

Влияние безводного аммиака на свойства почвы и продуктивность полевых культур

Мирошниченко Н.Н., Гладких Е.Ю., Ревтье А.В.

Несмотря на технологический прогресс в агропромышленном производстве, дефицит продуктов питания остается глобальной неразрешенной проблемой мирового масштаба. В ее решении одним из наиболее действенных и до сих пор полностью не использованных резервов является оптимизация минерального питания растений. В рамках 4R-стратегии возможны различные решения для оптимизации видов, форм и доз удобрений, а также сроков и способов их внесения (IPNI, 2012). Однако для выбора наиболее правильного решения необходимо учитывать не только прямой эффект повышения продуктивности выращиваемых культур, но и отдаленные последствия длительного применения удобрений для плодородия и качества почв. При внедрении новых технологий объективный и профессиональный мониторинг не только обеспечит стабильность производства и снижение эколого-экономических рисков, но и будет способствовать решению таких задач, как гармонизация взаимосвязи между интенсивным земледелием и состоянием окружающей среды, распространение научных знаний о питании растений, ответственное отношение к основному средству производства.

В структуре минеральных удобрений, вносимых под посевы полевых культур в Украине, доминирующим элементом выступает азот, объемы применения которого с каждым годом возрастают, что, соответственно, обуславливает широкий ассортимент азотных удобрений (табл. 1). Наиболее концентрированным и дешевым (рис. 1) в этом ассортименте является жидкий безводный аммиак, преимущества которого уже давно оценили в США и Канаде. На территории Украины, как и ее ближайших соседей – России и Белоруссии, эта форма азотных удобрений пока применяется в небольших объемах. При существующих объемах производства безводного аммиака, составляющих 200-250 тыс. т, лишь 12% от этого количества используется украинскими сельхозтоваропроизводителями.

С одной стороны, это можно объяснить высокими стартовыми затратами на создание инфраструктуры в цепи «завод-поле», а это экономически нецелесообразно для небольших хозяйств (Завалин, 2014). С

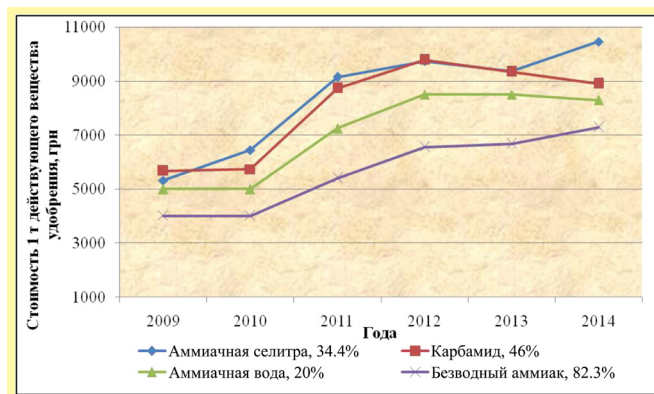


Рис. 1. Динамика стоимости азотных удобрений в Украине в 2009-2014 гг.

другой стороны, вполне понятны опасения многих сельхозпроизводителей в отношении возможного ухудшения плодородия почвы из-за высокой токсичности и химической агрессивности аммиака. Именно высокие требования к технике безопасности при несовершенстве технологии внесения ограничили применение безводного аммиака в земледелии бывшего СССР. К сожалению, в отечественной научной литературе крайне мало сведений о воздействии аммиака на качество почвы, а длительных наблюдений в Украине не проводилось вообще. Между тем, объемы применения безводного аммиака в земледелии неуклонно расширяются. Жидкий безводный аммиак имеет существенные преимущества перед гранулированными азотными удобрениями: меньшие энергозатраты на производство единицы азота; полная механизация всех технологических процессов; более равномерное распределение по полю. По расчетам Н. Zhang (2006), затраты на применение 1 кг азота в виде жидкого аммиака на 57% ниже, чем при использовании карбамида и аммиачной селитры.

