

## Диагностика обеспеченности почв усвояемой растениями формой азота – важнейший резерв повышения эффективности использования азотных удобрений

Н. Н. Семененко, доктор с.-х. наук  
Институт почвоведения и агрохимии

(Дата поступления статьи в редакцию 10.08.2021)

Предложен для широкого использования в производстве метод проведения диагностики обеспеченности почв потенциально усвояемой растениями формой азота. Разработаны градации обеспеченности дерново-подзолистых почв потенциально усвояемым азотом и потребности сельскохозяйственных культур в азотных удобрениях на планируемую урожайность, поправочные коэффициенты к дозам удобрений. Дифференцированное по полям применение доз азотных удобрений с учетом данных содержания в почвах Нусв. обеспечивает повышение урожайности зерновых культур до 6–10 ц/га при снижении потерь на 17–24 и экономии азота удобрений до 20 кг/га д. в., уменьшении минерализации ОВ на 12–26 % и потерь гумуса почвы.

*For the wide use in the production a method of doing the diagnostics of soil provision with the potentially acceptable by plants nitrogen form is proposed. The gradations of sod-podzolic soils provision with the potentially acceptable nitrogen and the agricultural crop needs in nitrogenous fertilizers for the planned yield, correction factors to the rates of fertilizers are developed. The differentiated by fields application of nitrogenous fertilizer rates considering the data of N assimilation content in soils provides with the grain crops yield increase up to 6–10 cwt/ha at losses decrease for 17–24 and the nitrogenous fertilizers economy up to 20 kg/ha a. i., poisoning substance (PS) mineralization for 12–26 % and soil humus losses decrease.*

### Введение

Перед аграрным комплексом страны поставлена задача – увеличить объемы производства растениеводческой и животноводческой продукции, снизить её себестоимость, сохранять и повышать плодородие почв. Опыт земледелия стран Западной Европы с развитым сельским хозяйством и результаты новых научных исследований показывают, что достичь этого возможно за счет внедрения в производство усовершенствованных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, основанных на адаптивной интенсификации продукционного процесса, реализации генетического потенциала почв и растений, повышении их урожайности. Особая роль в получении высокой и стабильной урожайности, снижении себестоимости продукции и сохранении плодородия почв отводится применению под сельскохозяй-

ственные культуры дифференцированных по полям доз азотных удобрений в основное внесение и подкормки посевов с учетом обеспеченности почв и растений азотом и погодных условий. Такая стратегия в применении азотных удобрений актуальна и для производственных условий Беларуси.

Исследованиями зарубежных и отечественных ученых (С. Н. Иванов, 1962; Т. Н. Кулаковская, 1965, 1970 и др.) с использованием радиоактивных изотопов фосфора <sup>32</sup>P и калия <sup>40</sup>K в полевых опытах было доказано, что дифференцированное применение доз фосфорных и калийных удобрений по полям с учетом содержания подвижных соединений фосфора и калия в почвах Беларуси повышает коэффициент их использования и эффективность на 15–20 %.

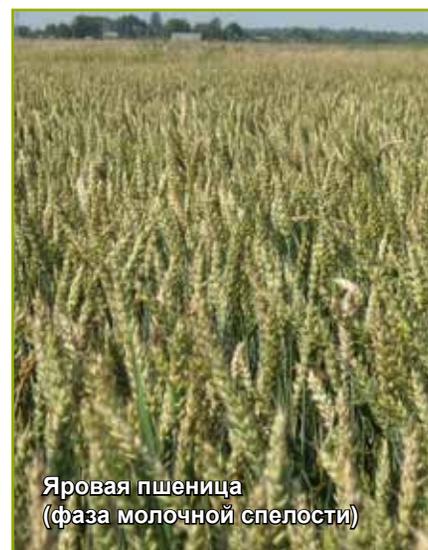
С применением же азотных удобрений проблем значительно больше. Технологии применения азотных



