

массы и формирование высокого урожая при лучшей водообеспеченности (2015, 2017 г.) привели к снижению содержания белка в зерне до 12,08 – 12,87 % при дозах азота N_{90} - N_{120} . Содержание клейковины, определяющей мукомольные свойства зерна, связано с уровнем белковости зерновой продукции. Содержание сырой клейковины в зерне достигало максимальных значений при дозе минеральных удобрений $N_{120}P_{60}K_{60}$: 27,5 % в условиях достаточного увлажнения и 31,1 % в засушливый период.

Заключение. Повышение доз внесения азотных удобрений под яровую пшеницу оправдывается получением высокого урожая только в благоприятный по агрометеорологическим условиям вегетационный период. Прибавки сбора зерна от действия азотных удобрений на участке с высоким содержанием азота (2017 г.) не превышали значений в фоновом варианте. При изучении действия фосфорных удобрений на урожайность пшеницы установлено, что наибольшую прибавку дает доза P_{90} на фоне азота и калия. Калийные удобрения, внесенные на фоне азотных и фосфорных, незначительно повышали урожайность яровой пшеницы. Однако их применение необходимо, так как они ускоряют созревание посевов и повышают устойчивость растений к абиотическим стрессам. В целом по сумме показателей наиболее эффективно внесение минеральных удобрений (NPK) в дозах по 60 кг/га. Применение минеральных удобрений положительно повлияло на качество зерна пшеницы.

Накопление белка стабильно увеличивалось с возрастанием доз азотных удобрений. Большее его содержание отмечено в год с недостаточным увлажнением. Фосфорные удобрения в большей степени, чем азотные и калийные, способствовали увеличению массы зерна, но не увеличивали массу 1000 зерен. Однако в сравнении с контролем все варианты опыта обеспечили рост массы 1000 зерен, что свидетельствует о высокой степени отзывчивости яровой пшеницы на внесение даже минимальных доз азота.

Результаты проведенных исследований могут использоваться для формирования региональной базы данных с целью уточнения рекомендаций, выдаваемых ЭВМ при расчете оптимальных доз минеральных удобрений под ведущую продовольственную культуру Уральского региона – яровую пшеницу по алгоритмам автоматизированной программы.

Литература

1. Кошкин Е.И. Физиологические устойчивости сельскохозяйственных культур. - М.: Дрофа, 2010. - 638 с.
2. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия. Под ред. А.Л. Иванова, Л.М. Державина. - М.: Минсельхоз РФ, РАСХН, 2008. - 392 с.
3. Кидин В.В. Система удобрения. - М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. - 534 с.
4. Минеев В.Г. Избранное: Сб. научных статей. Агрохимия и качество пшеницы. Экологические проблемы и функции агрохимии. - М.: Изд-во МГУ, 2005. - 604 с.

EFFICIENCY OF APPLICATION OF FERTILIZERS UNDER SPRING WHEAT UNDER THE CONDITIONS OF THE URAL REGION

Ye.A. Semenova, R.A. Afansev

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127550 Moscow, Russia

The results of the field experiment (2015-2017) on fertilizing spring wheat cultivated in the conditions of the Ural region are considered. The experience was performed on the cultivated gray forest soil according to the 14-variant scheme of the use of mineral fertilizers (NPK), doses are from 30 to 120 kg of active substance per ha for each of elements. In this experiment we used Simbircit variety of spring wheat, fore crop – bare fallow. As a result of research, the influence exerted by nitrogen, phosphate and potash fertilizers on the yield and quality of grain, depending on the specific soil and climatic conditions, has been established. In particular, it is shown that with increasing nitrogen dose from N_{30} to N_{120} with a background $P_{60}K_{60}$ grain yield increased both in drought conditions in 2016 and in the most favorable precipitation and temperature in 2015. More complex dependencies were established on the effectiveness of phosphate and potash fertilizers.

Key words: soil, climate, fertilizers, yield, quality, spring wheat.

