

УДК 641.416.1:631.445.41

МИГРАЦИЯ НИТРАТНОГО АЗОТА ПО ПРОФИЛЮ ПОЧВЫ[§]

© 2024 г. О. В. Волынкина^{1,*}, А. Н. Копылов¹

¹Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН
620142 Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, Россия

*E-mail: volynkina.o@bk.ru

В выщелоченном малогумусном среднесуглинистом черноземе центральной зоны Курганской обл. отмечены потери нитратного азота через вымывание с осадками вниз по профилю почвы. Потери возрастали при применении повышенных доз азотного удобрений, а также в вариантах при одностороннем применении азотных удобрений.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный малогумусный среднесуглинистый, миграция нитратного азота по профилю почвы, баланс азота, урожайность культур, зернопропашной севооборот, бессменная пшеница после стерни.

DOI: 10.31857/S0002188124040014, EDN: dnajoi

ВВЕДЕНИЕ

Азотный фонд почвы определяется величиной содержания валового азота, который находится в тесной связи с содержанием гумуса, с урожайностью связано только количество почвенного нитратного азота. Основная часть азота почвы находится в органической форме, а на минеральные формы приходится всего 1–3% [1]. Среди разных видов почв наиболее благоприятный для растений азотный режим почвы складывается на черноземах, которые занимают до 50% пахотных земель России, на них производится до 75% валовой продукции [2]. Хорошая растворимость и большая подвижность нитратов в почве приводит к их потерям через вымывание вниз по профилю почвы. Размеры миграции нитратного азота регулируются гранулометрическим составом почвы и технологией возделывания сельскохозяйственных культур [3]. При орошении потери нитратов бывают гораздо больше [4–6].

[§] Исследование выполнено в Курганском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале УрФАНЦУРО РАН – в лабораториях агрохимии и земледелия в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования по теме № 0532-2021-0002 “Усовершенствовать систему адаптивно-ландшафтного земледелия для Уральского региона и создать агротехнологии нового поколения на основе минимизации обработки почвы, диверсификации севооборотов, рационального применения пестицидов и биопрепаратов, сохранения и повышения почвенного плодородия и разработать информационно-аналитический комплекс компьютерных программ, обеспечивающий инновационное управление системой земледелия”.

Ежегодное применение азотных удобрений перед посевом культур локальным способом дисковой сеялкой СЗ-3.6 на 4–5 см обогащает почву нитратами. При достаточном количестве осадков определенная доля нитратного азота опускается ниже корнеобитаемого слоя почвы, особенно при повышенных дозах удобрения. Миграция растворенных в воде нитратов по профилю почвы происходит посредством диффузии жидкой и газообразной фаз влаги, а также большое значение имеют капиллярное и гравитационное перемещение воды вниз по профилю почвы, что описано в литературе [7–11].

В исследованиях Курганского НИИСХ ранее отмечено промывание нитратов в глубину профиля почвы до 2–3-х м по наблюдениям в стационаре с зернопропашным севооборотом (кукуруза–две пшеницы–овес) [12]. В этом опыте изучали состав удобрения и дозы азота, сначала в условиях севооборота, позднее – в посевах бессменной пшеницы. В эксперименте отбор почвенных проб вели весной до внесения новых порций удобрений. Различия результатов весеннего и осеннего отбора почвы по накоплению нитратного азота под пшеницей после пара на производственных участках северо-западной зоны Курганской обл. показаны в методических рекомендациях ФГБУ САС “Шадринская”. Большинство результатов анализа почвенных образцов в этом поле зернопарового севооборота показало, что определение содержания нитратного азота осенью давало более высокие показатели [13], по-видимому, за счет дополнительной летней текущей нитрификации.

Новые наблюдения за содержанием нитратного азота на глубине 3 м проведены в Курганском НИИСХ в 2014, 2015 и 2021 гг. в вышеупомянутом стационарном опыте, где зернопропашной севооборот (1971–1998 гг.) заменен в 1999–2021 гг. бессменной пшеницей после стерневого фона. Такую технологию необходимо изучить, т.к. она распространилась в производственной практике.

