

10. Zanosova V.I., Borzilov O.S. Vodnye resursy dlya ustoychivogo razvitiya Klyuchevskogo rayona Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2012. – № 12 (98). – S. 35-39.



УДК 631.811.1:631.82

В.И. Макаров
V.I. Makarov

ВЛИЯНИЕ ДОЗ КАРБАМИДА И НОРМ ОРОШЕНИЯ НА ЭМИССИЮ АММИАКА ИЗ АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ

EFFECT OF CARBAMIDE RATES AND IRRIGATION RATES ON AMMONIA EMISSION FROM SODDY-PODZOLIC MEDIUM LOAM SOIL

Ключевые слова: карбамид, эмиссия аммиака, дерново-подзолистые почвы, влажность почвы, аммоний, нитраты, кислотность почв, аммонификация, нитрификация, азотное состояние почв.

Схема модельного опыта включала десять вариантов с возрастающими дозами N_m (от 0 до 36 мгN/кг) и различным уровнем поверхностного увлажнения почвы (от 0 до 10 мм), имитирующего атмосферные осадки в виде дождя. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая со средним уровнем плодородия. Влажность почвы в начале эксперимента составляла 10,1%. Эмиссию NH_3 из почв определяли в динамике 6 раз в течение 37 сут., агрохимические свойства – в конце опыта. Потери азота в виде NH_3 из неудобренной почвы не превышали 25,0 мкгN/кг (эквивалентно 63 г/га) за 37 сут. наблюдений. Поверхностное увлажнение неудобренной почвы приводит к снижению эмиссии NH_3 из него. При внесении на сухую почву N_m в количестве 24 мгN/кг (эквивалент N_{60}) потери азота в виде NH_3 составили 1,68 мгN- NH_3 /кг, или 7,0% от использованной дозы. Увлажнение почвы в количестве 5 мм и более существенно снижает эмиссию NH_3 из почв. При оросительной норме 10 мм потери N- NH_3 составили всего 0,47% от внесенного количества азота в составе N_m . Интенсивность эмиссии NH_3 из почвы усиливается в 3,1 раза при увеличении доз N_m с 12 до 36 мгN/кг. При внесении N_m с дополнительным увлажнением наблюдается высокая интенсивность эмиссии аммиака из дерново-подзолистой почвы только в течение семи суток, а без полива – растягивается на 5 недель. Внесение N_m на поверхность сухой почвы приводит к ее подщелачиванию в слое 0-3 см на 0,25-0,35 ед. pH солевой вытяжки и накоплению обменного аммонийного азота до 179 мгN/кг. Дополнительный полив нормой 5 мм сопровождается образованием в почве нитратного азота (до 25,3-26,8% от $N_{мин}$) при подкислении среды на 0,26-0,50 ед. pH.

Keywords: carbamide, ammonia emission, soddy-podzolic soils, soil moisture, ammonia, nitrates, soil acidity, ammonification, nitrification, soil nitrogen condition.

The model experiment design included ten variants of increasing N_m rates (from 0 to 36 mg N per kg) and various levels of soil surface moistening (from 0 to 10 mm) simulating atmospheric precipitations in the form of rain. Soddy-podzolic medium-loam soils of medium fertility were used for the experiments. Soil moisture made 10.1% at the beginning of the experiment. Changing emission of NH_3 from soils was determined 6 times during 37 days; agro-chemical properties were determined at the end of the experiment. Nitrogen losses in the form of NH_3 from unfertilized soil did not exceed 25.0 μ g N per kg (equal to 63 g ha) for 37 days of observation. Surface moistening of unfertilized soil leads to the reduction of NH_3 emission from this soil. When N_m was applied to dry soil in a rate of 24 mg N per kg (equal to N_{60}), nitrogen losses in the form of NH_3 made 1.68 mgN- NH_3 per kg, or 7.0% of the applied rate. Soil moistening in amount of 5 mm and more significantly reduced NH_3 emission from soils. At irrigation rate of 10 mm, N- NH_3 losses made only 0.47% of the applied amount of nitrogen in the composition of N_m . The emission rate of NH_3 from the soil increases 3.1 times when N_m doses increase from 12 to 36 mg N per kg. When N_m is applied along with additional moistening, high ammonia emission rate from soddy-podzolic soils is observed during seven days only; it lasts for 5 weeks without moistening. The application of N_m on the surface of dry soil leads to its alkalization in the layer of 0-3 cm by 0.25-0.35 units of salt extract pH and accumulation of exchangeable ammonia nitrogen to 179 mg N kg. Additional irrigation with 5 mm rate is accompanied by the formation of nitrate nitrogen in soil (to 25.3-26.8% of N_{min}) with acidification by 0.26-0.50 pH units.

