

УДК 631.582/416.1

ВЛИЯНИЕ СЕВООБОРОТОВ НА ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА ПОЧВЫ И ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Сайфуллина Л.Б., Курдюков Ю.Ф., Шубитидзе Г.В., Куликова В.А.

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока», Саратов,
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы природно-ресурсного потенциала минерального азота, особенности его сезонной динамики под посевами озимой пшеницы в севооборотах разной продолжительности и состава в условиях гидротермических режимов засушливого Поволжья. Изучалась динамика содержания нитратного азота и нитрификационной способности почвы в период вегетации. Среднепогодные данные указывают на высокую корреляцию климатических режимов и содержания нитратного азота и нитрификационной способности почвы в первой половине вегетации озимой пшеницы (0,65–0,92), а также отрицательное влияние высоких среднемаксимальных температур на поверхности почвы на реализацию потенциала минерального азота в период весенних засух ((–0,65)–(–0,73)). При относительно низкой среднемесячной температуре апреля 2016 г. (температура воздуха – 10 °С; верхнего 5 см слоя почвы – 13,5 °С) и первых двух декад мая (соответственно 14,7–13,6 °С и 17,6–15,8 °С) и повышенном количестве выпавших осадков в мае месяце (77,2 мм) запасы нитратного азота на период отрастания озимой пшеницы под севооборотами составляли в среднем 5,42 мг/кг почвы и достоверно снижались по мере выноса азота растениями до 1,53 мг/кг почвы. При достаточно высокой для зерновых нитрификационной способности почвы (в среднем по севооборотам от 10,81 до 13,37 мг/кг почвы) в первой половине вегетации отмечались интенсивный рост и развитие растений, что заложило благоприятные условия для формирования урожая (4,0–5,6 т/га). Отмечено положительное влияние многолетних трав на развитие нитрификационной способности почвы, что определило прогрессирующий по сравнению с другими севооборотами рост фитомассы с последующим формированием повышенного урожая озимой пшеницы. Установлено превышение содержания азота в зерне с 9-польного зернотравопарового севооборота.

Ключевые слова: климатические режимы, минеральный азот, нитрификация, севообороты, озимая пшеница

INFLUENCE OF CROP ROTATIONS ON NATURAL AND RESOURCE POTENTIAL OF SOIL MINERAL NITROGEN AND HARVEST DEVELOPMENT OF WINTER WHEAT

Sayfullina L.B., Kurdyukov Yu.F., Shubitidze G.V., Kulikova V.A.

Federal State Government-Funded Scientific Institution «Agricultural Research Institute of South-East Region», Saratov, e-mail: raiser_saratov@mail.ru

The article considers the natural and resource potential of mineral nitrogen, the peculiarities of its seasonal dynamics in the process of winter wheat crops' growing in crop rotations of different duration and composition under conditions of hydrothermal regimes of the arid Volga region. The dynamics of nitrate nitrogen content and soil nitrification ability during the vegetation period was studied. The mean long-term data indicates a high correlation between climatic regimes and nitrate nitrogen content and soil nitrification capacity in the first half of winter wheat crops vegetation (0,65–0,92) as well as a negative effect of high mean maximum temperatures in soil surface on potential realization of mineral nitrogen during spring droughts ((–0,65)–(–0,73)). At relatively low average monthly temperature in April 2016 (the air temperature is 10 °C, the upper 5 cm of the soil layer is 13,5 °C) and the first two decades of May (respectively 14,7–13,6 °C and 17,6–15,8 °C) and increased amount of precipitation in May (77,2 mm) the reserves of nitrate nitrogen under the crop rotations during winter wheat growing made in averaged 5,42 mg/kg in soil and reliably decreased because of nitrogen yield up to 1,53 mg/kg. When the nitrification capacity of soil is sufficiently high (on average crop rotations, from 10,81 to 13,37 mg/kg in soil), intensive growth and development of plants was recorded in the first half of the vegetation period, what laid favorable conditions for harvest development (4,0–5,6 t / Ha). Positive influence of perennial grasses on development of soil nitrification ability was noted and determined progressing growth of phytomass in comparison with other crop rotations and following development of increasing harvest of winter wheat crops. Exceeded content of nitrogen in grain from a 9-field crop rotation was fixed.

