

На правах рукописи

ГУСЕВА ЮЛИЯ ЕВГЕНЬЕВНА

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЯМИ ЯЧМЕНЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ
ИЗ РАЗНЫХ СЛОЕВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ**

Специальность: 06.01.04 – агрохимия

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва - 2012

Работа выполнена на кафедре агрономической, биологической химии и радиологии ФГБОУ ВПО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Кидин Виктор Васильевич

Официальные оппоненты:

Измайлов Станислав Федорович
доктор биологических наук, профессор,
Институт физиологии растений РАН,
заведующий лабораторией азотного обмена

Авдеев Сергей Михайлович
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,
кафедра метеорологии и климатологии, доцент

Ведущая организация: ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова Российской академии сельскохозяйственных наук

Защита диссертации состоится «24» декабря 2012 года в 10-00 час. на заседании диссертационного совета Д 220.043.02 при ФГБОУ ВПО Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К.А. Тимирязева.

Адрес: 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49. Ученый совет РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.

Автореферат разослан «23» ноября 2012 года

Ученый секретарь
диссертационного совета

Игнатьева С.Л.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Определение доступности растениям элементов минерального питания имеет важное значение, как в теоретическом, так и практических аспектах. В настоящее время оценка почв по обеспеченности их азотом, фосфором и калием ведется агрохимической службой страны в основном только по их содержанию в пахотном слое. Питательные элементы подпахотных горизонтов, как правило, во внимание не принимаются. Поэтому вопрос об их роли в снабжении растений питательными веществами остается до настоящего времени дискуссионным. Трудность в решении данного вопроса заключается в том, что очень сложно технически или методически вычленив в общем количестве питательных элементов, поступающих в растения, элементы, потребляемые из пахотного слоя и элементы, используемые из нижележащих слоев.

Цели и задачи исследований. Цели данной работы – изучение размера использования растениями ячменя элементов минерального питания из разных горизонтов дерново-подзолистой почвы; сравнение использования ячменем азота, фосфора и калия из пахотных и подпахотных слоев дерново-подзолистой почвы.

В задачи исследований входило:

- проведение вегетационных опытов по изучению доступности азота, фосфора и калия растениям ячменя из разных горизонтов суглинистой дерново-подзолистой почвы;
- проведение вегетационных опытов по изучению доступности азота, фосфора и калия растениям ячменя из разных горизонтов дерново-подзолистой почвы, где пахотный горизонт был представлен суглинистой почвой, а подпахотный – супесчаной.
- проведение лабораторных исследований по определению в растениях ячменя содержания азота, фосфора и калия и их выноса.

Научная новизна. Определены размеры потребления элементов минерального питания из разных слоев дерново-подзолистой почвы. До настоящего времени доступность растениям ячменя азота, фосфора и калия из подпахотных горизонтов практически не изучена.

Практическая значимость. Почвенная диагностика минерального питания сельскохозяйственных культур до настоящего времени проводится без дифференцированного учета доступности отдельных элементов минерального питания из разных горизонтов почвы. Полученные экспериментальные данные позволяют сделать заключение, что сложившееся в агрохимической практике мнение об идентичности путей трансформации и доступности растениям азота, фосфора и калия справедливо лишь в пределах одного и того же пахотного

слоя. Превращение элементов минерального питания в подпахотных горизонтах по сравнению с пахотным имеет свои особенности, которые следует учитывать при разработки способов наиболее рационального применения удобрений с учетом биологических особенностей растений, а также мероприятий, направленных на повышение почвенного плодородия и экологической оценке внутрипочвенной трансформации элементов питания.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 145-летию РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2010 г., международной научной конференции молодых ученых и специалистов в 2011 г., научно-практической конференции на тему: «Проблемы развития АПК и сельских территорий в 21 веке» в 2011 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано две статьи в журналах, рекомендованных ВАК для публикации материалов кандидатских диссертаций.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, шести разделов экспериментальной части, выводов, предложений. Работа изложена на 160 страницах машинописного текста, содержит 25 таблиц, 1 рисунок, 31 приложение. Список использованной литературы включает 198 наименований, в том числе и 20 иностранных авторов.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю профессору кафедры агрономической, биологической химии и радиологии В.В. Кидину.

Методика исследований. В РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева были проведены вегетационные опыты. Вегетационные сосуды располагали в два уровня (сосуды устанавливали друг на друга), которые имитировали пахотный и подпахотный горизонты. У верхних сосудов Митчерлиха было вырезано дно, и они герметично соединялись с нижними сосудами. Для опыта использовали дерново-подзолистые суглинистую и супесчаную почвы. Было проведено четыре опыта - в 2010 и 2011 гг. В первом и в третьем опытах пахотный и подпахотный горизонты представлены суглинистой дерново-подзолистой почвой, во втором и четвертом - пахотный слой представлен суглинистой дерново-подзолистой почвой, подпахотный – супесчаной дерново-подзолистой почвой. Каждый из опытов состоял из восьми вариантов. Опыты заложены в 4-кратной повторности.