Для комплексной оценки влияния безводного аммиака на свойства чернозёмных почв, которые занимают около 65% пахотных земель Украины, был заложен производственный полевой опыт на базе демонстрационного опытного поля АО «Райз-Максимко» в Лохвицком районе Полтавской области.

Исследуемая почва – чернозем оподзоленный слабогумусированный среднесуглинистый на лес-

Таблица 1. Структура внесенных минеральных удобрений под посевы сельскохозяйственных культур в Украине за период 2011-2013 гг. (данные государственной службы статистики Украины)

Года	Внесено минеральных удобрений (в действующем веществе)							кг/га посевной площади
	всего, тыс. т	в том числе						
		азотные		фосфорные		калийные		
		тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%	
2011	1263.3	898.9	71.2	195.2	15.4	169.2	13.4	68
2012	1343.0	928.3	69.1	220.5	16.4	194.2	14.5	72
2013	1489.5	1040.9	69.9	235.8	15.8	212.8	14.3	79

свидном суглинке. Исходные параметры в верхнем генетическом горизонте: содержание физической глины – 36.1%, емкость поглощения – 210 ммоль/кг почвы, степень насыщения кальцием – 79%, общее содержание гумуса – 2.3%, содержание щелочно-гидролизруемого азота – 114 мг/кг почвы, подвижного фосфора – 115 мг/кг почвы, подвижного калия – 65 мг/кг почвы, рН солевой вытяжки – 5.3, гидролитическая кислотность – 21.1 ммоль/кг.

Согласно схеме опыта, сравнивалось действие безводного аммиака и аммиачной селитры, которые вносили три года подряд на одни и те же участки в дозе 100 кг д.в./га на фоне двух способов основной обработки почвы – дискование в 2 следа на глубину 12 см и вспашка на глубину 20 см. Исследования проводили в звене севооборота кукуруза на зерно (гибриды НС 251 – ФАО 250 и ДК 291 – ФАО 280) – озимая пшеница (сорт «Богдана») – подсолнечник (гибрид НС-Х-6046). Безводный аммиак вносили в ленты на глубину 18 см с шириной 56 см между лапами инжектора с помощью автоматизированного комплекса: культиватор Blu-Jet Land Runner II в комбинации с полевой бочкой Max Field Twin 2000 gal, агрегатированные с трактором John Deere мощностью 300 л.с. Аммиачную селитру вносили всплошную вразброс осенью под основную обработку.

Утверждения об ухудшении ряда почвенных показателей, таких как структура почвы, содержание гумуса, уровень рН, состояние микрофлоры, высказывались с самого начала внедрения технологии использования безводного аммиака на удобрение. Еще полвека назад Papendick R.I. and Parr J.F. (1966, 1969) высказывали опасения относительно возмож-

ности разрушения почвенных агрегатов при внесении безводного аммиака, которое объясняли процессами сольubilизации (коллоидного растворения) органического вещества почвы. В нашем случае не выявлено существенных изменений в устойчивости микроструктуры чернозема оподзоленного, который сохранял высокую потенциальную способность к оструктурированию, микроагрегированность и водостойчивость. Глубокая обработка почвы оказала более разрушительное действие на микроструктуру, чем внесенные удобрения, что подтверждается исследованиями В. Медведева (1988), Г. Петерсона (2006), В. Зинченко (2011).

Наряду с этим, внесение безводного аммиака приводит к усилению подвижности органического вещества почвы. Первые дни после внесения безводного аммиака непосредственно в ленте отмечается максимальное содержание лабильного гумуса, постепенно снижающееся в направлении междурядья. Однако уже через месяц содержание лабильного гумуса в пахотном слое после внесения безводного аммиака и аммиачной селитры было практически одинаковым, превышая неудобренную почву на 70%. С увеличением периода после внесения удобрений содержание лабильного гумуса еще снизилось, что позволило сделать вывод о равнозначности влияния обеих форм удобрений (рис. 2). За этот период доля лабильных форм в составе гумуса сократилась с 17% до 12%, что связано с изменением рН почвы и содержания аммиачного азота. Эти данные опровергают мнение о том, что гумус «плавает» при внесении безводного аммиака, хотя, безусловно, он оказывает пептизирующее воздействие.

