

УДК 631.84

**Миграция азота в системе «удобрение–почва–растение»
под влиянием длительного применения удобрений**

Фадькин Г.Н. *, Виноградов Д.В. *, Щур А.В. **, Гогмачадзе Г.Д. ***

***РГАТУ (Рязань)**

***Белорусско-Российский университет**

*****«ВНИИ Агроэкоинформ»**

Аннотация

Представлены результаты анализа среднемноголетних данных содержания почвенного азота в зависимости от применения форм азотных удобрений. На основе этого прослеживается некоторая закономерность: снижение содержания общего и минерального азота в почве без применения удобрений и стабилизация в динамике при применении форм азотных удобрений, а также волнообразное изменение содержания легкогидролизуемого азота: через 3-5 ротаций севооборота – постепенное повышение значения, к 10-ой ротации – резкое снижение.

Ключевые слова: СЕРАЯ ЛЕСНАЯ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТАЯ ПОЧВА, ФОРМЫ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ, АММИАЧНАЯ СЕЛИТРА, КАЛЬЦИЕВАЯ СЕЛИТРА, НАТРИЕВАЯ СЕЛИТРА, АММОНИЙ СЕРНОКИСЛЫЙ, АММОНИЙ ХЛОРИСТЫЙ, АММИАЧНАЯ ВОДА, МОЧЕВИНА, ОБЩИЙ АЗОТ, ЛЕГКОГИДРОЛИЗУЕМЫЙ АЗОТ

Среди источников азотного питания растений большое значение принадлежит неорганическим соединениям и, в первую очередь, нитратному и аммиачному азоту [1, 2]. Преимущество аммиачного питания по сравнению с нитратным объясняется тем, что аммиачный азот стоит ближе к продуктам синтеза азотосодержащих веществ в растениях, чем нитраты, которые, прежде чем стать непосредственными продуктами синтеза аминокислот и белков, должны быть восстановлены до аммиака [3]. Аммиачный азот, поступивший в растения или образовавшийся в них в результате восстановления нитратов и нитритов, не накапливается в растениях, но при участии углеводов и продуктов их окисления идёт на образование аминокислот и амидов, накопление которых в больших количествах не вредит растениям, тогда как накопление аммиака нежелательно. Аминокислотам и их амидам принадлежит важное место в синтезе белков [4]. Наряду с этим

идут процессы их распада через аминокислоты до аммиака. Таким образом, с одной стороны, аммиак, поглощённый растением или образовавшийся в результате восстановления нитратов, является первичным исходным материалом для синтеза белков, с другой, – конечным продуктом распада белков в нём. На основании этого Д.Н.Прянишников высказал положение, что аммиак есть альфа и омега азотистого обмена веществ в растении, т.е. этот процесс начинается аммиаком и им же заканчивается [5].

Содержание азота в почвах колеблется от 0,07% до 0,5% [6, 7]. Почвенный азот находится, в основном, в недоступной для растений органической форме. На долю минерального азота приходится только 1-2 % его общего количества. Под влиянием микробиологических процессов органические формы азота переводятся в доступные для растений минеральные формы [8].

Азотные удобрения изменяют соотношение форм минерального азота и его распределение по почвенному профилю. При систематическом бесменном внесении одних и тех же форм азотных удобрений затрагиваются более глубокие слои почвенного профиля, в которых происходит трансформация минерального азота [9].

В условиях Нечерноземной зоны окультуривание, тесно связанное с систематическим применением удобрений, существенно увеличивает содержание общего азота, но в меньшей степени способствует накоплению в пахотном слое легкогидролизуемого азота [10].

Минеральные соединения азота не накапливаются в почве в больших количествах, так как потребляются растениями, а также используются микроорганизмами и частично снова превращаются в органическую форму [11]. Азотные удобрения усиливают минерализацию почвенного органического вещества и значительно увеличивают усвоение растениями азота из почвы. До недавнего времени считалось, что растения используют 70-80 % азота удобрений [12, 13]. Применение в агрохимических исследованиях метода меченых атомов позволило установить, что в полевых условиях растения усваивают непосредственно из удобрений лишь 30-50 % азота. Однако при внесении азотных удобрений усиливается минерализация почвенного азота и усвоение его растениями. Коэффициенты использования азота различных форм азотных удобрений существенно не различаются, за исключением экстремальных условий их применения [14].