Агрохимический анализ почвы пахотного и подпахотного слоев проводили общепринятыми методами перед закладкой опыта с ячменем.

В качестве фосфорных и калийных удобрений использовали смесь одно- и двухзамещенного фосфата калия (KH_2PO_4 и K_2HPO_4) из расчета 307 мг на 1 кг

почвы, или по 120 P₂O₅ и K₂O мг на 1 кг почвы. Азот вносили в виде аммиачной селитры (NH₄NO₃) в дозе 0,343 г (120 мг N) на 1 кг почвы.

Посев ячменя проводили в оптимальные для Московской области сроки.

В каждом сосуде после появления всходов оставляли до уборки по 25 растений. Удаленные при прореживании растения высушивали и использовали для последующего учета массы урожая. Уборку ячменя проводили в августе в фазу полной спелости зерна.

Содержание общего азота в растениях определяли методом мокрого озоления по Къельдалю, общего фосфора - по Е. Труогу и А. Майеру, калия - на пламенном фотометре.

Агрохимическая характеристика пахотного и подпахотного горизонтов представлена в таблице 1.

Таблица 1

Агрохимические показатели дерново-подзолистых почв

Почва	Гумус, %	pH _{KCl}	Nг	S	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мг-экв./100г		мг/кг	
Суглинистая (пахотный го- ризонт)	<u>*1,68</u>	<u>5,63</u>	<u>4,2</u>	<u>8,9</u>	<u>121</u>	<u>97</u>
	1,69	5,95	1,7	10,4	106	89
Суглинистая (подпахотный горизонт)	<u>1,17</u>	<u>5,01</u>	<u>5,8</u>	<u>5,2</u>	<u>53</u>	<u>73</u>
	1,21	5,74	2,8	7,1	69	89
Супесчаная (подпахотный горизонт)	<u>1,04</u>	<u>4,20</u>	<u>3,5</u>	<u>5,9</u>	<u>77</u>	<u>81</u>
	0,96	4,84	3,3	5,7	80	73

* В числителе 2010 г., в знаменателе 2011г.

Схема опыта

ОПЫТЫ 1 и 3		
1. Без удобрений		$A_{\text{пах}}^*$ Вносятся удобрения
2. РК (внесены в пахотный горизонт)		$A_2V_{\text{сугл}}$ Удобрения не вносятся
3. NPK (внесены в пахотный горизонт)		
4. NPK + микроудобрения (внесены в пахотный горизонт)		$A_{\text{пах}}$ Удобрения не вносятся
5. РК (внесены в подпахотный горизонт)		
6. NPK (внесены в подпахотный горизонт)		$A_2V_{\text{сугл}}$ Вносятся удобрения
7. РК (внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)		
8. NPK + микроудобрения (внесены в подпахотный горизонт)		

* $A_{\text{пах}}$ представлен пахотной суглинистой дерново-подзолистой почвой.

$A_2V_{\text{сугл}}$ представлен подпахотной суглинистой дерново-подзолистой почвой.

ОПЫТЫ 2 и 4		
1. Без удобрений		$A_{\text{пах}}^*$ Вносятся удобрения
2. РК (внесены в пахотный горизонт)		$A_2V_{\text{суп}}$ Удобрения не вносятся
3. NPK (внесены в пахотный горизонт)		
4. NPK + микроудобрения (внесены в пахотный горизонт)		$A_{\text{пах}}$ Удобрения не вносятся
5. РК (внесены в подпахотный горизонт)		
6. NPK (внесены в подпахотный горизонт)		$A_2V_{\text{суп}}$ Вносятся удобрения
7. РК (внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)		
8. NPK + микроудобрения (внесены в подпахотный горизонт)		

* $A_{\text{пах}}$ представлен пахотной суглинистой дерново-подзолистой почвой.

$A_2V_{\text{суп}}$ представлен подпахотной супесчаной дерново-подзолистой почвой.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Влияние удобрений на урожай растений ячменя

1.1. Урожай растений. Опыт 1 и 3

Внесение минеральных удобрений под растения оказывало существенное влияние на урожай ячменя (табл. 2).