Изменение кислотности почвенного раствора является одним из наиболее дискуссионных вопросов применения безводного аммиака. Хотя это удобрение и считается физиологически щелочным, его вклад в подкисление почвы бесспорный. Известно, что первые 2-4 дня после применения безводного аммиака в ленте внесения происходит подщелачивание, но в дальнейшем кислотность почвенного раствора стабилизируется и повышается (Bouman O.T. et al., 1995; Chien S.H. et al., 2008; Norman R.J. et al., 1987). Тридцатилетние наблюдения Schroder J.L. et al. (2011) показали постепенное подкисление почвенного раствора при ежегодном внесении безводного аммиака до значений рН 4.2-4.4 по сравнению с рН 5.1 в варианте без внесения удобрений, что сопровождалось значительным снижением урожайности пшеницы. Наши исследования подтверждают подкисление почвы при применении безводного аммиака на черноземе оподзоленном, которое имеет сезонную динамику (рис. 3) с частичным накопительным эффектом. Колебания обменной кислотности составляли 1-7 % к контрольному варианту (рН=4.95-5.30), а гидролитической кислотности – 4-5% по сравнению с контролем (рН = 2.76-3.09).

Подкисление было вызвано преобразованием NH_4^+ в NO_3^- под действием нитрифицирующих бактерий и вытеснением обменно-поглощенных катионов высвобождающимся ионом водорода. Наибольшие изменения в почвенном поглощающем комплексе

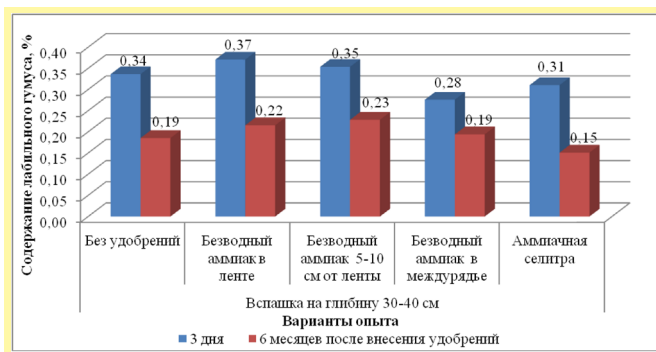


Рис. 2. Изменение содержания лабильного гумуса в пахотном слое чернозема оподзоленного в зависимости от формы азотных удобрений и способа основной обработки почвы

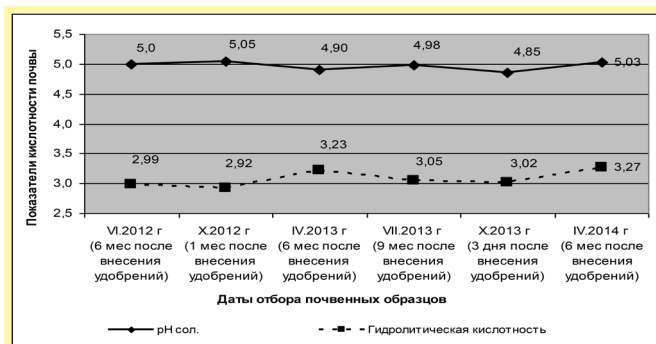


Рис. 3. Динамика изменений показателей кислотности чернозема оподзоленного в пахотном слое в течении трехлетнего применения безводного аммиака

Таблица 2. Содержание минерального азота в черноземе оподзоленном при применении различных форм азотных удобрений

Варианты опыта	Глубина отбора проб, см	Содержание минерального азота в почве, мг/кг		
		3 дня после внесения удобрений (X.2013 г.)	6 мес. после внесения удобрений (IV.2014 г.)	
		Контроль (без удобрений)	0-20	6.6
	20-40	8.3	10.8	
Безводный аммиак (N=100 кг/га)	в ленте	0-20	44.5	16.0
		20-40	20.2	12.8
	в междурядье	0-20	11.5	7.5
		20-40	28.0	13.2
Аммиачная селитра (N=100 кг/га)	0-20	13.7	13.1	
	20-40	21.4	13.5	

