

## ПРОБЛЕМА АЗОТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПО ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2021 г. И. Н. Шарков<sup>1,\*</sup>, С. А. Колбин<sup>1</sup>, Л. М. Самохвалова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства СФНЦА РАН  
630501, Новосибирская обл., р.п. Краснообск, а/я 463, Россия

\*E-mail: humus3@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.05.2020 г.

После доработки 07.06.2020 г.

Принята к публикации 10.11.2020 г.

Зерновые культуры выращивали в многолетнем (12 лет) полевом опыте, заложенном на черноземе выщелоченном в центральной лесостепи Новосибирского Приобья. Опыт представлял собой двухпольный севооборот пшеница – ячмень с ежегодным применением под культуры возрастающих доз азота (N0, N30, N60, N90) и комплекса средств защиты растений от вредных организмов. Цель исследования заключалась в оценке ситуации с минеральным азотом в системе почва–растение при получении с помощью интенсивной технологии максимальной урожайности зерновых культур. При достаточном применении удобрений и средств защиты растений уровень урожайности определялся в основном текущими гидротермическими условиями территории. Наибольшая, достаточно высокая для Сибири среднегодовая урожайность зерна получена в варианте N90 – 3.27 т/га, причем в самые засушливые годы она снижалась до 0.74, в умеренно увлажненные – повышалась до 3.99 т/га. Наиболее дефицитный среднегодовой баланс азота в почве (–40 кг/га) складывался в вариантах без применения азотного удобрения. Под влиянием азотного удобрения баланс азота становился более благоприятным и в варианте N90 был близким к бездефицитному. Несмотря на это, в конце опыта значительная часть азота в этом варианте – ≈350 кг/га (32% от внесенного в почву за период опыта) – была обнаружена в форме нитратов в слое почвы 0–200 см. Обсуждены агрометеорологические особенности выращивания яровых зерновых культур в сибирском регионе, способствующие миграции нитратов вглубь почвенного профиля. Сделан вывод, что стремление к получению на сибирских черноземах максимальной урожайности культур с помощью интенсивных технологий должно обосновываться не только с позиции экономической эффективности, но и экологической безопасности.

*Ключевые слова:* азотное удобрение, баланс азота в почве, миграция нитратов в почве, зерновые культуры, интенсивная технология.

DOI: 10.31857/S0002188121020101

### ВВЕДЕНИЕ

Основные массивы пашни в Западной Сибири располагаются в лесостепной зоне и представлены потенциально плодородными черноземными почвами. Их доля на большей части пашни западно-сибирского региона – в Алтайском крае, Омской, Кемеровской и Новосибирской обл. составляет ≈70% [1]. Экстенсивное использование черноземных почв на протяжении многих десятилетий в зернопаровых севооборотах при минимальном применении минеральных и органических удобрений явилось причиной значительного снижения их плодородия. В результате так называемой выпашанности почв – резкого уменьшения содержания в них легкоминерализуемого органи-

ческого вещества – произошло существенное снижение их азотминерализующей способности и, как следствие, ухудшение обеспеченности культур азотом.

В настоящее время в регионе продолжают преобладать экстенсивные технологии возделывания культур, ориентированные на дальнейшее использование естественного почвенного плодородия, о чем свидетельствует низкая урожайность (≈1.5 т зерна/га) возделываемых здесь яровых зерновых культур – пшеницы, ячменя и овса [1, 2]. Между тем результаты полевых опытов, проведенных научно-исследовательскими учреждениями в богарных условиях, свидетельствуют о возможности получения в лесостепи Западной Си-

бири урожая зерно 3–4 т/га, если на черноземах применяют интенсивные технологии возделывания культур [3–5]. Данные технологии рассчитаны на получение максимальной урожайности благодаря применению удобрений и других средств управления продукционным процессом растений – пестицидов, ретардантов и различных регуляторов роста растений.

Примерно 3-кратное различие в урожайности между научными опытами и практикой свидетельствует о явном несоответствии получаемых большинством хозяйств урожаев уровню климатических (гидротермических) ресурсов региона. Причины медленного освоения хозяйствами Сибири интенсивных технологий неоднократно обсуждали [6, 7]. Основная из них заключается в разбалансированности (не в пользу земледельцев) системы цен – продажи хозяйствами зерна и покупки ими удобрений и других средств химизации. В результате интенсификация технологий, обеспечивая прирост урожайности культур, не гарантирует хозяйствам получения устойчивой прибыли. Заметим, что в настоящее время экономические условия для применения интенсивных технологий в Сибири значительно хуже, чем в Англии во второй половине прошлого века, в эпоху широкого освоения таких технологий. Например, при текущей цене 1 кг азота в удобрениях примерно 55 руб. и средней цене зерна ≈8 руб./кг, чтобы приобрести 1 кг азота, хозяйству в Сибири требуется продать примерно 7 кг зерна. По свидетельству Дж. Кука [8], в 70-е годы прошлого века английский фермер, чтобы купить 1 кг азота, должен был продать только 3 кг зерна. При этом следует иметь в виду, что в Сибири гидротермические условия, во многом определяющие рост урожайности культур и окупаемость удобрений дополнительным урожаем, значительно более неблагоприятные, чем в Англии.