Озимая пшеница



Озимое тритикале



Яровая пшеница  
(фаза молочной спелости)

Состояние производственных посевов при внесении удобрений с использованием новой технологии применения удобрений

удобрений под сельскохозяйственные культуры и их эффективность принципиально отличаются от применения фосфорных и калийных. С одной стороны азот – один из важнейших элементов, определяющих плодородие почвы, минеральное питание растений, урожайности и качество растениеводческой продукции. На дерново-подзолистых почвах азотные удобрения обеспечивают повышение урожайности зерновых культур на 20–40 % и более. На почвах более окультуренных – до 90 % от общей прибавки урожая от минеральных удобрений приходится на азотные. С другой стороны – избыточное азотное питание зерновых культур приводит к полеганию, большей пораженности растений болезнями, потерям азота удобрений, снижению урожайности, качества продукции и окупаемости затрат на 20–30 % и более, усилению минерализации и потерь органического вещества почвы, снижению ее плодородия.

Соединения азота почвы и внесенных удобрений в течение вегетационного периода подвержены биологической, химической и физической трансформации, интенсивность которой зависит от формы удобрения и сопутствующих гидротермических условий. Считается, что дерново-подзолистые почвы бедны азотом, а содержание его минеральных соединений весьма изменчиво. Отсутствие объективного метода оценки обеспеченности почв доступными для растений соединениями азота позволило некоторым специалистам при расчете доз азотных удобрений на планируемую урожайность, основное внесение и в подкормки культур обходиться без корректировки доз на этот показатель.

В то же время установлено, что в настоящее время почвы Беларуси в пределах даже одного сельхозпредприятия в 3 раза и более различаются по полям содержанием гумуса, а значит и азота [1]. В результате проведенных нами исследований в 1980–1990 гг. впервые был разработан аналитический метод определения содержания в почвах потенциально усвояемых растениями соединений азота, пропись которого представлена в работах [2–5]. Многолетние результаты исследований, проведенных на почвах разного гранулометрического состава, окультуренности, увлажнения и подверженных эрозии, показывают, что запасы усвояемого азота в наиболее корнеобитаемом слое почвы (0–40 см) колеблются в пределах от 60 до 450 кг/га и более (чаще 80–350 кг/га). Были разработаны «Республиканский стандарт по определению потенциально усвояемого азота почвы» и «Методические указания по применению азотных удобрений под зерновые культуры на основе данных почвенной и растительной диагностики» [3–5], которые являлись составной частью широко используемых в условиях производства в то время интенсивных технологий возделывания зерновых и других культур.

Анализ результатов почвенной диагностики посевов озимых зерновых культур осенью, проведенной агрохимической службой Беларуси на площади 621 тыс. га, по данным ЦСУ за 1990 г., показывает, что в каждом сельхозпредприятии различия в содержании доступного растениям азота в почвах по отдельным полям достигают 3–4 и более раз. Выявлено, что из общей обследуемой площади на долю с очень низкой и низкой обеспеченностью Нусв. в среднем по Беларуси приходилось 25 % (колебания по областям – 14–38 %), средней – 34 (23–44), повышенной – 30 (13–48), высокой и очень высокой – 11 % (9–14 %). Только за счет корректировки рекомен-

дуемой Минсельхозпродом к применению в условиях производства усредненной дозы 70 кг/га д. в. азота при внесении в ранневесеннюю подкормку озимых зерновых культур по полям с учетом содержания усвояемых соединений азота в почве средневзвешенная доза удобрений могла бы снизиться на 20 кг/га д. в. азота. Однако с распадом СССР, значительным снижением доз азотных удобрений в последующие годы технология их применения максимально упростилась, спрос на диагностику почв и растений практически отпал.

В последние годы для выполнения продовольственной программы, увеличения валовых сборов зерна на продукты питания и корм животным значительно выросли объемы поставок сельхозпредприятиям и применения удобрений. Необходимо искать резервы для повышения урожайности и снижения себестоимости произведенной растениеводческой и животноводческой продукции.