Соотношение процессов минерализации и новообразования органических азотосодержащих веществ имеет важное значение в азотном режиме почв. Для закрепления

нитратного азота в почве особое значение имеет биологическое поглощение [15, 16, 17]. Потери азота почвы и удобрений, в основном, происходят вследствие денитрификации – процесса восстановления нитратного азота до свободного молекулярного азота или до газообразных окиси и закиси азота [18]. Биологическая денитрификация осуществляется группой денитрифицирующих бактерий и особенно интенсивно идет в анаэробных условиях и щелочной реакции почвы при наличии богатого клетчаткой органического вещества [19]. Биологическая денитрификация протекает и в обычных условиях реакции среды, аэрации и увлажнения, поскольку в почвах неизбежны анаэробные микрзоны, а диапазон благоприятной реакции для развития денитрификаторов довольно широкий. Косвенная, или «хемоденитрификация» связана с образованием газообразных окислов азота и молекулярного азота при химическом взаимодействии промежуточных продуктов нитрификации (нитритов и гидроксиламина) с NH_4^+ аминокислотами и с органическим веществом почвы, а также в результате разложения азотистой кислоты (особенно при кислой реакции) до NO. Потери азота при денитрификации нитратов, образующихся при нитрификации аммиачного азота почвы и вносимых аммиачных азотных удобрений и мочевины, а также из нитратных азотных удобрений, весьма существенны. Исследования с применением N показали, что потери азота аммиачных удобрений составляют около 20%, а нитратных – до 30% и более внесенного количества. Потери азота удобрений резко возрастают в парующей почве и достигают 40-50 % [20].

В связи с вышеизложенным цель настоящего исследования заключается в научном обосновании применения различных форм азотных удобрений и их влияния на изменение плодородия серых лесных почв.

Для решения задач научно-исследовательской работы авторами использованы исходные сведения предшественников, а также личные материалы, полученные при постановке стационарного опыта кафедры агрохимии, почвоведения и физиологии растений ФГБОУ ВПО РГАТУ, который был заложен в 1962 году (тема: «Эффективность длительного бессменного применения форм азотных удобрений на серой лесной тяжелосуглинистой почве») на опытном поле учхоза «Стенькино», в настоящее время – Опытная агротехнологическая станция, которая является структурным подразделением Управления международной и инновационной деятельности ФГБОУ ВО РГАТУ и входит в состав учебно-научного инновационного центра «Агротехнопарк». Данный стационарный опыт по Б.А.Доспехову относится к группе агротехнических, подгруппе однофакторных, по

длительности проведения – к группе многолетних. По числу экспериментов опыт является массовым.

Рельеф участка опыта ровный. Размер делянки – 210 кв. м, длина – 30 м, ширина – 7 м, повторность – 3-кратная.

Исследования проводились в севообороте: однолетние травы, яровая пшеница, картофель, ячмень. В опыте имеются вариант без удобрений и вариант РК-фон (контроль), на делянках которого вносятся фосфорные и калийные удобрения в виде суперфосфата простого гранулированного (21,8% P_2O_5) и хлористого калия (59,6% K_2O). На данном фоне изучались различные формы азотных удобрений: аммиачная селитра (34,4% N), кальциевая селитра (14,6% N), натриевая селитра (15,1% N), аммоний сернокислый (21,7% N) и хлористый (24,9% N), аммиачная вода (20,2%) и мочевина (46% N).

Удобрения вносились поделяночно вручную, под основную обработку – фосфорные и калийные, под предпосевную – азотные.

При анализе среднесноголетних данных прослеживается закономерность: содержание общего азота (рис. 1) в почве без применения азота с годами постепенно снижалось.