Тем не менее, со временем, благодаря повышению спроса на зерно (главным образом вследствие восстановления животноводства и увеличения экспорта), освоение хозяйствами региона интенсивных технологий будет ускоряться. Необходимым условием для этого, учитывая отмеченную выше выпханность почв, станет применение повышенных и высоких доз минеральных, прежде всего азотных, удобрений. Но применение таких доз в часто засушливых условиях Сибири чревато значительным недоиспользованием растениями минерального азота и, как следствие, накоплением его в почвенном профиле.

Проблему не удастся решить за счет дробного (в соответствии с погодой) применения азотных удобрений. Дело в том, что выращиваемые в Си-

бири яровые зерновые культуры характеризуются достаточно коротким (<3-х мес.) вегетационным периодом. Формирование и развитие элементов продуктивности у этих культур жестко детерминировано во времени и приурочено в основном к июню–июлю. Показано [9, 10], что использование азотных подкормок в течение вегетации не способствует росту урожайности зерна в сравнении с единовременным применением полной дозы азота. Поэтому, несмотря на отсутствие точного прогноза погоды для этих 2-х месяцев, удобрения приходится вносить в почву в полной дозе в мае, до посева культур.

Образующееся в почве повышенное количество нитратного азота, особенно в годы с характерными для Сибири июньско-июльскими засухами, в дальнейшем, при обильных осадках осенью или снеготаянии весной, может мигрировать вглубь почвенного профиля, становясь относительно малодоступным зерновым культурам. Основанием для такого предположения служат результаты ранее проведенных в Сибири исследований на базе длительных полевых опытов. Было показано [11], что при систематическом создании в черноземах избытка минерального азота (за счет применения повышенных доз азотных удобрений или парования почвы), спустя годы, за пределами 1-метрового слоя почвы обнаруживаются большие количества нитратного азота (до 300 кг N/га и более).

Цель работы – анализ ситуации с минеральным азотом в системе почва–растение–удобрение при использовании чернозема выщелоченного в многолетнем полевом опыте при применении интенсивной технологии, ориентированной на получение максимальной урожайности зерновых культур.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевой опыт в виде севооборота пшеница – ячмень был заложен в 2004 г. (освоен – в 2006 г.) в центральной лесостепи Новосибирского Приобья. Территория характеризуется преобладанием в структуре почвенного покрова черноземов выщелоченных и оподзоленных средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава с содержанием гумуса 5.5–6.5%. Почвы имеют близкую к нейтральной реакцию среды, обычно среднеобеспечены подвижными соединениями фосфора и повышено- или высоко-обменного калия.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднесуглинистый. Исходное состояние слоя 0–25 см характеризовалось следующими показателями:

$C_{\text{орг}} - 3.7\%$ ,  $C_{\text{подв}} - 3860$  мг/кг,  $C_{\text{мортмассы}} - 690$  мг/кг,  $N_{\text{общ}} - 0.30\%$ ,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  (по Чирикову) – 23 и 18 мг/100 г почвы соответственно, обменные Ca и Mg – 28.8 и 4.0 смоль(экв)/кг почвы соответственно,  $pH_{H_2O} 7.2$ .

Климат сибирской лесостепи – резко континентальный, с продолжительной и холодной зимой, коротким и относительно теплым летом. В сравнении с соответствующей широтой Восточно-Европейской равнины укороченность вегетационного периода в Западной Сибири достигает 20–30 сут при меньшей на 200–300°C сумме биологически активных температур [12]. Среднегодовое количество осадков в районе проведения исследования составляет  $\approx 400$  мм, сумма температур воздуха  $>10^\circ\text{C} - \approx 1800^\circ\text{C}$  при продолжительности периода 120 сут. Метеоусловия в годы исследования (2006–2017 гг.) были различными. Наиболее адекватная оценка их влияния на урожайность пшеницы в Западной Сибири, как было показано в [13], может быть сделана по гидротермическому коэффициенту (ГТК) Селянинова [14] за июнь–июль, среднемноголетний показатель которого для района исследования составляет 1.05. За 12 лет проведения опыта величина этого показателя изменялась от 0.18 до 1.67 (среднее – 1.01), в том числе 50% лет были умеренно увлажненными (ГТК  $> 1$ ), 42% – умеренно засушливыми (ГТК 0.5–1.0) и 8% – острозасушливыми (ГТК  $< 0.5$ ).

