

6. Мелихова Е.В. Дифференцированный режим орошения и питания столовой свеклы на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья/Е.В. Мелихова// Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование.- 2007.- № 3. – С. 50-56.
7. Степанова Н.Е. Урожайность столовой свеклы в зависимости от режимов капельного орошения и доз удобрений/Н.Е. Степанова//Плодородие. - 2008. - № 1. – С. 29-20.
8. Кузнецова Н.В. Урожайность и качество корнеплодов столовой свеклы сорта Болтарди на орошаемых землях Нижнего Поволжья/Н.В. Кузнецова, Н.Е. Степанова//Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. – 2009.- № 4. – С. 52-57.
9. Жидков В.М., Хрипченко А.В. Влияние обработки почвы и внесения гербицидов на урожайность столовой свеклы при капельном ороше-

- нии в Нижнем Поволжье//Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование.- 2014. - № 4. – С. 46-49.
10. Жидков В.М., Хрипченко А.В. Влияние обработки почвы и внесения гербицидов на урожайность столовой свеклы при капельном орошении//Аграрная наука.- 2014. - № 12. – С. 18-20.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
12. Белик В.Ф. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве. – М.: Агропромиздат, 1992. – 319 с.
13. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. – ВНИИ овощеводства.- М., 2011. – 648 с.

MINERAL NUTRITION OF RED BEET UNDER DRIP IRRIGATION

V.V. Borodychev¹, E.E. Mikhailova²

¹All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, ul. B. Akademicheskaya 44a, Moscow, 127550 Russia, vkovniigim@yandex.ru

²Volgograd State Agricultural University, pr. Universitetsky 26, Volgograd, 400002 Russia

Field experiments on the mineral nutrition of red beet under drip irrigation showed that the maintenance of water and nutritive regimes ensures the yield of tubers up to 90 t/ha.

Keywords: drip irrigation, fertigation, red beet, fertilizers, application rate, yield.

УДК:631.811: 631.445.24/582

ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР И БАЛАНСОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В СЕВООБОРОТЕ

О.А. Силина, О.В. Чухина, С.Н. Дурягина, П.С. Карандеева, Вологодская ГМХА

В условиях Вологодской области на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве расчетные системы удобрения обеспечивают высокую продуктивность севооборота-5,2–5,6 т к.е/га. Фактические балансовые коэффициенты использования азота оказались отрицательными при применении минеральной и органоминеральной системы удобрения в дозе $N_{93}P_{41}K_{90}$. Фактические балансовые коэффициенты использования калия при применении расчётных систем удобрения в дозе $N_{93-138}P_{41}K_{90}$ составили 140–153%, оказались близки к плановому значению – 150%. По фосфору при применении удобрений в дозе $N_{93}P_{41}K_{90}$ наблюдался баланс, близкий к нулевому, при повышении дозы азота до 138 кг д.в./га отмечен отрицательный баланс элемента, интенсивность которого составила 85%.

Ключевые слова: удобрения, урожайность, севооборот, викоовсяная смесь, озимая рожь, картофель, ячмень посевной, оплата удобрений, баланс элементов питания.

Баланс элементов питания – это прогнозный эколого-агрономический показатель продуктивности сельскохозяйственных культур, плодородия почв и степени соответствия их количеству и качеству вносимых удобрений, а также показатель, характеризующий химическую нагрузку на почву, растения и находящиеся во взаимодействии с ними компоненты окружающей среды. Он может быть отрицательным (вынос больше внесения), нулевым (поступает и выносится равное количество элементов питания) и положительным (поступление больше выноса).

Невозможно дать однозначный ответ о том, какой тип баланса предпочтительнее. На бедных, малоплодородных почвах необходимо поддерживать положительный

баланс, на хорошо окультуренных – нулевой или отрицательный в зависимости от возделываемых культур и направления смещения почвенного плодородия [4].

Инициатором детального изучения баланса круговорота веществ в земледелии выступил в 1940-х годах Д.Н. Прянишников. Его исследования нашли широкое развитие в различных регионах нашей страны.