Таблица 2

Масса растений ячменя, г/сосуд

№	Вариант опыта	Часть растения	2010 год	2011 год	Средний урожай	Урожай за 2 года
1	Без удобрений	Зерно	2,3	3,0	2,7	8,4
		Солома	5,8	5,7	5,8	
		Сумма	8,1	8,7		
2	РК (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	3,5	4,2	3,9	11,6
		Солома	7,1	8,3	7,7	
		Сумма	10,6	12,5		
3	НРК (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	9,4	7,6	8,5	25,2
		Солома	18,3	15,0	16,7	
		Сумма	27,7	22,6		
4	НРК + микроудобрения (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	9,6	7,6	8,6	26,0
		Солома	19,9	14,9	17,4	
		Сумма	29,5	22,5		
5	РК (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	3,9	5,2	4,6	12,2
		Солома	7,2	8,0	7,6	
		Сумма	11,1	13,2		
6	НРК (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	7,5	6,9	7,2	21,7
		Солома	14,9	14,1	14,5	
		Сумма	22,4	21,0		
7	РК (внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)	Зерно	8,7	7,1	7,9	23,8
		Солома	16,9	14,9	15,9	
		Сумма	25,6	22,0		
8	НРК + микроудобрения (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	6,0	7,6	6,8	22,0
		Солома	15,5	14,9	15,2	
		Сумма	21,5	22,5		
	НСР _{0,5}	Зерно	2,6	1,1		
		Солома	2,3	1,7		

Наименьшая величина урожая, как и предполагалось, получена на варианте без удобрений. Внесение фосфорного и калийного удобрений в дозе по 120 мг/100г почвы на разную глубину почвенного профиля увеличило выход зерна и соломы, причем незначительное увеличение урожая ячменя наблюдалось в варианте с внесением фосфорного и калийного удобрения в подпахотный горизонт. В вариантах с внесением NPK в разные горизонты почвы урожайность выше при внесении в пахотный горизонт, что обуславливается, по-видимому, наличием азота удобрений в начальный период роста ячменя, когда корень растения еще слабо развит и не может использовать азот почвы. Это подтверждают полученные данные об урожайности в варианте при внесении азотного удобрения в пахотный горизонт, а фосфорного и калийного удобрений в подпахотный. Значения урожая в данном варианте приближаются к таковым в варианте NPK внесенных в пахотный горизонт. В вариантах, где помимо азотного, фосфорного и калийного удобрений вносили еще и микроэлементы, урожайность соломы ячменя выше, чем в аналогичных вариантах без внесения микроэлементов. Урожайность зерна ячменя в данных вариантах практически не изменялась.

Таким образом, согласно данным вегетационных опытов, проведенных на суглинистой дерново-подзолистой почве, усвояемость растениями ячменя элементов минерального питания, внесенных в пахотный слой выше, чем внесенных в нижележащий слой. Так, на варианте NPK эффективность удобрений, внесенных в пахотный горизонт на 14% выше, чем внесенных в подпахотный, на варианте с применением микроэлементов эффективность пахотного горизонта выше подпахотного на 15,4%.

1.2. Урожай растений. Опыт 2 и 4

По результатам вегетационных опытов, заложенных на дерново-подзолистой почве, где пахотный горизонт был представлен суглинистой, а подпахотный – супесчаной почвой, усвояемость растениями элементов минерального питания, внесенных в пахотный слой выше нижележащего.

Приведенные в таблице 3 величины урожая ячменя показывают, что внесение минеральных удобрений под растения оказывало существенное влияние на урожай ячменя. В данном опыте наименьший урожай был получен на контрольном варианте. Применение фосфорных и калийных удобрений увеличивали выход зерна и соломы ячменя. Азотные удобрения, как и в данных, полученных в первом блоке схемы опыта, благоприятно сказываются на росте растений, значительно повышая урожай. Использование микроэлементов усиливало эффективность азотного, фосфорного и калийного удобрений и соответственно увеличивало урожай растений.

Таблица 3

Масса растений ячменя, г/сосуд

№	Вариант опыта	Часть растения	2010 год	2011 год	Средний урожай	Урожай за 2 года
1	Без удобрений	Зерно	3,1	3,7	3,3	11,7
		Солома	9,1	7,6	8,4	
		Сумма	12,2	11,0		
2	РК (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	6,3	5,3	5,8	17,3
		Солома	12,0	11,0	11,5	
		Сумма	18,3	16,3		
3	NPK (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	8,6	8,9	8,8	29,4
		Солома	23,0	18,1	20,6	
		Сумма	31,6	27,0		
4	NPK + микроудобрения (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	10,2	8,4	9,3	30,9
		Солома	24,8	18,4	21,6	
		Сумма	35,0	26,8		
5	РК (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	4,8	6,1	5,5	16,8
		Солома	11,7	10,9	11,3	
		Сумма	16,5	17,0		
6	NPK (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	4,5	8,2	6,4	24,3
		Солома	19,8	15,9	17,9	
		Сумма	24,3	24,1		
7	РК (внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)	Зерно	10,0	8,3	9,2	28,0
		Солома	21,2	16,3	18,8	
		Сумма	31,2	24,6		
8	NPK + микроудобрения (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	9,5	9,8	9,7	27,9
		Солома	19,1	17,2	18,2	
		Сумма	28,6	27,0		
	НСР _{0,5}	Зерно	2,6	2,0		
		Солома	2,8	3,3		