Полевой опыт представлял собой двупольный севооборот пшеница–ячмень, в котором под каждую культуру ежегодно вносили вразброс под предпосевную культивацию азот в виде  $N_{\text{аа}}$  в дозах 0, 30, 60 и 90 кг N/га. Яровую пшеницу сорта Новосибирская 29 (с 2014 г. – Новосибирская 31) и ячмень сорта Ача во всех вариантах применения удобрений выращивали с применением одного и того же комплекса средств химизации, защищавшего растения от сорняков, болезней, вредителей и полегания. Размеры делянок 4.5 × 13 (м), повторность четырехкратная. Урожайность зерна учитывали сноповым методом с последующей уборкой оставшихся растений комбайном с измельчением и разбрасыванием соломы по полю. Ежегодно в сентябре почву обрабатывали плугом на глубину 25–27 см.

Весной в слое 0–100 см почвы, в варианте N0 определяли запасы продуктивной влаги и нитратного азота. В конце опыта (май 2018 г.) запасы нитратов определяли в слое 0–200 см не только в варианте N0, но и N90. Последний вариант был выбран потому, что в нем была получена максимальная среднегодовая урожайность зерновых. Почвенные образцы на соответствующих делян-

**Таблица 1.** Запасы продуктивной влаги и нитратного азота в почве в вариантах опыта без применения азотного удобрения (2006–2017 гг.)

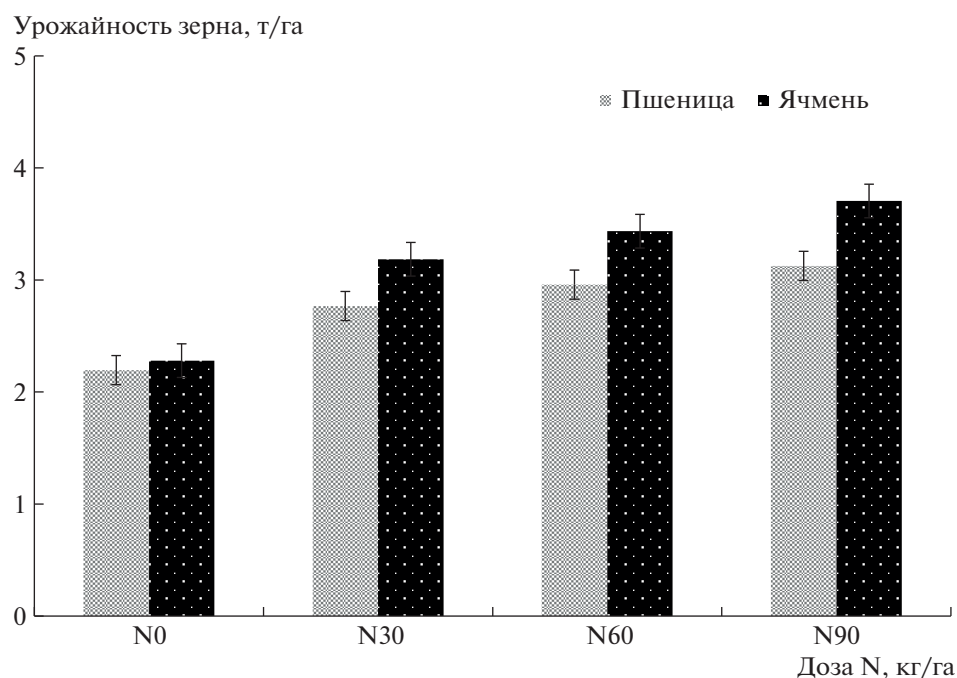
Слой почвы, см	Влага, мм		N-NO <sub>3</sub> , кг/га	
	среднее	lim	среднее	lim
0–40	67	49–88	30	16–46
0–100	153	114–190	52	22–93

