

ДОСТУПНОСТЬ РАСТЕНИЯМ ЯЧМЕНЯ И ОВСА ФОСФОРА И КАЛИЯ ИЗ ПОДПАХОТНЫХ ГОРИЗОНТОВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

В.В. Кидин, К.Ю. Бельдяева, РГАУ-МСХА

В условиях вегетационных опытов определены коэффициенты использования фосфора и калия из различных горизонтов дерново-подзолистых почв и вынос этих элементов с биомассой растений овса и ячменя. На основании этих данных установлено, что доступность фосфора и калия из подпахотных горизонтов по сравнению с пахотным имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при разработке приемов рационального использования удобрений с учетом биологических особенностей культур, при проведении мероприятий по повышению плодородия почв.

Ключевые слова: фосфор, калий, ячмень, овес, коэффициент использования, подпахотные горизонты, дерново-подзолистая почва.

Обеспечение сельскохозяйственных культур фосфором и калием в необходимых количествах - важное условие получения высоких урожаев, а в современном положении, когда сократилось применение удобрений, почвенные ресурсы фосфора и калия играют решающую роль в снабжении растений этими элементами.

Условно можно выделить два источника питательных веществ почвы для растений: пахотный слой и подпахотные горизонты. Такое разделение единого процесса поглощения питательных веществ растениями основано только на разной степени изученности процессов использования растениями питательных веществ пахотного слоя и подпахотных горизонтов [3].

Роль подпахотных горизонтов в обеспечении растений фосфором и калием на протяжении долгих лет изучали многие видные ученые: К.К. Гедройц, Д.Н. Прянишников, А.Т. Кирсанов, Б.А. Ганжа, Х.А. Кярблане, А.А. Малеина, Е.А. Бабакишиева, В.В. Кидин, В.И. Кобзаренко[2, 4], Ю.Е. Гусева [1] и др.

Но, несмотря на почти столетнюю историю проведенных исследований в этой области ученые еще не пришли к единому мнению. В настоящее время почвенную диагностику минерального питания сельскохозяйственных культур проводят в основном только по содержанию фосфора и калия в пахотном горизонте.

Цель исследований - оценить вклад в урожай ячменя и овса элементов питания из подпахотных горизонтов.

Методика. Исследования проводили в условиях вегетационных опытов в 2010–2011 гг. Объектами исследований являлись почвенные горизонты $A_{\text{пах}}$, A_1A_2 , В

дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности, отобранные на территории Долгопрудной агрохимической опытной станции (Московская обл.) и зерновые культуры – ячмень и овес. Сосуды набивали почвенными горизонтами $A_{\text{пах}}$, A_1A_2 , В согласно схеме опыта по 5,5 кг почвы в каждом. Доступность фосфора почвы изучали по фону НК; калия – NP, для сравнения использовали вариант NPK (дозы NPK по 0,1 г на 1 кг почвы).

Почвенные горизонты, использованной в 2010 г. слабоокультуренной дерново-подзолистой почвы (ДП-1), характеризовались сильнокислой реакцией среды (pH_{KCl} 3,8-4,1), низким содержанием подвижных форм фосфора по Кирсанову (45-50 мг/кг почвы) и калия (50-88 мг/кг почвы); Нг 3,5-4,7 мг-экв/100 г почвы.

В 2011 г. использовали среднеокультуренную дерново-подзолистую почву (ДП-2), которая характеризовалась среднекислой реакцией среды пахотного горизонта (pH_{KCl} 3,8-4,6); средним содержанием подвижных форм фосфора по Кирсанову (58-106 мг/кг почвы) и калия (73-90 мг/кг почвы); Нг 3,7-4,4 мг-экв/100 г почвы (табл. 1).

1. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой почвы

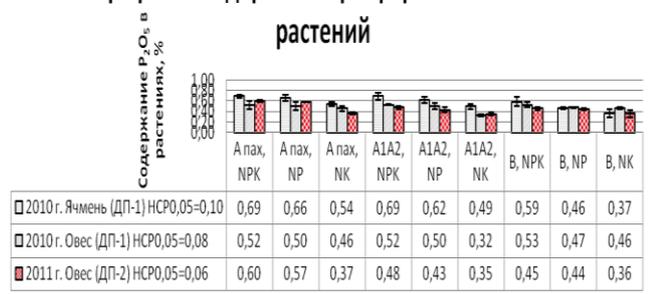
Горизонт почвы	Гумус, %	pH_{KCl}	Нг	S	P_2O_5	K_2O
			мг-экв/100 г почвы	мг/кг		
<i>Дерново-подзолистая слабоокультуренная почва (ДП-1), 2010 г.</i>						
$A_{\text{пах}}$	1,53	4,06	4,7	6,5	50	73
A_1A_2	1,37	3,95	5,3	5,7	42	50
В	1,04	3,79	3,5	7,6	45	88
<i>Дерново-подзолистая среднеокультуренная почва (ДП-2), 2011 г.</i>						
$A_{\text{пах}}$	1,57	4,60	4,2	6,6	106	90
A_1A_2	1,24	4,25	4,4	7,1	58	90
В	0,90	3,80	3,7	7,7	72	73

Учёт урожая проводили в фазе начала молочной спелости зерна, в растениях определяли содержание фосфора по методу Малюгина-Хреновой на КФК-2, калий-пламенно-

фотометрическим методом после мокрого озоления по К.Е. Гинзбург.