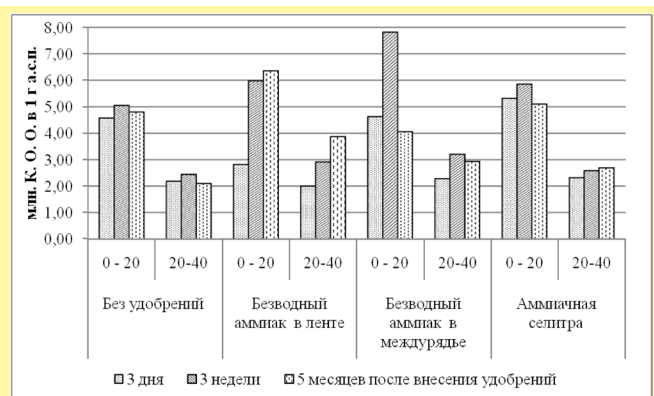


Рис. 4. Изменение уровня биогенности чернозема оподзоленного при внесении безводного аммиака

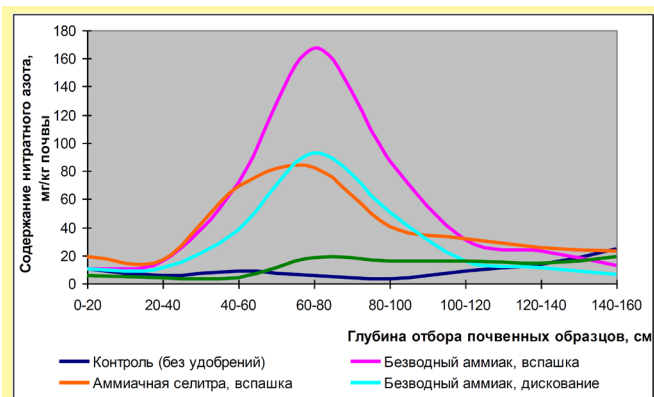


Рис. 5. Миграция нитратных форм азота по профилю почвы под влиянием применения разных форм удобрений и способов основной обработки почвы

характерны для локальной зоны внесения аммиака, объем которой составляет всего лишь 1.3% пахотного слоя почвы. Подкисляющий эффект аммиачной селитры менее выражен, что обусловлено меньшей концентрацией ионов аммония в этой форме удобрений.

Первые дни после внесения безводного аммиака в ленте происходит депрессия микробного ценоза, и численность микроскопических грибов, актиномицетов, а также микроорганизмов, ассимилирующих минеральные и органические формы азота, снижается практически вдвое (рис. 4). Стрессового влияния не отмечено только на олигонитрофильных и олиготрофных микроорганизмов, для которых, вероятно, $N-NH_4^+$ является потенциальным источником нитрификации. Через три недели после внесения аммиака происходит возобновление активности микроорганизмов, поэтому утверждать о катастрофических не-

обратимых изменениях в структуре эколого-трофических групп, по меньшей мере, некорректно.

Наряду с более сильным влиянием безводного аммиака на физико-химические и биологические свойства почвы, более выражены изменения агрохимических свойств почвы. В первую очередь следует отметить, что в зоне внесения безводного аммиака значительно повышается содержание минерального азота, достигая концентраций порядка 200-250 мг/кг на почвах суглинистого гранулометрического состава (Effect of ammonia..., 1990). В нашем опыте через 3 дня после внесения безводного аммиака концентрация минерального азота в ленте составляла 44.5 мг/кг почвы, что более чем втрое выше, чем при разбросном внесении аммиачной селитры (табл. 2). Соответственно, в междурядье содержание минерального азота было ниже, чем при внесении аммиачной селитры, которая обеспечивает его более равномерное распределение в почве. Вследствие вышеупомянутого снижения микробиологической активности в ленте минеральный азот, внесенный осенью, остается до весны преимущественно в аммонийной форме. В период возобновления вегетации соотношение $NH_4:NO_3$ составляло 1.7:1, тогда как при внесении аммиачной селитры было противоположным – 1:1.4.

