

УДК 631.811:631.582

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ КУЛЬТУР ЗЕРНОСВЕКЛОВИЧНОГО СЕВООБОРОТА НА ЧЕРНОЗЕМЕ ТИПИЧНОМ

© 2019 г. С. И. Тютюнов^{1,*}, В. В. Никитин¹, В. Д. Соловиченко¹, А. П. Карабутов¹

¹ Белгородский федеральный аграрный научный центр РАН
308001 Белгород, ул. Октябрьская, 58, Россия

*E-mail: laboratoria.plodorodya@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.08.2018 г.

После доработки 26.10.2018 г.

Принята к публикации 13.05.2019 г.

На основе результатов, полученных в длительных опытах в 2-х ротациях 5-польных севооборотов, установили диагностические основы оптимизации минерального питания культур зерносвекловичного севооборота на черноземе типичном. Коэффициент корреляции между продуктивностью культур и содержанием подвижных форм макроэлементов в почве свидетельствовал о тесной связи между содержанием нитратного азота и нитрификационной способностью почвы, между содержанием подвижных форм фосфора и калия (в случае их определения районированным для черноземов методом Чирикова). Коэффициент корреляции для содержания нитратного азота увеличивался для всех культур севооборота, кроме сахарной свеклы, для всех образцов до 1-метровой глубины. Для сахарной свеклы он увеличивался для образцов с глубиной > 1 м, однако различия между 1-метровой и 2-метровой колонкой не превышали 9.3%. Поправки на содержание нитратного азота на разной глубине почвы относительно 1-метровой толщи показали значительный доверительный интервал до глубины 80 см, однако использование этой глубины для диагностики азотного питания весьма рискованно, т.к. она будет меняться в зависимости от количества выпадающих осадков. Приведенные шкалы обеспеченности культур усвояемыми макроэлементами имеют региональный статус, отвечают биологическим потребностям растений и позволяют регулировать систему питания культур с учетом плодородия каждого конкретного поля.

Ключевые слова: диагностика питания растений, оптимизация минерального питания культур, зерносвекловичный севооборот, чернозем типичный.

DOI: 10.1134/S0002188119080118

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее актуальной и сложной составной частью системы удобрения в севообороте является выбор доз и соотношений значимых макро- и микроэлементов, регламентирующих оптимальный уровень питания растений в течение всего вегетационного периода. Существует большое число методов расчета доз удобрений под все сельскохозяйственные культуры с учетом прежде всего планового урожая и содержания усвояемых элементов питания в почве.

Однако эти методы, в основе которых лежит разовое определение запасов питательных веществ, как правило, в пахотном горизонте, несут в себе определенный, иногда довольно существенный, элемент риска [1]. Почва представляет собой сложную живую гетерогенную систему, состояние которой жестко детерминировано скла-

дывающимися погодными условиями. Температурный и водно-воздушный режимы оказывают существенное влияние на направленность и интенсивность химических реакций, происходящих в почвенном растворе и почвенно-поглощающем комплексе (ППК), прямым путем и опосредованно – через почвенную биоту. В силу этого для объективной оценки режима обеспеченности растений питанием необходим оперативно-диагностический контроль путем взятия растительных образцов в критические фазы роста и развития культур и их анализа на содержание основных элементов питания.

Рассматривая проблему определения уровня обеспеченности растений элементами питания за счет почвенных запасов и необходимости применения минеральных удобрений, можно отметить 2 направления. В основу первого направления

положены результаты полевых агрохимических опытов, полученных по схеме с 5-ю, 8-ю или более вариантами, на типичных для данного региона почвах. Второе направление предусматривает химические и физиолого-биологические методы анализа почв и растений, которое можно подразделить на 2 основных метода – почвенной диагностики и растительной диагностики. Совокупность этих методов представляет собой комплексный подход к диагностике питания растений, который позволяет контролировать и создавать оптимальные условия питания, проверять действие удобрений при основном внесении, определять время, состав в дозы подкормок, обнаруживать абсолютный и относительный недостаток питательных веществ до того, как на листьях растений проявятся симптомы голодания, разрабатывать гибкую систему удобрения сельскохозяйственных культур для получения запрограммированных в количественном и качественном отношении урожаев.