Один из способов повышения плодородия почв – внесение удобрений. При систематическом использовании большого количества минеральных удобрений особое значение приобретает совершенствование методов определения их доз под разные культуры.

Существуют различные методы расчета доз удобрений. В данной работе расчет доз удобрений проводили с помощью балансовых коэффициентов (Кб) использования питательных элементов [5].

Дозы удобрений, рассчитанные с помощью Кб и их влияние на продуктивность культур, изменение почвенного плодородия показаны в работах Ю.П. Жукова, О.В. Чухиной и многих других учёных [2, 3, 7-9].

При балансовых коэффициентах, равных 100% (нулевой баланс питательных элементов) создаются условия для сохранения показателей уровня плодородия почвы, при Кб выше 100% (отрицательном балансе) – для снижения, и при Кб ниже 100% (положительный баланс) – для увеличения показателей плодородия почвы.

Цель наших исследований – выявление соответствия фактических и плановых балансовых коэффициентов использования элементов питания удобрений и почвы и изучение продуктивности культур севооборота на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Вологодской области.

Методика. Исследования проведены в стационарном опыте на поле Вологодской ГМХА. В статье приведены данные за 2011–2014 гг.

Повторность опыта - четырехкратная. Расположение делянок - усложненно-систематическое. Площадь опытной делянки - 140 м².

Опыт ведется в 4-польном севообороте, развёрнутом в пространстве и во времени: 1 - викоовсяная смесь на зеленую массу (вика – сорт Льговская 22, овес – сорт Боррус); 2 - озимая рожь (сорт Волхова); 3 - картофель (сорт Елизавета); 4 - ячмень (сорт Выбор).

Схема опыта состоит из следующих вариантов: 1 вар. без удобрений – контроль; 2 вар. с применением минимальной дозы удобрений (удобрение только при посеве или посадке культур); 3, 4 вар. - исследуемые минеральные системы удобрения, различающиеся дозой азота (3 вар. - минеральная система удобрения с отрицательным балансом по азоту, 4 вар. - минеральная система удобрения с положительным балансом по азоту); 5 вар. - органоминеральная система удобрения, эквивалентная по дозе вар. 3 - минеральной системы удобрения. Торфо-навозный компост в дозе 40 т/га вносили под картофель.

В 3-5 вариантах дозы вносимых удобрений рассчитывали с помощью балансовых коэффициентов для контроля использования питательных веществ из удобрений и почвы по формуле: $K_6 = (B_y / D) \cdot 100$,

где K_6 – балансовый коэффициент использования элемента, %; B_y – вынос с урожаем элемента питания в удобренном варианте, кг/га; D – доза элемента в удобренном варианте, кг д.в/га; 100 – коэффициент перевода в %.

Дозу удобрений рассчитывали на получение плановой урожайности: озимой ржи – 3,5 т/га, картофеля - 25, ячменя – 3,5, викоовсяной смеси - 25 т/га.

В 3-5 вар. опыта запланирован отрицательный баланс по калию ($K_6 = 150$ %) и нулевой баланс по фосфору ($K_6 = 100$ %).

По азоту в 3 и 5 вар. был запланирован отрицательный баланс ($K_6 = 120$ %), а в 4 вар. – положительный ($K_6 = 80$ %).

Почва опытного участка - дерново-подзолистая среднесуглинистая. В 2010 г. на контроле пахотный слой почвы характеризовался среднекислой реакцией среды (pH_{KCl} 4,9), содержанием подвижного фосфора и обменного калия, соответственно, 152 и 72 мг/кг почвы, гумуса – 2,64%.

Учет урожайности всех культур осуществляли сплошным методом. Урожай приведен к стандартной влажности: зелёная масса викоовсяной смеси, клубни и ботва картофеля - 80%, зерно ячменя и озимой ржи – 14, солома ячменя и озимой ржи – 16%.

При анализах товарной и нетоварной частей урожая после мокрого озоления по К. Гинзбург определяли азот по Кьельдалю, фосфор - на фотокolorиметре, калий - на пламенном фотометре [10].