Замедление процессов нитрификации при позднеосеннем внесении аммиака положительно влияет на закрепление азота почвенным поглощающим комплексом, что сокращает миграцию азота за пределы почвенного профиля. Однако при благоприятных для нитрификации гидротермических условиях разовое внесение высоких доз азотных удобрений ленточным способом может привести к формированию очагов накопления нитратов и усилению их миграции в грунтовые воды. На черноземе оподзоленном легкосуглинистого гранулометрического состава максимальное накопление нитратов при внесении безводного аммиака в 2013 г. наблюдалось на глубине 60-80 см, а в 2014 г. – на глубине 100-120 см, где их концентрация была вдвое выше, чем при внесении аммиачной селитры. Существенную роль в процессе миграции азота играет способ основной обработки почвы. Замена вспашки дискованием сокращает зону выщелачивания азота (рис. 4).

При этом следует отметить, что концентрация нитратного азота непосредственно в ленте внесения жидкого безводного аммиака на глубине 80-120

Таблица 3. Содержание подвижного фосфора и калия в почве (слой 0-20 см) в зависимости от внесения различных форм азотных удобрений				
Содержание подвижного фосфора и калия (метод Чирикова), мг/кг почвы				
Варианты опыта	P ₂ O ₅		K ₂ O	
	1 мес. после внесения удобрений	6 мес. после внесения удобрений	1 мес. после внесения удобрений	6 мес. после внесения удобрений
Контроль (без удобрений)	230	237	141	136
Дискование в 2 следа	Безводный аммиак	286	251	167
	Аммиачная селитра	279	262	152
Вспашка	Безводный аммиак	284	250	154
	Аммиачная селитра	296	236	137
НСР _{0.05}	7.0	6.9	11.0	9.5

Таблица 4. Урожайность культур звена севооборота при применении различных форм азотных удобрений и способов основной обработки почв, т/га					
Способы обработки	Формы удобрений	Кукуруза на зерно		Пшеница озимая	Подсолнечник
		гибрид НС 251	гибрид ДК 291		
Контроль	Без удобрений	-	-	4.4	3.3
Дискование	Безводный аммиак	4.9	5.5	5.2	-
	Аммиачная селитра	4.8	4.9	4.9	-
Вспашка	Безводный аммиак	4.9	8.4	5.3	3.8
	Аммиачная селитра	4.6	5.2	4.9	4.6
НСР _{0.05}		0.9	1.0	0.4	0.3

см была выше в 1.7 раза, чем в почвенных образцах, отобранных в междурядье (рис. 5).

Наряду с определенными рисками и ограничениями, которые, безусловно, нужно контролировать, специфика взаимодействия безводного аммиака с почвой обуславливает ряд преимуществ этой формы удобрений. Об этом свидетельствуют расчеты коэффициента мобилизации азотного фонда почвы, который в 1.7-1.9 раза превышает соответствующие показатели на вариантах с применением аммиачной селитры. Использование растениями азота из безводного аммиака также выше, достигая 69-89% против 40% при применении аммиачной селитры.

В свое время некоторые исследователи (F.A. Stanley et al., 1956; D. Smith et al., 1960) отмечали также увеличение содержания растворимых форм фосфора и калия в зоне внесения аммиака, хотя существуют и противоположные взгляды (L.R. Darusman et al., 1991). Результаты наших исследований показывают, что содержание подвижного фосфора и калия через месяц после внесения безводного аммиака действительно несколько возрастает, но в дальнейшем этот эффект практически полностью исчезает (табл. 3). Вероятной причиной этого является подкисление почвы и повышение концентрации водорастворимого органического углерода, а последствием – улучшение фосфорно-калийного питания растений (коэффициенты использования фосфора и калия из почвы были выше в 1.3 раза).