ках отбирали с помощью бура в трехкратной повторности. Общую влагу определяли высушиванием проб при 105°C, содержание нитратного азота – усовершенствованным дисульфифеноловым методом [15]. В растительных образцах – зерне и соломе – определяли общее содержание азота по методу Кьельдаля и с учетом их массы рассчитывали отчуждение элемента с поля. Для характеристики исходного состояния почвы в почвенных образцах определяли содержание общего углерода и углерода фракций легкоминерализуемого органического вещества в виде лабильного (подвижного) гумуса, детрита и мортмассы. Методики их определения описаны ранее [16, 17]. Статистическая обработка результатов исследования выполнена с помощью пакета прикладных программ “SNEDECOR” [18].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные, полученные в варианте опыта без применения азотного удобрения, свидетельствовали о том, что урожаи пшеницы и ячменя формировались при достаточно высоком стартовом (весеннем) запасе продуктивной влаги в почве и низком – нитратного азота (табл. 1). Согласно шкале обеспеченности зерновых нитратным азотом [9], высокий эффект от применения азотного удобрения на лесостепных черноземах проявляется при содержании весной в слое 0–40 см почвы  $< 10$  мг N-NO<sub>3</sub>/кг почвы (50 кг N/га). При запасе N-NO<sub>3</sub> в этом слое  $> 75$  кг/га прибавки урожая зерна от азотного удобрения чаще всего отсутствуют. С этой точки зрения в нашем опыте при достаточно малом среднегодовом запасе N-NO<sub>3</sub> (30 кг/га) следовало ожидать высокого эффекта от применения азотного удобрения.

Это ожидание подтвердилось, о чем свидетельствовали результаты прироста урожайности зерна пшеницы и ячменя от применения азотного удобрения (рис. 1). Наибольший прирост среднегодовой урожайности отмечен от дозы N30: по отношению к варианту N0 у пшеницы он составил 26, ячменя – 40%. Под влиянием доз N60 и N90 происходило дальнейшее увеличение уро-



**Рис. 1.** Среднегодовая урожайность яровой пшеницы и ячменя в полевом опыте при возрастающих дозах азотного удобрения ( $HCP_{0.5}$  частных средних = 0.15).

жайности зерна, хотя и в значительно меньшей степени, чем от N30. Наибольшая урожайность пшеницы и ячменя была получена при дозе N90 и оказалась достаточно высокой – в среднем 3.27 т зерна/га. При этом в острозасушливые годы среднегодовая урожайность зерна в варианте N90 составила 0.74 т/га, в умеренно засушливые – 2.92 и в умеренно увлажненные – 3.99 т/га. Под влиянием азотного удобрения ячмень более значительно, на 15–18%, повышал урожай зерна в сравнении с пшеницей. Таким образом, вариант опыта N90, обеспечивший получение максимальной урожайности зерна, представлял в полевом опыте наиболее интенсивную технологию возделывания зерновых культур.

В табл. 2 представлен среднегодовой баланс азота в почве в вариантах опыта. Поскольку в процессе уборки солому обеих культур заделыва-

ли в почву, при расчете сальдо баланса азота учитывали только отчуждение элемента с поля зерном. Результаты показали, что по мере увеличения дозы азотного удобрения баланс азота в почве становился более благоприятным, причем при дозе N90 приход элемента в почву и его отчуждение с поля были примерно равными. Таким образом, максимальная урожайность зерновых в полевом опыте обеспечивалась при близком к нулю расчетном сальдо баланса азота в почве.

Отметим, что в действительности структура расходных и приходных статей баланса азота в почве значительно сложнее, чем это представлено в табл. 2. В частности, в приходной статье следует учесть азот, поступивший в почву вследствие несимбиотической и ассоциативной азотфиксации, а также с семенами, в расходной – количество элемента, потерявшееся из почвы в результа-

**Таблица 2.** Среднегодовое сальдо баланса азота в почве в вариантах опыта, кг N/га

Вариант	Поступило азота в почву с удобрением	Внесено азота урожаем			Сальдо
		зерна	соломы	всего	
N0	0	40	17	57	–40
N30	30	62	27	89	–32
N60	60	75	35	110	–15
N90	90	84	41	125	6

те денитрификации. Однако, за исключением азота семян (примерно 6 кг N/га/год), точно учесть эти составляющие баланса азота в полевом опыте практически невозможно. Можно попытаться оценить их ориентировочно и на этой основе прояснить возможные направления изменения рассчитанных сальдо баланса азота в вариантах опыта.

