

УДК 631.84:631.416.1

**УРОЖАЙНОСТЬ ПШЕНИЦЫ, ЯЧМЕНЯ, ВИКО-ОВСЯНОЙ СМЕСИ  
И ПОТРЕБЛЕНИЕ ИМИ АЗОТА ПРИ СОВМЕСТНОМ ПРИМЕНЕНИИ  
ЖИДКОГО АММИАКА И ИНГИБИТОРОВ НИТРИФИКАЦИИ**

**Т. В. МОЧКОВА**

(Кафедра агрономической и биологической химии)

В связи с резким увеличением объема применения в сельском хозяйстве жидкого аммиака особую актуальность приобретает всестороннее изучение процессов трансформации его в почве с целью разработки приемов, направленных на повышение коэффициентов использования и эффективности азота удобрения [8, 9]. Важная роль при этом отводится ингибиторам нитрификации, которые наряду с агротехническими мероприятиями могут привести к снижению потерь азота удобрений и более продуктивному усвоению его растениями [1, 7, 8].

Наиболее полно с агрохимической точки зрения, а также с точки зрения избирательного действия на микрофлору почвы и токсикологических свойств исследованы ингибиторы нитрификации на основе нитрапирина (2-хлор-6-трихлорметил-пиридина): американский Н-серве и отечественный препарат ТХМП, синтезированный в ГосНИИхлорпроекте методами радиационного и термического хлорирования 2-трихлорметил-пиридина [2, 3].

Широкое практическое применение указанных препаратов в качестве ингибиторов нитрификации связано, однако, с определенными трудностями, обусловленными высокой летучестью нитрапирина, а также необходимостью использования для обработки твердых азотных удобрений легковоспламеняющихся растворителей (ксилола, бензина,

ацетона). Лишь при внесении этих ингибиторов нитрификации с жидким аммиаком и другими жидкими удобрениями осуществима технология, обеспечивающая полное соблюдение правил техники безопасности [5, 6].

До настоящего времени подавляющее число лабораторных, вегетационных и полевых опытов по испытанию ингибиторов нитрификации проведено с твердыми азотными удобрениями [8]. Нами изучались превращение в почве и эффективность жидкого аммиака при его совместном применении с Н-серве и ТХМП в чистой и технической формах.

### Методика исследований

Полевые опыты были проведены в 1978—1981 гг. на опытном поле Научно-исследовательского проектно-технологического института жидких удобрений (НИПТИЖ) в Клинском районе Московской области, почва дерново-подзолистая среднесуглинистая со следующими агрохимическими показателями: гумус—2,8%, азот общий—0,14%,  $pH_{с.ол}$ —5,2,  $N_T$  и  $S$ —соответственно 4,1 и 8,2 мэкв на 100 г, подвижные формы  $P_2O_5$  и  $K_2O$  по Кирсанову—10,5 и 14,0 мг на 100 г.

Фонem служили фосфорные ( $P_{с.л}$ ) и калийные ( $K_x$ ) удобрения из расчета 90 д. в. на 1 га (фон). Жидкий аммиак вносили в нормах 60 N и 90 N с помощью агрегата АБА-0,5 M на глубину 10—12 см при расстоянии между сошниками культиватора КРН-4,2 35 см. Ингибиторы нитрификации Н-серве и ТХМП в дозе 1% от нормы азота вводили в состав жидкого аммиака при заправке агрегата АБА-0,5 M от заправщика ЗБА-2,6.

Опытные культуры—ячмень, озимая пшеница (1979—1981 гг.) и вико-овсяная смесь (1978 г.). Расположение делянок в опытах одно- или двурядное. Площадь опытной делянки 110—114 м<sup>2</sup>, учетной—42—45 м<sup>2</sup> для зерновых культур и 23 м<sup>2</sup> для вико-овсяной смеси.

На протяжении вегетации в посевах ячменя и вико-овсяной смеси на делянках по

линии внесения жидкого аммиака через 14, 28, 42, 56 и 70 сут, в посевах озимой пшеницы—осенью через месяц после закладки опытов, весной—в начале вегетации растений проводили отбор почвенных образцов, в которых определяли количество минерального азота по общепринятым методикам. В растительных образцах, отобранных по фазам развития с 4 площадок (по 0,25 м<sup>2</sup>) на каждой делянке, устанавливали содержание абсолютно сухого вещества и общего азота по Кьельдалю. Повторность для каждого срока наблюдения—4-кратная биологическая и 2-кратная аналитическая.