Таким образом, внесение элементов минерального питания в разные горизонты дерново-подзолистой почвы влияет на урожайность ячменя. Высокие урожаи ячменя были получены в вариантах с внесением азотного, фосфорного и калийного удобрений в пахотный горизонт (25,2 г/сосуд в опытах с использованием суглинистой почвы и 29,4 г/сосуд в опытах с использованием суглинистой и супесчаной почв), а также в вариантах, где азотные удобрения вносились в пахотный горизонт, а фосфорные и калийные в подпахотный (23,8 мг/сосуд и 28,0 мг/сосуд соответственно). Применение помимо азотных, фосфорных и ка-

лийных удобрений еще и микроэлементов увеличивало урожайность растений, где удобрения вносились в пахотных горизонтах (26,0 г/сосуд в опытах с использованием суглинистой почвы и 30,9 г/сосуд в опытах с использованием суглинистой и супесчаной почв), однако уменьшало выход зерна и соломы в подпахотных (22,0 г/сосуд и 27,9 г/сосуд соответственно).

На варианте NPK эффективность удобрений, внесенных в пахотный горизонт на 17% выше, чем внесенных в подпахотный, на варианте с применением микроэлементов эффективность пахотного горизонта выше подпахотного на 8%. При внесении РК урожайность ячменя по данным вегетационного опыта практически не изменялась.

Полученные данные показывают, что ячмень дает большую урожайность на вариантах с использованием супесчаной почвы в качестве подпахотного горизонта. Урожайность во втором и четвертом опытах выше урожайности в первом и третьем примерно на 20 %.

2. Влияние глубины внесения удобрений на вынос растениями ячменя элементов минерального питания

2.1. Вынос азота растениями ячменя. Опыт 1 и 3

Проведенный вегетационный опыт на дерново-подзолистой суглинистой почве подтвердил факт неодинакового использования растениями ячменя азота, находящегося на различной глубине (табл. 4).

Наибольший вынос азота был в вариантах с внесением NPK в пахотный горизонт, а также в варианте с внесением фосфорного и калийного удобрений в подпахотный горизонт, а азотного удобрения в пахотный. Однако в варианте внесения NPK в подпахотный горизонт вынос азота также значителен. Наименьший вынос азота на контроле, в вариантах с внесением РК на разную глубину вынос азота примерно одинаков.

В среднем за два года эффективность использования ячменем азотных удобрений выше в пахотном горизонте. В варианте NPK эффективность пахотного горизонта выше на 14 %, в варианте NPK + микроудобрения на 9,5 %. Эффективность азотных удобрений снижается при внесении удобрений в подпахотный горизонт на 14,5 – 24 % (в 1 опыте) и на 14% (в 3 опыте).

Минеральный нитратный азот легко перемещается по профилю, поэтому растения ячменя хорошо используют азот из подпахотных горизонтов почвы. О высоком использовании свидетельствуют коэффициенты использования азота из удобрений (табл. 5).

Таблица 4

Средний вынос азота растениями ячменя, мг/сосуд

№	Вариант опыта	Часть растения	2010 год	2011 год	Средний вынос	Вынос зерном и соломой
1	Без удобрений	Зерно	70	53	62	115
		Солома	65	42	53	
		Сумма	135	95		
2	РК (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	95	68	81	139
		Солома	69	47	58	
		Сумма	164	115		
3	NPK (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	285	282	284	535
		Солома	301	202	251	
		Сумма	586	484		
4	NPK + микроудобрения (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	300	273	287	529
		Солома	302	183	242	
		Сумма	602	456		
5	РК (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	115	103	109	161
		Солома	60	44	52	
		Сумма	175	147		
6	NPK (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	251	234	243	460
		Солома	250	184	217	
		Сумма	501	418		
7	РК (внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)	Зерно	281	245	263	522
		Солома	293	225	259	
		Сумма	574	470		
8	NPK + микроудобрения (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	210	287	249	479
		Солома	247	213	230	
		Сумма	457	500		
	НСР _{0,5}	Зерно	17,9	6,5		
		Солома	14,2	13,2		

Согласно полученным данным, растения ячменя использовали 47 – 49 % азота из удобрений, внесенных в пахотный горизонт и 36 - 38 % азота из удобрений, внесенных в подпахотный горизонт.

**Коэффициенты использования ячменем азота из удобрений
(в среднем за 2 года), %**

№	Вариант опыта	КИУ	
		Опыты 1 и 3	Опыты 2 и 4
1	Без удобрений	0	0
2	РК (внесены в пахотный горизонт)	0	0
3	НРК (внесены в пахотный горизонт)	49	49
4	НРК + микроудобрения (внесены в пахотный горизонт)	48	52
5	РК (внесены в подпахотный горизонт)	0	0
6	НРК (внесены в подпахотный горизонт)	36	34
7	РК (внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)	47	44
8	НРК + микроудобрения (внесены в подпахотный горизонт)	38	38

2.2. Вынос азота растениями ячменя. Опыт 2 и 4

Неодинаковое использование азота, внесенного в разные слои почвенного профиля, растениями ячменя было подтверждено и результатами вегетационного опыта, где пахотный горизонт был представлен суглинистой дерново-подзолистой почвой, а подпахотный – супесчаной дерново-подзолистой почвой (табл. 6).