УДК 631.816.22:874.3

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И БАЛАНС МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ

В.М. Назарюк, д.б.н., Ф.Р. Калимуллина, к.б.н., Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090, Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 8/2, E-mail: flura.kalimullina@jandex.ru

Показано, что в результате внесения растительных остатков урожайность зерновых культур за 2015–2017 гг. возросла на 9,1 ц/га. От применения минеральных удобрений в дозах $N_{30-90}P_{20-60}K_{30-90}$ семенная продукция злаков повышалась от 1,8 до 2,5 раз. Использование только растительных остатков или их сочетания с минеральными удобрениями вызывало неустойчивый характер формирования продуктивности растений, приводящий иногда к снижению урожайности. Баланс азота в почве при внесении удобрений складывался отрицательный, фосфора – таким же или положительным, а калия – отрицательным. При заделке в почву растительных остатков и внесении повышенных доз удобрений баланс становился положительным.

Ключевые слова: почва, продуктивность злаков, удобрение, растительные остатки, баланс, элементы питания.

Стабильно высокой продуктивности растений невозможно добиться без оптимизации минерального питания за счет удобрений и утилизации побочной продукции. Запахивание растительных остатков (РО) позволяет существенно влиять на плодородие почв [1] и воздействовать на продукционный процесс растений [2]. Сложность прогнозирования распада растительных остатков с широким отношением C : N в почве вызвана крайне неустойчивым состоянием процессов минерализации ↔ иммобилизации азота в агроценозах, интенсивность которых зависит от многих факторов и их трудно учесть в почвенных процессах [3]. Непосредственно с органическим веществом связан фосфатный режим почвы, растительные остатки при этом играют важную роль в питании растений и формировании урожайности зерновых культур [4]. Применение минеральных удобрений в таких условиях может воздействовать на микробоценоз почвы, регулировать пищевой режим и продуктивность растений. Особенно не хватает информации о поведении агроценоза в конкретном регионе в связи с меняющимися почвенно-климатическими условиями, регулированием баланса макроэлементов в почве при длительном применении минеральных удобрений и запахиванием растительных остатков. Поэтому исследования в этом направлении особенно актуальны.

Цель наших исследований – выяснить пределы изменения продуктивности растений при применении минеральных удобрений и растительных остатков и оценить возможность регулирования баланса азота, фосфора и калия в почве.

Методика. Изучение возможности повышения продуктивности растений и регулирования баланса азота, фосфора и калия в агроценозах осуществляли за счет минеральных удобрений и заделки в почву растительных остатков. При этом использовали севооборот с чередованием культур: 1 – овес яровой (сорт Ровесник); 2 – пшеница яровая (Новосибирская 22); 3 – ячмень яровой (Ача) в микрополевых опытах, в четырехкратной повторности. Учетная площадь делянки 1 м². Почва опытного участка – серая лесная среднесуглинистая, слабо обогащена гумусом, имела среднее содержание подвижного фосфора и низкое – обменного калия, pH 7,2. Почву каждой делянки оборачивали полиэтиленовой пленкой на глубину пахотного слоя. Опыты проводили в четырехкратной повторности. Почвенные образцы отбирали весной и осенью, растительные – при уборке урожая. Содержание гумуса в почве определяли по методу Тюрина, общий азот – колориметрическим методом по Неслеру, подвижный фосфор – по Чирикову, обменный калий – по Масловой, pH – потенциометрическим методом. В растениях также определяли: азот после мокрого озоления по Кьельдалю; фосфор – колориметрическим методом на КФК-3, калий – методом атомно-адсорбционной спектрофотометрии.

Результаты и их обсуждение. Для оценки состояния пищевого режима серой лесной почвы привлекали материалы почвенной и растительной диагностики. Исследования показали, что исходное содержание минерального азота было минимальным в контрольном варианте, а также при запахивании растительных остатков и внесении минеральных удобрений в дозе N₃₀P₂₀K₃₀. Сочетание минимальной дозы азота, фосфора, калия и растительных остатков практически не