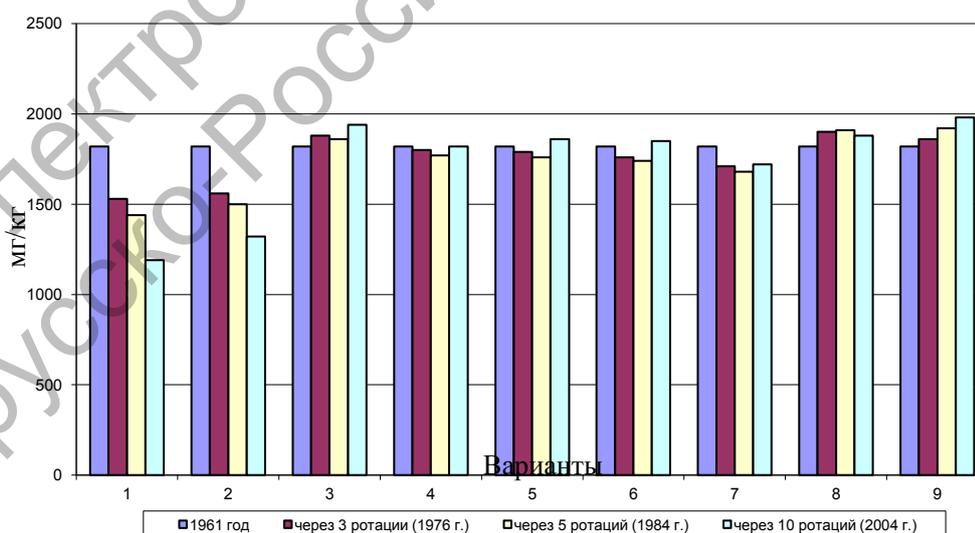


Рис. 1. Динамика содержания общего азота 1971-2004 г.г. (0-20 см)

Применение нитратных форм азотных удобрений несколько стабилизирует данный показатель. Что касается аммиачной селитры и мочевины, то данные удобрения способствуют повышению в почве общего азота, применение же аммония

хлористого имеет тенденцию к снижению. Сернокислый аммоний не меняет этот показатель. Применение аммиачной воды к 5-ой ротации севооборота способствовало накоплению общего азота, а к 10-ой ротации наметилась тенденция к снижению данного показателя.

На протяжении последних десятилетий при оптимизации азотного удобрения учитывают содержание и минерального (нитратного и аммиачного) азота в почве. Так, данные о запасах минерального азота в корнеобитаемом слое почвы перед посевом культуры позволяют достаточно точно установить дозу азотного удобрения для получения планируемого урожая, что дает возможность регулировать азотное питание культуры в зависимости от почвенно-экологических и агротехнических факторов.

Динамика содержания минерального азота (рис. 2) через 3 и 5 ротаций севооборота имела схожую тенденцию с содержанием общего азота. Через 10 ротаций практически все формы азотных удобрений, за исключением кальциевой селитры и аммония хлористого, способствовали накоплению в почве минерального азота. Полярные (физиологически щелочная и физиологически кислая) формы азотных удобрений ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и NH_4Cl), наоборот, снижали данный показатель. Расход минерального азота при применении данных удобрений мог идти в следующих направлениях (в зависимости от формы): формирование урожая, потери за счет денитрификации, потери в форме аммиака, смыв по профилю, закрепление в органической форме.