В опытах с использованием супесчаной почвы в качестве подпахотного горизонта, а суглинистой в качестве пахотного наибольший вынос азота наблюдался в вариантах с внесением азотного удобрения в пахотный горизонт. Значительный вынос азота наблюдался в варианте с внесением азотного удобрения в пахотный горизонт, а фосфорного и калийного в подпахотный, что обуславливается наличием азота удобрения в начальный период роста ячменя, когда корень растения еще слабо развит и не может использовать азот почвы. Внесение азотного удобрения в подпахотный горизонт увеличивало, правда не столь существенно, вынос данного элемента. Без применения азотного удобрения вынос наименьший.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что внесение азотного удобрения в подпахотные горизонты менее эффективно, чем в пахотные. Эффективность азотных удобрений снижается в подпахотном горизонте на 23-29% (во 2 опыте), 19% (в 4 опыте). В варианте НРК эффективность пахотного горизонта выше на 25 %, в варианте НРК + микроудобрения на 12,6 %.

Средний вынос азота растениями ячменя, мг/сосуд

№	Вариант опыта	Часть растения	2010 год	2011 год	Средний вынос	Вынос зерном и соломой
1	Без удобрений	Зерно	92	122	107	227
		Солома	111	128	120	
		Сумма	203	250		
2	РК (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	161	166	164	299
		Солома	120	150	135	
		Сумма	281	316		
3	NPK (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	270	334	302	708
		Солома	430	309	370	
		Сумма	700	643		
4	NPK + микроудобрения (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	322	304	313	697
		Солома	463	305	384	
		Сумма	785	609		
5	РК (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	137	196	167	302
		Солома	147	122	135	
		Сумма	284	318		
6	NPK (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	110	276	193	531
		Солома	429	247	338	
		Сумма	539	523		
7	РК (внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)	Зерно	315	322	319	634
		Солома	367	262	315	
		Сумма	682	584		
8	NPK + микроудобрения (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	259	378	319	609
		Солома	295	285	290	
		Сумма	554	663		
	НСР _{0,5}	Зерно	18,6	14,5		
		Солома	11,8	16,4		

Однако растения ячменя хорошо используют азот из подпахотных горизонтов почвы (табл. 5).

Итак, согласно полученным данным, растения ячменя использовали 44 – 52% азота из удобрений, внесенных в пахотный горизонт и 34 – 38% азота из удобрений, внесенных в подпахотный горизонт.

2.3. Вынос фосфора растениями ячменя. Опыт 1 и 3

Результаты исследований показали, что внесённый в разные слои почвенного профиля суглинистой дерново-подзолистой почвы фосфор удобрений неодинаково используется растениями ячменя (табл. 7).

Таблица 7

Средний вынос фосфора растениями ячменя, мг/сосуд

№	Вариант опыта	Часть растения	2010 год	2011 год	Средний вынос	Вынос зерном и соломой
1	Без удобрений	Зерно	23	32	27	41
		Солома	15	12	14	
		Сумма	38	44		
2	РК (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	39	39	39	59
		Солома	29	11	20	
		Сумма	68	50		
3	NPK (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	86	59	73	102
		Солома	32	25	29	
		Сумма	118	84		
4	NPK + микроудобрения (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	73	63	68	111
		Солома	59	26	43	
		Сумма	132	89		
5	РК (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	39	48	44	61
		Солома	17	16	17	
		Сумма	56	64		
6	NPK (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	68	56	62	90
		Солома	27	28	28	
		Сумма	95	84		
7	РК (внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)	Зерно	66	62	64	97
		Солома	28	38	33	
		Сумма	94	100		
8	NPK + микроудобрения (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	44	68	56	99
		Солома	48	38	43	
		Сумма	92	106		
	НСР _{0,5}	Зерно	7,1	3,6		
		Солома	5,1	3,2		

В 2010 году наибольший вынос фосфора был в вариантах с внесением NPK и NPK с микроудобрениями в пахотный слой. Меньший вынос фосфора растениями, однако, также значительный, наблюдался при внесении удобрений

в подпахотный слой. В вариантах с внесением азотных, фосфорных и калийных удобрений он составлял 95 мг/сосуд, в вариантах с внесением фосфорных и калийных удобрений в подпахотный горизонт, а азотных в пахотный – 94 мг/сосуд.