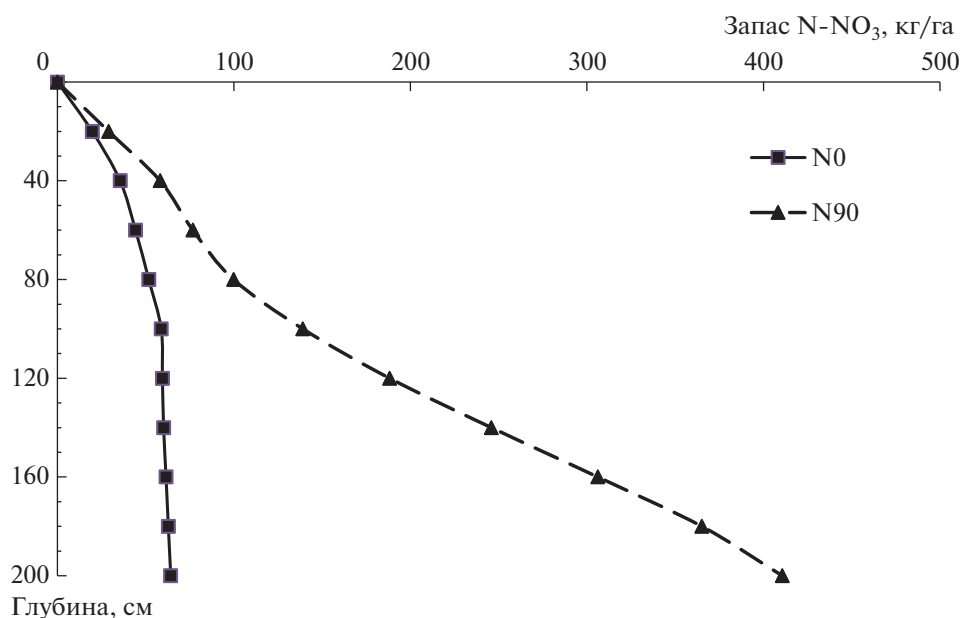
Наиболее реалистичные оценки размеров несимбиотической азотфиксации можно сделать на основании определения баланса азота в почве вариантов длительных полевых опытов без применения азотных удобрений. Например, результаты, полученные в опытах на Ротамстедской опытной станции (Англия), свидетельствовали о ежегодном поступлении в почву вследствие этих процессов 20–30 кг N/га [19]. По данным Шотта [20], в условиях Западной Сибири поступление биологического азота в злаковые агроценозы в среднем составляет 30 кг/га/год. Близкие к этой величине оценки приведены и в недавно опубликованном по данной проблеме обзоре [21]. Что касается ежегодных денитрификационных потерь азота удобрения, то, по данным опытов с  $^{15}\text{N}$ , в западно-сибирских черноземах они составляют  $\approx 20\%$  от дозы [9]. Если принять, что в такой же степени терялся и минеральный азот почвенного происхождения, можно ориентировочно оценить суммарные денитрификационные потери азота почвы и удобрения в вариантах опыта. При допущении отсутствия существенного влияния азотного удобрения на изменение среднегодовой скорости минерализации почвенного азота, можно рассчитать, что в варианте с ежегодным применением N90 (табл. 2) в распоряжении растений в течение периода вегетации было  $\approx 150$  кг N/га/год (90 – азот удобрения, 57 – азот почвы). Следовательно, денитрификационные потери азота почвы и удобрения могли составить в варианте N90  $\approx 30$  кг N/га/год (20% от 150), т.е. примерно соответствовали размеру несимбиотической азотфиксации. Хотя эти расчеты ориентировочные, тем не менее, они свидетельствовали в пользу близкого соответствия рассчитанных в табл. 2 сальдо баланса азота фактическим величинам.

Неожиданными оказались результаты определения в конце опыта содержания N-NO<sub>3</sub> в почвенном профиле. Под влиянием ежегодного 12-летнего применения N90 запас нитратного азота в слое 0–100 см почвы увеличился в 2.3, 0–200 см – в 6.4 раза (рис. 2). В слое 100–200 см кратность увеличения была много больше, поскольку в варианте N0 накопления азота нитратов практически не было, а в варианте N90 оно составило  $\approx 270$  кг/га. В целом под влиянием ежегодного применения

N90 запас N-NO<sub>3</sub> в слое 0–200 см почвы увеличился на 350 кг/га. От всего примененного за период опыта количества азота удобрения (1080 кг/га) это составило 32%, т.е. примерно третью часть. Таким образом, хотя при ежегодном применении N90 баланс азота в поле был близок к бездефицитному, значительная часть элемента в почве ( $\approx 350$  кг N/га) находилась в нитратной форме, причем из них около 270 кг N/га мигрировало в слой 100–200 см.