влияло на количество минерального азота в почве. Доля этого элемента в аммонийной и нитратной форме в вариантах: контроль, РО, N₃₀P₂₀K₃₀ и N₃₀P₂₀K₃₀ + растительные остатки (РО) мало изменялась при отборе почвенных образцов перед посевом. Заметное повышение содержания нитратного азота в пахотном слое происходило при увеличении дозы минеральных удобрений до N₆₀P₄₀K₆₀ и N₉₀P₆₀K₉₀ или при внесении этих доз азота, фосфора и калия в сочетании с растительными остатками. При отборе почвенных образцов после уборки урожая больших различий в содержании минерального азота в пахотном слое между весенним и осенним периодами не наблюдалось. Это связано, вероятно с тем, что при созревании зерна потребность растений в азоте была значительно меньше, чем в период активного роста. Однако, процессы минерализации азотсодержащих органических соединений протекают более интенсивно, вследствие чего наблюдается заметное повышение содержания нитратного азота в почве после уборки. Отсутствие значительного накопления азота в аммонийной форме в осенний период свидетельствует об относительно теплых почвенных условиях, при которых процессы нитрификации происходят без значительного ингибирования [5, 6].

Исходное содержание подвижного фосфора в почве в большей степени зависело от условий минерального питания. В контрольном варианте была самая низкая обеспеченность растений фосфором. Запахивание растительных остатков и внесение минеральных удобрений даже в минимальной дозе способствовали увеличению исходного содержания подвижного фосфора в почве. Самое значительное повышение доступных растениям фосфатов наблюдалось при внесении повышенных доз минеральных удобрений и заделке в почву растительных остатков.

Различное питание зерновых культур, связанное с использованием минеральных удобрений и растительных остатков, сказалось на исходном содержании обменного калия в почве в меньшей степени, чем подвижного фосфора. Хотя довольно четко проявлялось увеличение содержания обменного калия в пахотном слое при усилении минерального питания. Заделка в почву растительных остатков и минеральных удобрений в повышенных дозах способствовала улучшению калийного питания. Полагаем, что обеспеченность растений калием не была распространенным фактором, лимитирующим продукционный процесс.

Под влиянием минеральных удобрений и растительных остатков изменилась величина показателей урожайности зерновых культур и синтеза надземной вегетативной массы (табл. 1).

При выращивании овса и пшеницы внесение растительных остатков значительно повышало урожайность этих культур. Тем не менее на третий год на продуктивности ячменя запахивание растительных остатков в почву не отразилось. Применение минеральных удобрений в дозе N₃₀P₂₀K₃₀ относительно контроля существенно повысило урожайность всех зерновых культур. Однако заделка в почву растительных остатков на фоне минеральных удобрений позитивно сказалось только при выращивании пшеницы, на других культурах их использование либо не отразилось на величине урожайности (ячмень), либо приводило даже к её сниже-

1. Влияние минеральных удобрений и растительных остатков на урожайность и вегетативную массу зерновых культур, г/м²

Вариант опыта	Овес, 2015 г.		Пшеница, 2016 г.		Ячмень, 2017 г.	
	1	2	1	2	1	2
Контроль	220	350	102	234	162	196
РО (растительные остатки)	260	256	145	204	170	236
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀	428	664	142	292	282	374
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀ + РО	372	614	183	342	286	400
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	488	682	185	300	400	458
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀ + РО	530	710	204	336	412	508
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	548	912	178	340	490	740
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + РО	650	900	192	338	562	693
HCP ₀₅	27	47	11	22	24	31

Примечание. 1 – зерно, 2 – надземная вегетативная масса (здесь и в табл. 2).

нию (овес). Увеличение дозы минеральных удобрений до N₆₀P₄₀K₆₀ повысило выход зерновой продукции овса и ячменя относительно варианта N₃₀P₂₀K₃₀ + РО; на состоянии фитоценоза пшеницы такой способ минерального питания не отразился. Внесение в почву побочной продукции на повышенном фоне минерального питания существенно сказалось только при выращивании овса. При дальнейшем увеличении дозы минеральных удобрений до N₉₀P₆₀K₉₀ относительно варианта N₆₀P₄₀K₆₀ + РО вызвало повышение урожайности только при выращивании ячменя, прибавка составила 19 %. Запахивание растительных остатков на фоне N₉₀P₆₀K₉₀ привело к увеличению урожайности всех зерновых культур. Полагаем, что различное состояние растений при изменяющемся фоне минерального питания связано с недостаточно прогнозируемым функционированием азотного цикла в почве, обусловленного процессами минерализации ↔ иммобилизации азота в корнеобитаемом слое. Примерно такая же закономерность обнаружена в синтезе вегетативной массы, хотя и были существенные различия. Например, при выращивании пшеницы урожайность от запахивания растительных остатков возрастала, а накопление вегетативной массы существенно снижалось. На максимальном фоне минеральных удобрений заделка в почву растительных остатков уже не приводила к активизации процессов синтеза вегетативной массы.