В 2011 году внесение совместно с основными удобрениями в подпахотный горизонт микроэлементов усиливало эффективность азотного, фосфорного и калийного удобрений и соответственно увеличивало вынос фосфора. Согласно полученным данным, внесение азотного удобрения в пахотный горизонт, а фосфорного и калийного в подпахотный увеличивает вынос растениями ячменя фосфора. Вынос фосфора в вариантах, где азотные, фосфорные и калийные удобрения вносились в пахотный и подпахотный горизонты, практически не изменялся. Таким образом, полученные данные показывают, что растения в условиях вегетационного опыта используют фосфор подпахотных горизонтов слабее, чем из пахотных горизонтов.

Эффективность использования фосфора из пахотных горизонтов на 11,8% выше в варианте NPK, в варианте NPK + микроудобрения на 10,8%. Однако фосфор из подпахотных слоев используется. Коэффициенты использования его из удобрений в подпахотных горизонтах, приближаются к таковым в пахотных (табл. 8).

Таблица 8

Коэффициенты использования ячменем фосфора из удобрений
(в среднем за 2 года), %

№	Вариант опыта	КИУ	
		Опыты 1 и 3	Опыты 2 и 4
1	Без удобрений	0	0
2	PK (внесены в пахотный горизонт)	3	4
3	NPK (внесены в пахотный горизонт)	8	9
4	NPK + микроудобрения (внесены в пахотный горизонт)	8	11
5	PK (внесены в подпахотный горизонт)	2	3
6	NPK (внесены в подпахотный горизонт)	5	6
7	PK (внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)	6	7
8	NPK + микроудобрения (внесены в подпахотный горизонт)	7	7

2.4. Вынос фосфора растениями ячменя. Опыт 2 и 4

По результатам вегетационных опытов усвояемость растениями ячменя фосфора подпахотных горизонтов дерново-подзолистых почв ниже, чем пахотных горизонтов (табл. 8, 9).

Таблица 9

Средний вынос фосфора растениями ячменя, мг/сосуд

№	Вариант опыта	Часть растения	2010 год	2011 год	Средний вынос	Вынос зерном и соломой
1	Без удобрений	Зерно	34	32	33	53
		Солома	20	20	20	
		Сумма	54	52		
2	РК (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	64	55	60	85
		Солома	26	24	25	
		Сумма	90	79		
3	NPK (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	76	81	79	128
		Солома	60	38	49	
		Сумма	136	119		
4	NPK + микроудобрения (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	93	84	89	140
		Солома	67	34	51	
		Сумма	160	118		
5	РК (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	46	66	56	77
		Солома	26	16	21	
		Сумма	72	82		
6	NPK(внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	33	80	57	106
		Солома	75	23	49	
		Сумма	108	103		
7	РК (внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)	Зерно	73	93	83	118
		Солома	45	24	35	
		Сумма	118	117		
8	NPK + микроудобрения (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	71	81	76	116
		Солома	43	37	40	
		Сумма	114	118		
	НСР _{0,5}	Зерно	8	5,3		
		Солома	7,4	4		

Наименьший вынос фосфора наблюдался на контрольном варианте, а также в вариантах с внесением только фосфорных и калийных удобрений. Наибольший вынос фосфора наблюдался в вариантах с внесением удобрений

в пахотный горизонт (136 мг/сосуд и 119 мг/сосуд в варианте NPK, 160 мг/сосуд и 118 мг/сосуд в варианте NPK + микроэлементы). Внесение фосфорных удобрений в подпахотный горизонт уменьшало вынос данного элемента (114 мг/сосуд и 118 мг/сосуд в варианте NPK + микроэлементы; 108 мг/сосуд и 103 мг/сосуд в варианте NPK). Полученные данные показывают, что растения используют фосфор подпахотных горизонтов слабее, чем пахотных (табл. 8).

Согласно полученным данным, растения ячменя использовали 4 - 11 % фосфора из удобрений, внесенных в пахотный горизонт и 3 - 7 % фосфора из удобрений, внесенных в подпахотный горизонт.

Эффективность использования фосфора из пахотных горизонтов на 17,2 % выше в варианте NPK, в варианте РК на 9,4 %, в варианте NPK + микроудобрения на 17,1 %.

2.5. Вынос калия растениями ячменя. Опыт 1 и 3

В условиях вегетационных опытов растения ячменя хорошо усваивают обменный калий подпахотных горизонтов (табл. 10, 11).