Математическая обработка материалов исследований проведена методом однофакторного дисперсионного анализа при помощи программы Excel и по Б.А. Доспехову (1985) [1].

Результаты и их обсуждение. Погодные условия 2011-2014 гг. отличались повышенными среднесуточными температурами в сравнении со средними многолетними значениями в период вегетации изучаемых культур и суммой осадков ниже средних многолетних

данных, оказывали значительное влияние на урожайность культур.

Кроме погодных условий на урожайность зеленой массы викоовсяной смеси в период вегетации культуры значительное влияние оказывали удобрения. Даже минимальная доза ($N_{12}P_{16}K_{16}$) ежегодно обеспечивала существенную прибавку урожайности, которая в среднем за 4 года исследований составила 19%. Эквивалентные по питательным элементам минеральная и органоминеральная системы удобрения культуры (3 и 5 вар.) в среднем за 4 года исследований практически не различались. Максимальная урожайность зеленой массы викоовсяной смеси была получена при применении расчетных систем удобрения (3-5 вар.). В среднем за 4 года изучаемые расчетные системы удобрения (3-5 вар.) повышали урожайность зеленой массы викоовсяной смеси на 48 – 53 % (табл. 1).

1. Урожайность культур севооборота (в среднем за 2011–2014 гг.), т/га

№ п/п	Вариант опыта	Викоовсяная смесь, зелёная масса	Озимая рожь, зерно	Картофель, клубни	Ячмень, зерно
1	Без удобрений	15,4	2,6	14,6	2,0
2	$N_{14}P_{17}K_{12}$ (минимальная доза)	18,4	3,1	17,5	2,5
3	$N_{93}P_{41}K_{90}$ (минеральная система)	22,8	3,6	22,5	3,0
4	$N_{138}P_{41}K_{90}$ (минеральная система)	23,6	4,1	24,6	3,3
5	$N_{93}P_{41}K_{90}$ (органоминеральная система)	23,5	3,8	24,0	3,2
НСР ₀₅		2,3	0,4	3,8	0,4

Примечание. Дозы удобрений представлены в среднем за ротацию севооборота.

Удобрения повышали урожайность зерна озимой ржи. Применение расчетных доз удобрений (3-5 вар.) существенно повышало урожайность зерна озимой ржи по сравнению с внесением удобрений только при посеве (2 вар.) и с вариантом без удобрений (1 вар.). Эквивалентные по питательным элементам минеральная и органоминеральная системы (3 и 5 вар.) не различались по влиянию на урожайность зерна озимой ржи. В среднем за 4 года исследований расчетные дозы удобрений (3–5 вар.) на 38–57% повышали урожайность зерна озимой ржи.

Применение удобрений при посадке в дозе $N_{20}P_{20}$ вызывало достоверное повышение урожайности клубней картофеля в отдельные годы исследований. В среднем за 4 года увеличение урожайности от этой минимальной дозы удобрений оказалось несущественным и составило 20%. Применение расчетных систем удобрения (3-5 вар.) существенно повышало урожайность культуры. В среднем за 4 года исследований урожайность клубней картофеля при внесении минеральных и органоминеральных удобрений возросла на 54-68%.

Применение расчетных систем удобрения (3-5 вар.) существенно повышало урожайность ячменя в среднем за 4 года исследований. Достоверного преимущества последствия торфонавозного компоста на фоне минеральных удобрений (5 вар.) по сравнению с эквивалентной минеральной системой (3 вар.) не наблюдалось. В среднем за 4 года исследований плановая уро-

жайность зерна ячменя была недополучена, что связано с неблагоприятными погодными условиями, в том числе в критические периоды роста и развития растений культуры.

Таким образом, в среднем за 4 года исследований все расчетные системы удобрения (3-5 вар.) повышали урожайность викоовсяной смеси на 7,4–8,2 т/га, озимой ржи на 1,0–1,5, картофеля – на 7,9–10, ячменя – на 1,0–1,3 т/га.