Keywords: climatic regimes, mineral nitrogen, nitrifying, crop rotations, winter wheat

В условиях современного земледелия одним из основных факторов формирования качественного урожая стала обеспеченность агрокультур минеральными формами азота. Основными путями решения задачи являются введение парового поля в севооборотах, применение минеральных удобрений, запахивание сидератов, формирование

структуры севооборотов, обработка и другие приемы.

Требования к агротехнологиям нового поколения подразумевают наряду с получением урожая заданного количества и качества эффективное использование природного потенциала питательных элементов при условии воспроизводства почвенного

плодородия. Значительная часть минерального азота (до 70%) в питании растений пополняется за счет естественных резервов почвы. Из минеральных удобрений используется в лучшем случае 75% вносимого азота [1]. Длительный мониторинг плодородия чернозема обыкновенного и южного в Географической сети опытов с системами удобрений свидетельствует о разной степени снижения содержания валового азота почвы в зависимости от вносимых доз минеральных удобрений. Среднегодовое снижение его запасов в слое почвы 0–40 см в зернопаровом севообороте составляет от 15,10 до 30,30 кг/га. Внесение низких и средних доз минерального азота (N_{15} и N_{34}) активизирует потери общего азота по сравнению с контролем. Применение высокой дозы минеральных удобрений стабилизирует запасы азота почвы [2, 3].

Разная доля пара в севооборотах и их состав определяют остаточное количество свежей растительной органики в почве и ее качественные характеристики. С введением многолетних трав в севообороты снижаются среднегодовые потери валового азота почвы с 27,2 до 21,2 кг/га [4].

Эффективность использования природного потенциала минерального азота почв связана с микробиологической активностью и определяется интенсивностью нитрификации, которая зависит от гидротермического режима, физико-химических условий почвенной среды, количества свежих органических остатков, характера использования пашни, а также определяется календарными сроками отбора образцов [5].

Цель данного сообщения:

– отразить динамику содержания нитратного азота и нитрификационной способности в условиях климатических режимов засушливой степи на черноземе южном под посевами озимой пшеницы;

– показать влияние состава севооборотов на нитрификационную активность почвы и особенности формирования фитомассы и урожая озимой пшеницы в течение вегетационного периода;

– выявить зависимость количественной и качественной характеристик урожая зерна озимой пшеницы от динамики нитрификации и накопления минерального азота в почве под разными севооборотами.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнены в экспериментальном хозяйстве ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства

Юго-Востока» в длительном стационарном опыте отдела земледелия по изучению видов полевых севооборотов. Наблюдения за динамикой содержания минерального азота и нитрификационной способностью почвы проводились в севооборотах разной продолжительности с разным набором культур, которые были заложены после двухлетних уравнильных посевов (вика, овес – яровая пшеница мягкая) и развернуты в пространстве и во времени. Зерно-паро-травяной 9-польный (пар черный, озимая пшеница, просо, яровая пшеница мягкая + многолетние травы, многолетние травы 1-го года пользования, многолетние травы 2-го года пользования, яровая пшеница твердая, яровая пшеница мягкая, яровая пшеница мягкая) и 2-польный зерно-паровой (пар черный – озимая пшеница) севообороты были заложены в 1985 г., 7-польный зерно-паровой (пар черный, озимая пшеница, яровая пшеница твердая, просо, яровая пшеница мягкая, яровая пшеница мягкая, яровая пшеница мягкая) – в 1974 г. Повторность вариантов в опыте 3-кратная, площадь делянок 360 м².

Почва опытного участка – чернозем южный малогумусный среднемощный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое к моменту закладки опыта 4,8–5,1%, валового азота 0,223%, фосфора – в пределах 0,12–0,13%, калия – 1,46.