Проблема накопления в почвенном профиле нитратного азота особенно остра для стран, в которых из-за дефицита сельскохозяйственных угодий стремятся получать максимальную урожайность, применяя интенсивные технологии возделывания культур. Это вполне понятно, поскольку для получения такой урожайности применяют высокие дозы азотных удобрений, и в результате в почвах складывается положительное сальдо баланса азота. К числу таких стран относятся, в частности, Китай и большинство государств Европы, где уже несколько десятилетий приход азота в почву значительно превышает отчуждение элемента с поля продукцией. Например, изучение практики применения азотных удобрений фермерами Китая показало [22], что при средних дозах азота под пшеницу 212 кг/га и получаемой урожайности зерна 4.9 т/га в почвах складывался положительный баланс азота с сальдо 89 кг/га. Значительно более неблагоприятная ситуация создавалась в этом случае на овощных и фруктовых полях, где при дозах азота соответственно 439 и 592 кг/га избыток элемента в почвах составил 356 и 464 кг/га. По данным Евростат [23], в 2015 г. в среднем в странах Евросоюза избыток азота в сельскохозяйственных угодьях (разница между суммарным поступлением в почву и отчуждением с поля) составлял  $\approx 50$  кг/га. Наибольшим (194 кг N/га) он был на Кипре, наименьшим (9 кг/га) – в Румынии.

Хорошо известно [24–26], что избыток азота в почвах сельскохозяйственных угодий порождает многие экологические проблемы, наиболее острыми среди которых являются подкисление почв (вследствие нитрификации NH<sub>3</sub>), загрязнение источников воды и продукции нитратами, эвтрофикация водоемов, увеличение выброса в атмосферу парникового газа N<sub>2</sub>O. Поэтому наиболее разумный подход, который пытаются реализовать страны с высокоинтенсивным земледелием, заключается в постепенном уменьшении поступления азота в почвы агроценозов без снижения или даже при некотором повышении урожайности культур. Последнее достигается благодаря увеличению отдачи от применяемых удобрений



**Рис. 2.** Запасы нитратного азота в слоях различной глубины после 12-летнего использования почвы в вариантах применения N0 и N90.

за счет различных усовершенствований агротехнологий. Такой политики придерживаются, в частности, страны Евросоюза, в которых в сравнении с 2004–2006 гг. среднегодовое сальдо баланса азота в почвах сельскохозяйственных угодий в 2013–2015 гг. уменьшилось с 54 до 49 кг/га [23].

Отличительной особенностью полученных нами результатов явилось то, что накопление нитратного азота в почвенном профиле произошло, как уже отмечено, при функционировании системы почва–растение–удобрение без значительного превышения среднегодового поступления азота в почву над его отчуждением с поля. Основная причина этого накопления заключается в сравнительно слабой способности пахотных почв связывать избыток минерального азота в органические соединения. На это указывал в недавнем обзоре Кудеяров [27]: различия в содержании в почве общего азота между вариантами длительных опытов с применением и без применения минерального азотного удобрения практически отсутствуют. В нашем опыте увеличение концентрации минерального азота в почве от ежегодной дозы N90, особенно из-за недоиспользования азота растениями в засушливые годы, создавало предпосылки для миграции нитратов вглубь почвенного профиля, где они становились относительно малодоступными растениям. Известно [28], что основная масса вторичных корней яровой пшеницы концентрируется в слое 0–60 см, поэтому можно полагать, что таковыми становились нит-

раты, мигрировавшие глубже этого слоя. Вероятно, в сибирских черноземах эта миграция происходит в основном в дождливый осенний период. Об этом свидетельствуют многолетние наблюдения за запасами влаги в профиле черноземов [29]: за счет таяния снега весной дополнительно увлажняется только слой почвы 0–50 см, запасы влаги в слоях 50–100 и 100–150 см остаются равными осенним запасам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В многолетнем полевом опыте на черноземе выщелоченном исследовали возможность рационального использования азотных удобрений при выращивании зерновых культур по интенсивной технологии. Исходили из допущения, что удобрения расходуются рационально, если технология обеспечивает получение максимальной урожайности культур, ограниченной гидротермическими ресурсами территории, и при этом в почвенном профиле не происходит накопления значительных количеств минерального азота. Полагали, что для предотвращения такого накопления достаточно стремиться поддерживать в почве бездефицитный баланс азота, т.е. получать максимальную урожайность культур при минимально необходимых дозах азотного удобрения.

Проверку обоснованности этих в целом разумных допущений осуществили в многолетнем полевом опыте, представляющем собой двуполь-

ный севооборот пшеница—ячмень. Культуры выращивали в течение 12 лет при ежегодном применении возрастающих доз азотного удобрения (N0, N30, N60, N90) и комплекса средств защиты растений от вредных организмов. Самым интенсивным вариантом использования чернозема выщелоченного оказался вариант с ежегодным применением под культуры N90. В этом варианте была получена максимальная среднегодовая урожайность зерна — 3.27 т/га, причем баланс азота в почве в период опыта был близок к бездефицитному. В остальных вариантах урожайность зерна была существенно меньше, а баланс азота в почве тем дефицитнее, чем меньше доза азотного удобрения.