Использование минеральных удобрений и растительных остатков сказалось на химическом составе надземной массы зерновых культур неодинаково. На зерне овса воздействие растительных остатков не отразилось на содержании азота, но в зерновой продукции пшеницы оно начало заметно снижаться и в ячмене уже достоверно уменьшилось. Внесение минимальной дозы удобрений относительно контрольного варианта снизило содержание азота в зерне овса, у пшеницы и ячменя, напротив, повысило. Увеличение дозы удобрений до N₆₀P₄₀K₆₀ вызвало значительную аккумуляцию азота в зерновой продукции ячменя, на других культурах это не наблюдалось. Внесение удобрений в дозе N₉₀P₆₀K₉₀ стимулировало накопление азота в зерне во всех зерновых культурах. В вегетативной массе зерновых культур процессы азотонакопления наиболее интенсивно протекали только в отдельных случаях. Так, в вариантах N₉₀P₆₀K₉₀ и N₉₀P₆₀K₉₀ + РО относительно контрольного варианта в вегетативной массе пшеницы содержание азота возросло в 1,8 и 1,5 раза соответственно. На других культурах и вариантах существенных различий в

содержании азота в вегетативной массе не зарегистрировано.

В содержании фосфора в отличие от азота наблюдалась иная закономерность в зерновой продукции злаков. В зерне овса различные условия минерального питания не оказали существенного влияния на процессы накопления фосфора в товарной продукции. Почти такая же ситуация складывалась с продуктивностью ячменя, и только у пшеницы в вариантах с запахиванием растительных остатков и внесением минеральных удобрений относительно контрольного варианта наблюдали существенное увеличение содержания фосфора в зерновой продукции. В вегетативной массе зерновых культур выделялись варианты, где вносили минеральные удобрения в сочетании с растительными остатками. Так, при выращивании овса содержание фосфора в вегетативной массе в варианте N₃₀P₂₀K₃₀ + РО в сравнении с контролем возросло в 1,3 раза, при запахивании растительных остатков в посевах пшеницы – в 1,5 раза и ячменя в варианте при внесении максимальной дозы минеральных удобрений и заделке в почву побочной продукции – в 1,6 раза. В других вариантах подобных различий по содержанию фосфора в вегетативной массе зерновых культур не наблюдали.

Различные условия минерального питания оказали значительное влияние на содержание калия в нетоварной части урожая во всех исследуемых зерновых культурах. При выращивании овса наиболее высокое содержание калия в вегетативной массе было в варианте, где заделывали в почву растительные остатки. В ряде вариантов наблюдали значительное снижение содержания калия в вегетативной массе, хотя вносили минеральные удобрения и заделывали в почву растительные остатки. При выращивании пшеницы в вегетативной массе, убранной с удобрённых вариантов, отмечали значительное повышение содержания калия, что свидетельствует об улучшении калийного питания растений. У ячменя при внесении повышенных доз минеральных удобрений и растительных остатков регистрировали увеличение содержания калия в вегетативной массе. В других вариантах заметных изменений этого показателя не отмечено. Следует обратить внимание на довольно стабильное содержание калия в семенной продукции зерновых культур, что является их характерной особенностью [7].

Своеобразно складывающееся минеральное питание повлияло не только на содержание макроэлементов в растениях, но и на вынос их надземной биомассой зерновых культур (табл. 2). В изученных вариантах опыта вынос азота товарной продукцией непрерывно повышался при внесении возрастающих доз минеральных удобрений и был максимальным при применении N₉₀P₆₀K₉₀. Использование только растительных остатков вызывало увеличение выноса азота семенами всех зерновых культур. При запахивании с минеральными удобрениями в дозе N₃₀P₂₀K₃₀ снижался вынос этого элемента у овса и ячменя, при выращивании пшеницы он заметно возрастал. На фоне N₆₀P₄₀K₆₀ запахивание растительных остатков приводило к увеличению выноса азота семенами овса и пшеницы, но он снижался у ячменя. При максимальной дозе минеральных удобрений заделка в почву растительных остатков увеличивала вынос азота зерном овса и ячменя, но приводила к его снижению у пшеницы. Отчуждение этого элемента надземной вегетативной частью растений по-разному сказалось на формировании зерновых культур. У овса