С целью изучения влияния климатических факторов на особенности формирования запасов минеральных форм азота в условиях засушливых черноземных степей использовались многолетние наблюдения за гидротермическими режимами теплого периода года. В связи с изучением процессов нитрификации использовались среднемесячные показатели по количеству выпавших осадков и температуре за период, предшествующий отбору образцов. Использовались как многолетние, так и сезонные данные по динамике климатических режимов за вегетационный период 2016 г.

Пробы почвы отбирались из пяти точек по каждому варианту в слое почвы 0–30 см с последующим выделением среднего образца, образцы фитомассы и зерна отбирались в трехкратной повторности [6].

Нитрификационная способность после семидневного компостирования почвы и содержание нитратного азота определялись ионометрическим методом [7]. Содержание валового азота – по методу Кьельдаля после кислотного озоления [8].

Таблица 1

Корреляция содержания нитратного азота и нитрификационной способности с климатическими факторами на посевах озимой пшеницы

Показатели	Конец мая, выход в трубку				Конец июля, уборка			
	ГТК	Осадки	Т°С на поверхности почвы		ГТК	Осадки	Т°С на поверхности почвы	
			Средне-месячная	Ср. max			Средне-месячная	Ср. max
N-NO ₃	0,73	0,73	0,92	-0,73	0,18	0,18	0,20	-0,18
Нитрификационная способность	0,65	0,65	0,80	-0,65	0,01	0,01	0,01	-0,01

Результаты исследования и их обсуждение

В условиях засушливого климата региона одним из актуальных вопросов является изучение закономерностей формирования потенциальной способности почвы к нитрификации и накопления запасов минерального азота в период вегетации растений. Эти процессы взаимосвязаны и имеют высокую отрицательную корреляцию в паровых полях (~ 0,9).

Благоприятные климатические условия для развития активной нитрификации на территории засушливых степей региона складываются в период прогревания почвы в весенний период при соответствующей влажности. Для чернозема южного малогумусного среднетяжелосуглинистого оптимальными являются температура – 20–26 °С и влажность – 28,8 %, что составляет 60 % от полной полевой влагоемкости.

Согласно среднетрехлетним данным, корреляция климатических режимов и содержания нитратного азота и нитрификационной способности почвы в вегетационный период составляет 0,52–0,56. Однако эта зависимость имеет более сложный характер, что связано с особенностями микробиологической активности почвы и динамикой выноса минерального азота фитомассой и урожаем (табл. 1).

К фазе выхода в трубку озимой пшеницы корреляция ГТК и количества выпадающих осадков с содержанием нитратного азота составляет 0,73, а с нитрификационной способностью – 0,65. Существенное значение имеет интенсивность прогревания почвы в начале вегетации. Корреляция со среднемесячной температурой составляет соответственно 0,92 и 0,80. Однако ранневесенние засухи с высокими значениями среднетемпературной темпера-

туры на поверхности почвы при быстром высыхании почвы ограничивают сроки активной нитрификации. Коэффициент корреляции со средней максимальной температурой на поверхности почвы составляет (-0,65) для нитрификационной способности и (-0,73) – для нитратного азота.

В ходе вегетации озимой пшеницы в связи с выносом азота к фазе созревания зерна значения коэффициентов корреляции гидротермических режимов с запасами нитратного азота и потенциальной способностью к нитрификации снижаются. К моменту уборки урожая корреляция показателей с климатическими факторами практически отсутствует ($K_{\text{корр.}} 0,2 - (-0,18)$) в связи с интенсивным выносом минерального азота с урожаем.

Для вегетационного периода 2016 г. было характерно повышенное для региона количество выпавших осадков в мае месяце (77,2 мм) при относительно низкой среднемесячной температуре апреля (температура воздуха – 10 °С; верхнего 5 см слоя почвы – 13,5 °С) и первых двух декад мая (соответственно 14,7–13,6 °С и 17,6–15,8 °С). Низкая температура воздуха и верхних слоев почвы, несмотря на оптимальную влажность (23–26 %), тормозила формирование запасов нитратного азота. На фоне его выноса озимой пшеницей на момент отрастания (11.04.16) содержание составило 4,26–6,80 мг/кг почвы и достоверно снижалось по мере формирования фитомассы и зерна (табл. 2).