Неожиданными оказались результаты определения в конце опыта запаса нитратного азота в почве, которую 12 лет использовали по интенсивной технологии при ежегодном применении N90. Несмотря на бездефицитный среднегодовой баланс азота в почве, в этом случае в слое 0—200 см дополнительно накопилось  $\approx 350$  кг N-NO<sub>3</sub>/га — примерно третья часть от всего внесенного в почву количества азота удобрения. При этом большая часть нитратного азота ( $\approx 270$  кг N/га) находилась в слое 100—200 см почвы.

Проблема накопления нитратов в почвенном профиле очень актуальна для стран с высокоинтенсивным земледелием, где под культуры вносят высокие дозы азотных удобрений, создавая в почвах положительный баланс азота. Отличительной особенностью нашего исследования явилось то, что значительное обогащение почвенного профиля нитратами произошло при примерно бездефицитном балансе азота в почве, причем за сравнительно непродолжительный период опыта. Можно полагать, что этому способствовали, во-первых, относительно невысокая емкость пахотных почв к закреплению минерального азота в органических соединениях, и, во-вторых, свойственные сибирскому климату июньско-июльские засухи, под влиянием которых внесенный в почву азот слабо использовали растения и в дальнейшем, при наступлении дождливой осени он вымывался вглубь почвенного профиля.

Таким образом, стремление к получению на сибирских черноземах максимальной урожайности зерновых культур с помощью интенсивных агротехнологий должно обосновываться не только с позиции экономической эффективности, но и экологической безопасности. При этом острота экологического аспекта проблемы, по-видимому, может быть существенно снижена благодаря различным усовершенствованиям агротехнологий, позволяющим, с одной стороны, уменьшать дозы

удобрений, с другой, — повышать способность культур усваивать минеральные соединения азота из нижележащих горизонтов почвы (локальные способы внесения азота в почву, включение в севооборот трав и др.).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Межрегиональная схема размещения и специализации сельскохозяйственного производства в субъектах Российской Федерации Сибирского федерального округа: рекомендации. Новосибирск: ФГБУ СО АН, 2016. 255 с.
2. Регионы России. Социально-экономические показатели. Стат. сб. М.: Росстат, 2018. 1162 с.
3. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области. Новосибирск: Сиб. отделение, СибНИИЗХим, 2002. 388 с.
4. Холмов В.Г., Юшкевич Л.В. Интенсификация и ресурсосбережение в земледелии лесостепи Западной Сибири. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. 396 с.
5. Шарков И.Н., Захаров Г.М., Крупская Т.Н. Эффективность применения средств химизации под яровую пшеницу в лесостепи Западной Сибири // Земледелие. 2017. № 6. С. 16—18.
6. Шарков И.Н. Проблемы интенсификации технологий возделывания зерновых культур в Сибири // Инновации и продовольственная безопасность. 2016. № 1 (11). С. 24—32.
7. Шарков И.Н. Проблемы применения удобрений под зерновые культуры в Сибири // Научное наследие академика Д.Н. Прянишникова и современные проблемы агрохимии. Докл. Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 150-летию юбилею акад. Д.Н. Прянишникова (Москва, 10—11 ноября 2015 г.). М.: ВНИИА, 2015. С. 367—373.
8. Кук Д.У. Системы удобрения для получения максимальных урожаев. М.: Колос, 1975. 416 с.
9. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: РАСХН, СО, НовосибирскГАУ, 2013. 790 с.
10. Синягин И.И., Кузнецов Н.Я. Применение удобрений в Сибири. М.: Колос, 1979. 373 с.
11. Кирюшин В.И., Ткаченко Г.И. О нисходящей миграции нитратов в черноземах Сибири при сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1986. № 2. С. 34—44.
12. Гаджиев И.М., Дергачева М.И., Караваяева Н.А., Курачев В.М., Шоба В.Н. Генезис, эволюция и география почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука, СО, 1988. 223 с.
13. Шарков И.Н., Колбин С.А. Влияние погодных условий вегетационного периода на урожайность яровой пшеницы и эффективность азотного удобрения в лесостепи Приобья // Вестн. НГАУ. 2020. № 1 (54). С. 33—41.
14. Сельскохозяйственный энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1989. 636 с.