Обзор литературы по данной проблеме показал, что методические подходы и алгоритм расчетов практически во всех почвенно-климатических зонах Российской Федерации одинаковы, а вот опорные критерии (коэффициенты использования питательных веществ почвы и удобрений, нормативы выноса питательных веществ на единицу продукции, нормативы питательных веществ на прибавку урожая, глубины отбора образцов почвы и сроки, методики определения содержания подвижных форм элементов в почвах) различаются довольно существенно [2–10]. Отсюда и шкалы обеспеченности культур основными макроэлементами носят сугубо региональный характер, что является императивом решения этой важной проблемы для каждого конкретного региона.

При разработке методики почвенной диагностики обеспеченности растений основными элементами питания прежде всего определяют среднесезонный максимальный уровень урожайности культур, исходя из сложившихся в зоне почвенно-климатических условий. Следует отметить, что приход солнечной инсоляции позволяет получать очень высокие урожаи. Например, при использовании 2.5% фотосинтетически активной радиации, приходящей в юго-западной части ЦЧЗ за вегетацию, возможные урожаи составляют: озимой пшеницы – 65, ячменя – 60, зеленой массы кукурузы – 600 и сахарной свеклы – 800 ц/га [11]. Высокие урожаи сельскохозяйственных культур также лимитирует уровень влагообеспеченности их посевов.

Цель работы – выбор наиболее подходящих методов анализа содержания элементов питания

в почве, адекватно отражающих сложившиеся реалии, и изучение математических зависимостей между продуктивностью культур зерносвекловичного севооборота и наиболее распространенными для черноземов показателями их плодородия.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проработки поставленных вопросов были взяты образцы почвы в различно удобренных вариантах полевого опыта за 2 ротации 5-польного севооборота со следующим чередованием культур: горох–озимая пшеница–сахарная свекла–кукуруза на силос–ячмень. Дозы минеральных удобрений (НРК) менялись в пределах до 120 кг д.в./га.

Для выбора наиболее подходящих методов анализа элементов питания в почве, адекватно отражающих сложившиеся реалии, были изучены математические зависимости между продуктивностью культур и наиболее распространенными для черноземов показателями их плодородия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего следует отметить невысокий коэффициент корреляции между урожайностью и содержанием гидролизуемого азота в почве. Определение минерального азота в пахотном слое почвы показало более тесную зависимость с урожайностью. Наиболее высокие коэффициенты корреляции отмечены между показателями нитрифицирующей способности почвы и содержанием нитратного азота, определяемого методом Грандваль–Ляжу в слое 0–100 см почвы (табл. 1). Однако определение нитрифицирующей способности почвы – метод длительный и дорогостоящий и поэтому для диагностических целей мало подходит. Представляет интерес метод определения нитратного азота, который при существующей лабораторной базе может быть сравнительно легко и малозатратно выполнимым, т.е. может быть поставлен на поток.

При изучении фосфатного режима почвы были задействованы 2 методики – определение фосфора по Чирикову и по Карпинскому–Замятинной в слабой солевой вытяжке. Статистические критерии степени связи содержания фосфора, извлекаемого из почвы этими методами, практически одинаковы, однако метод Чирикова более технологичен.

При выборе методов определения доступного калия в почве были изучены метод Масловой (обменный), метод Чирикова (подвижный), степень подвижности калия в 0.005 н. CaCl₂. Если усреднить коэффициенты корреляции для культур, то

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между урожайностью и содержанием элементов питания в черноземе типичном

N-NO ₃	N _{мин}	N _{гидр}	Нитрифицирующая способность	P ₂ O ₅ по Чирикову	P ₂ O ₅ по Карпинскому –Замятиной	K ₂ O по Масловой	K ₂ O по Чирикову	K ₂ O в 0.005 н. CaCl ₂
Сахарная свекла								
0.91	0.61	0.41	0.98	0.87	0.89	0.93	0.89	0.86
Ячмень								
0.96	0.47	0.38	0.86	0.91	0.96	0.96	0.96	0.88
Кукуруза								
0.89	0.48	0.34	0.97	0.93	0.97	0.92	0.97	0.97
Озимая пшеница								
0.95	0.42	0.25	0.96	0.91	0.88	0.86	0.87	0.80

Таблица 2. Корреляция между урожайностью и содержанием нитратов в почвенном профиле

Глубина, см	Сахарная свекла	Ячмень	Кукуруза	Горох	Озимая пшеница
0–20	0.64	0.36	0.69	–0.37	0.28
20–40	0.67	0.75	0.75	–0.22	0.58
40–60	0.69	0.82	0.90	0.22	0.67
60–80	0.73	0.88	0.91	0.62	0.73
80–100	0.75	0.90	0.91	0.63	0.75
100–120	0.76	0.91	0.92	0.65	0.77
120–140	0.79	0.91	0.93	0.65	0.78
140–160	0.81	0.91	0.93	0.65	0.78
160–180	0.81	0.91	0.93	0.65	0.78
180–200	0.82	0.91	0.93	0.65	0.78

они имели между собой несущественную разницу и учитывая, что метод Чирикова (ГОСТ 26204–91) совмещен с анализом почвы на содержание фосфора, следует отдать предпочтение последнему.