Одним из наиболее актуальных вопросов технологий возделывания сельскохозяйственных культур является определение оптимальных по полям доз азотных удобрений на планируемую урожайность, основное внесение и внесение в подкормки. Рекомендуемые в настоящее время дозы азотных удобрений для применения под сельскохозяйственные культуры увеличились до 120–180 кг/га д. в. и более. Предлагаемое применение усредненных доз азотных удобрений: 60–70 кг/га – под озимые зерновые культуры на планируемую урожайность 35–80 ц/га – в ранневесеннюю подкормку и 80–90 кг/га азота – основное внесение под яровые зерновые не учитывает уровень обеспеченности почв усвояемой формой азота [6, 7]. Также рекомендуется проведение 2–3-х некорневых подкормок зерновых культур усредненными по полям дозами азотных удобрений – 30–50 кг/га д. в. без учета состояния посевов и погодных условий. Поэтому на одних полях рекомендуемые дозы азота удобрений будут оптимальными, а на других – завышенными, что вызывает негативные последствия в посевах как озимых, так и яровых культур. Такие технологические принципы применения азотных удобрений не способствуют оптимизации азотного питания и тем более не позволяют управлять продуктивностью посевов зерновых и других культур, за счет усиления минерализации гумуса снижается плодородие почв.

В связи с изложенным разработка приемов более эффективного, природоохранного использования азотных удобрений для Беларуси продолжает быть актуальной, имеет большое народнохозяйственное значение. В предлагаемой статье основное внимание уделено вопросам совершенствования методов проведения почвенной диагностики на азот и оптимизации доз азотных удобрений под зерновые культуры с учетом содержания усвояемого азота в почве.

### Объекты и методы проведения исследований

Результаты полевых исследований показывают, что мощность перегнойного слоя дерново-подзолистых почв колеблется от 18–20 до 35–38 см. В связи с этим при равном содержании азота в почве, выраженном в мг/кг, фактические запасы азота в почве и обеспеченность им растений с учетом мощности перегнойного слоя значительно различаются. В исследованиях с применением изотопа азота  $^{15}\text{N}$  было также доказано, что основная роль в питании растений и формировании урожайности

сельскохозяйственных культур принадлежит запасам доступных растениям соединений азота в 0–40 см слое почвы (кг/га) [8]. Поэтому диагностику почв на обеспеченность их доступными для растений соединениями азота необходимо проводить в слое 0–40 см. В более ранних наших работах и республиканском стандарте по проведению почвенной диагностики на азот рекомендуется почвенные пробы отбирать отдельно из слоев 0–20 и 21–40 см. В то же время проведенными в последние годы дополнительными статистическими исследованиями выявлено, что между запасами усвояемого азота (кг/га) в слое почвы 0–20 см и слоя 0–40 см имеет место тесная связь ( $R^2 = 0,98–0,99$ ), описываемая соответствующими уравнениями регрессии:

– почвы суглинистые:  $Y_1 = 1,064x + 35,27$ ;  $R^2 = 0,99$ ;

– супесчаные:  $Y_2 = 1,085x + 38,16$ ;  $R^2 = 0,98$ ;

– песчаные:  $Y_3 = 1,20x + 18,69$ ;  $R^2 = 0,99$ ,

где:  $Y$  – запас  $N_{\text{усв.}}$  в слое 0–40 см почвы, кг/га;

$X_{35-310}$  – запас  $N_{\text{усв.}}$  в слое 0–20 см почвы, кг/га.

Запас  $N_{\text{усв.}}$  в слое 0–20 см почвы рассчитывают по формуле:

$$N_{\text{усв.}} = (C \times B) / 1000,$$

где:  $N_{\text{усв.}}$  – запас азота в слое 0–20 см почвы, кг/га;

$C$  – содержание азота в почве слоя 0–20 см, мг/кг почвы;

$B$  – средний вес слоя почвы 0–20 см: суглинистые – 2400, супесчаные – 2600 и песчаные – 2800 т/га;

1000 – коэффициент пересчета данных содержания азота с мг/кг почвы на кг/га.