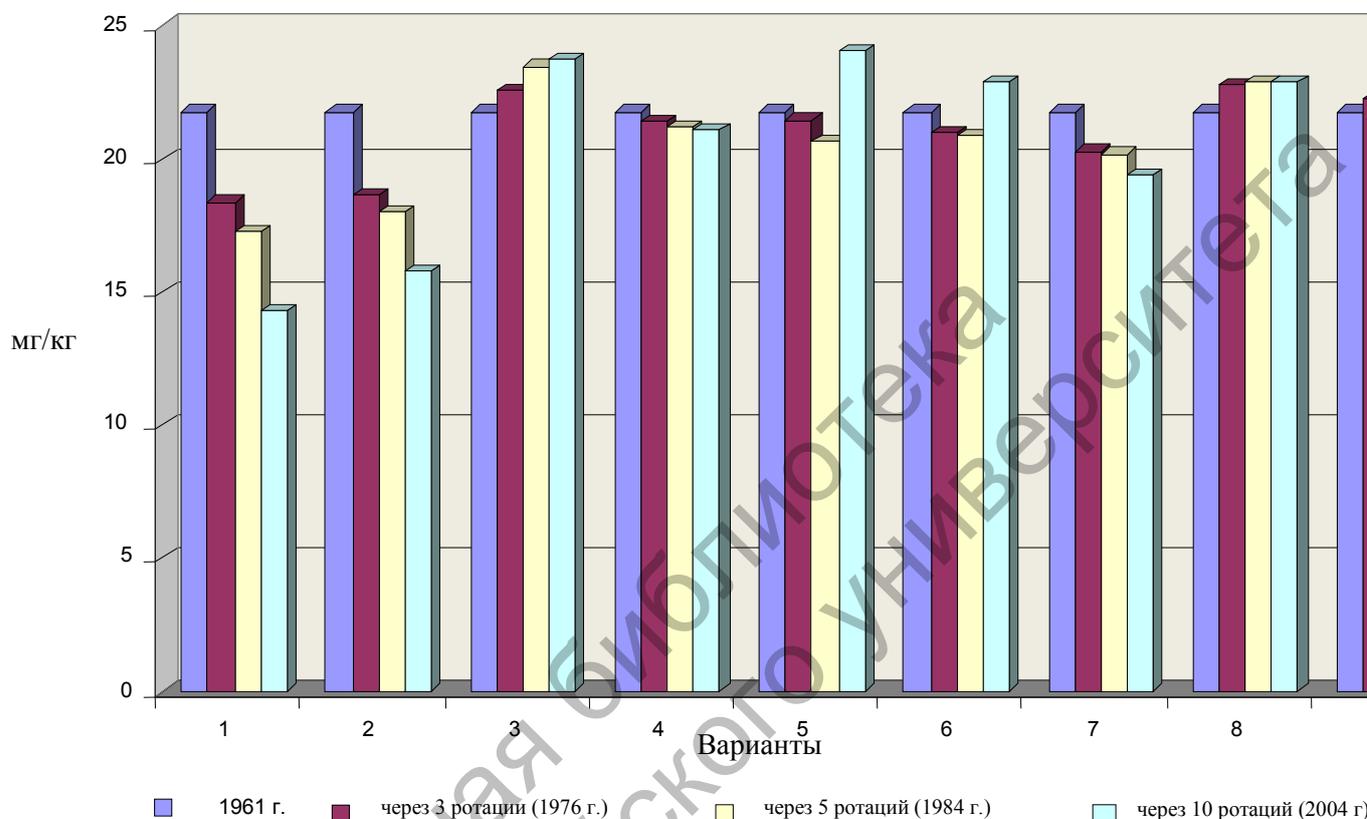


Рис. 2. Динамика содержания минерального азота 1971-2004 г.г.(0-20 см)

На протяжении последних десятилетий при оптимизации азотного удобрения учитывают содержание и минерального (нитратного и аммиачного) азота в почве. Так, данные о запасах минерального азота в корнеобитаемом слое почвы перед посевом культуры позволяют достаточно точно установить дозу азотного удобрения для получения планируемого урожая, что дает возможность регулировать азотное питание культуры в зависимости от почвенно-экологических и агротехнических факторов.

При изучении динамики легкогидролизуемого азота наблюдается несколько иная зависимость (рис. 3). Так, через 3-5 ротаций севооборота (в зависимости от формы удобрения) были наивысшие показатели, к 10-ой ротации его содержание резко снизилось. Это доказывает, что азотные удобрения усиливают минерализацию почвы. Об этом говорит характер изменения азотного фонда почвы при длительном применении удобрений в сторону относительного снижения его подвижности. Несмотря на то, что при внесении удобрений происходит уменьшение легкогидролизуемых соединений азота в почве и относительное увеличение трудногидролизуемой и негидролизуемой фракций (рис. 4, 5), в серой лесной почве все-таки имеет место увеличение

минерализации почвенного азота в вариантах с азотными удобрениями по сравнению с контролем.