Годы проведения полевых опытов характеризовались неодинаковыми погодными условиями, что оказало существенное влияние на эффективность жидкого аммиака и ингибиторов нитрификации. Вегетационные периоды 1978 г. и особенно 1980 г. отличались низкими температурами и избыточным увлажнением по сравнению со средними многолетними. Так, в 1980 г. средняя температура в мае и во II декаде июля была на 3,7° ниже многолетней, а количество осадков более чем в 2,5 раза превышало обычную норму. В 1979 г. и особенно в 1981 г. растения росли в условиях повышенных температур и недостатка влаги в почве.

### Результаты исследований

Наблюдения за динамикой содержания минерального азота в почве показали, что препараты Н-серве и ТХМП активно тормозят процесс нитрификации жидкого аммиака. Степень и продолжительность их ингибирующего действия в значительной мере зависели от погодных условий. Наиболее продолжительное и активное ингибирующее действие нитрапирина установлено в 1978 г. (рис. 1). При повышенных температурах и недостатке влаги в почве в начале вегетации растений в 1979 г. оно было менее продолжительным и эффективным, чем в 1978 г., и проявлялось лишь в течение 28 сут со дня внесения жидкого аммиака с ингибиторами нитрификации. В 1980 г. в начале вегетационного периода сложились крайне неблагоприятные погодные условия для роста и развития растений. В результате сильного переувлажнения почвы и низкой температуры воздуха всходы появились на 12 дней позже обычных сроков. В связи с этим резко возросла возможность потерь азота ранее внесенного жидкого аммиака. Н-серве и ТХМП в этих условиях тормозили нитрификацию азота удобрения в течение 42 дней со дня внесения, способствуя снижению потерь азота из почвы. В дальнейшем разница в содержании нитратного азота в почве между вариантами сглаживалась и к концу вегетации полно-

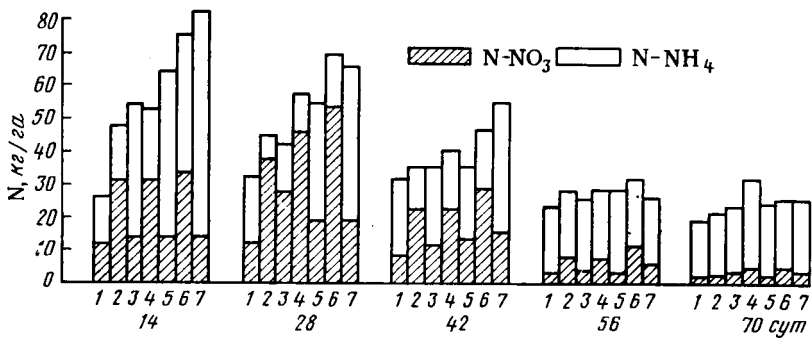


Рис. 1. Динамика содержания минеральных соединений азота в почве под вико-овсяной смесью в 1978 г.

1 — 90P90K (фон); по фону: 2 — 60N; 3 — 60N+H-серве; 4 — 90N; 5 — 90N+H-серве; 6 — 120N; 7 — 120N+H-серве.

стью исчезала. Применение H-серве и ТХМП в 1981 г. при устойчивых повышенных температурах в период вегетации обеспечивало, как и в 1979 г., непродолжительное торможение нитрификации, которое проявлялось лишь в 1-й срок определения (28 сут со дня внесения удобрений) на фоне 90N.

Важно отметить, что суммарное содержание минерального азота в почве без ингибиторов и с нитрапирином в 1978 и 1980 гг. практически было на одном уровне, а в 1979 и 1981 г. — выше в вариантах с ингибиторами. Это свидетельствует о том, что препараты H-серве и ТХМП не оказывали отрицательного действия на процессы минерализации в почве.

