



УДК 631.452:631.416.14+631.84

Г.Н. Фадкин  
G.N. Fadkin

## КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТА УДОБРЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ НА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

### UTILIZATION COEFFICIENT OF NITROGEN OF FERTILIZERS DEPENDING ON THEIR APPLICATION DURATION ON GRAY FOREST HEAVY-LOAMY SOIL

**Ключевые слова:** серая лесная тяжелосуглинистая почва, формы азотных удобрений, коэффициент использования азота, стационарный опыт, сельскохозяйственные культуры.

**Keywords:** gray forest heavy-loamy soil, forms of nitrogen fertilizer, nitrogen utilization coefficient, permanent experiment, agricultural crops.

Применение в агрохимических исследованиях метода меченых атомов позволило установить, что в полевых условиях растения усваивают непосредственно из удобрений только 30-50% азота. Проведенные автором исследования подтверждают вышеуказанное положение. В стационарном опыте, в течение 45 лет, изучалась эффективность разных форм азотных удобрений. Цель исследования: выяснение взаимосвязи между коэффициентом использования азота из минеральных удобрений и длительностью бесменного применения форм азотных удобрений на фоне фосфорно-калийных в условиях многолетнего опыта, проводимого на серой лесной тяжелосуглинистой почве. Стационарный опыт проводился на серой лесной тяжелосуглинистой почве в севообороте: однолетние травы, яровая пшеница, картофель, ячмень. Исследовались  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  и  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  на фоне суперфосфата простого гранулированного и хлористого калия мелко кристаллического. С увеличением продолжительности внесения большинства форм азотных удобрений коэффициент использования азота в среднем за ротацию пропорционально уменьшается. В 10-й ротации севооборота коэффициент использования растениями азота, определенный разностным методом, не превысил 31%. При этом сельскохозяйственные культуры 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 аммиачной и амидной формы, а однолетние травы, наоборот, предпочитают данные формы в совокупности с нитратными. Длительное систематическое применение форм азотных удобрений снижает коэффициент использования азота, что в свою очередь, может снизить эффективность азотных удобрений.

The use of labeled atoms method in agrochemical investigations has made it possible to reveal that in the field conditions plants utilize only 30-50% of nitrogen directly from fertilizers. The author's research proves the above mentioned statement. The effectiveness of different nitrogen fertilizers was studied in a permanent experiment for 45 years. The research goal included revealing the interrelation of the utilization coefficient of nitrogen of mineral fertilizers and the duration of nitrogen fertilizers continuous application against the background of phosphate-potassium fertilizers in the long-term experiment conducted on gray forest heavy-loamy soil. The following crop rotation was used in the experiment: annual grasses, spring wheat, potato, barley. The following fertilizers were studied:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  and  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , all against the background of standard granular superphosphate and fine-crystalline potash chloride. Longer duration of the application of most nitrogen fertilizers resulted in decreased nitrogen utilization coefficient on the average per rotation. In the 10th cycle of the crop rotation the coefficient of nitrogen utilization by the crops did not exceed 31%; the coefficient was determined by differencing method. The crops revealed different response to the forms of fertilizers. Spring wheat recovered about the same amount of nitrogen from the investigated forms. Barley preferred aqueous ammonia and ammonium nitrate. Potato practically did not utilize ammonia and amidic nitrogen, and annual grasses, on the contrary, preferred these forms combined with nitrate ones. A long and regular application of different nitrogen fertilizers reduces nitrogen utilization coefficient and that, in turn, may reduce nitrogen fertilizers effectiveness.

**Фадкин Геннадий Николаевич**, к.с.-х.н., доцент, каф. лесного хозяйства, экологии и селекции растений, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. Тел. (4912) 96-47-40. E-mail: g-fadkin@mail.ru

**Fadkin Gennadiy Nikolayevich**, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Forestry, Ecology and Plant Breeding, Ryazan State Agro-Technological University named after P.A. Kostychev. Ph.: (4912) 96-47-40. E-mail: g-fadkin@mail.ru.

### Введение

Изучение форм азотных удобрений проводится многими научно-исследовательскими учреждениями. В Российской Федерации проведены десятки тысяч опытов, результаты которых обобщены в монографиях, справочниках. Но в большинстве случаев оценка удобрений выявлялась с небольшим набором форм в кратковременных полевых опытах. Эти исследования показали, что эффективность форм азотных удобрений зависит от длительности применения их на одном месте, типа, гранулометрического состава и химических свойств почв, биологии изучаемых культур, доз внесения, а также метеорологических условий [1].