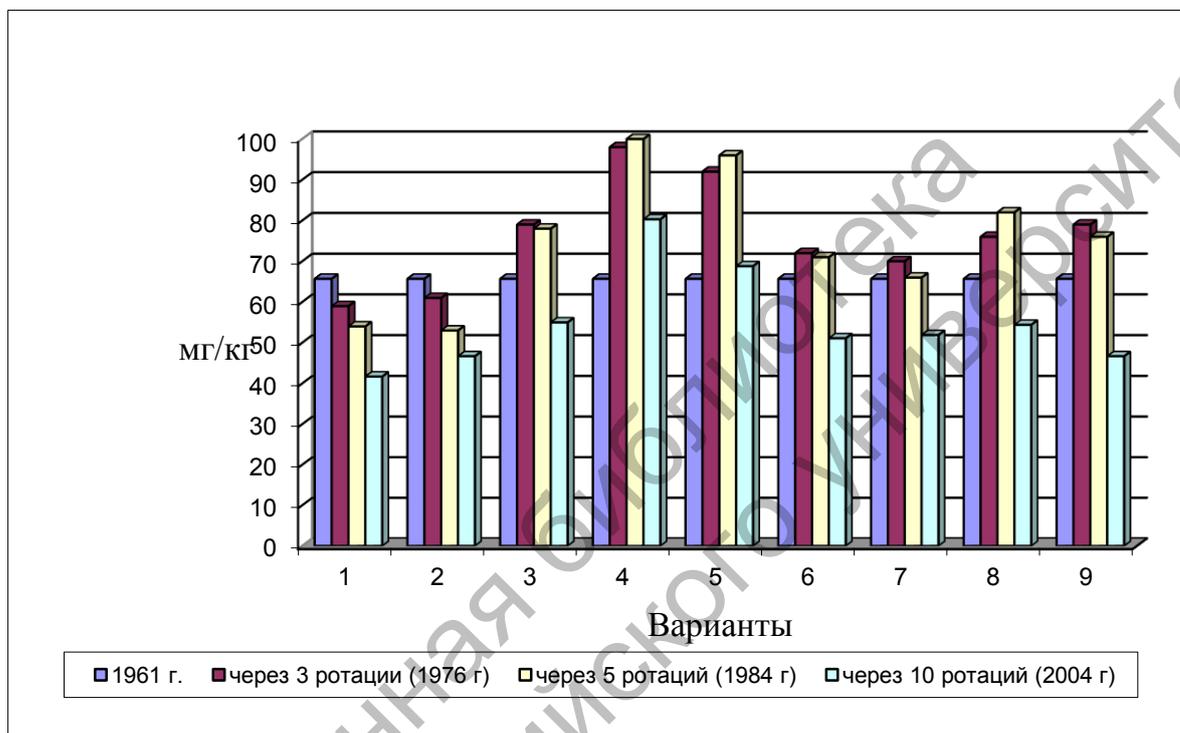


Рис. 3. Динамика содержания легкогидролизуемого азота 1971-2004 г.(0-20 см)

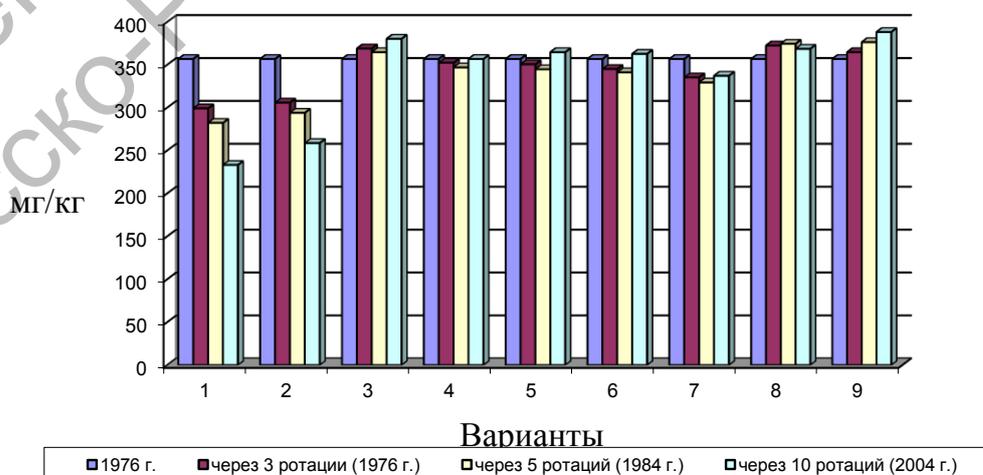


Рис. 4. Динамика содержания трудногидролизуемого азота 1971-2004 г. (0-20 см)