Установлено, что без ущерба точности оценку уровня обеспеченности почв  $N_{\text{усв.}}$  в слое 0–40 см можно проводить по данным запаса азота в слое 0–20 см. Зная запас усвояемого азота в этом слое, по соответствующим уравнениям регрессии определяют с высокой долей достоверности (отклонения от средних не превышает 5 %) запас азота в слое 0–40 см. Это позволяет сократить затраты и время на проведение диагностики почв на содержание потенциально усвояемой фракции азота почти в два раза.

### Результаты исследований и их обсуждение

Многочисленные результаты исследований по оценке влияния уровня обеспеченности почв усвояемой формой азота на урожайность сельскохозяйственных культур,

эффективность азота удобрений и качество продукции приведены в работах [9–11 и др.]. Из-за ограничения объема в статье приведены лишь некоторые результаты этих исследований. Представленные на рисунке и в других источниках данные показывают, что зависимость уровня урожайности зерновых культур, кукурузы, рапса и картофеля от содержания потенциально усвояемого азота в слое 0–40 см почвы носит криволинейный характер и различается для почв разного гранулометрического состава. По всем опытам между запасом азота в почве и уровнем урожайности установлена тесная связь ( $R^2 = 0,83–0,99$ ), описываемая соответствующими уравнениями регрессии.

В исследованиях с применением изотопа азота  $^{15}N$  нами впервые установлено, что культурные растения в течение своей вегетации поглощают азот из двух источников: почвы и вносимых азотных удобрений пропорционально содержанию их соединений в доступной для растений форме [9–11 и др.]. Выявлена закономерность: чем больше почва содержит азота потенциально усвояемых растениями соединений, тем меньше растения поглощают азот удобрения. Доказано, что доля участия азота удобрений в общем выносе его урожаем изменяется от 55–50 % при очень низком и низком до 10–15 % – высоким и очень высоким содержании потенциально усвояемого азота в почве. Между данными запаса  $N_{\text{усв.}}$  в почвах и долей участия азота удобрений в общем выносе его урожаем установлена тесная устойчивая связь, описываемая соответствующими уравнениями регрессии:

$$Y_1 = -0,12x + 57,4; R^2 = 0,99; \text{ (яровые);}$$

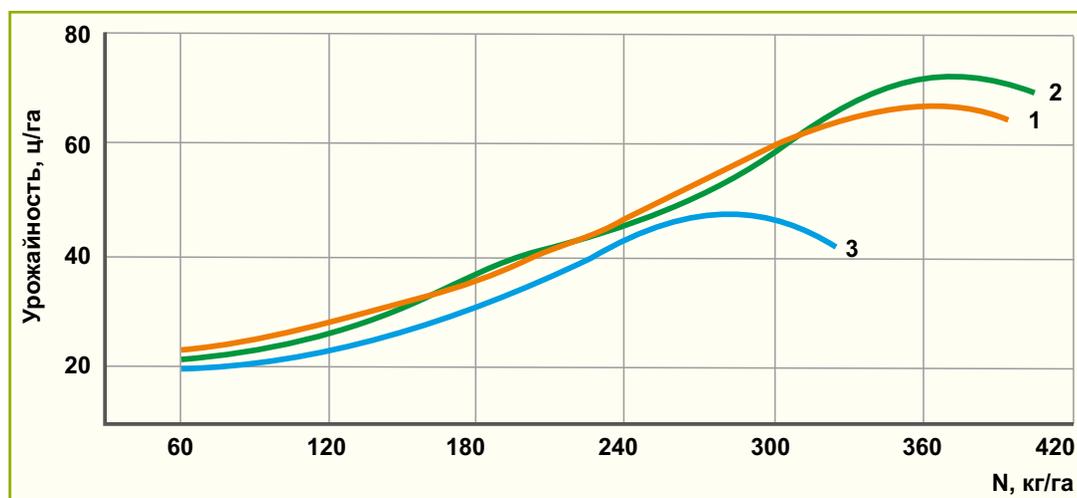
$$Y_2 = -0,12x + 61,37; R^2 = 0,98; \text{ (озимые),}$$

где:  $Y$  – долевое участие азота удобрений в общем выносе его урожаем, %;

$X_{60-450}$  – содержание  $N_{\text{усв.}}$  в почве, кг/га.