Цель работы – определение размеров потерь нитратного азота в выщелоченном черноземе под посевом бессменной пшеницы в условиях Центрального опытного поля Курганского НИИСХ.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – выщелоченный чернозем маломощный малогумусный среднесуглинистый. Агрохимические свойства почвы в слое 0–20 см: pH_{KCl} 6.2–6.4 при закладке и 5.0–5.2 – в настоящее время, содержание гумуса – 4.5%, суммы кальция и магния – 20–22 мг-экв/100 г, общего азота – 0.20%, общего фосфора – 0.07%, содержание подвижных P_2O_5 и K_2O – 40 и 250–300 мг/кг соответственно. Удобрения (аммиачную селитру и аммофос) вносили до посева дисковой сеялкой СЗ-3.6 на глубину 4–5 см. Определение содержания нитратного азота провели в 1-метровом слое почвы, либо в 3-метровом. Количество среднегодовых осадков в центральной зоне Курганской обл. равно 350 мм, за вегетацию (май–август) – 190 мм.

В эксперименте сравнили количество нитратов в 3-метровом слое почвы на фоне без удобрения, при разном составе удобрения и возрастающих дозах азотного удобрения. Стационарному опыту 51 год. В течение 28 лет (1971–1998 гг.) исследование вели в севообороте кукуруза–две пшеницы–овес при ежегодной вспашке, а в 1999–2021 гг. – в посевах бессменной пшеницы после стерни. Почву отбирали весной перед внесением новых доз

удобрения, т.е. определяли остаточное количество удобрения. Содержание подвижного P_2O_5 в слое 0–20 см почвы под влиянием ежегодного применения суперфосфата в севообороте и аммофоса в 2008–2021 гг. в посеве бессменной пшеницы повысилось с 40 до 80 мг/кг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ миграции нитратного азота по профилю почвы под посевом бессменной пшеницы подтвердил выявленные ранее в годы севооборота закономерности. На систематически удобренном фоне остаточные количества нитратного азота за небольшими исключениями (прохладная весна в 2018–2019 гг.) были больше, чем в контроле. При дозах N40–60 на фосфорном фоне чаще количество нитратов в 1-метровом слое по обеспеченности растений азотом приближалось к оптимуму (75–80 кг/га). В среднем за 6 лет за период с 2016 по 2021 г. количество нитратного азота в 1-метровом слое почвы составило 50 кг/га без удобрений и 76 кг/га – при внесении N40–60P20 (табл. 1).

Отбор образцов на глубину 3 метра позволил оценить размеры потерь азота через вымывание нитратов с осадками во 2-й и 3-й метры почвенного профиля. В табл. 2 показано содержание N-NO₃ в 3-метровом слое выщелоченного чернозема в 2014 и 2021 гг.

Отмечено, что за 7 лет значительно возросло количество нитратного азота в 3-метровом слое, особенно при дозе N60P20. За эти годы в теплое время года (май–сентябрь) выпало в сумме 1470 мм осадков, в среднем за год – 210 мм. Во 2-й и 3-й метры профиля почвы попало 60% нитратного азота в 2014 г. и 42% – в 2021 г. в контроле, на фоне внесения N40P20–45 и 37 и N60P20–59 и 45%.

Таблица 1. Содержание N-NO₃ в 1-метровом слое почвы, кг/га

Вариант	2015 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
Контроль	35	54	41	48	48	71	50
N40–60P20	110	82	53	54	69	90	76
<i>HCP</i> ₀₅				17			

Таблица 2. Миграция нитратного азота при внесении разных доз аммиачной селитры, кг/га

Слой почвы, см	Контроль		N20P20		N40P20		N60P20	
	2014 г.	2021 г.	2014 г.	2021 г.	2014 г.	2021 г.	2014 г.	2021 г.
0–100	30	71	47	44	72	104	51	108
100–200	19	29	21	20	30	26	42	52
200–300	25	23	21	27	28	34	31	38
0–300	74	123	89	91	130	164	124	198

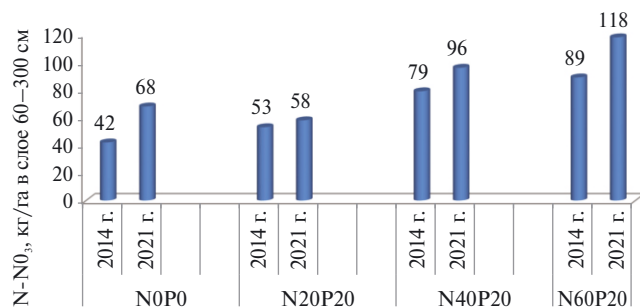


Рис. 1. Изменение количества нитратного азота в слое почвы 60–300 см за период с 2014 по 2021 гг. при внесении разных доз азота, кг/га.