Многочисленными исследованиями доказано, что действие безводного аммиака на урожай сельскохозяйственных культур равноценно действию твердых азотных удобрений (H. Ukrainetz et al., 1996; C.A. Campbell et al., 1993; A.E. Russell et al., 2006). Есть и противоположное мнение о снижении урожайности культур вследствие подкисления почвенного раство-

ра и повышения растворимости Al, токсичного для растений (S.K. Kariuki et al., 2007; D.J. Tomasiewicz et al., 1985). Урожайность культур звена севооборота в нашем опыте подтверждает высокую эффективность внесения жидкого безводного аммиака в качестве азотных удобрений (табл. 4). Полученные прибавки урожайности кукурузы гибрида НС 251 (0.3 т/га), гибрида ДК 291 (0.6-3.2 т/га), пшеницы озимой (0.3-0.4 т/га) мы связываем, прежде всего, с лучшей позиционной доступностью азота. Азот, внесенный ленточным способом на глубину в три раза ниже глубины высева, позволяет корням растений поглощать его быстрее, особенно в условиях засухи. Урожайность подсолнечника в 2014 г., напротив, была выше (на 0.8 т/га) при внесении аммиачной селитры, что объясняется достаточным количеством осадков в течение вегетации, которое обеспечивало равномерное перераспределение азота вглубь по профилю почвы и повышало его доступность корням растений.

Таким образом, экономическая эффективность применения безводного аммиака достигается как за счет снижения затрат на приобретение удобрений, так и за счет повышения урожайности культур. Чистый доход от применения безводного аммиака был выше, чем при внесении аммиачной селитры (в среднем на 20-25%). Уровень рентабельности выращивания культур звена севооборота составлял 46-110%, в то время как применение аммиачной селитры под пшеницу озимую в 2012-2013 гг. дало убыточность 21-26 %.

Выводы. Применение жидкого безводного аммиака при выращивании полевых культур на черноземах оподзоленных имеет ряд агрономических и экономических преимуществ над традиционной аммиачной селитрой, позволяя повысить эффективность использования элементов питания из почвы и удобрений. В то же время, экологические риски при-

менения безводного аммиака в земледелии требуют систематического контроля кислотности почвы, ее гумусового состояния и вымывания азота в подпочвенные воды.

Авторы – сотрудники Национального научного центра «Институт почвоведения та агрохимии имени А.Н. Соколовского» (г. Харьков, Украина):

Мирошниченко Н.Н. – доктор биологических наук, заместитель директора по научной части, заведующий отделом агрохимии; e-mail: ecosoil@meta.ua

Гладких Е.Ю. – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник; e-mail: ye.hladvkikh@ukr.net.

Ревтьев А.В. – аспирант; e-mail: alina_rev@mail.ru.

Авторы выражают благодарность Главе Филиала некоммерческой негосударственной организации «Международный институт питания растений» Ивановой С.Е. за содействие в подготовке статьи.

Литература

- Завалин А.А. Преимущества и проблемы применения жидких азотных удобрений в земледелии / А.А. Завалин, Е.Н. Ефремов, А.А. Алферов и др. // Агрохимия. – 2014. – № 5. – С. 20-26.
- Зинченко В.С. Оценка экологического состояния серой лесной почвы в агроэкосистемах в зависимости от приемов основной обработки почвы: автореф. дис. на соискание научной степени канд. биолог. наук: спец. 03.02.08 – экология (биология), 03.02.13 – почвоведение / В.С. Зинченко. – Владимир, 2011. – 22 с.
- Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В.В. Медведев. – М.: Агрпромиздат, 1988. – 160 с.
- Петерсон Г. Невспаханая земля. Сохраненная влага / Г. Петерсон // Журнал «Зерно». – 2006. – №5. – С. 66-74.
- Bouman O.T., Curtin D., Campbell C.A., Biederbeck V.O. (1995). Soil acidification from long-term use of anhydrous ammonia and urea [Electronic version]. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, p. 1488-1494.
- Campbell C.A., Zentner R.P., Selles F., McConkey B.G. and Dyck F.B. (1993). Nitrogen management for spring wheat grown annually on zero-tillage: yields and N use efficiency. - *Agron. J.*85: 107-114.
- Chien S.H., Collamer D.J., and Gearhart M.M. (2008). The effect

of different ammonia nitrogen sources on soil acidification [Electronic version]. *Soil Sci. J.* p. 173:544–551.