Это положение явилось основой при определении оптимальных, дифференцированных по полям доз азотных удобрений.

На основании установленной функциональной зависимости уровня урожайности и выноса азота почвы и удобрений с урожаями, эффективности азотных удобрений от запаса потенциально усвояемого азота в почвах определены ориентировочные градации обеспеченности дерново-подзолистых почв потенциально усвояемым азотом в слое 0–40 см, корректирующие



Зависимость уровня урожайности озимой ржи от содержания усвояемого азота в почвах (1 – суглинистые, 2 – супесчаные, 3 – песчаные)

коэффициенты к расчетным дозам азота на планируемую урожайность (таблица 1), дозы азотных удобрений для ранневесенней подкормки озимых зерновых культур (таблица 2) и основного внесения под яровые зерновые культуры (таблица 3).

Доза азота на планируемую урожайность рассчитывается по формуле:

$$\text{Нуд.} = (\text{Упл.} \times \text{Нуд. в.}) \times \text{Кв.},$$

где: Нуд. – доза азотного удобрения, кг/га д. в.;

Упл. – планируемая урожайность основной продукции культуры, т/га;

Нуд. в. – норматив удельного выноса азота основной с учетом побочной продукции, кг/т;

Кв. – нормативный коэффициент возмещения удобрениями выноса азота урожаем культуры.

Исследованиями также установлено, что при запасе потенциально усвояемого азота (слой 0–40 см) 300 кг/га и более в песчаных и 400 кг/га и более – в суглинистых почвах содержание нитратов в картофеле, корнеплодах и травах, как правило, превышает предельно допустимый уровень (ПДК). В таких почвах содержание нитратов в значительных количествах обнаруживается не толь-

ко в верхних слоях почвенной толщи, но и на глубине 80–100 см, что может привести к загрязнению грунтовых вод нитратами.

Приведенные в таблице 4 и в источниках [9–11 и др.] некоторые результаты полевых и производственных опытов показывают, что применение азотных удобрений с учетом требований инновационной технологии возделывания зерновых культур обеспечивает повышение урожайности в среднем на 6,5 ц/га, достигая уровня 50–80 ц/га, и окупаемости азота удобрениями на 40 % и более, снижение дозы азота в среднем на 20 кг/га, удельных энергозатрат – на 20–40 % и полегаетости посевов.

Следует отметить, что в опытах, когда посевы не могут реализовать биологический потенциал урожайности сортов по причинам, не связанным с уровнем азотного питания, происходит экономия азотных удобрений до 30 и более кг/га д. в. Особенно высокая агроэкологическая эффективность предлагаемой технологии применения азотных удобрений установлена на эродированных почвах [12 и др.].

В наших исследованиях, проведенных с изотопом азота <sup>15</sup>N, также выявлено [4, 5, 11 и др.], что при вне-

**Таблица 1 – Градации обеспеченности дерново-подзолистых почв потенциально усвояемым азотом и потребность зерновых культур в азотных удобрениях на планируемую урожайность 5–8 т/га**

Группа	Нусв. (слой 0–40 см), кг/га	Степень обеспеченности почв азотом	Потребность растений в азотных удобрениях	Коэффициент возмещения выноса
1	менее 80	очень низкая	очень высокая	1,1–1,2
2	80–120	низкая	высокая	1,1–1,0
3	121–200	средняя	средняя	0,8–0,7
4	201–300	повышенная	низкая	0,6–0,5
5	301–400*	высокая	очень низкая	0,3–0,2**
6	более 400	экологически опасная	отсутствует	0

Примечание – \*Экологически опасный уровень содержания азота в песчаных и супесчаных, подстилаемых песком, почвах;

\*\*азотные удобрения применяют в подкормку.