Предметом длительных дискуссий в научной среде являются сроки и методы отбора почвы для составления прогноза в потребности в дополнительном азотном питании. Спектр рекомендаций достаточно разнообразен – от поздне-осенних до весенне-летних и от 20 см до 1.5 м глубины.

Были усреднены результаты десятилетних анализов образцов каждой культуры и в целом в севообороте. Содержание нитратного азота в почве под всеми культурами увеличивалось с глубиной, при этом оно было меньше в вариантах без внесения минеральных удобрений, графики этой зависимости были расположены параллельно оси X, начиная с глубины 80–100 см; в удобренных вариантах стабилизация содержания азота происходила с глубины 100–120 см (у зерновых раньше, у пропашных позже).

Характер расположения графиков свидетельствовал о том, что существенная убыль нитратов происходила максимум до глубины 120–140 см, ниже этих отметок оставался запас, не востребованный культурой. Однако коэффициенты корреляции между содержанием нитратного азота и глубиной профиля почвы (0–100 см и нижележащие горизонты) несущественно различались между собою, и поэтому для диагностики почвы на содержание минерального азота можно ограничиться 1-метровой глубиной почвенного профиля (табл. 2).

Результаты, приведенные в табл. 2, свидетельствовали о довольно большой степени связи между урожайностью и содержанием нитратного азота на небольшой глубине. Поэтому возникает вопрос о возможности использования в диагностических целях образцов, отобранных с небольшой глубины, применяя коэффициенты пересчета на запас азота в слое 0–100 см.

При статистической обработке большой выборки, в которой представлены результаты по годам опыта, были вычислены поправочные коэф-

Таблица 3. Статистические критерии репрезентативности различных глубин отбора почвы для диагностики азотного режима

Глубина, см	N-NO ₃ , кг/га	Коэффициент пересчета "K" на 100 см	S _x	Доверительный интервал "K"		F _{факт}
				P = 0.95	P = 0.99	
0–20	25	4.04	0.190	3.6–4.5	3.4–5.1	19.8
0–40	52	2.11	0.083	1.9–2.3	1.8–2.5	6.7
0–60	73	1.51	0.033	1.4–1.6	1.3–2.7	3.4
0–80	92	1.19	0.018	1.1–1.2	1.0–1.4	1.5
0–100	110	1.00	0.000	–		1.0

Таблица 4. Содержание нитратного азота в черноземе типичном под озимой пшеницей (среднее за 3 года)

Сроки отбора	Слой почвы, см	Варианты				
		контроль	навоз	2NPK	навоз + 2NPK	Среднее
		N-NO ₃ , кг/га				
Осень	0–30	34	42	105	119	73
	30–60	54	63	140	142	100
	60–90	67	76	158	162	116
Весна	0–30	30	25	47	72	44
	30–60	58	45	112	121	84
	60–90	77	60	158	166	115

фициенты на содержание нитратного и общего азота (ГОСТ 26107-84) в исследованных слоях. Они, естественно, убывают с глубиной, уменьшается и ошибка средней величины. Однако доверительный интервал с общепринятым в биологии уровнем вероятности этих величин достаточно широк даже для глубины 0–80 см (табл. 3).

Например, поправочный коэффициент для слоя 0–20 см на 5%-ном уровне значимости меняется в пределах 3.5–4.5, 0–40 см – 1.9–2.3, 0–60 см – 1.4–1.6, 0–80 см – 1.1–1.2; при 1%-ном уровне значимости разброс минимальных и максимальных показателей был еще больше. Этому свидетельствует сравнения отношения дисперсий для слоев: фактический критерий Фишера больше теоретического на уровне вероятности 0.95 за исключением глубины 0–80 см. Однако в пользу метрового профиля говорят следующие факты. Наблюдения, проведенные в 50-ти полях, свидетельствовали, что запас нитратного азота, локализованного в 1-метровой толще, на 95–97% покрывает вынос этого элемента урожаем. Кроме того, для глубины 0–80 см доверительный интервал поправочных коэффициентов на уровне вероятности 0.99 (именно этот уровень следует брать за основу, учитывая изменчивость исследуемого объекта и его значение) составляет 1.1–1.4.