Результаты и их обсуждение. Содержание фосфора в биомассе растений ячменя в 2010 г. изменялось от 0,37 до 0,69 % (рис. 1).

График 1. Содержание фосфора в биомассе растений



Наибольшее содержание фосфора отмечено в ячмене, произраставшем на горизонтах А_{пах.} и А_{1А2.} варианта NPK, и составило 0,69 %. Это свидетельствует о сходных условиях минерального питания растений в горизонтах А_{пах.} и А_{1А2.} Содержание фосфора в растениях ячменя в горизонте В в варианте NPK снизилось по сравнению с другими горизонтами на 0,10 % и составило 0,59 %. В вариантах NP горизонтов А_{пах.}, А_{1А2.} содержание фосфора в растениях ячменя снизилось незначительно (на 0,03-0,07 %) по сравнению с вариантами NPK. В горизонте В варианта NP содержание фосфора в растениях уменьшилось существенно (на 0,13 %) по сравнению с вариантом NPK этого же горизонта и было равно 0,46 %. Наименьшее содержание фосфора отмечено в вариантах без внесения фосфорных удобрений (NK): в горизонте А_{пах.} – 0,54 % (на 0,15 % ниже, чем в NPK); А_{1А2.} – 0,49 % (на 0,20 % ниже, чем в NPK); В – 0,37 % (на 0,22 % ниже, чем в NPK).

Содержание фосфора в биомассе растений овса в 2010 г. колебалось от 0,32 до 0,53 %. Наибольшее содержание этого элемента отмечено в варианте NPK всех трех исследуемых горизонтов - А_{пах.}, А_{1А2.} и В и равно 0,53-0,52 %. В варианте NP содержание фосфора несколько уменьшилось по сравнению с вариантом NPK, но незначительно: на 0,02 % в горизонтах А_{пах.}, А_{1А2.}, на 0,06 % в горизонте В. Наименьшее содержание фосфора в растениях овса было в варианте NK без внесения фосфорных удобрений. В горизонте А_{1А2.} содержание фосфора в растениях составило 0,32 %, что связано, скорее всего, со снижением содержания подвижного фосфора в этом почвенном горизонте до 42 мг/кг P₂O₅; в горизонтах А_{пах.} и В – 0,46 %. В подпахотном горизонте В содержание фосфора в растениях овса по фону NK было незначительно выше (на 0,09 %) по сравнению с растениями ячменя этого же варианта. Это связано, возможно, со способностью растений овса развивать мощную корневую систему, которая хорошо усваивает подвижные фосфаты даже из подпахотных горизонтов почвы.

Содержание фосфора в растениях овса в 2011 г. варьировало от 0,35 до 0,60 %. Наибольшее содержание исследуемого элемента отмечено в горизонте А_{пах.} варианта NPK – 0,60 %. В подпахотных горизонтах наблюдалось

существенное снижение содержания фосфора в растениях овса в горизонте А_{1А2.} варианта NPK – 0,48 % (на 0,12 % ниже, чем в горизонте А_{пах.} варианта NPK), в горизонте В варианта NPK – 0,45 % (на 0,15 % ниже показаний горизонта А_{пах.} NPK). Незначительно снизилось содержание фосфора в растениях овса в горизонте А_{пах.} варианта NP – 0,57 %. В горизонте А_{1А2.} варианта NP уменьшение содержания фосфора в растениях тоже было незначительным – до 0,43 %. Такая же тенденция наблюдалась и в горизонте В: незначительное (на 0,01 %) снижение содержания фосфора по сравнению с вариантом NPK. Таким образом, недостаток калия в этом варианте не оказывал отрицательного влияния на растения овса и на потребление ими фосфора, как в пахотном, так и в подпахотных горизонтах.

Доступность растениям фосфора из почвы определялась по фону NK без внесения фосфорных удобрений. Общий вынос растениями ячменя фосфора из почвы по фону NK в 2010 г. колебался от 13,3 до 23,6 мг/сосуд (табл. 2).

