materials with the use of mathematical modeling methods allowed developing standards of nitrogen fertilizers payback by increase of grain crops yield on the main types of soils of the country. The use of these standards allows you to set the dose of nitrogen with the accounting agrochemical properties of soil and level of the planned yield, to predict the effectiveness of applying nitrogen fertilizer, to assess their economic efficiency.

*Key words:* nitrogen balance, payback standards of nitrogen fertilizers, nitrogen efficiency, soil types, agrochemical properties.