Макаров Вячеслав Иванович, к.с.-х.н., доцент, проф. каф. агрохимии и почвоведения, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. Тел.: (3412) 58-99-48. E-mail: makaroffVI@yandex.ru.

Makarov Vyacheslav Ivanovich, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Prof., Chair of Agro-Chemistry and Soil Science, Izhevsk State Agricultural Academy. Ph.: (3412) 58-99-48. E-mail: makaroffVI@yandex.ru.

Применение азотных удобрений является важным технологическим приемом повышения урожайности сельскохозяйственных культур, регулирования качества продукции растениеводства. Однако коэффициенты использования растениями азота агрохимикатов в полевых условиях редко превышает 40-50% [1, 2]. Остальное количество азота не только закрепляется в почве, но и выявлены значительные непроизводительные затраты этого питательного элемента в виде эмиссии газов [3, 4]. По мнению большинства исследователей, основные потери азота из почв связаны с денитрификацией (биологической и хемоденитрификацией). Однако при использовании азотных удобрений существенно возрастает доля аммиака в структуре эмиссионных потоков почвенных газов.

Потери азота минеральных удобрений в виде аммиака могут варьировать в широком диапазоне, достигая 30% [1, 3, 5]. Интенсивность эмиссии этого соединения из почв в значительной степени зависит от форм удобрений, доз, сроков, способов их использования, глубины заделки агрохимикатов. Кроме того, на эту форму потерь азота существенно влияют и свойства почв, гидротермические условия, ландшафтная характеристика территорий [1, 3, 6-8].

В современных агротехнологиях для внесения азотных удобрений широко применяется разбросной способ подкормки кузовными машинами. Однако поверхностное размещение этих агрохимикатов может привести к значительным потерям азота в виде аммиака. Дело в том, что для целей корневой подкормки применяется не только аммиачная селитра, но и карбамид, потери из которого потенциально более весомые.

В связи с этим большую актуальность приобретают исследования, направленные на разработку эффективных приемов использования минеральных удобрений с контролем непроизводительных потерь азота из агрохимикатов.

Цель исследований заключалась в оценке влияния возрастающих доз карбамида и поверхностного увлажнения на потери азота в виде аммиака из агродерново-подзолистой суглинистой почвы и их азотного состояния.

Методика исследований

Исследования были проведены в 2016 г. ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА путем закладки модельного опыта в вегетационных сосудах

Кирсанова. Масса почвы 5 кг. Повторность четырехкратная. Схема опыта включала десять вариантов с возрастающими дозами карбамида (от 0 до 36 мгN/кг) и различным уровнем поверхностного увлажнения почвы (от 0 до 10 мм), имитирующего атмосферные осадки в виде дождя (табл.). Закладка опыта проведена 27.06.2016 г.

