

УДК 631.84:631.421.3:631.4

МИГРАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ (ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИЙ ОПЫТ)

П.А. Постников, к.с.-х.н., В.В. Попова,

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН
620142, г. Екатеринбург, ул. Белинского, д. 121 А, E-mail: postnikov.ural@mail.ru

В 2011-2015 гг. в лизиметрическом опыте на дерново-подзолистой почве изучено влияние различных фонов питания и полевых севооборотов на вымывание азота через корнеобитаемый слой 0-70 см. В среднем за 5 лет исследований в зависимости от фона питания и вида севооборота за вегетационный период просачивалось от 54,4 до 71,5 л/лизиметр. Применение органических удобрений (навоз, сидераты, солома) в сочетании с минеральными фонами $N_{30}P_{30}K_{30}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$ в кольцах способствовало повышению концентрации минерального азота в лизиметрических водах на 2,5-4,7 мг/кг по отношению к контролю. За ротацию севооборотов среднегодовая миграция его минеральных форм не превышала 6,2-7,6 кг/га. В годы с избыточным увлажнением потери доступного азота возрастали до 7,5-15,6 кг/га.

Ключевые слова: лизиметрическая установка, дерново-подзолистая почва, севооборот, фон питания, инфильтрат, минеральный азот.

DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.08

Азот – один из необходимых элементов для жизни растений. В процессе формирования урожая сельскохозяйственные культуры используют азот из воздуха, почвы, минеральных удобрений [1, 6]. Применение минеральных удобрений при возделывании растений требует учета всех факторов. Важное значение при этом имеет определение размеров потерь элементов питания при инфильтрации атмосферных осадков за пределы корнеобитаемого слоя. Атмосферные осадки, просачиваясь по профилю почвы, способствуют растворению питательных веществ, делая их более доступными для растений. В то же время увеличивается возможность безвозвратных потерь из пахотного слоя биологически важных основных элементов питания [11].

Климатические условия, и прежде всего количество и характер распределения атмосферных осадков, определяют количество просочившейся через почву воды, и тем самым вымывание минерального азота [8, 10].

Многочисленными исследованиями установлено, что миграция азота по профилю почвы во многом зависит от гранулометрического состава почвы, доз азотных удобрений, наличия растительности и др. [2, 4, 7].

Цель исследований – изучить процессы миграции минерального азота из корнеобитаемого слоя дерново-подзолистой почвы в зависимости от типа севооборота, фона питания и количества атмосферных осадков.

Методика. Работа выполнена в Уральском НИИСХ – филиал ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Лизиметрическая установка построена в 1989 г., она состоит из 46 железобетонных колец площадью 0,75 м², соединенных трубками с подземной траншеей. Наполнение колец почвой производили послойно с сохранением генетических горизонтов на глубину 0-70 см. Просачивающаяся вода по полиэтиленовой трубке поступала в подземную траншею в 10-литровые бутылки. Учеты инфильтрата осуществляли в течение вегетационного периода.

Опыт с севооборотами проводили в 2011–2015 гг. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве, которая характеризовалась следующими показателями:

$pH_{\text{сол.}}$ 5,4, H_r – 3,33 ммоль/100 г почвы, $N_{\text{л.г.}}$ – 106 мг/кг, P_2O_5 – 117, K_2O – 120 мг/кг почвы, гумус – 2,83 %. Основные результаты по темно-серой почве были изложены в предыдущих статьях [5].

Фактор 1. Севообороты были развернуты во времени в 2-кратной повторности и изучались на трех фонах питания. Применяли следующие севообороты: зернопаротравяной; зернопаросидеральный; зернотравяной.

Фактор 2. Фон питания.

1. Контроль (без удобрений);

2. Органоминеральный – $N_{30}P_{30}K_{30}$ + навоз, сидерат, солома;

3. Органоминеральный – $N_{60}P_{60}K_{60}$ + солома 2 раза за ротацию.

Чередование культур по годам и план внесения удобрений представлены в таблице. 1. Из минеральных удобрений использовали сложное азотно-фосфорно-калийное удобрение с содержанием элементов питания по 15 кг д.в.

С подстилочным навозом в почву поступило 117 кг/га азота, с рапсом – 36-42, с отавой клевера – 60 кг/га. Объем внесения соломы в вариантах складывался из фактического сбора побочной продукции зерновых культур в кольцах в перерасчете на 1 га пашни: ячмень – 2,7-2,8 т, гороха – 1,5-1,8 и озимой ржи – 2,6 т. С соломой ячменя внесено около 15,0 кг/га азота, с озимой рожью – 15,6 и гороха – 13,8 кг/га.