В среднем за годы исследований продуктивность культур севооборота составила 3,5 - 5,6 т к.е/га в год. Самая высокая продуктивность была при насыщенности удобрениями $N_{138}P_{41}K_{90}$ (4 вар.) и составила 5,6 т к.е/га. При применении удобрений в севообороте в дозе $N_{93}P_{41}K_{90}$ (3 и 5 вар.) продуктивность культур различалась незначительно (5,2 и 5,4 т к.е/га) (табл. 2).

Применение расчетных систем удобрения (3-5 вар.) обеспечило 104-112% планового уровня продуктивности севооборота.

2. Влияние удобрений на продуктивность культур и выход основной продукции (в среднем за 2011-2014 гг.)

Вариант опыта	Продуктивность, т к.е/га					Выход основной продукции, %
	викоов-сяная смесь	озимая рожь	картофель	ячмень	средняя	
1	3,4	3,0	5,3	2,4	3,5	86
2	4,0	3,4	6,2	2,9	4,1	85
3	5,0	4,2	8,0	3,4	5,2	85
4	5,0	4,9	8,8	3,8	5,6	85
5	5,1	4,4	8,6	3,7	5,4	85

Выход основной продукции сильно зависел от изучаемой культуры и мало менялся от применяемых доз удобрений. В среднем за годы исследований выход основной продукции культур составил 85%.

Применение удобрений обеспечило высокую оплату 1 кг д.в. прибавками кормовых единиц всех изучаемых культур, причём при применении минимальных доз удобрений оплата была самой высокой. Так, внесение удобрений в дозе 43 кг д.в./га обеспечило оплату, равную 14 кг к.е. Расчётные дозы удобрения культур обеспечили оплату 1 кг д.в. удобрений в 6,4 - 7,2 кг к.е. Применение органоминеральной системы удобрения культур несколько увеличило (на 0,8 кг к.е.) оплату удобрений по сравнению с эквивалентной минеральной системой (рис. 1).

Хозяйственный вынос использования азота, фосфора и калия определяли содержанием элементов питания в урожае, отчуждаемом с поля. Полученные данные хозяйственного выноса азота, фосфора и калия из удобрений и почвы свидетельствуют, что при повышении доз вносимых удобрений увеличивается вынос элементов питания (табл. 3). Применение минимальной дозы удобрений в севообороте ($N_{14}P_{17}K_{12}$) повышает вынос азота культурами на 31 %, фосфора на 27, калия на 27% по сравнению с контролем.

При внесении расчетных доз удобрений значительно увеличивается вынос элементов питания возделываемыми культурами. Так, вынос азота повысился на 71-95 %, фосфора на 61-85, калия на 70-86 % по сравнению с вариантом без удобрений. Максимальный вынос элементов питания из почвы и удобрений культурами наблюдался при применении минеральных удобрений в дозе $N_{138}P_{41}K_{90}$ и при совместном применении минеральных и органических удобрений в дозе $N_{93}P_{41}K_{90}$ (4 и 5 вар.).

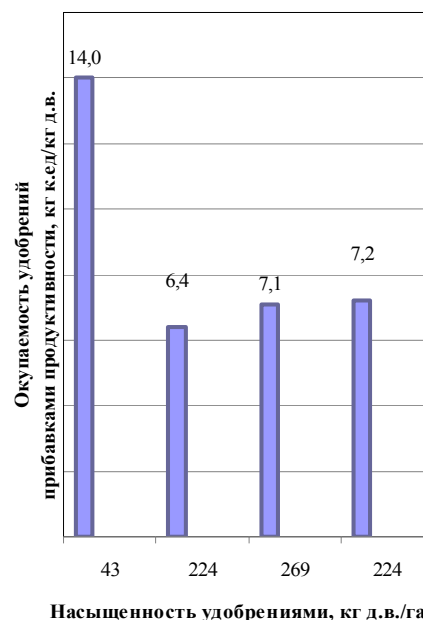


Рис. 1. Окупаемость удобрений прибавками кормовых единиц (в среднем за 2011-2014 гг.)