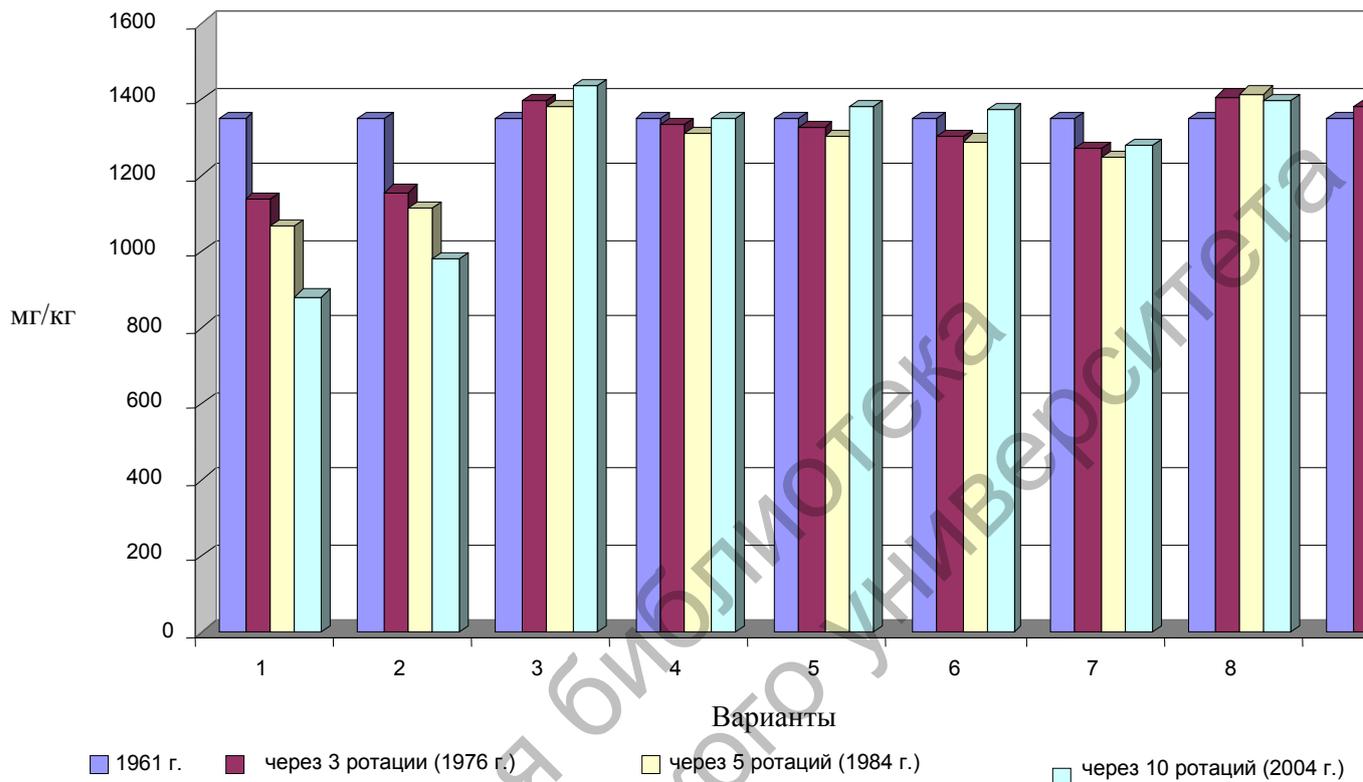


Рис. 5. Динамика содержания негидролизуемого азота 1971-2004 г.(0-20 см)

Азотные удобрения, усиливая минерализацию почвенного органического вещества, значительно увеличивают усвоение растениями азота из почвы. При этом коэффициенты использования азота различных форм азотных удобрений существенно не различаются (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициент использования азота удобрений, определенный разностным методом, % от внесенного

Вариант опыта	Коэффициент использования растениями азота, определенный разностным методом, % от внесенного			
	однолетние травы (2004 г.)	яровая пшеница (2005 г.)	картофель (2006 г.)	ячмень (2007 г.)
PK+ NH ₄ NO ₃	25,8	26,3	29,4	13,6
PK+ Ca(NO ₃) ₂	25,2	25,8	30,1	11,2
PK+ NaNO ₃	24,5	24,9	28,6	12,1
PK+(NH ₄) ₂ SO ₄	20,8	28,4	8,6	7,7

PK+ NH ₄ Cl	28,5	26,9	7,9	6,9
PK+ NH ₄ OH	21,6	27,5	9,4	15,2
PK+CO(NH ₂) ₂	22,6	26,1	8,5	10,1

В полевом опыте коэффициент использования растениями азота, определенный разностным методом, не превысил 31% (табл. 1). Такой низкий коэффициент использования в последней ротации севооборота объясняется следующим. Азот из длительно вносившихся минеральных удобрений не полностью использовался с/х культурами севооборота. Часть его терялась при денитрификации в результате смыва по профилю почвы и т.д., а часть фиксировалась почвой. Такое ежегодное наложение азотных удобрений и повлияло на коэффициент использования.

Однако даже при таком относительно низком коэффициенте использования с/х культуры севооборота по-разному отзываются на соответствующие формы: яровая пшеница примерно одинаково усваивает азот из исследуемых форм, ячмень отдает предпочтение аммиачной воде и аммиачной селитре, картофель практически не использует азот из аммиачных и амидной формы, а однолетние травы, наоборот, предпочитают данные формы в совокупности с нитратными.