Основная масса корней размещается в верхнем слое 0–60 см почвы. Опасно, если за счет осадков нитратный азот опускается ниже корнеобитаемого слоя почвы. Показано, что за 7 лет при внесении малой дозы азотного удобрения изменение суммарного содержания нитратного азота в слое 60–300 см было небольшим (рис. 1).

В контроле и при внесении доз N40–60P20 наблюдали существенное увеличение суммарного содержания нитратного азота, но распределение нитратного азота в слое 0–300 см по глубине показало, что в контроле ниже 60 см его было 56% в 2014 г. и 55% – в 2021 г., при внесении N40P20–54 и 55% и N60P20–72 и 60% соответственно. Необходимо было найти причину увеличения данного показателя, для чего составили баланс азота за 7-летний период.

Основной причиной была невысокая урожайность бессменной пшеницы после стерни. Играли роль следующие факторы: среднесуглинистый гранулометрический состав почвы, величина доз азота в технологии и повторение июньских засух, которые отмечены за 7 лет 4 раза с осадками в июне, равными 6–30 мм. В среднем за 7 лет продуктивность повторных посевов пшеницы после стерни была невысокой: 9.8 ц зерна/га в контроле и 13.6,

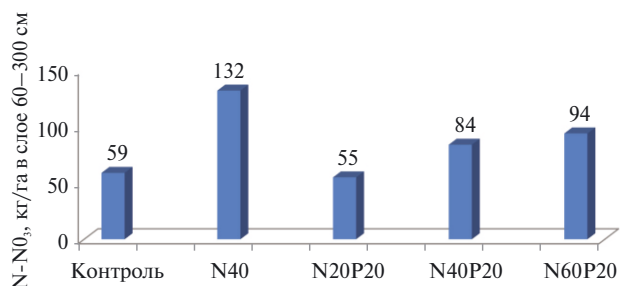


Рис. 2. Количество нитратного азота в слое 60–300 см почвы под посевом бессменной пшеницы при применении разного состава удобрения и возрастающих доз азота, кг/га (2015 г.).

15.2, 15.3 при внесении доз N20–40–60P20 соответственно. Суммарный вынос азота зерном за 7 лет (солому не отчуждали с поля) был равен 133 в контроле, а в вариантах с удобрениями – 179, 238 и 248 кг/га. Внесено было в удобренных вариантах 140, 280 и 420 кг азота/га. Начиная со второй дозы, баланс азота становился положительным, в варианте N40–60P20 в сумме за 7 лет он составил 42 и 172 кг/га (табл. 3).

Лишний азот, не использованный растениями, с осадками мигрировал вниз по профилю почвы. Наибольшими оказались потери в варианте применения дозы азота N60P20.

При анализе содержания нитратного азота в 3-метровом слое почвы в 2015 г. обнаружено, что при одной и той же дозе внесения N40 потери от вымывания нитратов существенно снижались, если азот вносили в сочетании с фосфором (рис. 2).

В слое почвы 0–300 см в 5-ти вариантах находилось нитратного азота 82, 173, 80, 125 и 223 кг/га, ниже 60 см в контроле мигрировало 72% от суммарного количества, 76% – при внесении N40 и 69, 67, 42%, если применяли дозы N20–40–60P20.

Такая закономерность отмечена в опыте еще в годы севооборота. Поскольку почва бедна подвижным фосфором (40 мг/кг), одно азотное удобрение

Таблица 3. Баланс азота за 7-летний период наблюдений за миграцией нитратного азота по профилю почвы (2014–2021 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Содержание азота в зерне, %	Вынос азота за год, кг/га	Вынос азота за 7 лет, кг/га	Внесено азота за 7 лет, кг/га	Баланс азота за 7 лет, кг/га	Баланс азота за год, кг/га
Контроль	0.98	1.94	19.0	133	0	–133	–19.0
N20P20	1.36	1.84	25.0	175	140	–35	–5
N40P20	1.52	2.24	34.0	238	280	42	6
N60P20	1.53	2.32	35.5	248	420	172	25

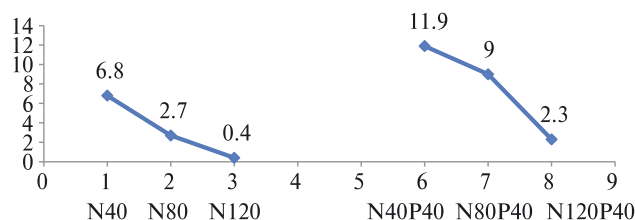


Рис. 3. Пределные прибавки урожайности сухой массы кукурузы при увеличении доз азотного удобрения с шагом N40 без внесения фосфора и на фоне P40, ц/га (контроль – 42 ц/га, $HCP_{05} = 8.0$), (1971–1998 гг.).