С повышением температуры верхних слоев почвы (5 см) в конце третьей декады мая (30.05.15) до 21,8 °С при средней влажности почвы 20 % получил развитие процесс аммонификации, особенно выраженный в 9-польном зерно-паро-травяном севообороте, где содержание аммонийного азота достигало 16,9 мг/кг почвы.

Помимо того здесь же была повышена способность к нитрификации по сравнению с 7- и 2-польными севооборотами на момент отрастания (11.04.16) озимой пшеницы и в начале формирования зерна (30.05.15): соответственно 16,2; 6,70; 9,54 мг/кг почвы и 16,20; 12,6; 10,6 мг/кг почвы. Коэффициент вариации между вариантами составил 36,823 и 19,633.

Уровень нитрификационной способности тесно коррелирует с формированием количества фитомассы и урожая зерна озимой пшеницы, а также с выносом азота в течение вегетационного периода и его содержанием в зерне. Коэффициент корреляции составляет 0,9–1. В 9-польном севообороте к стадии выхода в трубку урожай абсолютно сухой фитомассы культуры (35,73 ц/га) достоверно превышал 7- и 2-польные севообороты в среднем на 24%, а вынос азота (95,40 кг/га) – на 32%. Благоприятные условия для развития культуры в 9-польном севообороте обеспечили прогрессирующий рост фитомассы и выноса азота к началу форми-

рования зерна. Урожай абсолютно сухого вещества составил 10,74 т/га, что превышало два других севооборота уже на 30%, а вынос азота (143,85 кг/га) – на 41,23%. По содержанию азота в фитомассе не отмечалось значимого различия.

Развитие озимой пшеницы в условиях повышенной способности почвы к мобилизации минерального азота почвы на протяжении вегетационного периода (9-польный зерно-паро-травяной севооборот) в условиях гидротермического режима 2016 г. способствовало формированию урожая (5,51 т/га), достоверно превышающего 7- и 2-польные севообороты в среднем на 22,5%. По содержанию азота/белка зерно озимой пшеницы из 9- и 7-польных севооборотов (2,03/11,57 и 1,92/10,94%) значимо превышало зерно из 2-польного севооборота (1,77/10,09%). Вынос азота с урожаем озимой пшеницы в зерно-паро-травяном севообороте составил 111,84 кг/га, что в среднем на 35% выше по сравнению с 7- и 2-польными севооборотами (табл. 3).

Таблица 2

Динамика содержания минерального азота и нитрификационной способности под посевами озимой пшеницы за вегетационный период 2016 г.

севообороты	Сроки отбора образцов			
	11.04.16	05.05.16	30.05.15	04.07.16
Нитратный азот				
1	2	3	4	5
7-п з/п	6,80	3,5	2,5	1,51
9-п. з-п	5,20	3,4	2,6	1,58
2-п	4,26	3,0	2,9	1,51
среднее	5,42	3,30	2,67	1,53
Критерий Дункана (множественное сравнение частных средних)*	с	в	ав	а
P = 11,88, F = 18,108*, НСР = 5,170				
Аммонийный азот				
1	2	3	4	5
7-п з/п	10,95	5,70	7,69	
9-п. з-п	2,18	3,80	19,6	
2-п	7,91	2,14	7,40	
Нитрификационная способность				
7-п з/п	6,70	11,0	12,6	5,29
9-п. з-п	16,2	9,8	16,9	4,62
2-п	9,54	9,6	10,6	5,69
среднее	10,81	10,13	13,37	5,20
Коэффициент вариации	36,823	6,102	19,663	8,489

Примечание. * – критерий Дункана (множественное сравнение частных средних).