вынос азота побочной продукцией практически не изменялся, в то время как у пшеницы он снижался, а у ячменя, напротив, повышался. Внесение минеральных удобрений в возрастающих дозах в большинстве случаев приводило к увеличению относительно контроля выноса азота надземной вегетативной массой. Хотя отмечены случаи, когда растения, например пшеницы, не отзывались на усиление минерального питания.

2. Влияние минеральных удобрений и растительных остатков на вынос макроэлементов зерновыми культурами, г/м²

Вариант опыта	Овес, 2015 г.		Пшеница, 2016 г.		Ячмень, 2017 г.	
	1	2	1	2	1	2
N						
Контроль	4,84	0,63	2,10	0,66	1,12	0,39
PO	5,85	0,67	2,73	0,57	1,60	0,59
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀	8,35	1,00	3,59	1,02	3,27	0,56
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀ + PO	7,55	0,92	3,86	0,99	3,00	0,60
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	10,93	1,36	3,79	1,05	4,76	0,87
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀ + PO	13,14	1,14	4,92	1,31	4,33	1,07
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	14,69	1,64	4,54	1,70	5,34	1,26
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + PO	16,57	2,07	4,32	1,45	6,91	1,46
HCP ₀₅	0,52	0,09	0,28	0,07	0,24	0,06
P						
Контроль	1,47	0,59	0,89	0,35	0,92	0,43
PO	1,82	0,38	1,46	0,45	1,02	0,71
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀	2,91	0,66	1,42	0,50	1,72	1,12
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀ + PO	2,60	1,35	1,92	0,65	1,66	1,32
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	3,27	1,30	1,91	0,42	2,40	1,15
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀ + PO	3,71	1,07	2,14	0,60	2,51	1,57
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	3,89	1,55	1,90	0,54	2,89	2,00
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + PO	4,48	1,35	2,02	0,69	3,54	2,43
HCP ₀₅	0,18	0,07	0,11	0,03	0,13	0,09
K						
Контроль	0,92	6,27	0,49	1,38	1,07	2,35
PO	0,94	5,30	0,71	1,65	1,07	3,07
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀	1,54	7,90	0,70	2,45	1,75	4,38
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀ + PO	1,41	10,96	0,90	3,01	1,15	5,44
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	1,71	8,18	0,89	2,55	2,48	6,41
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀ + PO	1,91	9,09	1,00	3,76	2,43	9,55
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	1,97	14,14	0,87	3,40	2,89	14,58
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + PO	2,34	16,83	0,96	3,82	3,43	14,34
HCP ₀₅	0,11	0,62	0,06	0,18	0,15	0,51

Вынос фосфора зерновой продукцией обычно возрастал, но иногда различия в отчуждении элемента были незначительными, например, у ячменя. Внесение минеральных удобрений в минимальной дозе относительно контроля приводило к повышению выноса фосфора зерном всеми изученными культурами. Увеличение дозы удобрений до N₆₀P₄₀K₆₀ также вызывало дальнейшее возрастание выноса фосфора зерном. Внесение максимальной дозы удобрений относительно варианта N₆₀P₄₀K₆₀ сопровождалось как увеличением выноса фосфора семенной продукцией, так и отсутствием существенных различий между вариантами. Использование минеральных удобрений в сочетании с растительными остатками вызывало различную реакцию растений. Это приводило как к повышению выноса фосфора зерновой продукцией, так и снижению, а иногда и к отсутствию различий в величинах данного показателя, связанных с формированием семенной продукции. Разнонаправленный характер в складывающихся показателях выноса фосфора надземной биомассой зерновых культур связан, очевидно, с различной активностью процессов минерализации ↔ иммобилизации при поступлении в почву минеральных и органических соединений, содержащих протеиногенные элементы.