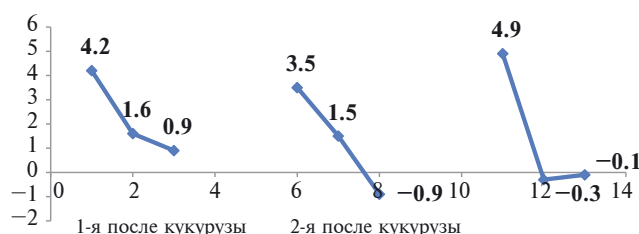


Рис. 4. Пределные прибавки урожайности зерновых культур в севообороте кукуруза–пшеница–пшеница–овес при применении возрастающих доз азота с шагом N20 на фоне внесения P40 (1971–1998 гг., урожайность в контроле: 1-я и 2-я пшеница после кукурузы – 15.8, овес – 23.8 ц/га; $HCP_{05} = 1.1–2.3$).

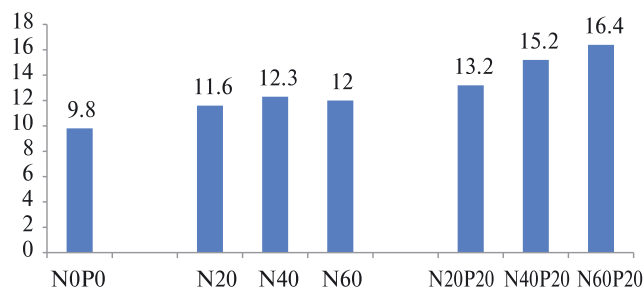


Рис. 5. Влияние состава удобрения и доз азота на урожайность бессменной пшеницы после стерни (1999–2020 гг.), ($HCP_{05} = 1.7$ ц/га).

слабо влияло на величину урожая. В посеве кукурузы при одностороннем азотном удобрении постепенное повышение дозы азота от N40 до N80 и N120 было нецелесообразным. При внесении азотно-фосфорного удобрения эффективность каждой из 3-х доз азота с шагом N40 имела совсем иную характеристику. Полезными были 1-я и 2-я дозы азота. На рис. 3 приведены предельные прибавки урожая сухого вещества кукурузы от каждой из 3-х доз при увеличении дозы удобрения на N40.

Под зерновые культуры вносили N20–40–60. Характер действия этих доз был таким же: значительно больше было действие азота с фосфором

по сравнению с внесением одной аммиачной селитры. На рис. 4 показано влияние только азотно-фосфорного удобрения при применении 3-х возрастающих доз азота.

Аналогично предельные прибавки урожайности пшеницы в севообороте были выше при внесении первой дозы N20, чем при 2-х последующих. Для овса эффективной была только 1-я доза азота. Менее активно использованный азот постепенно мигрировал в нижние слои почвы.

Такая же закономерность проявилась во влиянии разного состава удобрения на урожайность бессменной пшеницы после стерни. Кроме этого, было очевидно, что урожайность пшеницы в повторных посевах после стерни стала заметно меньше по сравнению с ее продуктивностью в севообороте при вспашке, где сбор зерна пшеницы в контроле составил 15.8 ц/га и 23.8 ц/га – овса. Бессменная пшеница после стерни в среднем за 1999–2020 гг. имела урожайность зерна 9.8 ц/га в варианте без удобрений и 11.6–16.4 ц/га – в вариантах их внесения (рис. 5).

В повторных посевах пшеницы среди вариантов применения удобрений существенно улучшалось рост растений и формирование более высоких урожаев совместное внесение азотно-фосфорных удобрений. При применении фосфорного удобрения явно эффективным было увеличение дозы азота от N20 до N40, что не было отмечено при одностороннем азотном удобрении; увеличение дозы до N60 давало эффект лишь во влажные годы, которые за 1999–2020 гг. наблюдались лишь 8 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что на выщелоченном черноземе с низким содержанием подвижного фосфора (40 мг/кг) применение только азотного удобрения действовало на урожай слабо и вело к миграции более высоких количеств неиспользованных растениями нитратов вниз по профилю почвы, чем при совместном применении азота с фосфором.