Таблица 3

Вынос азота с вегетативной массой и урожаем

Повторность	Выход в трубку 06.05.17			Начало формирования зерна 30.05.17			Урожай зерна		
	Урожай фитомассы, зерна (ц/га воздушно-сухой)								
	7-п	9-п	2-п	7-п	9-п	2-п	7-п	9-п	2-п
1	2,63	3,35	3,12	6,10	10,52	7,99	4,04	5,63	4,80
2	2,31	3,69	2,51	7,28	10,82	9,62	3,89	5,49	4,41
3	2,51	3,68	3,13	7,32	10,90	6,92	3,98	5,11	4,50
среднее	2,48	3,57	2,92	6,90	10,74	8,17	3,97	5,51	4,57
*	а	в	а	а	с	а	а	в	а
	P = 4,96%, F = 13,650*, НСР = 0,582			P = 5,71%, F = 15,855*, НСР = 1,929			P = 1,11%, F = 55,524*, НСР = 0,183		
K _{корт} с нитрификационной способностью на период отрастания ~ 1									
Содержание азота (%)									
	7-п	9-п	2-п	7-п	9-п	2-п	7-п	9-п	2-п
1	2,21	2,66	2,15	1,17	1,40	1,11	1,93	1,99	1,68
2	2,73	2,68	2,38	1,07	1,42	1,08	2,00	2,08	1,81
3	2,53	2,66	2,43	1,20	1,20	1,13	1,83	2,02	1,82
среднее	2,49	2,67	2,32	1,15	1,34	1,11	1,92в	2,03в	1,77а
	P = 4,96%, F = 4,914			P = 4,58%, F = 5,174			P = 1,98%, F = 12,988*, НСР = 0,141		
Вынос азота (кг/га)									
	7-п	9-п	2-п	7-п	9-п	2-п	7-п	9-п	2-п
1	58,19	88,99	66,97	71,00	147,26	88,71	77,97	112,04	80,66
2	62,93	99,01	59,83	77,91	153,46	103,84	77,80	114,19	79,84
3	63,60	97,87	76,16	87,80	130,83	78,00	72,83	109,28	81,86
среднее	61,85	95,40	67,77	78,90	143,85	90,18	72,20	111,84	80,79
*	а	в	а	а	в	а	а	в	а
	P = 4,16, F = 33,210*, НСР = 12,230			P = 6,11%, F = 29,652*, НСР = 25,018			P = 1,41%, F = 234,710*, НСР = 4,968		

Примечание. * – критерий Дункана (множественное сравнение частных средних).

Выводы

Многолетние наблюдения свидетельствуют о том, что интенсивность нитрификации и содержание нитратного азота в почве в засушливых условиях на черноземе южном в первой половине вегетации озимой пшеницы определяются количеством выпадающих осадков в весенний период и среднемесячной температурой на поверхности почвы. Весенние засухи, сопровождаемые повышением средней максимальной температуры на поверхности почвы, тормозят процесс нитрификации и формирования запасов нитратного азота.

По мере выноса азота с урожаем фитомассы и зерна запасы нитратного азота в почве снижаются. Их уровень не зависит от типа севооборота. В ходе вегетации и формирования урожая вынос минерального

азота из почвы происходит до определенного предела (1,51–1,58 мг/кг почвы).

В первой половине вегетации озимой пшеницы присутствие в севообороте многолетних трав усиливает интенсивность нитрификации. Ее снижение к фазе созревания зерна, как и для нитратного азота, происходит до определенных пределов независимо от севооборота (4,62–5,69 мг/кг почвы). В ходе вегетации значение K_{вар} для вариантов снижается от 36,823 до 8,489.

Благодаря повышенной способности к нитрификации в 9-польном севообороте пищевой режим растений получает преимущество в корневом питании по поступлению минерального азота. Прогрессирующий рост фитомассы и выноса азота в 9-польном севообороте способствовал в условиях гидротермического режима периода вегетации озимой пшеницы в 2016 г.