Применение ингибиторов нитрификации осенью 1979—1980 гг. также обеспечивало активное торможение нитрификации жидкого аммиака и сохранение большего его количества в почве в аммонийной форме. Это способствовало улучшению условий питания озимой пшеницы в период кущения, когда происходят закладка и дифференциация колоса. Так, через 4 нед со дня внесения удобрений в 1980 г. содержание аммонийного азота в вариантах с H-серве и ТХМП было на 12—

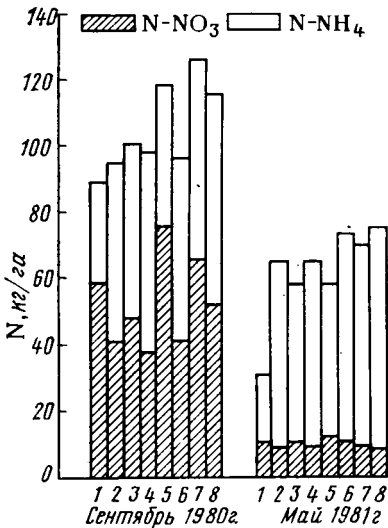


Рис. 2. Динамика содержания минеральных соединений азота в почве под озимой пшеницей

По фону 90P90K: 1 — 60N; 2 — 60N+H-серве; 3 — 60N+ТХМП<sub>чист</sub>; 4 — 60N+ТХМП<sub>техн</sub>; 5 — 90N; 6 — 90N+H-серве; 7 — 90N+ТХМП<sub>чист</sub>; 8 — 90N+ТХМП<sub>техн</sub>.

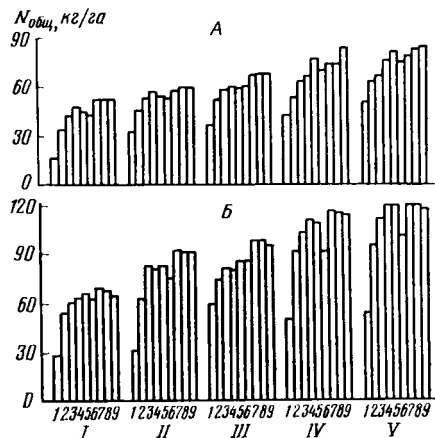


Рис. 3. Потребление азота ячменем в ходе вегетации в 1979 г. (А) и 1980 г. (Б).

1 — 90P90K (фон); по фону: 2 — 60N; 3 — 60N+H-серве; 4 — 60N+ТХМП<sub>чист</sub>; 5 — 60N+ТХМП<sub>техн</sub>; 6 — 90N; 7 — 90N+H-серве; 8 — 90N+ТХМП<sub>чист</sub>; 9 — 90N+ТХМП<sub>техн</sub>; I — фаза кущения; II — выход в трубку; III — колошение; IV — цветение; V — полная спелость.

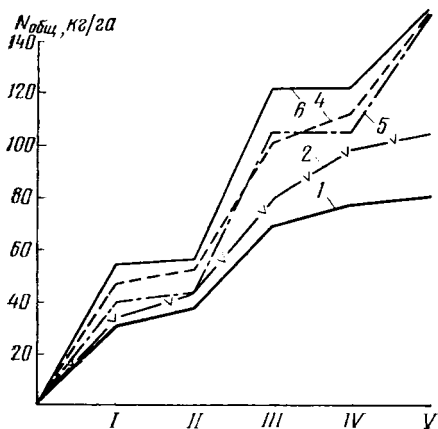


Рис. 4. Потребление азота озимой пшеницей в ходе вегетации в 1980 г. Обозначения те же, что на рис. 3.

31 мг/кг выше, чем в соответствующих вариантах без их применения. Количество нитратного азота на фоне 60 N составляло 59 мг/кг, а в соответствующих вариантах с Н-серве и ТХМП — на уровне 37—48 мг/кг. Подобная закономерность установлена и на фоне 90N (рис. 2). Консервация азота удобрения в аммонийной форме с помощью ингибиторов нитрификации обусловила снижение потерь азота из почвы; сумма минерального азота в вариантах 60 N при внесении Н-серве и ТХМП в 1980 г. была на 18—24 мг/кг, а в 1979 г. — в 2 раза выше, чем в соответствующем варианте без ингибиторов.

Таким образом, применение Н-серве и ТХМП обеспечивает эффективное торможение нитрификации жидкого аммиака. Однако степень и продолжительность ингибирующего действия зависят от погодных условий и прежде всего от температурного фактора. Полученные в полевых условиях результаты согласуются с данными лабораторных исследований, свидетельствующими об увеличении скорости деградации нитрапирина в почве при повышении температуры [9].

Сравнивая эффективность Н-серве и ТХМП, необходимо отметить, что степень и продолжительность ингибирующего действия у обоих препаратов при равных дозах были близкими.