Минеральные удобрения в форме карбамида были внесены вручную поверхностно без заделки в почву. В вариантах 2-4 и 6-10 дополнительно был проведен полив почвы методом дождевания. Для исключения испарения влаги сосуды были закрыты полиэтиленовой пленкой в течение всего эксперимента. Образцы хранились под навесом (без доступа прямых солнечных лучей). Почва агродерново-подзолистая среднесуглинистая с типичными для пахотных земель Удмуртии агрохимическими свойствами: рН солевой вытяжки – 5,52 ед.; гидролитическая кислотность – 1,20 ммоль/100 г; сумма поглощенных оснований – 16,8 ммоль/100 г; содержание подвижного фосфора – 92 мг/кг; обменного калия – 107 мг/кг; гумуса – 1,95%. Влажность почвы соответствовала 10,1%, капиллярная влагоемкость – 42%. Эмиссия аммиака из почв определялась в динамике 6 раз в течение 37 сут. Потери аммиака из почв определяли абсорбционным методом на основе 0,01 н H₂SO₄ [3] с колориметрическим окончанием. Отбор почвенных проб проводился по завершении опыта послойно с глубин 0-3, 3-6 и 6-9 см. В пробах определяли влажность, рН солевой вытяжки, содержание нитратного и аммонийного азота. Агрохимические анализы выполнены по методикам, рекомендованным для почв таежно-лесной зоны России [9].

Результаты исследований

Влажность почвы. Нами установлено, что влажность почвы в контрольном варианте без полива составила всего 6,4% в слое 0-3 мм с постепенным возрастанием до 10,0% (рис. 1). Дождевание нормой 10 мм повысило влагосодержание до 17,9%, что соответствует 42,6% КВ. Поверхностное увлажнение из расчета 5 мм осадков и более привело к повышению влажности почвы и в нижних слоях почвы (3-6 и 6-9 см). В целом, уровень количества свободной влаги в почве формировал аэробные условия среды и был достаточным для прохождения различных биохимических процессов с участием азота карбамида [10].

Влияние доз карбамида и норм орошения на потери аммиака из почвы, мкг/кг

Вариант: доза удобрения, мгN/кг; норма полива, мм	Потери аммиака, мкг/кг · сут. Срок определения, сутки после внесения удобрений						Потери азота за 37 сут., мкг/кг
	1-4	5-7	8-11	10-19	20-27	28-37	
1. 0 мгN; 0 мм (к)	0,63	0,58	0,46	0,49	0,59	1,03	25,0
2. 0 мгN; 1 мм	0,52	0,28	0,36	0,34	0,41	0,62	16,5
3. 0 мгN; 5 мм	0,38	0,34	0,32	0,33	0,37	0,57	15,1
4. 0 мгN; 10 мм	0,51	0,46	0,25	0,35	0,18	0,40	12,7
5. 24 мгN; 0 мм	46,36	102,49	54,24	41,11	35,23	35,98	1680,4
6. 24 мгN; 1 мм	80,36	70,67	29,52	27,20	25,31	20,21	1273,7
7. 12 мгN; 5 мм	7,11	23,98	2,53	6,22	0,53	0,57	170,2
8. 24 мгN; 5 мм	10,91	13,83	6,14	1,05	14,22	0,82	240,0
9. 36 мгN; 5 мм	54,40	53,37	9,27	9,76	1,97	1,86	527,2
10. 24 мгN; 10 мм	16,69	6,00	3,17	1,17	0,14	0,37	111,6
НСР ₀₅	12,55	40,02	4,13	3,20	6,21	4,94	

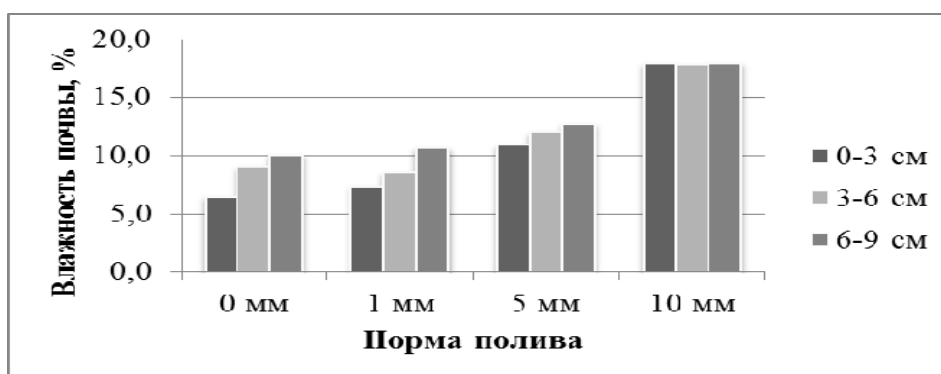


Рис. 1. Распределение влаги почвы при поверхностном увлажнении почвы в конце эксперимента, %