формированию урожая, на 22,5% превышающего 7- и 2-польные севообороты по валовому сбору и значимо превышающего по содержанию азота/белка зерно с 2-польного севооборота.

Таким образом, введение многолетних трав в севооборот является элементом агротехнологий, обеспечивающим увеличение урожайности зерна озимой пшеницы с повышенным содержанием азота при условии относительной стабилизации почвенного плодородия без применения минеральных удобрений.

Список литературы

1. Мишустин Е.Н., Шильникова В.К. Биологическая фиксация атмосферного азота. – М.: Наука, 1968. – 531 с.
2. Сайфуллина Л.Б., Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Изменение содержания общего углерода и азота в черноземе южном при длительном применении удобрений в Поволжье // Плодородие. – 2016. – № 4. – С. 19–23.
3. Шаповалова Н.Н., Шустикова Е.П. Мониторинг плодородия чернозема обыкновенного, сформированного под воздействием длительного применения минеральных удобрений // Состояние и перспективы агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями: материалы Международ. научн.-метод. конф. – М.: ВНИИА, 2010. – С. 131–134.
4. Сайфуллина Л.Б., Курдюков Ю.Ф., Шубитидзе Г.В., Воронцова О.А. Сезонная динамика содержания нитратного азота в паровых полях севооборотов // Сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 129-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова. – Саратов, 2016. – С. 53–55.
5. Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю. и др. Роль микроорганизмов в экологической функции почвы // Почвоведение. – 2015. – № 9. – С. 1087.
6. Есаулко А.Н., Гречишкина Ю.И., Подколзин А.И. и др. Агрохимические обследования и мониторинг почвен-

ного плодородия // Учебное пособие для студентов и аспирантов. – Ставрополь, 2009. – 252 с.

7. ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023499>.

8. ГОСТ Р (ИСО 5983:1997). Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Метод Кьельдаля. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200028421>.

References

1. Mishustin E.N., Shilnikova V.K., Biologicheskaja fiksiacija atmosfernogo azota. M.: Nauka, 1968. 531 p.
2. Sajfullina L.B., Chub M.P., Pronko V.V., Jaroshenko T.M., Klimova N.F., Zhuravlev D.Ju. Izmenenie sodержaniya obshhego ugljeroda i azota v chernozeme juzhnom pri dlitelnom primenenii udobrenij v Povolzhe // Plodorodie. 2016. no. 4. pp. 19–23.
3. Shapovalova N.N., Shustikova E.P. Monitoring plodorodija chernozema obyknovennogo, sformirovannogo pod vozdejstviem dlitel'nogo primeneniya mineralnyh udobrenij // Sostojanie i perspektivy agrohimičeskikh issledovanij v Geograficheskoj seti opytov s udobrenijami: materialy Mezhdunarod. nauchn.-metod. konf. M.: VNIIA, 2010. pp. 131–134.
4. Sajfullina L.B., Kurdjukov Ju.F., Shubitidze G.V., Voroncova O.A. Sezonnaja dinamika sodержaniya nitratnogo azota v parovyh poljah sevooborotov // Sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii, posvjashhennoj 129-j godovshhine so dnja rozhdenija akademika N.I. Vavilova. Saratov, 2016. pp. 53–55.
5. Dobrovol'skaja T.G., Zvjagin'cev D.G., Chernov I.Ju. i dr. Rol mikroorganizmov v jekologičeskoj funkcii pochvy // Pochvovedenie. 2015. no. 9. pp. 1087.
6. Esaulko A.N., Grechishkina Ju.I., Podkolzin A.I. i dr. Agrohimičeskie obsledovanija i monitoring pochvennogo plodorodija // Učebnoe posobie dlja studentov i aspirantov. Stavropol, 2009. 252 p.
7. GOST 26951-86. Pochvy. Opredelenie nitratov ionometričeskim metodom. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023499>.
8. GOST R (ISO 5983:1997). Opredelenie massovoj doli azota i vychislenie massovoj doli syrogo proteina. Metod Keldalja. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200028421>.