Консервация большого количества азота удобрений и почвы в аммонийной форме с помощью этих препаратов способствовала снижению газообразных потерь вследствие денитрификации и вымывания нитратов из корнеобитаемого слоя почвы и приводила к увеличению потребления азота растениями. Так, в 1979 г. при внесении Н-серве потребление азота ячменем в фазу кущения на фонах 60N и 90N увеличилось соответственно на 13 и 10 кг/га. В 1980 г. в эту фазу подобный эффект ингибиторов отмечен только при меньшей норме безводного аммиака (рис. 3).

В фазу выхода в трубку потребление азота в вариантах с Н-серве и ТХМП во всех опытах в среднем за 2 года было на 22 % выше, чем в соответствующих вариантах без их применения. В фазу колошения ячменя эта разница в накоплении азота растениями постепенно сглаживалась (очевидно, вследствие деградации препаратов и снижения интенсивности использования растениями минерального азота) и составляла около 13 % (рис. 3).

В 1981 г. из-за резкого недостатка влаги в почве в фазы кущения и выхода в трубку потребление азота ячменем было крайне замедленным; различий в его использовании растениями между вариантами с ингибиторами нитрификации и без них не установлено.

Внесение Н-серве и ТХМП совместно с жидким аммиаком под озимую пшеницу также способствовало увеличению потребления азота растениями. Однако потреблялся он, особенно в 1980 г., очень неравномерно, что определялось главным образом погодными условиями. Весной этого года при пониженных температурах и избыточном увлажнении резко замедлялись рост и развитие растений, а следовательно, и потребление азота: за период от фазы кущения до выхода в трубку оно составило 10 кг/га и не зависело от применения ингибиторов нитрификации (рис. 4). Из-за холодной и пасмурной погоды задержалось также начало колошения, которое наступило лишь через 32 сут после выхода в трубку. Растения испытывали повышенную потребность в питании; за этот период в зависимости от варианта опы-

Урожай сена и вико-овсяной смеси и вынос N в 1978 г.  
с урожаем при внесении Н-серве

Показатель	90P90K (фон)	По фону			
		60N	60N+ +Н-серве	90N	90N+ +Н-серве
Урожай сена, ц/га	44,4	50,8	60,6	55,4	63,7
Прибавка урожая от N и ингибитора, ц/га	—	6,4	16,2	11,0	19,3
Вынос N с урожаем, кг/га	64,0	78,0	89,0	82,0	95,0
НСР <sub>05</sub> =4,4 ц сена на 1 га					

та было дополнительно использовано от 36 до 68 кг N на 1 га. Наиболее активно азот накапливался при внесении ингибиторов нитрификации: вынос азота растениями в этом случае на фонах 60N и 90N был соответственно на 27—34 и 14—27 % выше, чем в вариантах без ингибиторов. Различие в потреблении азота растениями, обусловленное внесением ингибиторов нитрификации, сохранялось и в последующий период вегетации озимой пшеницы.

Действие Н-серве и ТХМП на урожайность сельскохозяйственных культур зависело от норм азота и погодных условий. Так, применение Н-серве в крайне неблагоприятных погодных условиях в начале вегетационного периода 1978 г. привело к длительному торможению нитрификации жидкого аммиака (рис. 1) и значительному увеличению урожая сена вико-овсяной смеси. Так, прибавки урожая сена вико-свса от Н-серве в вариантах с 60N и 90N составили соответственно 9,8 и 8,3 ц/га, т. е. в варианте 60N+Н-серве получен такой же урожай, что и при 90N без ингибитора. Важное значение имело, по-видимому, усиленное снабжение азотом растений в начальный период их развития, когда они используют в основном азот удобрения. Повышение урожая сена при внесении Н-серве сопровождалось также увеличением выноса азота растениями (табл. 1).