Эмиссия аммиака. Нами установлены очень низкие потери азота из агродерново-подзолистой почвы без внесения азотных удобрений. Они не превышали 25 мкгN-NH₃ из 1 кг почвы за весь период наблюдений (табл.).

Следует отметить, что поверхностное увлажнение почвы (имитация дождя и полива методом дождевания) приводит к снижению потерь аммиачного азота из почвы. Причиной этого является низкая поглощательная способность сухой почвы в отношении газов. Как известно, адсорбция и абсорбция аммиака в почвах сильно зависят от ее влажности [6, 11]. Кроме того, при снижении влажности почвы происходит увеличение минерализованности почвенного раствора, что сопровождается увеличением рН среды [12]. Поэтому в сухих почвах создаются условия для эмиссии аммиака не только из почвенного раствора в газовую фазу почвы, но и далее в надпочвенную атмосферу. По этой же причине не рекомендуется вносить в сухую почву аммиачные формы удобрений (водный и безводный аммиак) [13].

Поверхностное внесение карбамида приводит к существенному возрастанию потерь азота из почвы в форме аммиака. Наиболее высокие эмиссионные потоки NH₃

установлены при распределении удобрения на поверхность сухой почвы. За 37-суточный период наблюдений потери аммиачного азота составили 1,68 мгN-NH₃/кг почвы, что в пересчете на 1 га равняется 4,20 кгN-NH₃. Суммарные потери азота составили 7,0% от использованной дозы карбамида 24 мгN/кг (имитационная доза N60 для пахотных угодий). В то же время поверхностное увлажнение почвы методом дождевания способствует к существенному уменьшению потерь из почвы азота в виде газообразного аммиака. Наиболее эффективными оказались оросительные нормы в количестве 5 мм и более. Так, при слабом поверхностном увлажнении почвы 1 мм потери азота из удобрения снизились всего на 24,2%, а 5 мм – на 85,7. При оросительной норме 10 мм потери аммиачного азота составили всего 0,47% от внесенного количества азота. В научной литературе также приводятся сведения о снижении эмиссии аммиака из почв после орошения. Полив с нормой не менее 5 мм воды сразу после внесения удобрений способствует снижению газообразных потерь N-NH₃ до 70% [14, 15]. Поверхностное увлажнение высокими нормами полива способствует снижению миграции внесенных азотных удобрений.

Потери азота из почвы в виде аммиака существенно зависят и от доз агрохимикатов. При норме орошения 5 мм и дозе карбамида 12 мгN/кг эмиссия аммиака составила всего 170 мкгN-NH₃/кг почвы. Суммарная потеря азота составила всего 1,42% от внесенного количества. С повышением количества вносимых удобрений усиливаются и потери азота из почвы. При дозе карбамида 36 мгN/кг эмиссия аммиака составила 527 мкг N-NH₃/кг почвы – возросла в 3,1 раза по сравнению с дозой 12 мгN/кг.

Установлено, что интенсивность эмиссии аммиака из дерново-подзолистой почвы наиболее высокая в течение недели после внесения карбамида при использовании эффективных норм полива (5 мм и более). Так, при дозе 12 мгN/кг за второй период наблюдений (5-7 сут. после внесения) эмиссия аммиака составила 23,98 мкг N-NH₃/кг за сутки, в третий – снизилась в 9,5 раза (2,53 мкг N-NH₃/кг · сут.). Полив с нормой 10 мм позволяет быстро снизить потери аммиачного азота из почвы уже в четырехсуточный срок. Близкие результаты были получены и другими исследователями. Так, J. Freney с соавторами отмечают, что наибольшие потери азота в виде аммиака наблюдается через 2 дня после внесения карбамида [16]. Следует отметить, что при поверхностном внесении карбамида на сухую почву потери аммиака из почвы растянуты во времени.