Посев сельскохозяйственных культур в кольцах ежегодно осуществляли вручную. Количество высеванных семян на заданную площадь рассчитывали исходя из принятых норм высева на Среднем Урале (яровая пшеница – 6,5 млн га, ячмень – 4,0, овес – 5,5 и горох – 1,5 млн га всхожих зерен).

Результаты и их обсуждение. Величина потерь питательных элементов из корнеобитаемого слоя посредством вымывания их из почвы обуславливается двумя факторами: количеством атмосферных осадков, просочившихся через почву в грунтовые воды, и концентрации этих химических соединений в почвенном растворе.

1. Размещение культур и схема применения удобрений (в среднем за 2011-2015 гг.)

(в среднем за 2011-2015 гг.)

Культура, год	Фон питания		
	без удобре- ний	органоминеральный	
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀
<i>Зернопаротравяной севооборот</i>			
1. Яровой ячмень, 2011	—	N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀ + солома	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + солома
2. Чистый пар, 2012	—	Навоз, 30 т/га	
3. Озимая рожь, 2013	—	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + солома
4. Яровая пшеница + клевер, 2014	—	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀
5. Клевер 1-го г.п., 2015	—	—	—
<i>Зернопаросидеральный севооборот</i>			
1. Яровой ячмень, 2011	—	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + солома
2. Сидеральный пар (рапс), 2012	Сидерат	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + сидерат	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ + сидерат
3. Яровая пшеница, 2013	—	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀
4. Овес, 2014	—	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀
5. Горох, 2015	—	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + солома	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + солома
<i>Зернотравяной севооборот</i>			
1. Яровая пшеница + клевер, 2011	—	N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀
2. Клевер 1-го г.п., 2012	—	Отава	—
3. Яровой ячмень, 2013	—	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ -	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + солома
4. Овес, 2014	—	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀
5. Горох, 2015	—	N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ + солома	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + солома

В среднем за ротацию севооборотов сток влаги из корнеобитаемого слоя почвы на контроле варьировал на уровне 63-72 л/лиметр, что в пересчете составило 72,0–91,5 мм от общего количества осадков, из них на весенний период приходится 51-59 %. Во влажные годы (2014-2015) он увеличился в 3,5-5,0 раз по сравнению с другими годами. Максимальный сток на дерново-подзолистой почве отмечен в 2014 г., когда количество инфильтрата равнялось 141-163 л/лиметр.

Внесение минеральных удобрений в дозах N₃₀P₃₀K₃₀ и N₆₀P₆₀K₆₀ в сочетании с органическими удобрениями во всех севооборотах способствовало снижению количества просочившейся воды из дерново-подзолистой почвы на 7,3-15,7 % по отношению к варианту без внесения удобрений.

Химический анализ инфильтрата показал, что миграция минерального азота по профилю почвы происходит в виде нитратов, нитритов, водорастворимого аммония. Установлено, что в лизиметрических водах, независимо от фона питания и вида севооборота, на 94-96 % преобладает азот нитратов (табл. 2). Аналогичные закономерности выявлены и в других научных учреждениях [2, 9].

Применение удобрений в кольцах способствовало повышению концентрации минерального азота на 2,5-4,7 мг/кг по отношению к контролю. Наибольшее содержание минеральных форм азота выявлено при использовании двойной дозы минеральных удобрений. Следует отметить, что наибольшее количество азота на удобренных фонах обнаружено под культурами в зернопаросидеральном севообороте. Полагаем, это связано с тем, что при заделке зеленой массы рапса на сидерат происходит более быстрое ее разложение по сравнению с навозом и отавой клевера, поэтому не весь минеральный азот используется растениями.

2. Концентрация азота в инфильтрате в зависимости от вида севооборота и уровня питания на дерново-подзолистой почве (среднее за 2011-2015 гг.)

Вариант опыта	Азот минеральный, мг/л			
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	сумма
Зернопаротравяной севооборот				
Контроль (без удоб- рений)	0,24	7,23	0,17	7,64*
Органоминеральный фон – N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	0,30	9,61	0,19	10,1
Органоминеральный фон – N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,32	10,4	0,19	10,9
Зернопаросидеральный севооборот				
Контроль (без удоб- рений)	0,19	7,16	0,17	7,52
Органоминеральный фон – N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	0,30	11,8	0,25	12,4
Органоминеральный фон – N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,32	12,8		13,4
Зернотравяной севооборот				
Контроль (без удоб- рений)	0,26	7,88	0,21	8,35
Органоминеральный фон – N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	0,32	9,72	0,23	10,3
Органоминеральный фон – N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,50	12,3	0,28	13,1
НСП ₀₅ : севообороты фон питания				2,38 2,95

*Усредненные данные по фонам питания за вегетационный период (апрель-октябрь).