Сроки отбора почвенных образцов, принимая во внимание лабильность минерального азота, играют очень большую роль. Видимо, чем меньше разрыв во времени между наблюдением и критическим периодом, тем точнее будет прогноз. Однако рано весной отбирать образцы сложно по техническим соображениям из-за высокой влажности поверхностного слоя почвы и острого лимита времени на проведение анализов и расчетов. Поэтому предпочтительнее было бы проводить почвенную диагностику поздно осенью при наступлении отрицательных температур.

Для решения этого вопроса был заложен краткосрочный полевой опыт, в котором на протяжении 3-х лет исследовали азотный режим чернозема типичного под посевом озимой пшеницей. Локализация почвенного азота по слоям поздно осенью и перед уходом растений в зиму складывалась различно и отражала миграционные процессы нитратов под влиянием почвенной воды, однако на глубине 0–90 см количество нитратов в обоих наблюдениях было практически одинаковым (табл. 4).

Из большого числа методов по расчету доз минеральных удобрений на плановый урожай представляется наиболее перспективным проводить научный поиск в следующем направлении: опре-

Таблица 5. Шкала содержания подвижных элементов питания в черноземе типичном

Обеспеченность	Сахарная свекла	Кукуруза	Озимая пшеница
N-NO ₃ , кг/га			
Очень низкая	<50	<25	<25
Низкая	50–100	25–50	25–50
Средняя	100–150	50–100	50–100
Повышенная	150–200	100–150	100–150
Высокая	200–250	150–200	150–200
Очень высокая	>250	>200	>200
P ₂ O ₅ , мг/кг			
Очень низкая	<25	–	<25
Низкая	25–50	<25	25–50
Средняя	50–75	25–50	50–75
Повышенная	75–100	50–75	75–100
Высокая	100–125	75–100	100–125
Очень высокая	>125	>100	>125
K ₂ O, мг/кг			
Очень низкая	<20	<20	<20
Низкая	20–40	20–40	20–40
Средняя	40–80	40–80	40–80
Повышенная	80–120	80–120	80–120
Высокая	120–160	120–140	120–140
Очень высокая	>160	>140	>140

делить способность почвы формировать урожай за счет естественных запасов питательных веществ и опытным путем установить нормативы затрат питательных веществ удобрений на единицу прибавочной продукции.

На базе информационного массива, полученного после 2-х ротаций зерносвекловичного севооборота, были рассчитаны шкалы содержания чернозема типичного подвижными элементами питания (табл. 5). Отказ от щелочногидролизуемого азота как показателя обеспеченности азотным питанием объясняется тем, что эта форма азота непосредственно не усваивается и может быть переведена в минеральный азот лишь под действием в основном почвенной биоты. Интенсивность этого процесса и, возможно, даже его направленность будут детерминированы гидротермическими параметрами вегетационного периода, которые в настоящее время, к сожалению, не прогнозируются с необходимым уровнем вероятности.

Для прогноза содержания подвижного фосфора в почве оставили метод Чирикова, аттестованный для черноземных почв, однако был уменьшен шаг градации. Считаем, что существующий в настоящее время интервал в 50 мг P₂O₅/кг почвы

очень велик. В самом деле, содержащие, например, 50 и 100 мг P₂O₅/кг – это почвы, совершенно различные по содержанию этого элемента, а они квалифицируются как среднеобеспеченные.

Кроме того, опытные данные показали, что оптимальный уровень обеспеченности этим элементом должен быть снижен против существующего. Следует полагать, что это связано с окультуренностью черноземов. В зоне в течение последних 15–20 лет отмечен положительный хозяйственный баланс фосфора, и фосфор, экстрагируемый полунормальной уксусной кислотой, в большой степени представлен остаточными фосфатами удобрений. Доступность последних корневой системе культурных растений значительно больше, чем природного. Метод Чирикова разрабатывали более 50 лет назад, и его шкала отражает поведение фосфора, образовавшегося в результате выветривания материнской породы и минерализации почвенной флоры и фауны, а не антропогенного.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее приемлемым показателем обеспеченности растений усвояемым азотом в черноземах типичных является содержание нитратного

азота. Для подвижных фосфора и калия следует использовать районированный для ЦУЧЗ метод определения этих элементов в одной вытяжке по Чирикову.