Азотное состояние. Применение карбамида и увлажнение почвы существенно по-

вливали на биохимические процессы в почве. В зоне внесения удобрения установлена значительная нитрификация в удобренных вариантах, но только при значительном увлажнении почвы (более 5 мм). Наибольшее содержание нитратного азота в почве установлено при использовании дозы карбамида 24 мгN/кг – 27,1-27,9 мгN/кг. Данные значения близко подходят к ПДК нитратов в почве (29,5 мгN/кг).

Внесение карбамида на поверхность сухой почвы привело к образованию в трехсантиметровом слое обменного аммонийного азота в количестве 179 мгN/кг (рис. 2). При этом доля нитратного азота от минерального составляла всего 2,8%. Даже дождевание нормой 1 мм увеличило количество N-NO₃ в почве до 6,0% от N_{мин}.

Существенные изменения в составе минерального азота произошли лишь при поливе нормой 5 мм и более. Доля нитратного азота в составе минерального возросла до 25,3-26,8% как результат процессов нитрификации аммония. При дождевании нормой 5 и 10 мм происходит уменьшение общего содержания минеральных форм азота в трехсантиметровом слое почвы по сравнению с вариантами 5 и 6. Причиной этого является миграция исследуемых веществ с нисходящим потоком влаги. Так, при дозе карбамида 24 мгN/кг и поливной норме 5 мм установлено повышение содержания нитратной формы минерального азота в слое почвы 3-6 см на 10,8 мгN-NO₃/кг по сравнению с вариантом без дождевания.

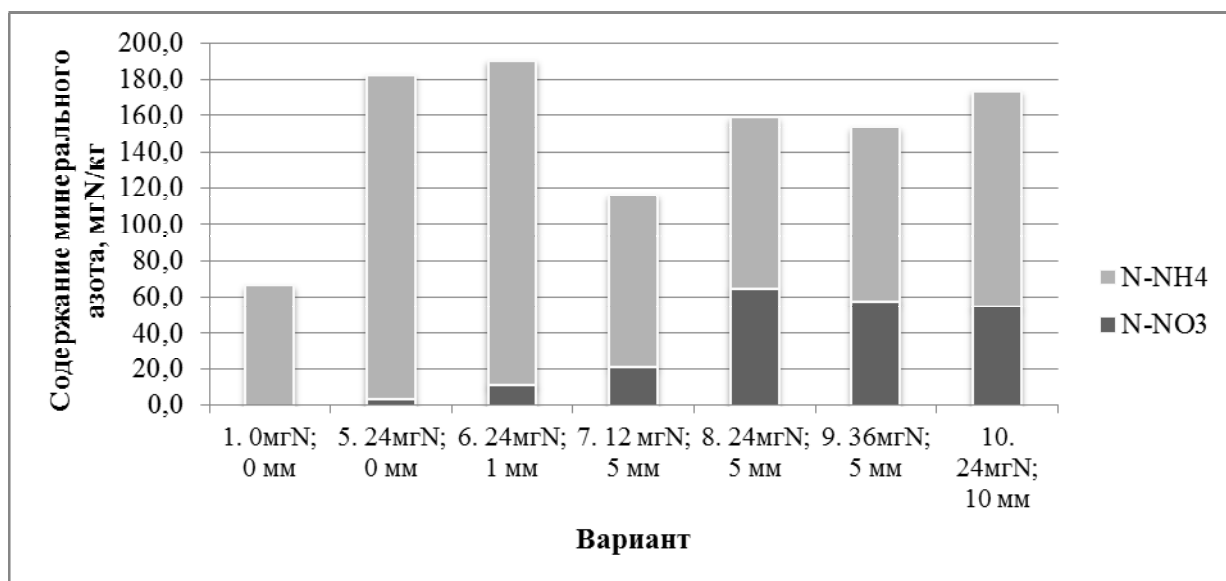


Рис. 2. Содержание минерального азота (обменного аммония и нитратов) в слое почвы 0-3 см в зависимости от доз карбамида и норм орошения, мгN/кг