3. Баланс питательных элементов в севообороте

Показатель	Элемент	Вариант опыта				
		1 – без удобрений (контроль)	2 – $N_{14}P_{17}K_{12}$ (минимальная доза удобрений)	3 – $N_{93}P_{41}K_{90}$ (минеральная система)	4 – $N_{138}P_{41}K_{90}$ (минеральная система)	5 – $N_{93}P_{41}K_{90}$ (органоминеральная система)
Средневзвешенный ежегодный хозяйственный вынос, кг/га	N	62	81	106	121	113
	P_2O_5	26	33	42	48	44
	K_2O	74	94	126	138	134
Среднегодовое внесение удобрений, кг/га	N	-	14	93	138	93
	P_2O_5	-	17	41	41	41
	K_2O	-	12	90	90	90
Баланс, кг/га	N	-62	-67	-13	+17	-20
	P_2O_5	-26	-16	-1	-7	-3
	K_2O	-74	-82	-36	-48	-44

При внесении азотных удобрений в дозах 14-93 кг д.в./га наблюдался отрицательный баланс азота (2, 3 и 5 вар.). По калию при внесении доз удобрений из расчёта 12-90 кг д.в./га отмечен отрицательный баланс элемента, т.е. во всех изучаемых вариантах. При планировании нулевого баланса по фосфору фактически во всех расчётных вариантах (3-5 вар.) наблюдался баланс элемента, близкий к нулевому (-1...- 7 кг/га). При планировании положительного баланса по азоту (4 вар.) наблюдался положительный баланс элемента (+17 кг/га).

Данный баланс подтверждается и другими методами расчета (табл. 4).

В 2011-2014 гг. при внесении минимальных доз удобрений в севообороте фактические балансовые коэффициенты (K_6) по азоту, фосфору, калию соответствовали 578, 194 и 783% (2 вар.). Интенсивность баланса при этом оказалась незначительной, по азоту, фосфору

и калию составила, соответственно, 17; 52 и 13%, коэффициент возврата – 0,17; 0,52 и 0,13.

4. Сравнение расчётных показателей баланса элементов питания

Показатель	Элемент, со-единение	Вариант опыта			
		2- N ₁₄ P ₁₇ K ₁₂ (минимальная доза удобрений)	3- N ₉₃ P ₄₁ K ₉₀ (минеральная система)	4- N ₁₃₈ P ₄₁ K ₉₀ (минеральная система)	5- N ₉₃ P ₄₁ K ₉₀ (органоминеральная система)
Коэффициент возврата	N	0,17	0,88	1,14	0,82
	P ₂ O ₅	0,52	0,98	0,85	0,93
	K ₂ O	0,13	0,71	0,65	0,67
Интенсивность баланса, %	N	17	88	114	82
	P ₂ O ₅	52	98	85	93
	K ₂ O	13	71	65	67
Балансовый коэффициент фактический, %	N	578	114	88	122
	P ₂ O ₅	194	102	117	107
	K ₂ O	783	140	153	149

Фактический Кб по азоту при применении 93 кг д.в/га элемента составил 114-122% и был близок к плановому (120%), при внесении 138 кг д.в/га N, получили положительный Кб, равный 88%, что на 8% больше, чем планировалось. По калию фактический Кб составил 140-153%, что на 3-10 % отличается от планового (табл. 4, рис. 2).

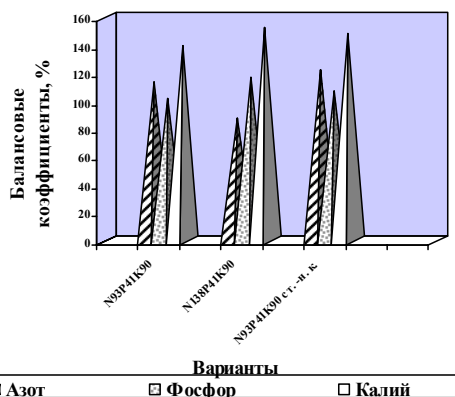


Рис. 2. Фактические балансовые коэффициенты использования элементов питания удобрений и почвы (в среднем за 2011-2014 гг.)