Во все годы наблюдений для лизиметрических вод характерно низкое содержание аммонийного и нитритного азота. Исследователи отмечают [3], что при повышении влагоемкости дерново-подзолистой почвы наблюдается снижение концентрации NH₄⁺ за счет более высокой скорости поглощения твердой фазой почвы. При систематическом внесении удобрений в севооборотах выявлено увеличение содержания аммонийного азота в инфильтрате на 0,06-0,24 мг/л по отношению к варианту без удобрений. Максимальная разница отмечена в зернотравяном севообороте при использовании двойной дозы минеральных удобрений. Аналогичные тенденции обнаружены по нитритной форме азота.

В целом за вегетационный период наибольшая концентрация минерального азота в инфильтрате отмечена в весенний период. При фильтрации воды в летний период содержание минеральных форм азота, особенно нитратной, заметно снижается под всеми культурами, выращиваемыми в кольцах, независимо от фона питания. Осенью, когда потребление элементов питания отсутствует, в результате минерализационных процессов в почве доступность азота снова увеличивается. Количество легкодоступных форм азота в инфильтрате приблизилось к весеннему уровню.

На основании количества просочившихся атмосферных осадков через почву и концентрации минерального азота в лизиметрических водах было рассчитано его вымывание из корнеобитаемого слоя в зависимости от вида севооборота и уровня питания.

Исходя из концентрации азота в лизиметрических водах, свыше 90 % потерь от вымывания приходится на нитратную форму азота, а на другие формы – не более 5-6 %. Вымывание азота из дерново-подзолистой почвы в варианте без удобрений, независимо от типа севооборота, находилось примерно на одном уровне: в среднем за ротацию годовые потери не превышали 6,4 кг/га (табл. 3). В наших исследованиях при сочетании применения двойной дозы минеральных удобрений и со-

ломы (2 раза за ротацию) обнаружены наибольшие потери доступного азота - 7,34-7,58 кг/га пашни, что выше контроля на 18-20 %.

При применении умеренных доз минеральных удобрений из расчета $N_{30}P_{30}K_{30}$ в сочетании с органическими удобрениями вымывание минерального азота из корнеобитаемого слоя почвы по отношению к контролю не превышало 0,4-0,5 кг/га. Это показывает, что использование оптимальных доз азотных удобрений с учетом биологических особенностей культур за счет биологического его закрепления и потребления растениями в процессе вегетации способствует снижению потерь азота от вымывания из почвы.

3. Потери минерального азота в зависимости от вида севооборота и уровня питания на дерново-подзолистой почве (среднее за 2011-2015 гг.)

Вариант опыта	Азот минеральный, кг/га			
	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	сумма
<i>Зернопаротравяной севооборот</i>				
Контроль (без удобрений)	0,16	6,12	0,12	6,40
Органоминеральный фон - $N_{30}P_{30}K_{30}$	0,16	6,61	0,12	6,89
Органоминеральный фон - $N_{60}P_{60}K_{60}$	0,20	7,26	0,12	7,58
<i>Зернопаросидеральный севооборот</i>				
Контроль (без удобрений)	0,14	5,97	0,12	6,23
Органоминеральный фон - $N_{30}P_{30}K_{30}$	0,15	6,40	0,14	6,69
Органоминеральный фон - $N_{60}P_{60}K_{60}$	0,16	7,06	0,12	7,34
<i>Зернотравяной севооборот</i>				
Контроль (без удобрений)	0,14	5,99	0,13	6,26
Органоминеральный фон - $N_{30}P_{30}K_{30}$	0,16	6,58	0,12	6,86
Органоминеральный фон - $N_{60}P_{60}K_{60}$	0,20	7,16	0,12	7,50
НСП ₀₅ : севообороты				0,75
фон питания				1,13

Многолетние данные в лизиметрическом опыте свидетельствуют, что величина потерь во многом зависит от количества просочившейся воды за вегетационный период. Так, в 2014-2015 гг. при избыточном увлажнении в летний период потери минерального азота за теплый период года возрастали до 7,5-15,6 кг/га. Выявлено, что при использовании сидератов, соломы в сочетании с одинарной дозой минеральных удобрений вымывание минерального азота уменьшается на 11-15 % даже по отношению к контролю. Это связано, по-видимому, с бо́льшим потреблением доступного азота в процессе вегетации растений и снижением количества воды, просачивающейся через профиль почвы.