2. Отбор почвы на содержание нитратного азота следует производить до глубины 1 м, для фосфора и калия — в слое 0–30 см.

3. Для практического использования результатов почвенной диагностики необходимо использовать для содержания азота оригинальную шкалу БЕЛНИИСХ с ориентацией на нитратный азот, для фосфора и калия оставлен метод Чирикова с корректировкой общепринятой шкалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочная книга по химизации сельского хозяйства / Под ред. Борисова В.М. 2 изд-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1980. 560 с.
2. Тютюнов С.И. Диагностические основы прогнозирования урожая культур зерносвекловичного севооборота на черноземах ЦЧР. Белгород: Изд-во "Отчий край", 2016. 235 с.
3. Никитин В.В., Тютюнов С.И., Соловichenко В.Д. Основы почвенно-растительной диагностики сельскохозяйственных культур. Белгород: Изд-во "Отчий край", 2017. 48 с.
4. Никитин В.В. Практическое руководство по почвенно-растительной диагностике. Культуры зерносвекловичного севооборота на черноземах южной провинции ЦЧР. М., 2017. 84 с.
5. Никитин В.В. Оптимизация минерального питания культур зерносвекловичного севооборота на черноземах типичных Юго-запада ЦЧЗ: Дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1998. 376 с.
6. Ельников И.И. Экологическое направление в развитии исследований по почвенно-растительной диагностике // Почвоведение: аспекты, проблемы, решения. М., 2003. С. 536–552.
7. Дженис Ю.А. Оптимизация минерального питания овса на черноземе выщелоченном в условиях Южного Урала: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Омск, 2009. 16 с.
8. Погорелова Н.С. Диагностика питания сорго на черноземе обыкновенном: Дис. ... канд. биол. наук. Ростов н/Д, 2006. 124 с.
9. Журбицкий З.И. Коэффициенты использования растениями питательных элементов из удобрений // Методические указания по диагностике минерального питания кормовых, овощных и полевых культур. М., 1972. С. 30–33.
10. Журбицкий З.И., Лавриченко В.М. Определение потребности растений в питании методом растительной диагностики // Агрохимия. 1977. № 9. С. 127–133.
11. Кадыров С.В., Федотова В.А. Технология программированных урожаев в ЦУЧР: Справочник. Воронеж, 2005. 544 с.

Diagnostic Bases of Optimization of Mineral Nutrition of Crops of Grain-Vitreous Crop Rotation on Typical Chernozem

S. I. Tyutyunov^{a,#}, V. V. Nikitin^a, V. D. Solovichenko^a, and A. P. Karabutov^{a,##}

^a Belgorod Federal Agrarian Scientific Center of RAS
ul. Otyabrya 58, Belgorod 308001, Russia

[#]E-mail: laboratoria.plodorodya@yandex.ru

^{##}E-mail: karabut.ap@mail.ru

Based on the results obtained in long-term experiments in 2 rotations of 5-full crop rotations, the diagnostic basis for optimizing the mineral nutrition of crops of grain-glass crop rotation on typical Chernozem was established. The correlation coefficient between the productivity of crops and the content of mobile forms of macronutrients in the soil testified to the close relationship between the content of nitrate nitrogen and the nitrification capacity of the soil, between the content of mobile forms of phosphorus and potassium (in the case of their determination zoned for chernozems by Chirikov method). Correlation coefficient of correlation for nitrate nitrogen content was increased for all crops except sugar beet to 1-meter depth. For sugar beet, it increased with a depth of >1 m, but the differences between the 1-meter and 2-meter column did not exceed 9.3%. Corrections for nitrate nitrogen at different soil depths relative to 1 meter showed a significant confidence interval to a depth of 80 cm, but the use of this depth for the diagnosis of nitrogen nutrition is very risky, because it will vary depending on the amount of precipitation. These scales of crop availability of digestible macronutrients have a regional status, meet the biological needs of plants and allow you to adjust the system of nutrition of crops, taking into account the fertility of each specific field.

Key words: diagnostics of plant nutrition, optimization of mineral nutrition of crops, grain-glass crop rotation, typical Chernozem.