Исследования, проводимые в Нечерноземной зоне РФ, показывают, что продуктивность возделываемых культур находится в определенной зависимости от обеспеченности почв усвояемыми формами азота [2, 3]. В частности в условиях дерново-подзолистой почвы, при КИУ, равном 67% на 1 кг азота, средняя прибавка урожая составляет для зерновых 25-30 кг зерна. Дальнейшее увеличение обеспеченности почвы минеральным азотом снижает КИУ до 46%, при этом окупаемость урожая может упасть до 5-7 кг [4]. Кроме того, величина потребления азота удобрений в определенной степени зависит от формы азотного удобрения и длительности его использования как под сельскохозяйственную культуру, так и в севообороте [5-7].

**Цель исследования** заключается в выяснении взаимосвязи между коэффициентом использования азота из минеральных удобрений (КИУ) и длительностью бессменного применения форм азотных удобрений на фоне фосфорно-калийных в условиях многолетнего опыта, проводимого на серой лесной тяжелосуглинистой почве.

### Объекты и методы

Исследования, результаты которых анализируются в данной публикации, выполнены автором в соответствии с тематическим планом научно-исследовательской работы ФГБОУ ВПО РГАТУ (тема «Разработка и внедрение элементов инновационных технологий повышения плодородия почв, управление продукционным процессом в агроэкосистемах и лесовосстановлении», номер госрегистрации 01201171010 и Географической сети опытов с удобрениями, регистрационный номер опыта 02.11.61.405.01, номер по Государственному реестру – 27).

Данный стационарный опыт заложен в 1962 г. на серой лесной тяжелосуглинистой

почве Е.А. Жориковым и Н.И. Арнаутовой по методике ВИУА на опытном поле кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВПО РГАТУ в севообороте: однолетние травы, яровая пшеница, картофель, ячмень. В качестве исследуемых форм азотных удобрений использовались:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , и  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  на фоне суперфосфата простого гранулированного и хлористого калия мелкокристаллического.

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

Для решения задач научно-исследовательской работы автором использованы исходные сведения предшественников, а также личные материалы, полученные при постановке стационарного опыта кафедры агрохимии, почвоведения и физиологии растений. 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.

Анализы почв выполнены в соответствии с существующими ГОСТами 26490-85; 26488-85; 26204-91; 17.4.02-83.

### Результаты и их обсуждение

До недавнего времени считалось, что растения используют до 80% азота удобрений. Коэффициент использования азота растениями определяли разностным методом (по разнице в выносе азота с урожаем при внесении азота и без внесения) и выражали в процентах внесенного количества удобрения [8]. Применение в агрохимических исследованиях метода меченых атомов позволило установить, что в полевых условиях растения усваивают непосредственно из удобрений только 30-50% азота [9]. Однако при внесении азотных удобрений усиливаются минерализация почвенного азота и усвоение его растениями.

Проведенные исследования подтверждают вышеуказанное положение. В десятой ротации проведения полевого опыта 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 сельскохозяйственными культурами севооборота. Часть его терялась при денитрификации, в результате смыыва по профилю почвы и т.д., а часть фиксировалась почвой. Такое ежегодное наложение азотных удобрений и повлияло на коэффициент использования.

Таблица 1

*Коэффициент использования азота удобрений, определенный разностным методом (X ротация севооборота), % от внесенного*

Вариант опыта	Однолетние травы (2004 г.)	Яровая пшеница (2005 г.)	Картофель (2006 г.)	Ячмень (2007 г.)
PK + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	25,8	26,3	29,4	13,6
PK + Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	25,2	25,8	30,1	11,2
PK + NaNO <sub>3</sub>	24,5	24,9	28,6	12,1
PK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20,8	28,4	8,6	7,7
PK + NH <sub>4</sub> Cl	28,5	26,9	7,9	6,9
PK + NH <sub>4</sub> OH	21,6	27,5	9,4	15,2
PK + CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	22,6	26,1	8,5	10,1

Таблица 2

*Коэффициент использования растениями азота удобрений в зависимости от длительности внесения, % от внесенного*

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

Однако даже при таком относительно низком коэффициенте использования сельскохозяйственные 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%). Коэффициент использования

азота кальциевой и натриевой селитры был стабилен на протяжении первых четырех ротаций и находился в пределах 58-65%, в дальнейшем он снизился до уровня 22,5-23%. Коэффициент использования азота мочевины до пятой ротации повышался (max 64,2%), начиная с шестой произошел резкий спад в потреблении азота из данного удобрения. Аналогичная ситуация отмечается и по аммиачной воде. 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, отесняя азот удобрения. Параллельно происходила активизация почвенного азота. Хлористый и сернокислый аммоний вел себя более стабильно: до пятой ротации включительно КИУ данных удобрений практически не изменялся и находился на соответствующем уровне, а с шестой ротации отмечается постепенное снижение коэффициента использования азота.