В годы с умеренным количеством осадков с внутрипочвенным стоком вымывание азота не превышало на контроле и на фоне $N_{30}P_{30}K_{30}$ 2,2-4,6 кг/га. При двойной дозе минеральных удобрений потери минерального азота возросли на 0,7-3,5 кг/га по отношению к варианту без удобрений.

Выводы. 1. Наибольшая интенсивность инфильтрации в дерново-подзолистой почве отмечена в весенний период, внутрипочвенный сток влаги составил 51–59 % от общего количества просочившейся воды. Применение сидератов в сочетании с соломой (2 раза за ротацию) уменьшило инфильтрацию осадков на 7,3–15,7 % по отношению к контролю.

2. В растворе инфильтрата минеральный азот на 94–96 % представлен в нитратной форме. Систематическое применение удобрений в кольцах способствовало повышению концентрации минерального азота в лизиметрических водах на 2,5–4,7 мг/кг по отношению к контролю. Наибольшее содержание минеральных форм азота в почвенном растворе выявлено при использовании двойной дозы минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$).

3. В годы с избыточным увлажнением в летне-осенний период потери доступного азота возрастают до 7,5-15,6 кг/га, в годы с умеренным увлажнением - они не превышали 2,4-4,6 кг/га.

Литература

1. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. – М.: Наука, 1981. – 267 с.
2. Бобрицкая М.А. Вымывание питательных элементов из пахотных почв Нечерноземной зоны //Агрохимия. –1975. – № 11. – С.142-153.
3. Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Минеральный азот в адаптивно-ландшафтном земледелии. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2016. – 156 с.
4. Кирпанова Л.И., Варюшкина Н.М., Романюк Л.И. К вопросу просачивания атмосферных осадков и вымывания подвижных форм азота на лизиметрах /Круговорот и баланс питательных веществ в системе – почва – удобрение – растение – вода. – М.: Наука, 1979. – С.296-298.
5. Огородников Л.П., Постников П.А. Просачивание атмосферных осадков через почву на Среднем Урале // АПК России. – 2015. –Т. 73. – С. 116–119.
6. Осипов А.И., Осипов О.А. Роль азота в плодородии почв и питании растений. – Санкт-Петербург, 2001. – 360 с.
7. Панткин В.А., Переправо Н.И., Дзикович К.А. Пути уменьшения потери азота от вымывания и повышения эффективности азотсодержащих удобрений на супесчаной дерново-подзолистой почве //Агрохимия. – 1984. – № 2. – С.3-7.
8. Первова Н.Е., Егоров Ю.В. Изучение миграции природных вод на модельных лизиметрах // Вестник Московского университета. Серия 17 //Почвоведение. – 2012. – № 1. – С.24-28.
9. Пироговская Г.В. Выщелачивание азота из пахотных почв Беларуси (по данным лизиметрических исследований 1981-2012 гг.) //Агрохимия. – 2016. – № 3. – С.39-50.
10. Трипольская Л. Изменения инфильтрации атмосферных осадков в почвенно-климатических условиях Литвы (обобщение лизиметрических исследований 1987-2014 гг.) // Агрохимия. – 2016. – № 6. – С.52-58.
11. Шильников И.А., Сычев В.Г., Шеуджен А.Х. и др. Потери элементов питания растений в агро-биогеохимическом круговороте веществ и способы их минимизации. – М.: ВНИИА, 2012. – 351 с.

MIGRATION OF MINERAL NITROGEN FROM SOD-PODZOLIC SOIL IN LYSIMETRIC EXPERIMENT

P.A. Postnikov, V.V. Popova

Ural scientific Federal Agrarian Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Science, Belinskogo ul. 121A, 620142 Ekaterinburg, Russia, e-mail: postnikov.ural@mail.ru

In 2011-2015, the influence of different food backgrounds and field crop rotations on nitrogen leaching through the root layer of 0-70 cm was studied in the lysimetric experiment on sod-podzolic soil. The average for the 5 years of study depending on background and supply and kind of crop rotation during the growing season were leaked from of 54.4 to 71.5 l/lysimeter. The use of organic fertilizers (manure, green manure, straw) in combination with mineral backgrounds $N_{30}P_{30}K_{30}$ and $N_{60}P_{60}K_{60}$ in the lysimeter rings contributed to an increase in the concentration of mineral nitrogen in the lysimetric waters by 2.5-4.7 mg/kg relative to the control. For one cycle of crop rotation the average annual migration of its mineral forms did not exceed 6.2-7.6 kg/ha. In the years with excessive moisture the loss of available nitrogen increased to 7.5-15.6 kg.

Key words: lysimeter, infiltrate, sod-podzolic soil, crop rotation, background of nutrition, mineral nitrogen.