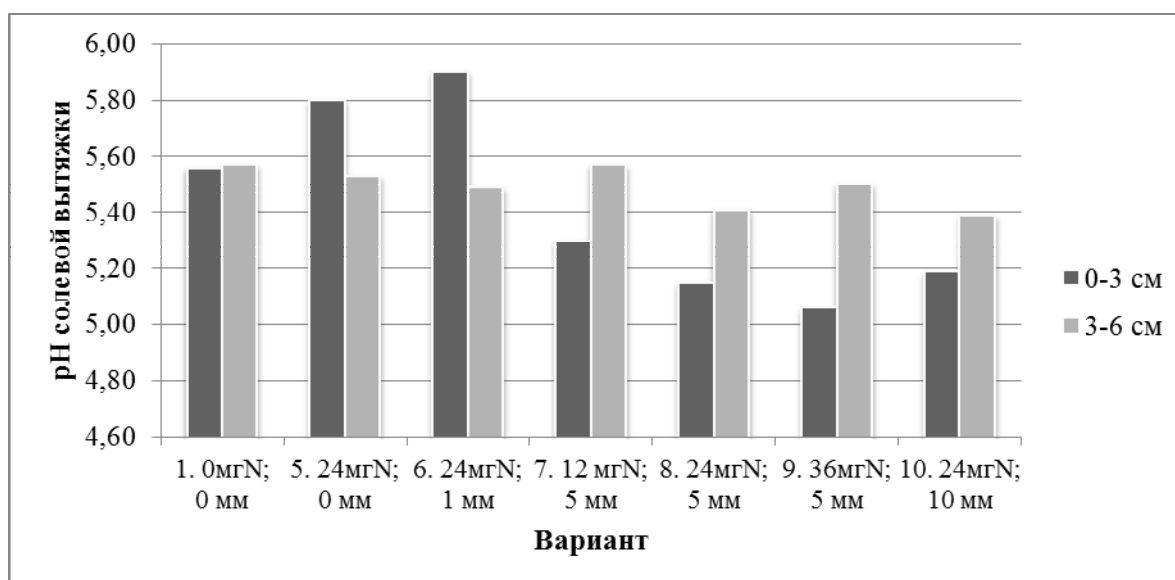


Рис. 3. Кислотности почвы ($pH_{КС}$) в слое почвы 0-3 см в зависимости от доз карбамида и норм орошения

Кислотность почв. Применение азотных удобрений сопровождается существенным изменением кислотно-щелочного состояния почв. Внесение карбамида на поверхность сухой почвы приводит к подщелачиванию слоя почвы 0-3 см на 0,25-0,35 ед. рН солевой вытяжки (рис. 3). Как известно, под воздействием уреазы мочевины в почве преобразуется гидролитически щелочного соединения – карбоната аммония [13]. В то же время через 37 дней после внесения агрохимиката в амидной форме при достаточном увлажнении почвы (5 мм и более) произошло существенное подкисление почвы на 0,26-0,50 ед. рН по сравнению с неудобренным вариантом. Таким образом, подтверждается биохимическая кислотность карбамида [17, 18].

Причиной этого является дальнейшая нитрификация аммонийного азота в благоприятных для развития нитрифицирующих бактериях условиях. Следует отметить, что при поверхностном внесении карбамида существенные изменения кислотно-щелочного состояния дерново-подзолистой почвы произошли лишь в верхнем трехсантиметровом слое почвы.