**Таблица 2 – Ориентировочные дозы азотных удобрений для ранневесенней подкормки озимых зерновых культур (планируемая урожайность 6–8 т/га)**

Группа	Нусв. (слой 0–40 см), кг/га	Степень обеспеченности почв азотом	Потребность растений в азотных удобрениях	Доза азота, кг/га
1	менее 80	очень низкая	очень высокая	80–90*
2	80–120	низкая	высокая	70–80
3	121–200	средняя	средняя	50–60
4	201–300	повышенная	низкая	40–50
5	301–400	высокая	очень низкая	20–30
6	более 400	экологически опасная	отсутствует	–

Примечание – \*При изреженных, слабо развитых растениях; более высокие дозы – для пшеницы и тритикале.

**Таблица 3 – Ориентировочные дозы азотных удобрений для основного внесения под яровые зерновые культуры (планируемая урожайность 5–7 т/га)**

Группа	Нусв. (слой 0–40 см), кг/га	Степень обеспеченности почв азотом	Потребность растений в азотных удобрениях	Доза азота, кг/га
1	менее 120	низкая	высокая	80–90*
2	120–200	средняя	средняя	60–70
3	201–300	высокая	низкая	40–50
4	301–400	очень высокая	очень низкая	15–25
5	более 400	экологически опасная	отсутствует	–

Примечание – \*Более высокие дозы для пшеницы и тритикале.

**Таблица 4 – Сравнительная эффективность технологий применения азотных удобрений под озимые зерновые культуры (среднее за 3 года)**

Почвы, культура	Технология применения удобрений	Вариант	Доза азота*, кг/га	Урожайность, ц/га	Оплата 1 кг азота зерном, кг	Удельные энергозатраты, МДж/ц
Суглинистые (озимая пшеница)	(дробно) базовая	P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> N <sub>90</sub> +30	120	72,0**	25,3	452
	дробно по диагностике	P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> N <sub>120</sub>	120	76,1	28,8	407
	± к базовой		0	+4,1	+3,5	-45
Суглинистые (озимая рожь)	дробно (базовая)	P <sub>90</sub> K <sub>120</sub> N <sub>90</sub> +30	120	64,6	23,7	590
	дробно по диагностике	P <sub>90</sub> K <sub>120</sub> N <sub>100</sub>	100	68,3	32,2	490
	± к базовой		-20	+3,7	+8,5	-100
Супесчаные (озимая рожь)	дробно (базовая)	P <sub>90</sub> K <sub>120</sub> N <sub>90</sub> +30	120	54,6	20,6	593
	дробно по диагностике	P <sub>90</sub> K <sub>120</sub> N <sub>110</sub>	110	70,9	37,4	408
	± к базовой		-10	+16,3	+16,8	-185

Примечание – \*На фоне РК; \*\*полегание.

сении дифференцированных по полям доз азотных удобрений с учетом содержания усвояемых соединений азота в почве в среднем за 6 лет севооборота коэффициент их использования в сравнении с базовым вариантом повышается на 13–18 %, а потери снижаются на 17–24 кг/га д. в. При инновационной технологии применения азотных удобрений снижается минерализация органического вещества на 12–26 % и потери азота почвы в слое 0–40 см: суглинистые – на 41 кг/га, супесчаные – 46 и песчаные – 65 кг/га. Расчеты показывают, что при внедрении инновационной технологии применения азотных удобрений хотя бы на посевной площади 2 млн га и внесении средних доз азота удобрений суммарная экономия азота (почвы и удобрений) может составить более 100 тыс. т д. в. ежегодно. При этом ориентировочные потери плодородия почв снизились бы на 1,7 млн т гумуса.