Таблица 10

Коэффициенты использования ячменем калия из удобрений
(в среднем за 2 года), %

№	Вариант опыта	КИУ	
		Опыты 1 и 3	Опыты 2 и 4
1	Без удобрений	0	0
2	РК (внесены в пахотный горизонт)	8	9
3	NPK (внесены в пахотный горизонт)	20	19
4	NPK + микроудобрения(внесены в пахотный горизонт)	21	24
5	РК(внесение в подпахотный горизонт)	5	6
6	NPK(внесены в подпахотный горизонт)	15	14
7	РК(внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)	18	18
8	NPK + микроудобрения(внесены в подпахотный горизонт)	15	15

Общий вынос калия ячменем в 2010 году был в пределах 49 мг – 277 мг на сосуд, в 2011 году - 69 мг – 197 мг на сосуд. Наибольший вынос калия был отмечен для вариантов с внесением азотного, фосфорного и калийного удобрений, а также микроэлементов, в пахотный слой почвы (197 мг/сосуд, 194 мг/сосуд; 246 мг/сосуд, 277 мг/сосуд). В целом, растения практически хорошо усваивали обменный калий как пахотных, так и подпахотных горизонтов почв.

Таблица 11

Средний вынос калия растениями ячменя, мг/сосуд

№	Вариант опыта	Часть растения	2010 год	2011 год	Средний вынос	Вынос зерном и соломой
1	Без удобрений	Зерно	5	6	6	60
		Солома	44	63	54	
		Сумма	49	69		
2	РК (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	8	9	9	122
		Солома	99	127	113	
		Сумма	107	136		
3	NPK (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	19	18	19	222
		Солома	227	179	203	
		Сумма	246	197		
4	NPK + микроудобрения (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	18	14	16	236
		Солома	259	180	220	
		Сумма	277	194		
5	РК (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	7	14	11	101
		Солома	79	100	90	
		Сумма	86	114		
6	NPK (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	17	16	17	189
		Солома	179	165	172	
		Сумма	196	181		
7	РК (внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)	Зерно	17	15	16	216
		Солома	248	151	200	
		Сумма	265	166		
8	NPK + микроудобрения (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	11	20	16	193
		Солома	191	162	177	
		Сумма	202	182		
НСР _{0,5}		Зерно	2,7	1,0		
		Солома	14,4	9,1		

На основании полученных данных можно сделать вывод, что внесение калийного удобрения в подпахотные горизонты менее эффективно, чем в пахотные. Эффективность калийных удобрений повышается в пахотном горизонте в варианте РК на 17,2 %, в варианте NPK на 14,9 %, в варианте NPK + микроудобрения на 18,2 %. По результатам опыта растения ячменя использовали 8 – 21 % калия из удобрений, внесенных в пахотный горизонт и 5 – 18 % калия из удобрений, внесенных в подпахотный горизонт.

2.6. Вынос калия растениями ячменя. Опыт 2 и 4

Таблица 12

Средний вынос калия растениями ячменя, мг/сосуд

№	Вариант опыта	Часть растения	2010 год	2011 год	Средний вынос	Вынос зерном и соломой
1	Без удобрений	Зерно	7	9	8	66
		Солома	87	28	58	
		Сумма	94	37		
2	РК (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	16	14	15	141
		Солома	143	108	126	
		Сумма	159	122		
3	НРК (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	14	27	21	221
		Солома	290	109	200	
		Сумма	304	136		
4	НРК + микроудобрения (внесены в пахотный горизонт)	Зерно	19	19	19	270
		Солома	379	122	251	
		Сумма	398	141		
5	РК (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	11	16	14	119
		Солома	128	81	105	
		Сумма	139	97		
6	НРК (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	7	21	14	191
		Солома	239	115	177	
		Сумма	246	136		
7	РК (внесены в подпахотный горизонт) + N (внесен в пахотный горизонт)	Зерно	19	17	18	228
		Солома	309	111	210	
		Сумма	328	128		
8	НРК + микроудобрения (внесены в подпахотный горизонт)	Зерно	18	20	19	198
		Солома	237	120	179	
		Сумма	255	140		
	НСР _{0,5}	Зерно	3,8	2,8		
		Солома	15,9	9,9		

При внесении удобрений в разные слои дерново-подзолистой почвы, где пахотный горизонт был представлен суглинистой, а подпахотный супесчаными почвами, также наблюдалось неодинаковое использование калия растениями ячменя.

Общий вынос калия ячменем был в пределах в 2010 году 94 - 398 мг на сосуд, в 2011 году - 37 – 141 мг на сосуд (табл. 12). Наименьший вынос калий был на контроле (37 мг/сосуд и 94 мг/сосуд). Наибольший вынос калия был в вариантах с внесением азотного удобрения в пахотный горизонт (136 мг/сосуд и 304 мг/сосуд в варианте NPK; 128 мг/сосуд и 328 мг/сосуд в варианте с внесением PK в подпахотный горизонт, N в пахотный горизонт; 141 мг/сосуд и 398 мг/сосуд в варианте NPK + микроэлементы), что, по-видимому, обусловлено развитием более мощной корневой системы у растений. В целом растения ячменя хорошо усваивали как калий, внесенный в пахотный горизонт, так и калий, внесенный в подпахотный слой почвы.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что внесение калийного удобрения в подпахотные горизонты менее эффективно, чем в пахотные. Эффективность калийных удобрений снижается в подпахотном горизонте) в варианте PK на 15,6 %, в варианте NPK на 13,6 %, в варианте NPK + микроудобрения на 26,7 %. Однако растения ячменя хорошо используют калий из подпахотных горизонтов почвы (табл. 10).