Продуктивность культур на выщелоченном черноземе, бедном подвижным фосфором, была значительно больше на фоне применения азотно-фосфорного удобрения. В специальных опытах Курганского НИИСХ показано, что под кукурузу и зерновые культуры достаточно вносить P15–20 в рядки при посеве. При применении удобрения до посева рекомендуют дозы P20–30. Оптимальные дозы азота в составе азотно-фосфорного удобрения на Центральном опытном поле Курганского НИИСХ для пропашных культур составили N50–60, для пшеницы после непаровых и небобовых предшественников – N20–30–40,

для овса – N20–25. При повышении доз азота сверх оптимального количества часть нитратного азота мигрировала вниз по профилю почвы, приводя к нерациональным затратам средств химизации. Названные дозы рекомендованы для аналогичных почвенно-климатических условий, какие были в опыте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Онищенко Л.М.* Агрохимические основы воспроизводства плодородия чернозема выщелоченного Западного Предкавказья и повышение продуктивности сельскохозяйственных культур: Дис. ... д-ра с.-х. наук. Краснодар, 2015. 668 с.
2. *Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я.* Азот в агросистеме на черноземных почвах (к 125-летию экспедиции В.В. Докучаева в Каменную степь). М.: ВНИИА, 2018. 180 с.
3. *Надеждина Е.В.* Эколого-агрохимические аспекты регулирования азотного режима черноземных почв лесостепи Среднего Поволжья: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Казань, 2004. 64 с.
4. *Кирюшин В.И.* Агрономическое почвоведение. М.: КолосС, 2010. 687 с.
5. *Кинчус Л., Поцене А., Поцюс С.* Миграция нитратов по почвенному профилю // Мелиорация. 2007. С. 140–146.
6. *Кирюшин В.И., Ткаченко Г.И.* О нисходящей миграции нитратов в черноземах Сибири при сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1986. № 2. С. 34–43.
7. *Минеев В.Г.* Экологические проблемы агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 1988. 286 с.
8. *Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Осипов М.А., Есипелко С.В., Ковалев С.С.* Минеральные удобрения и урожайность сельскохозяйственных культур, выращиваемых на черноземе выщелоченном Прикубанской низменности / Сб. “Итоги выполнения программы фундаментальных исследований государственных академий на 2013–2020 гг.”. Мат-лы Всерос. коорд. совещ. научн. учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями 16–17 апреля 2018 г. М.: ВНИИА, 2018. 440 с. С. 391–400.
9. *Шарков И.Н., Колбин С.А., Самохвалова Л.М.* Проблема азота при использовании чернозема выщелоченного по интенсивной технологии в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2021. № 2. С. 3–10.
10. *Белоусова Е.Н., Белоусов А.А.* Агрочесоведение. Красноярск: Красноярск. ГАУ, 2016. 325 с.
11. Трансформация азота в почве [Электр. ресурс] / agpoint.com...v-pochve...transformaciya-azote-v... / (дата обращения 27.12.20210).
12. *Волынкин В.И., Волынкина О.В., Телегин В.А.* Влияние азотного удобрения в зернопропашном севообороте и при бессменном выращивании пшеницы на урожай сельскохозяйственных культур, качество зерна и плодородие почвы // Агрохимия. 2007. № 8. С. 23–27.
13. Методические рекомендации по оценке обеспеченности почв нитратным азотом и применению азотных удобрений в зоне обслуживания ФГБУ САС “Шадринская”. Шадринск, 2018. 20 с.

Migration of Nitrate Nitrogen by Soil Profile

O. V. Volynkina^{a, #}, A. N. Kopylov^a^aUral Federal Agrarian Scientific Research Centre—Ural Branch of the RAS,
ul. Belinskogo 112a, Ekaterinburg 620142, Russia[#]E-mail: volynkina.o@bk.ru

In the leached low-humus medium loamy chernozem of the central zone of the Kurgan region, losses of nitrate nitrogen through leaching with precipitation down the soil profile were noted. Losses increased with the use of increased doses of nitrogen fertilizers, as well as in variants with unilateral application of nitrogen fertilizers.

Keywords: leached low-humus medium loamy chernozem, migration of nitrate nitrogen along the soil profile, nitrogen balance, crop yield, crop rotation, permanent wheat after stubble.