По фосфору при применении дозы 41 кг д.в/га (3-5 вар.) Кб равны 102-117%, близкие 100%. На 17% фак-

тические Кб по фосфору превысили плановые, видимо, из-за более интенсивного использования элементов питания при применении более высоких доз азотных удобрений (сравнить 138 и 93 кг д. в/га).

Таким образом, фактические балансовые коэффициенты по азоту оказались отрицательными при применении минеральной и органоминеральной систем удобрения в дозе N₉₃P₄₁K₉₀. Фактические балансовые коэффициенты калия при использовании расчётных систем удобрения в дозе N₉₃₋₁₃₈P₄₁K₉₀ составили 140-153%, т.е. были близки к плановому значению – 150%. По фосфору при применении удобрений в дозе N₉₃P₄₁K₉₀ наблюдался баланс, близкий к нулевому, при повышении дозы азота до 138 кг д.в/га наблюдался отрицательный баланс элемента, интенсивность которого составила 85%.

Литература

- Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
- Жуков, Ю.П. Баланс питательных веществ как прогнозно-экологический показатель плодородия почв и продуктивности культур // Агрохимия. - 1996. - № 7. - С. 35-45.
- Жуков, Ю.П. Влияние различных доз удобрений на урожайность культур севооборота и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы // Ю.П. Жуков, О.В. Чухина, Н.В. Токарева, Е.И. Куликова // Плодородие. – 2015. – №2(83). – С.14-20.
- Кореньков, Д.А. Продуктивность использования минеральных удобрений. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 219 с.
- Суков, А.А. Разработка системы удобрения сельскохозяйственных культур в северной части европейской России: Учебное пособие // А.А. Суков, О.В. Чухина. – Вологда – Молочное: ИЦ ВГМХА, 2013. – 152 с.
- Сычев, В.Г. Влияние агрохимических свойств почвы на эффективность минеральных удобрений // В.Г. Сычев, С.А. Шафран. – М.: Изд.-во ВНИИА, 2012. – 200 с.
- Чухина, О.В. Влияние удобрений и микропрепаратов на урожайность и вынос элементов питания культурами звена полевого севооборота / О.В. Чухина, В.В. Суров // Плодородие. – 2014. – №3(78). – С.18-22.
- Чухина, О.В. Продуктивность культур в севообороте при применении различных доз удобрений // О.В. Чухина, Ю.П. Жуков // АГРО XXI. - 2014. - № 1-3. - С. 39-41.
- Чухина, О.В. Продуктивность культур и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы в севообороте при применении различных доз удобрений // О.В. Чухина, Ю.П. Жуков // Агрохимия. - 2015. - № 5. - С.20 – 28.
- Ягодин, Б.А. Практикум по агрохимии // Б.А. Ягодин, И.П. Дерюгин, Ю.П. Жуков и др. // Под ред. Ягодина Б.А. - М.: Агропромиздат, 1987. - 512 с.

CROP PRODUCTIVITY AND BALANCE COEFFICIENTS OF NUTRIENT UTILIZATION IN CROP ROTATION

O.A. Silina, O.V. Chukhina, S.N. Duryagina, P.S. Karandeeva, Vereshchagin Vologda State Dairy Farming Academy, ul. Shmidta 2, Molochnoe, Vologda oblast, 160555 Russia, Dekanagro@molochnoe.ru

On loamy soddy-podzolic soil in Vologda oblast, the calculated fertilizer systems provide a high productivity of crop rotation (5.2–5.6 t f.u./ha). The actual balance coefficients of nitrogen utilization were negative at the application of mineral and organic-mineral fertilizing systems at a dose of N₉₃P₄₁K₉₀. The actual balance coefficients of potassium utilization at the application of calculated doses N₉₃–138P₄₁K₉₀ were 140–153%, which is close to the planned value. A near-zero balance was observed for phosphorus at the application of fertilizers at N₉₃P₄₁K₉₀; the increase of nitrogen application rate up to 138 kg/ha resulted in a negative balance of the element, the intensity of which amounted to 85%.

Keywords: fertilizer, yield, crop rotation, vetch–oat mixture, winter rye, potato, common barley, fertilizer recoupment, balance of nutrients.