В целом за десять ротаций севооборота прослеживается следующая динамика в использовании растениями азота удобрений (табл. 2).

С увеличением продолжительности внесения большинства форм азотных удобрений коэффициент использования азота в среднем за ротацию пропорционально уменьшается. При этом наивысшее значение коэффициента отмечается при использовании аммиачной селитры (65,1-23,7%). Коэффициент использования азота мочевины (64,2-16,9%) до пятой ротации повышался, начиная с шестой, произошел резкий спад в потреблении азота из данного удобрения. Аналогичная ситуация отмечается и по аммиачной воде (59,9-15,9%). Это объясняется тем, что около 40% азота из мочевины и аммиачной воды до определенного момента накапливалось в почве. При достижении максимума закрепленный азот переходил в почвенный раствор и участвовал в питании растений, оттесняя азот удобрения. Параллельно происходила активизация почвенного азота.

Таблица 2. Коэффициент использования растениями азота удобрений в зависимости от длительности внесения, % от внесенного

Форма удобрения	Коэффициент использования азота в среднем за ротацию
------------------------	---

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
NH ₄ NO ₃	63,6	65,1	63,5	61,1	58,6	48,1	33,5	24,4	24,1	23,7
Ca(NO ₃) ₂	61,2	62,7	61,3	58,8	56,5	47,8	32,9	22,6	21,6	23,1
NaNO ₃	62,1	63,5	61,8	58,6	55,2	47,0	32,1	23,1	23,9	22,5
(NH ₄) ₂ SO ₄	57,7	59,0	58,5	57,9	58,2	38,4	23,9	22,2	18,4	13,9
NH ₄ Cl	46,9	48,4	48,2	46,4	45,9	37,3	22,6	18,8	17,1	12,6
NH ₄ OH	55,2	56,2	56,4	57,6	59,9	40,0	25,9	24,0	20,3	15,9
CO(NH ₂) ₂	60,1	61,6	62,0	62,1	64,2	41,2	26,8	25,6	21,5	16,9

Анализ среднемноголетних данных содержания почвенного азота, а также баланса азота в системе удобрение – почва – растение, позволяет проследить некоторую закономерность: снижение содержания общего азота в почве без применения азота и стабилизация в динамике от применения азотных удобрений.

Динамика содержания минерального азота имела схожую тенденцию с содержанием общего азота. Через 10 ротаций практически все формы азотных удобрений способствовали накоплению в почве минерального азота. Полярные (физиологически щелочная и физиологически кислая) формы азотных удобрений (Ca(NO₃)₂ и NH₄Cl), наоборот, снижали данный показатель. При изучении динамики легкогидролизуемого азота наблюдается волнообразное изменение содержания: через 3-5 ротаций севооборота постепенное повышение показателей, к 10 ротации – резкое снижение. Это доказывает то, что азотные удобрения усиливают минерализацию почвы. Об этом говорит характер изменения азотного фонда почвы при длительном применении удобрений в сторону относительного снижения его подвижности. Кроме того, длительное систематическое применение форм азотных удобрений снижает коэффициент использования азота, что, в свою очередь, может снизить эффективность азотных удобрений.

Список использованных источников

1. Фадькин Г.Н. Возможность длительного бесменного использования форм азотных удобрений на серой лесной тяжелосуглинистой почве с агроэкологической точки зрения // Агротехнологии в мировом земледелии. Глобальные тенденции и региональные особенности. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с Международным участием. – Уссурийск: Приморская ГСХА. – 2014. – С. 89-94.

2. [Фадькин Г.Н.](#) Длительное применение различных форм азотных удобрений на серой лесной тяжелосуглинистой почве // [Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства.](#) – 2012. – С. 64-66.

3. Фадькин Г.Н., Костин Я.В. Влияние длительного бесменного применения разных форм азотных удобрений на содержание азота в серой лесной почве и продуктивность сельскохозяйственных культур в Южной части Нечерноземья // Юбилейный сборник

научных трудов студентов, аспирантов и преподавателей агроэкологического факультета, посвященный 110-летию со дня рождения профессора Е.А.Жорикова. Материалы научно-практической конференции. Рязань: – 2011. – С. 121-124.

4. [Виноградов Д.В.](#) Экологическое использование культуры рапса // [Международный технико-экономический журнал](#). – 2008, № 4. – С. 78-79.