**Выводы**

1. В 10-й ротации проведения полевого опыта коэффициент использования растениями азота, определенный разностным методом, не превысил 31%. При этом яровая пшеница примерно одинаково усваивает азот из всех исследуемых форм; ячмень отдает предпочтение аммиачной воде и аммиачной селитре; картофель практически не использует азот из аммиачных и амидной форм; однолетние травы, наоборот, предпочитают аммиачные и амидную формы в совокупности с нитратными.

2. С увеличением продолжительности внесения большинства форм азотных удобрений коэффициент использования азота в среднем за ротацию пропорционально уменьшается. Однако динамика КИУ зависит от формы азотного удобрения.

**Библиографический список**

1. Войтович Н.В., Костин Я.В., Чумаченко И.Н., Сушеница Б.А. Формы минеральных удобрений при длительном применении. М.: ЦИНАО, 2002. – 208 с.

2. Андреева Е.А., Щеглова Г.М. Использование растениями азота почвы и азота удобрений // *Агрохимия*. – 1966. – № 10. – С. 6-19.

3. Безносиков В.А. Эколого-агрохимические основы оптимизации азотного питания растений на подзолистых почвах Европейского Северо-Востока России: автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Пермь, 2000. – 37 с.

4. Шафран С.А. Оптимизация азотного питания зерновых культур при разной обеспеченности дерново-подзолистых почв фосфором и калием: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 06.01.04. – М., 1995. – 51 с.

5. Ушаков Р.Н., Фадькин Г.Н., Пчелинцева С.А., Косорукова Т.Ю., Беликова Т.А. Агроэкологическая роль разных форм азотных, фосфорных и калийных удобрений на серой лесной почве // *Применение средств химизации – основа повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения плодородия: матер. 38-й Междунар. науч. конф.* – М.: ВНИИА 2004, – С. 330-332.

6. 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.

7. Li S.-X., Wang Z.-H., Stewart B.A. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N // *Advances in agronomy*. – 2013. – Т. 118. – P. 205-397.

8. Кореньков Д.А. Агрохимия азотных удобрений. – М.: Наука, 1976. – 223 с.

9. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. – М., 1999. – 296 с.

**References**

1. Voitovich N.V., Kostin Ya.V., Chumachenko I.N., Sushenitsa B.A. Formy mineral'nykh udobrenii pri dlitel'nom primeneni. – М.: TsINAО, 2002. – 208 s.

2. Andreeva E.A., Shcheglova G.M. Ispol'zovanie rasteniyami azota pochvy i azota udobrenii // *Agrokhimiya*. – 1966. – № 10. – S. 6-19.

3. Beznosikov V.A. Ekologo-agrokhimicheskie osnovy optimizatsii azotnogo pitaniya rastenii na podzolistykh pochvakh Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii: avtoref. ... dis. d-ra biol. nauk. – Perm', 2000. – 37 s.

4. Shafran S.A. Optimizatsiya azotnogo pitaniya zernovykh kul'tur pri raznoi obespechennosti dernovo-podzolistykh pochv fosforom i kaliem: avtoref. ... dis. d-ra s.-kh. nauk: 06.01.04. – М., 1995. – 51 s.

5. Ushakov R.N., Fad'kin G.N., Pchelintseva S.A., Kosorukova T.Yu., Belikova T.A. Agroekologicheskaya rol' raznykh form azotnykh, fosfornykh i kaliinykh udobrenii na seroi lesnoi pochve. – Mater. 38-oi mezhdunar. nauchn. konf. «Primenenie sredstv khimizatsii – osnova povysheniya produktivnosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur i sokhraneniya plodorodiya». – М.: VNIIA, 2004. – S. 330-332.

6. Kostin Ya.V., Fad'kin G.N., Gusev V.I., Pchelintseva S.A., Ushakov R.N., Zubets A.N., Talanova L.A. Agroekologicheskaya effektivnost' raznykh form mineral'nykh udobrenii na serykh lesnykh pochvakh // *Vestnik RGATU*. – 2009. – № 1. – S. 38-41.

7. Li S.-X., Wang Z.-H., Stewart B.A. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N // *Advances in Agronomy*. – Vol. 118, 2013. – P. 205-397.

8. Koren'kov D.A. Agrokhimiya azotnykh udobrenii. – М.: Nauka, 1976. – 223 s.

9. Koren'kov D.A. Agroekologicheskie aspekty primeneniya azotnykh udobrenii. – М., 1999. – 296 s.