Различные условия минерального питания оказали неоднозначное влияние на вынос калия зерновыми

культурами. Растительные остатки способствовали увеличению этого показателя у пшеницы, но у овса и ячменя отчуждение калия осталось без изменений. От внесения минеральных удобрений в дозе N₃₀P₂₀K₃₀ относительно контроля возрос вынос калия семенной продукцией у всех зерновых культур. Сочетание минеральных удобрений в этой дозе с запахиванием растительных остатков существенно снизило вынос калия зерном овса, особенно ячменя, но увеличило его у пшеницы. Неоднозначный характер в изменении величины выноса калия семенной продукцией и вегетативной надземной биомассой отмечался и при внесении более высоких доз минеральных удобрений и растительных остатков. Самый высокий вынос калия надземной вегетативной массой регистрировали у овса и ячменя при внесении максимальной дозы минеральных удобрений в сочетании с заделкой в почву растительных остатков.

Важной оценкой эффективности минеральных удобрений и растительных остатков является складывающийся баланс макроэлементов в агроценозах [8, 9]. Исследования показали, что поступление азота в почву с минеральными удобрениями было доминирующим, с растительными остатками существенно уступало (табл. 3). Суммарное внесение азота в почву было значительным только при его применении с минеральными удобрениями, даже при их минимальной дозе. Особо существенная разница отмечена между максимально удобренными вариантами N₉₀P₆₀K₉₀ и N₉₀P₆₀K₉₀ + PO, которая составила около 5,0 г/м² азота. При запахивании растительных остатков в сочетании с удобрениями отчуждение азота биомассой снижалось, что отразилось на балансе этого элемента в почве, который складывался чаще отрицательным. Исключение составил вариант N₉₀P₆₀K₉₀ + PO, в котором баланс азота в почве был положительным.

3. Влияние минеральных удобрений и растительных остатков на баланс макроэлементов в почве (в среднем за 2015–2017 гг.), г/м²

Вариант опыта	Поступило в почву			Вынос расте- ниями	Баланс
	1	2	3		
N					
Контроль	-	-	-	9,74	-9,74
PO	-	1,83	1,83	10,18	-8,35
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀	9,00	-	9,00	17,79	-8,79
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀ + PO	9,00	2,51	11,51	14,41	-2,90
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	18,00	-	18,00	22,76	-4,76
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀ + PO	18,00	3,52	21,52	22,39	-0,87
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	27,00	-	27,00	29,17	-2,17
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + PO	27,00	4,96	31,96	27,80	4,16
P					
Контроль	-	-	-	4,65	-4,65
PO	-	1,54	1,54	4,30	-2,76
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀	6,00	-	6,00	8,33	-2,33
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀ + PO	6,00	3,32	9,32	6,18	3,14
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	12,00	-	12,00	10,45	1,55
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀ + PO	12,00	3,24	15,24	8,36	6,88
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	18,00	-	18,00	12,77	5,23
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + PO	18,00	4,47	22,47	10,04	12,43
K					
Контроль	-	-	-	12,45	-12,45
PO	-	10,02	10,02	2,72	7,30
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀	9,00	-	9,00	18,72	-9,72
N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀ + PO	9,00	19,41	28,41	3,45	24,96
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	18,00	-	18,00	22,22	-4,22
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀ + PO	18,00	22,40	40,40	5,34	35,08
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	27,00	-	27,00	37,85	-10,85
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + PO	27,00	33,99	61,89	6,73	55,16

Примечание. 1 – с удобрениями, 2 – с растительными остатками, 3 – всего.

Поступление в почву зольных элементов носило разнонаправленный характер; фосфор минеральных удобрений по этому показателю превосходил растительные остатки. В то же время калий в этих случаях существенно уступал. В сумме поступление фосфора и калия непрерывно возрастало при усилении уровня минерального питания за счет удобрений. Запахивание растительных остатков также способствовало увеличению приходной статьи зольных элементов. При заделке в почву растительных остатков вынос фосфора и калия надземной биомассой мало изменялся, и только при внесении минеральных удобрений отчуждение этих элементов существенно возросло. Баланс фосфора на контроле и в варианте $N_{30}P_{20}K_{30}$ складывался отрицательный. При внесении растительных остатков в сочетании с минеральными удобрениями в повышенных дозах он становился положительным. Баланс калия, в отличие от фосфора, складывался отрицательный только при внесении минеральных удобрений и удалении растительных остатков. При заделке в почву вегетативной массы с минеральными удобрениями складывался положительный баланс, а в случае их отчуждения – отрицательный, независимо от доз вносимых минеральных удобрений.