Следует отметить, что проведение почвенной диагностики на азот – мероприятие высококоррелябельное. По данным ОПИСХ, затраты на отбор и анализ одной почвенной пробы составляют около 10 рублей. Это значит, что дополнительные затраты на проведение почвенной диагностики на содержание азота по предлагаемому методу составляют менее 1 руб./га. В настоящее время при крупных животноводческих комплексах сельхозпредприятий имеются, как правило, хорошие аналитические лаборатории, оснащенные соответствующим оборудованием, на котором можно проводить анализ на содержание усвояемых соединений азота в почвах. Это позволяет сельхозпредприятиям снизить затраты на проведение почвенной диагностики на азот.

## Выводы

Предложен для широкого использования в производстве метод проведения диагностики обеспеченности почв потенциально усвояемой растениями формой азота. Содержание этой фракции азота в слое почвы 0–40 см по полям колеблется в широких пределах – 60–450 кг/га, чаще – 80–350 кг/га. Растения поглощают азот почвы и внесенных удобрений пропорционально наличию их в почве.

Доказано, что доля участия азота удобрений в общем выносе его урожаем изменяется от 55–50 % при очень низком и низком до 10–15 % – высоком и очень высоком содержании потенциально усвояемого азота в почве.

Приведены градации обеспеченности почв Нусв. и поправочные коэффициенты к дозам удобрений. Применение дифференцированных по полям доз азотных удобрений обеспечивает повышение урожайности зерновых культур на 6–10 ц/га при снижении потерь на 17–24 и экономии азота удобрений до 20 кг/га д. в., уменьшении минерализации ОВ и потерь гумуса почвы на 12–26 %.

## Литература

- Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.
- Семененко, Н. Н. Метод определения усвояемого азота в дерново-подзолистых почвах / Н. Н. Семененко // Агрохимия. – 1981. – № 11. – С. 129–134.
- Методические указания по проведению комплексной почвенно-растительной диагностики азотного питания зерновых культур / Н. Н. Семененко [и др.]. – Мн.: Ураджай, 1988. – 32 с.
- Почвы. Метод определения потенциально усвояемого азота. РСТ Беларуси 908–91/ Н. Н. Семененко [и др.]. – Минск: Минсельхозпрод РБ, 1991. – 13 с.
- Семененко, Н. Н. Адаптивная система применения азотных удобрений под зерновые культуры: методические рекомендации / Н. Н. Семененко. – Минск, 2005. – 35 с.
- Рекомендации по экономически обоснованным приемам управления продуктивностью посевов зерновых культур в агротехнологиях различной интенсивности на дерново-подзолистых почвах / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 24 с.
- Применение удобрений при возделывании зерновых культур: отраслевой регламент / Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии», разработ. В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2014. – 16 с.
- Семененко, Н. Н. Доступность растениям минеральных соединений азота подпахотных слоев дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и их роль в формировании урожая озимой ржи. / Н. Н. Семененко, Н. Н. Цыбулько // Агрохимия. – 1995. – № 7. – С. 21–24.
- Семененко, Н. Н. Азот в земледелии Беларуси / Н. Н. Семененко, В. Н. Невмержицкий. – Мн.: Хата, 1997. – 195 с.
- Семененко, Н. Н. Адаптивная система применения азотных удобрений / Н. Н. Семененко. – Мн.: Хата, 2003. – 164 с.
- Семененко, Н. Н. Инновационные технологии применения азотных удобрений: теория, методология, практика / Н. Н. Семененко. – Минск: ООО «Альфа – книга», 2020. – 320 с.
- Семененко, Н. Н. Влияние способов применения азотных удобрений на формирование элементов продуктивности и урожайность зерновых культур на эродированных почвах / Н. Н. Семененко, И. М. Почичкая // Известия ААН РБ. – 2001. – № 4. – С. 42–47.