Заключение

Потери азота в виде аммиака из дерново-подзолистой почвы не превышают 25,0 мкгN/кг, или 63 г/га за 37 сут. наблюдений. При поверхностном внесении на сухую почву карбамида в дозе 24 мгN/кг (эквивалент N60) суммарные потери азота в виде аммиака составляют 7,0%. Увлажнение почвы методом дожде-

вания в количестве 5 мм и более существенно снижает эмиссию аммиака из почв (до 0,47% от использованной дозы). При использовании карбамида основная часть потерь азота из почв происходит в первую неделю после внесения. Поверхностное распределение карбамида приводит к подщелачиванию верхнего слоя почвы как результат накопления аммония. Поверхностное увлажнение удобренной почвы приводит к подкислению почвы как результат накопления в них нитратов в процессе нитрификации азота карбамида.

Библиографический список

1. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. – М., 1999. – 299 с.
2. Сычев В.Г., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Роль азота в интенсивности продукционного процесса сельскохозяйственных культур. – М.: ВНИИА, 2009. – Т. 1. – 424 с.
3. Макаров Б.Н. Газовый режим почвы. – М.: Агропромиздат, 1988. – 105 с.
4. Макаров В.И. Особенности проявления денитрификации в дерново-подзолистых почвах // Наука, инновации и образование в современном АПК: матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – Т. 1. – С. 33-35.
5. Watson C.J., Stevens R.J., Laughlin R.J., Poland P. Volatilization of ammonia from solid and liquid urea surface-applied to perennial ryegrass // The Journal of Agricultural Science. – 1992. – Vol. 119 (2). – P. 223-226.

6. Спыхай-Фабисьяк Е., Яновьяк И. Улетучивание аммиака из почвы // Почвоведение. – 1992. – № 6. – С. 113-119.

7. Sommer S.G., Schjoerring J.K., Denmead O.T. Ammonia Emission from Mineral Fertilizers and Fertilized Crops // *Advances in Agronomy*. – 2004. – Vol. 82. – P. 557-622.

8. Mikkelsen R. Ammonia Emissions from Agricultural Operations: Fertilizer // *Better Crops*. – 2009 – Vol. 93 (4). – P. 9-11.

9. Макаров В.И. Основной агрохимический анализ почв (с сервисной программой обработки результатов лабораторных испытаний). – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010. – 54 с.

10. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. – М.: Изд-во Московского ун-та, 2005. – 445 с.

11. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. – М.: Высшая школа, 2005. – 558 с.

12. Ковриго В.П., Макаров В.И. Влияние регулирования концентрации диоксида углерода в почвенном воздухе на агрохимические свойства дерново-подзолистых почв и урожайность сельскохозяйственных культур // Труды научно-практической конференции. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 1997. – Ч. 2. – С. 42-43.

13. Минеев В.Г. Агрохимия. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 486 с.

14. Bouwmeester R.J.V., Vlek P. L.G., Stumpe J.M. Effect on environmental factors on ammonia volatilization from urea-fertilized soil // *Soil Sci. Soc. Am. Journal*. – 1985. – Vol. 49 (2). – P. 376-381.

15. Salih H.M., Al-Khafaji S. K., Al-Nahass M. S. F. Effect of First Water Addition and Nitrogen Sources on Ammonia Volatilization from the Soil of Foudhaylia // *Journal of Agriculture and Water Resources Research*. – 1984. – Vol. 3 (10). – P. 57-65.

16. Freneu J., Simpson J., Denmead O. Transformations and transfers of nitrogen after irrigating a cracking clay soil with a urea solution // *Australian Journal of Agricultural Research*. – 1985. – Vol. 36 (5). – P. 685-694.

17. Макаров В.И. К физиологической кислотности азотных удобрений // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 8. – С. 27-30.

18. Макаров В.И. Влияние азотных удобрений на кислотность дерново-подзолистой суглинистой почвы и химический состав лизиметрических вод // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4. – С. 89-95.

19. Monaco S., Sacco D., Pelissetti S., Dinuccio E. Laboratory assessment of ammonia emission after soil application of treated and untreated manures // *The Journal of Agricultural Science*. – 2012. – Vol. 150 (1). – P. 65-73.