- Darusman L.R. Stone, D.A. Whitney, K.A. Janssen and J.H. Long. (1991). Soil properties after twenty years of fertilization with different nitrogen sources. - *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1097-1100.
- Effect of ammonia on soil properties and relevance to soil and water quality. Agriculture Canada. Research Branch Harrow, Ontario. (1990). P. 47.
- Kariuki S.K., H. Zhang J.L. Schroder J. Edwards, Payton M., Carver B.F., Raun W.R. and Krenzer E.G. (2007). Hard red winter wheat cultivar responses to pH and aluminum concentration gradients. - *Agron. J.* 99:88–98.
- Norman R.J., Kurtz L.T. and Stevenson F.J. (1987). Solubilization of soil organic matter by liquid anhydrous ammonia [Electronic version]. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, p. 809-812.
- Papendick R.I. and Parr J.F. (1966). Retention of anhydrous ammonia by soil: Dispensing apparatus and resulting ammonia distribution [Electronic version]. *Soil Sci.* 102:193-201.
- Parr J.F. (1969). Retention of anhydrous ammonia by soil: Recovery of microbiological activity and effect of organic amendments [Electronic version]. *Soil Sci.* 107:94-104.
- Russell A.E., Laird D.A., and Mallarino A.P. (2006). Nitrogen fertilization and cropping system impacts on soil quality in midwestern Mollisols. - *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:249–255.
- Schroder J. L., Zhang H., Girma K., Raun W.R., Penn C.J., Payton M. E. (2011). Soil Acidification from Long-Term Use of Nitrogen Fertilizers on Winter Wheat [Electronic version]. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75, p. 957–964.
- Smith D., Clark F. (1960) Volatile losses of nitrogen from acid or neutral soil or solutions containing nitrate and ammonium ions // *Soil Sci. N 2.* – P. 86-92.
- Stanley F.A. and Smith G.E. (1956). Effect of soil moisture and depth of application on retention of anhydrous ammonia. - *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* - 20:557-561.
- Tomasiewicz D.J. and Henry J.L. (1985). The effect of anhydrous ammonia applications on the solubility of soil organic carbon. - *Can. J. Soil. Sci.* 65:737-747.
- Ukrainetz H., Campbell C.A., Biederbeck V.O., Curtin D., and Bouman O.T. (1996). Yield and protein content of cereals and oilseed as influenced by long-term use of urea and anhydrous ammonia. - *Can. J. Plant Sci.* 76: 27-32
- Zhang H. and Raun W.R. (2006). Oklahoma soil fertility handbook. - 6th ed. Oklahoma Coop. Ext. Serv., Oklahoma State Univ., Stillwater.
- IPNI. 2012. 4R Plant Nutrition Manual: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition, Metric Version, (T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.D. Sulewski, eds.), International Plant Nutrition Institute, Norcross, GA, USA

Влияние агротехнических приемов на продуктивность озимой пшеницы в условиях ЦЧР

А.А. Ореховская, А.Г. Ступаков

Интенсификация сельскохозяйственного производства требует применения минеральных удобрений в повышенных дозах, иначе снижается плодородие почвы и урожайность культур (Мальцев, 2000; Назарюк, Калимуллина, 2010).

В последние годы для удовлетворения потребно-

сти растений в питательных элементах удобрения применяют явно недостаточно, что сильно сдерживает проявление потенциальных возможностей генотипа сорта (Никитишен, 2002). В таких условиях особенно актуальным становится вопрос о применении минеральных удобрений в рациональных