5. Бышов Н.В., Бачурин А.Н., Богданчиков И.Ю. К вопросу об использовании растительных остатков для повышения плодородия почвы // Инновационные технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве: Международная научно - практическая конференция, посвященная 75-летию В.Ф.Некрасевича. Рязань: – 2011. – С. 88-90.

6. [Ушаков Р.Н.](#), Виноградов Д.В., Гусев В.И., Зубец А.Н. Физико-химическая модель плодородия серой лесной почвы как информационной основы ее к неблагоприятным воздействиям // Международная научная конференция «Почвы Азербайджана: генезис, мелиорация, рациональное использование и экология». – 2012. – С. 1013-1018.

7. [Ушаков Р.Н.](#), [Виноградов Д.В.](#), [Головина Н.А.](#) Физико-химический блок плодородия агросерой почвы // [Агрохимический вестник](#). – 2013, № 5. – С. 12-13.

8. Виноградов Д.В., Захарова О.А. Экологическое использование сельскохозяйственных культур почвозащитного севооборота в зоне техногенного загрязнения // [Международный технико-экономический журнал](#). – 2009, №5. – С. 71-73.

9. Фадькин Г.Н., [Костин Я.В.](#) Влияние длительного применения простых минеральных удобрений на азотный режим серой лесной тяжелосуглинистой почвы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2012, №4. – С. 74-76.

10. Балабко П.Н., [Мажайский Ю.А.](#), [Виноградов Д.В.](#) [и др.]. Экологическое обоснование использование почв Окской поймы и ополья мещерского Полесья. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ. – 2013. – 240 с.

11. Курчевский С.М., Виноградов Д.В. [Улучшение малопродуктивных супесчаных дерновоподзолистых почв при внесении органо-минеральных удобрений и микробиологической добавки](#) // [Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева](#). – 2014, №1 (21). С. 47-51.

12. [Фадькин Г.Н.](#), [Виноградов Д.В.](#) Роль длительности применения форм азотных удобрений в формировании урожая сельскохозяйственных культур в условиях Юга Нечерноземья // [Международный технико-экономический журнал](#). – 2014, № 2. – С. 80-84.

13. Виноградов Д.В., Вавилова Н.В., Дуктова Н.А., Ванюшин П.Н. Практикум по растениеводству // Рязань: РГАТУ. – 2014. – 320 с.

14. Виноградов Д.В. Пути повышения ресурсосбережения в интенсивном производстве ярового рапса // [Международный технико-экономический журнал](#). – 2009, № 2. – С. 62-64.

15. Виноградов Д.В., Вертелецкий И.А. Рост и развитие масличных культур при разном уровне минерального питания // [Международный технико-экономический журнал](#). – 2011, №4. – С. 99-102.

16. Потапова Л.В., Виноградов Д.В. Рапс как элемент биологизации на полях Рязанской области // [Международный технико-экономический журнал](#). – 2009, №2. – С. 60-61.

17. Виноградов Д.В., Гусев В.И., Кузнецов Н.П., Степура Е.Е., Синиговец М.Е. Деградационные процессы почв и земельных угодий Рязанской области // [АгроЭкоИнфо](#). – 2013, №2. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2013/2/st_15.doc.

18. Фадькин Г.Н. Длительное применение различных форм азотных удобрений на серой лесной тяжелосуглинистой почве // Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства. – 2012. – С. 64-66.

19. Фадькин Г.Н. Динамика изменения степени нитрификационной способности серой лесной тяжелосуглинистой почвы в зависимости от длительного применения форм азотных удобрений // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей VIII Международной научно - практической конференции, посвящённой 70-летию Алтайского ГАУ: в 3-х книгах. – 2013. – С. 393-395.

20. Костин Я.В., Фадькин Г.Н., Гусев В.И., Пчелинцева С.А., Ушаков Р.Н., Зубец А.Н., Таланова Л.А. Агроэкологическая эффективность разных форм минеральных удобрений на серых лесных почвах // Вестник РГАТУ. – 2009, №1. – С. 38-41.

Цитирование:

Фадькин Г.Н., Виноградов Д.В., Щур А.В., Гогмачадзе Г.Д. Миграция азота в системе «удобрение–почва–растение» под влиянием длительного применения удобрений // АгроЭкоИнфо. – 2015, №4. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2015/4/st_15.doc.