В 1979 г. применение ТХМП (в двух формах) обеспечило повышение урожая зерна ячменя на фоне 60N в среднем на 3,9 ц/га. В этих вариантах резко возросла и масса соломы. Значительно увеличился урожай зерна при использовании ингибиторов нитрификации на фоне 90N — в среднем на 5,3 ц/га. В условиях сильного переувлажнения почвы и низких температур вегетационного периода 1980 г. применение Н-серве и ТХМП оказало положительное влияние на азотное питание растений в варианте с низкой нормой азота — прибавка урожая зер-

Таблица 2  
Урожай ячменя и вынос азота с урожаем в 1979—1981 гг.  
при внесении Н-серве и ТХМП

Вариант опыта	1979 г.			1980 г.			1981 г.		
	урожай, ц/га		вынос N, кг/га	урожай, ц/га		вынос N, кг/га	урожай, ц/га		вынос N, кг/га
	зерно	солома		зерно	солома		зерно	солома	
90Pг.с90K <sub>x</sub> — фон	14,9	21,4	51	13,8	35,6	56	14,1	13,0	26
Фон+60N	17,5	24,2	63	25,5	53,5	99	21,6	25,4	54
То же+Н-серве	17,7	27,0	68	29,1	56,9	112	23,7	26,8	58
Фон+60N+ТХМП <sub>чист.</sub>	20,6	35,1	78	30,2	63,0	120	24,3	25,8	59
» + » +ТХМП <sub>техн.</sub>	22,3	31,4	83	30,8	62,1	121	21,2	25,8	59
Фон+90N	17,6	32,2	72	29,7	61,2	118	23,5	26,1	61
То же+Н-серве	22,7	32,0	81	30,5	65,1	121	24,2	27,3	67
Фон+90N+ТХМП <sub>чист.</sub>	23,8	33,4	84	30,0	58,1	121	25,9	30,3	76
Фон+90N+ТХМП <sub>техн.</sub>	22,5	35,9	86	29,4	58,6	118	24,9	30,4	67
НСР <sub>05</sub>	1,5			1,7			3,3		

Урожай озимой пшеницы и вынос азота с урожаем в 1979—1981 гг. при внесении Н-серве и ТХМП

Вариант опыта	1979			1980			1981		
	урожай, ц/га		вынос N, кг/га	урожай, ц/га		вынос N, кг/га	урожай, ц/га		вынос N, кг/га
	зерно	солома		зерно	солома		зерно	солома	
90P90K — фон	19,4	48,8	47	25,5	54,3	60	23,1	21,8	41
Фон+60N	26,0	52,2	84	32,7	72,4	104	30,5	32,7	77
То же+Н-серве	28,5	49,2	85	33,2	108,4	151	35,1	36,3	80
Фон+60N+ТХМП <sub>чист</sub>				32,1	109,5	152	33,6	33,2	77
Фон+90N	26,3	49,1	83	30,2	87,5	131	38,4	31,4	83
То же+Н-серве	29,0	48,7	89	31,2	105,3	139	36,0	34,1	83
Фон+90N+ТХМП <sub>чист</sub> .				35,1	113,2	149	37,7	38,8	83
НСР <sub>05</sub>	1,7			3,9			3,0		

на ячменя 3,6—5,3 ц/га; при увеличении нормы азота до 90 кг/га действие испытываемых препаратов было незначительным (табл. 2).

Применение ингибиторов нитрификации в условиях повышенных температур и острого недостатка влаги в почве в 1981 г. не привело к существенному увеличению урожая зерна ячменя.

Повышение урожая зерна ячменя при внесении испытываемых препаратов сопровождалось увеличением выноса азота с урожаем (табл. 2). Вследствие этого коэффициенты использования азота ячменем, рассчитанные разностным методом, на фоне 60N при внесении препаратов ТХМП были в 2—2,5 раза выше, чем в соответствующем варианте без их применения. Значения этих коэффициентов в вариантах 60N+ингибиторы были несколько выше, чем в вариантах 90N+ингибиторы. В 1980 г. в результате применения обоих препаратов на фоне 60N коэффициенты использования азота ячменем в среднем повысились на 31 %.

Результаты полевых опытов с озимой пшеницей также свидетельствуют о положительном действии Н-серве и ТХМП на рост и развитие растений. Однако улучшение азотного питания при внесении испытываемых препаратов не всегда приводило к увеличению выхода товарной продукции. В 1979 г. прибавка урожая зерна при внесении Н-серве на всех фонах в среднем составила 2,5 ц/га, а в 1981 г. на фоне 60N — 4,6 ц/га. В 1980 г. внесение Н-серве и ТХМП привело лишь к повышению массы соломы в среднем на 30 % по сравнению с вариантами 60N<sub>б.а</sub> и 90N<sub>б.а</sub>. Соотношение между массой зерна и соломы в вариантах с Н-серве и ТХМП составило 1:3,0 против 1:2,0 в фоновых вариантах. Применение ингибиторов нитрификации в условиях повышенной влажности при недостатке солнечной радиации способствовало полеганию озимой пшеницы, что отрицательно сказалось на формировании и созревании зерна.