Заключение. Изучение эффективности минеральных удобрений и растительных остатков показало различную отзывчивость зерновых культур на их внесение в почву. Использование минеральных удобрений в малых дозах обычно повышало урожайность и синтез надземной вегетативной массы зерновых культур. Максимальный уровень минерального питания не всегда приводил к соответствующему росту продуктивности растений. Запахивание растительных остатков вызывало повышение или отсутствие прибавки урожая, а иногда и снижение. Различные условия минерального питания оказали значительное влияние на качество семенной продукции. Применение удобрений в малых дозах сопровождалось повышением или снижением количества протеина, на повышенном уровне минерального пита-

ния в основном возрастало содержание белковых веществ.

Под влиянием минеральных удобрений и растительных остатков в большей степени изменилось в надземной биомассе растений содержание азота, гораздо меньше – фосфора и калия. С увеличением доз удобрений повысился вынос макроэлементов в товарной и нетоварной частях зерновых культур, что сказалось на балансе азота, фосфора и калия в почве. Он складывался отрицательный для азота и калия на всех уровнях питания, где применяли только минеральные удобрения. Отрицательный баланс фосфора отмечен лишь при использовании низких доз NPK, с их повышением баланс этого элемента становился положительным. Запахивание растительных остатков приводило к уменьшению величины отрицательного баланса, в максимально удобренных вариантах создавался положительный баланс.

Литература

1. Лыков А.М., Еськов А.И., Новиков М.Н. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. – М.: Россельхозакадемия; ВНИИП-ТИОУ, 2004. – 630 с.
2. Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Баланс макроэлементов в почве при длительном использовании удобрений и растительных остатков // Плодородие. – 2013. – № 6. – С. 8–9.
3. Назарюк В.М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 257 с.
4. Семенов В.М., Кузнецова Т.В., Иванникова Л.А., Семенова Н.А., Лисова Е.П. Участие растительной биомассы в формировании активной фазы почвенного азота // Агрохимия. – 2001. – № 7. – С. 5–12.
5. Осипов А.И., Соколов О.А. Роль азота в плодородии почв и питании растений. – С.-Петербург: АФИ, ВИУА, 2001. – 360 с.
6. Помазкина Л.В. Агрохимия азота в таежной зоне Прибайкалья. – Новосибирск: Наука, СО РАН, 1983. – 176 с.
7. Никитишин В.И. Экологические основы сбалансированного применения удобрений в адаптивном земледелии. – М.: Наука, 2003. – 183 с.
8. Щербаков А.П., Рудай И.Д. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ. – М.: Колос, 1983. – 185 с.
9. Кордунян П.Н. Биологический круговорот элементов питания с.-х. культур в интенсивном земледелии. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 269 с.

PRODUCTIVITY OF GRAIN CULTURES AND BALANCE OF MACROELEMENTS IN GREY FOREST SOIL WHEN USING MINERAL FERTILIZERS AND PLANT RESIDUES

V.M. Nazaryuk, F.R. Kalimullina

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of RAS, Akad. Lavrentyeva prosp. 8/2, 630090 Novosibirsk, Russia, e-mail: flura.kalimullina@yandex.ru

As a result of the application of plant residues, the yield of grain crops for 2015-2017 increased by 0.91 t/ha. Seed production of cereals increased from 1.8 to 2.5 times as a result of mineral fertilizers application in doses $N_{30-90}P_{20-60}K_{30-90}$. The use of only plant residues or their combination with mineral fertilizers caused an unstable nature of the formation of plant productivity, sometimes leading to a decrease in yield. The nitrogen balance in the soil when fertilizer was applied was negative, phosphorus turned out to be the same or positive, and potassium negative. When embedding plant residues into the soil and applying higher doses of fertilizers, the balance became positive.

Keywords: soil, cereal productivity, fertilizer, plant residues, balance, nutrients.