По результатам опыта растения ячменя использовали 9 – 24% калия из удобрений, внесенных в пахотный горизонт и 6 – 18% калия из удобрений, внесенных в подпахотный горизонт.

ВЫВОДЫ

1. Внесение в различные горизонты почвы элементов минерального питания позволяет определить размер и динамику их использования ячменем из различных слоев дерново-подзолистой почвы.

2. В опытах, проведенных на дерново-подзолистой суглинистой почве, коэффициенты использования ячменем минерального азота из удобрений составляли в вариантах с внесением удобрений в пахотный слой 47 – 49%, в вариантах с внесением в подпахотный слой 36 – 38%; минерального фосфора - в вариантах с внесением удобрений в пахотный слой 3 – 8%, в подпахотный слой 2 – 7%; калия - в вариантах с внесением удобрений в пахотный слой 8 – 21%, в подпахотный слой 5 – 18%.

3. В опытах с дерново-подзолистой почвой, где пахотный горизонт был представлен суглинистой почвой, а подпахотный супесчаной, коэффициенты использования ячменем минерального азота из удобрений составляли в вариантах с внесением удобрений в пахотный слой 44 – 52%, в вариантах с внесением в подпахотный слой 34 – 38%; минерального фосфора - в вариантах с внесением удобрений в пахотный слой 4 – 11%, в подпахотный слой 3 – 7%; калия - в вариантах с внесением удобрений в пахотный слой 9 – 24%, в подпахотный слой 6 – 18%.

4. Коэффициенты использования азота удобрений, внесенных как в пахотный, так и в подпахотный горизонт почвы были довольно высокие. Это указывает на то, что азот минеральных соединений и подпахотных слоев интенсивно усваивается растениями в процессе их роста и развития.

5. Высокие коэффициенты использования азота удобрений из подпахотного слоя свидетельствуют о том, что проводить почвенную диагностику только по содержанию минерального азота в пахотном горизонте почвы недостаточно, необходимо также учитывать азот подпахотных слоев почвы.

6. Ячмень использует фосфор преимущественно из пахотного слоя почвы. С увеличением глубины внесения удобрений вынос фосфора урожаем и коэффициенты его использования снижаются.

7. Усвояемость растениями ячменя фосфора подпахотных горизонтов значительно ниже, чем пахотных. Установлено, что эффективность использования фосфора культурой из пахотного слоя на 10,8-11,8% выше на суглинистой дерново-подзолистой почве и на 9,4–17,2% на дерново-подзолистой почве, где пахотный слой представлен суглинистой почвой, а подпахотный супесчаной.

8. В условиях вегетационных опытов растения ячменя хорошо усваивают обменный калий подпахотных горизонтов. Однако все же эффективность использования калия из пахотных горизонтов выше: в варианте с внесением фосфорных и калийных удобрений в разные слои почвы на 15,6 - 17,2%, в варианте с внесением азотных, фосфорных и калийных удобрений - на 13,6 - 14,9%, в варианте с применением микроудобрений - на 18,2 – 26,7%.

9. Результаты исследований показали, что урожайность ячменя была более высокая на вариантах с использованием супесчаной почвы в качестве подпахотного горизонта, что связано, по-видимому, с улучшением водно-воздушного режима почвы. Урожайность растений ячменя в блоке с использованием суглинистой и супесчаной почвы выше на 20% урожайности в аналогичном блоке только с использованием одной суглинистой почвы.

10. Установленные закономерности использования растениями элементов минерального питания из разных слоев дерново-подзолистой почвы свидетельствуют о необходимости дифференцированного учета его содержания и доступности сельскохозяйственным культурам при почвенной диагностике питания растений.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Результаты опытов могут быть использованы для разработки путей наиболее рационального применения удобрений с учетом биологических осо-

бенностей растений, а также мероприятий, направленных на повышение почвенного плодородия и охрану окружающей среды.

2. При расчете доз и применении удобрений необходимо учитывать запасы и доступность подвижных питательных веществ не только из пахотного, но и подпахотного горизонтов.

Список опубликованных работ по теме диссертации

По теме диссертации опубликовано две научные работы в журналах рекомендованных ВАК:

1. Малахова Ю.Е., Кидин В.В. Доступность ячменю элементов минерального питания из разных горизонтов дерново-подзолистой почвы // Плодородие. – 2012. - № 4. - С. 28-30.
2. Кидин В.В., Малахова Ю.Е. Использование ячменем элементов питания из разных слоев дерново-подзолистой почвы // Агрохимический вестник. – 2012. - №. 6. – С. 16 – 17.