Усиливая снабжение растений азотом, особенно в начальный период вегетации, ингибиторы нитрификации в значительной степени увеличивали общий его вынос с урожаем озимой пшеницы. В 1980 г. общее количество азота в урожае при внесении Н-серве и ТХМП на фоне 60N возросло в 1,3—1,4 раза по сравнению с его выносом в соответствующих вариантах без их применения за счет повышения как массы соломы, так и относительного содержания общего азота в вегетативных органах растений (табл. 3).

### Выводы

1. В полевых опытах 1978—1981 гг. Н-серве и ТХМП в чистой и кристаллической формах при совместном применении с жидким аммиаком тормозили процесс нитрификации на протяжении 4—6 нед при

внесении весной и более длительное время при внесении осенью под озимую пшеницу.

2. При внесении вместе с жидким аммиаком ингибиторов нитрификации типа нитрапирина в почве сохранялось большее количество азота удобрения в аммонийной форме, улучшались условия питания растений, что приводило к увеличению потребления азота опытными культурами.

3. Действие Н-серве и ТХМП на потребление азота растениями и урожайность сельскохозяйственных культур в значительной степени зависело от погодных условий. В опыте 1978 г. с однолетними травами и в опытах с 1979—1980 гг. с ячменем получены достоверные прибавки урожая при одновременном повышении содержания азота в сене вико-овсяной смеси и зерне ячменя. В опыте с озимой пшеницей применение ингибиторов нитрификации приводило к увеличению урожая зерна в 1979 и 1981 гг. и резкому повышению массы соломы в 1980 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кидин В. В., Смирнов П. М., Ионова О. Н. Баланс азота удобрений и вымывание азота почвы в лизиметрическом опыте. — В сб.: Вопросы агрохимии азота. М.: ТСХА, 1982, с. 34—39. — 2. Косорогов В. И., Стуль Б. Я., Овчинников В. Г., Джагацпанян Р. В. Радиационное хлорирование 2-(трихлорметил)-пиридина. — Химия высоких энергий, вып. 1, 1978, с. 81—83. — 3. Косорогов В. И., Стуль Б. Я., Джагацпанян Р. В. Радиационное хлорирование хлорзамещенных производных 2-пиколина. — Кинетика и катализ, т. XIX, вып. 6, 1978, с. 1393—1398. — 4. Муравин Э. А. Применение ингибиторов нитрификации для снижения потерь и повышения эффективности азотных удобрений. — В кн.: Итоги науки и техники. Почвоведение и агрохимия, т. 3. М.: ВИНТИ АН СССР, 1979, с. 5—84. — 5. Муравин Э. А., Смирнов П. М. Свойства нитрапирина, определяющие технологию применения его препаратов в качестве ингибиторов нитрификации. — В сб.: Проблемы химизации и мелиорации. М.: ТСХА, 1980, с. 22—28. — 6. Рекомендации по производственному испытанию ингибиторов нитрификации типа нитрапирина. М.: МСХ СССР, ВПНО «Союзсельхозхимия», 1981. — 7. Смирнов П. М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с  $^{15}\text{N}$ ). М.: ТСХА, 1982. — 8. Смирнов П. М., Муравин Э. А., Базилевич С. Д., Кидин В. В. Основные результаты изучения и перспективы применения ингибиторов нитрификации для повышения эффективности азотных удобрений. — Агрохимия, 1981, № 12, с. 3—15. — 9. Смирнов П. М., Муравин Э. А., Нейгебаур Э. Ф., Мочкова Т. В., Косорогов В. И. Превращение в почве и эффективность азотных удобрений при использовании ингибиторов нитрификации. — Агрохимия, 1981, № 1, с. 3—12.

*Статья поступила 14 февраля 1983 г.*

#### SUMMARY

In the field experiments of 1978—1981 nitrapyrin of US and domestic production at the rate of 1 per cent of nitrogen applied provided active braking of nitrification of anhydrous ammonia during 4—6 weeks with spring application and more with autumn application for winter wheat. Its effect on yielding capacity of barley and winter wheat are considerably dependent on weather conditions.