References

1. Korenkov D.A. Agroekologicheskie aspekty primeneniya azotnykh udobreniy. – M., 1999. – 299 s.

2. Sychev V.G., Sokolov O.A., Shmyreva N.Ya. Rol azota v intensivnosti produktionnogo protsessa selskokhozyaystvennykh kultur. Tom 1. – M.: VNIIA, 2009. – 424 s.

3. Makarov B.N. Gazovyy rezhim pochvy. – M.: Agropromizdat, 1988. – 105 s.

4. Makarov V.I. Osobennosti proyavleniya denitrifikatsii v dernovo-podzolistykh pochvakh // *Nauka, innovatsii i obrazovanie v sovremennom APK: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. T.1. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaya GSKhA, 2014. – S. 33-35.

5. Watson C.J., Stevens R.J., Laughlin R.J., Poland P. Volatilization of ammonia from solid and liquid urea surface-applied to perennial ryegrass // *The Journal of Agricultural Science*. – 1992. – Vol. 119 (2). – P. 223-226.

6. Spykhay-Fabisyak E., Yanovyak I. Uletuchivanie ammiaka iz pochvy // *Pochvovedenie*. – 1992. – № 6. – S. 113-119.

7. Sommer S.G., Schjoerring J.K., Denmead O.T. Ammonia Emission from Mineral Fertilizers and Fertilized Crops // *Advances in Agronomy*. – 2004. – Vol. 82. – P. 557-622.

8. Mikkelsen R. Ammonia Emissions from Agricultural Operations: Fertilizer // *Better Crops*. – 2009 – Vol. 93 (4). – P. 9-11.

9. Makarov V.I. Osnovnoy agrokhimicheskii analiz pochv (s servisnoy programмой obrabotki rezultatov laboratornykh ispytaniy).

- Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSKhA, 2010. – 54 s.
10. Zvyagintsev D.G., Babeva I.P., Zeno-va G.M. *Biologiya pochv.* – M.: Izd. Moskovskogo universiteta, 2005. – 445 s.
11. Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Sukhano-va N.I. *Khimiya pochv.* – M.: Vysshaya shkola, 2005. – 558 s.
12. Kovrigo V.P., Makarov V.I. Vliyanie regulirovaniya kontsentratsii dioksida ugleroda v pochvennom vozduke na agrokhimicheskie svoystva dernovo-podzolistykh pochv i urozhaynost selskokhozyaystvennykh kul'tur // *Trudy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chast 2.* – Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 1997. – S. 42-43.
13. Mineev V.G. *Agrokhiimiya.* – M.: Izd-vo MGU, 1990. – 486 s.
14. Bouwmeester R.J.V., Vlek P. L.G., Stumpe J.M. Effect on environmental factors on ammonia volatilization from urea-fertilized soil // *Soil Sci. Soc. Am. Journal.* – 1985. – Vol. 49 (2). – P. 376-381.
15. Salih H.M., Al-Khafaji S. K., Al-Nahass M. S. F. Effect of First Water Addition and Nitrogen Sources on Ammonia Volatilization from the Soil of Foudhaylia // *Journal of Agriculture and Water Resources Research.* – 1984. – Vol. 3 (10). – P. 57-65.
16. Freneu J., Simpson J., Denmead O. Transformations and transfers of nitrogen after irrigating a cracking clay soil with a urea solution // *Australian Journal of Agricultural Research.* – 1985. – Vol. 36 (5). – P. 685-694.
17. Makarov V.I. K fiziologicheskoy kislotnosti azotnykh udobreniy // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* – 2013. – № 8. – S. 27-30.
18. Makarov V.I. Vliyanie azotnykh udobreniy na kislotnost dernovo-podzolistoy suglinistoy pochvy i khimicheskii sostav lizimetriceskikh vod // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* – 2016. – № 4. – S. 89-95.
19. Monaco S., Sacco D., Pelissetti S., Dinuccio E. Laboratory assessment of ammonia emission after soil application of treated and untreated manures // *The Journal of Agricultural Science.* – 2012. – Vol. 150 (1). – P. 65-73.