15. Иодко С.Л., Шарков И.Н. Новая модификация дисульфифенолового метода определения нитратов в почве // *Агрохимия*. 1994. № 4. С. 95–97.
16. Шарков И.Н., Самохвалова Л.М., Мишина П.В. Изменение органического вещества чернозема выщелоченного при минимизации обработки в лесостепи Западной Сибири // *Почвоведение*. 2016. № 7. С. 892–899.
17. Шарков И.Н., Самохвалова Л.М., Мишина П.В., Шепелев А.Г. Влияние пожнивных остатков на состав органического вещества чернозема выщелоченного в лесостепи Западной Сибири // *Почвоведение*. 2014. № 4. С. 473–479.
18. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск: СО РАСХН, 2008. 217 с.
19. Кудеяров В.Н., Кузнецова Т.В. Оценка размеров несимбиотической азотфиксации в почве методом баланса // *Почвоведение*. 1990. № 11. С. 79–89.
20. Шотт П.Р. Фиксация атмосферного азота в однолетних агроценозах. Барнаул: Изд-во Азбука, 2007. 170 с.
21. Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // *Агрохимия*. 2019. № 8. С. 83–96.
22. Zhang W.F., Dou Z.X., He P., Ju X.T., Powlson D., Chadwick D., Norse D., Lu Y.L., Zhang Y., Wu L., Chen X.P., Cassman K.G., Zhang F.S. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China // *Proceed. Nat. Acad. Sci. USA*. 2013. V. 110. № 21. P. 8375–8380.
23. Agri-environmental indicator – gross nitrogen balance // *Eurostat Statistics Explained*. 2018. [Электр. ресурс]. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental\\_indicator\\_-\\_gross\\_nitrogen\\_balance](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_gross_nitrogen_balance)
24. Соколов О.А., Семенов В.М. Теория и практика рационального применения азотных удобрений. М.: Наука, 1992. 207 с.
25. Lubkowski K. Environmental impact of fertilizer use and slow release of mineral nutrients as a response to this challenge // *Polish J. Chem. Technol*. 2016. V. 18. P. 72–79.
26. Qu Z., Wang J., Almøy T., Bakken L.R. Excessive use of nitrogen in Chinese agriculture results in high N<sub>2</sub>O/(N<sub>2</sub>O+N<sub>2</sub>) product ratio of denitrification, primarily due to acidification of the soils // *Global Change Biol*. 2014. V. 20. № 21. P. 1685–1698.
27. Кудеяров В.Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // *Агрохимия*. 2018. № 10. С. 3–11.
28. Кумаков В.А. Биологические основы возделывания яровой пшеницы по интенсивной технологии. М.: Росагропромиздат, 1988. 104 с.
29. Танасиенко А.А., Чумбаев А.С., Якутина О.П., Филимонова Д.А. Весенний дефицит влаги в профиле эродированных черноземов в зависимости от увлажнения территории Юго-Востока Западной Сибири // *Почвоведение*. 2019. № 8. С. 935–945.

## Problem of Nitrogen When Using Leached Cherozem on Intensive Technology in Forest-Steppe of Western Siberia

I. N. Sharkov<sup>a, #</sup>, S. A. Kolbin<sup>a</sup>, and L. M. Samokhvalova<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Siberian Research Institute of Agronomy and Agricultural Chemistry SFSCA RAS  
post-office box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk district 630501, Russia

<sup>#</sup>E-mail: humus3@yandex.ru

Cereals were grown in a long-term (12 years) field experiment, laid on leached chernozem in the central forest-steppe of the Novosibirsk Ob region. The experiment was a two-field wheat–barley crop rotation with annual application of increasing doses of nitrogen (N0, N30, N60, N90) and a complex of plant protection products from pests for crops. The purpose of the study was to assess the situation with mineral nitrogen in the soil – plant system when using intensive technology the maximum yield of grain crops was obtained. With sufficient use of fertilizers and plant protection products, this yield is determined mainly by the current hydrothermal conditions of the territory. The highest average annual grain yield, quite high for Siberia, was obtained in variant N90 – 3.27 t/ha, and in the driest years it decreased to 0.74, in moderately moist years it increased to 3.99 t/ha. The most scarce average annual nitrogen balance in the soil (-40 kg/ha) was formed on plots without the use of nitrogen fertilizer. Under the influence of nitrogen fertilizer, the nitrogen balance became more favorable and in the N90 variant was close to deficient. Despite this, at the end of the experiment, a significant part of the nitrogen in this experiment variant – approximately 350 kg/ha (32% of the amount introduced into the soil during the experiment) – was found in the form of nitrates in the soil layer of 0–200 cm. The agrometeorological features of spring cultivation are discussed cereals in the Siberian region, contributing to the migration of nitrates deep into the soil profile. It is concluded that the desire to obtain maximum crop yields on Siberian chernozems using intensive technologies should be justified not only from the standpoint of economic efficiency, but also environmental safety.

**Key words:** nitrogen fertilizer, nitrogen balance in the soil, migration of nitrates in the soil, crops, intensive technology.