2. Вынос фосфора растениями

Горизонт почвы	Содержание P ₂ O ₅ , %	Урожай, г/сосуд	Вынос P ₂ O ₅		P ₂ O ₅ в почве, мг/кг	Использование P ₂ O ₅ из почвы, %
			мг/сосуд	мг/кг		
<i>Ячмень (ДП-1), 2010 г.</i>						
А _{пах.}	0,54	4,4	23,6	4,3	50	8,6
А _{1А2.}	0,49	3,6	17,8	3,2	42	7,7
В	0,37	3,6	13,3	2,4	45	5,4
<i>Овес (ДП-1), 2010 г.</i>						
А _{пах.}	0,46	3,3	15,2	2,8	50	5,5
А _{1А2.}	0,32	2,8	9,0	1,6	42	3,9
В	0,46	3,6	16,6	3,0	45	6,7
<i>Овес (ДП-2), 2011 г.</i>						
А _{пах.}	0,37	6,5	24,1	4,4	106	4,1
А _{1А2.}	0,35	3,4	11,9	2,2	58	3,7
В	0,36	4,5	16,2	2,9	72	4,1

Наименьший вынос фосфора растениями ячменя наблюдался в горизонте В – 13,3 мг/сосуд, наибольший – в горизонте $A_{\text{пах}}$ – 23,6 мг/сосуд. Коэффициенты использования фосфора из почвы в горизонтах: $A_{\text{пах}}$ – 8,6 %, A_1A_2 – 7,7, В – 5,4 %. Таким образом, доступность растениям ячменя соединений фосфора из пахотного горизонта выше, чем из подпахотных горизонтов, что связано, скорее всего, с отрицательным воздействием на растения ячменя повышенной кислотности подпахотных горизонтов.

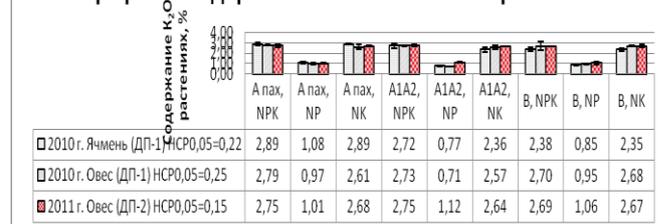
Вынос фосфора из почвы растениями овса по фону НК без внесения фосфорных удобрений в 2010 г. изменялся от 9,0 до 16,6 мг/сосуд. Причем меньше всего фосфора растения овса поглощали из горизонта A_1A_2 , что связано, скорее всего, со снижением содержания подвижного фосфора в этом почвенном горизонте. Наибольший вынос растениями овса фосфора отмечен из горизонта В – 16,6 мг/сосуд. Коэффициенты использования фосфора из почвы в горизонтах: $A_{\text{пах}}$ - 5,5 %, A_1A_2 - 3,9 и В - 6,7 %. Из представленных результатов видно, что растения овса хорошо поглощали фосфор как из пахотного, так и из подпахотного горизонта В, что свидетельствует о высокой поглощающей способности корневой системы данной культуры.

Вынос фосфора из почвы растениями овса по фону НК без внесения фосфорных удобрений в 2011 г. варьировал от 11,9 до 24,1 мг/сосуд. Наименьший вынос растениями овса фосфора отмечен из горизонта A_1A_2 – 11,9 мг/сосуд. Самый высокий вынос фосфора растениями овса из почвы наблюдался в горизонте $A_{\text{пах}}$ - 24,1 мг/сосуд. В горизонте В вынос фосфора снизился на 7,9 мг/сосуд по сравнению с таковым в горизонте $A_{\text{пах}}$ и составил 16,2 мг/сосуд, но был выше, чем в горизонте A_1A_2 . Данные по выносу фосфора хорошо коррелируют с содержанием подвижных его соединений в почвенных горизонтах, определенных по методу Кирсанова. В пахотном горизонте наибольшее содержание подвижного фосфора – наибольший вынос этого элемента растениями, в горизонте A_1A_2 снижается, уменьшается и вынос. В горизонте В увеличиваются содержание подвижного фосфора и вынос растениями этого элемента. Вынос фосфора растениями овса в 2011 г. выше, чем в 2010 г.

Таким образом, чем выше уровень окультуренности, тем лучше развиваются растения и больше потребляют фосфатов из почвы. Коэффициенты использования фосфора растениями овса из горизонтов $A_{\text{пах}}$ и В дерново-подзолистой среднеокультуренной почвы оказались одинаковыми и были равны 4,1 %, в горизонте A_1A_2 – 3,7 %. Отметим, что коэффициенты использования фосфора растениями овса из дерново-подзолистой среднеокультуренной почвы несколько ниже, чем коэффициенты использования фосфора из слабоокультуренной дерново-подзолистой почвы 2010 г. Следовательно, чем ниже уровень окультуренности почвы, тем эффективней растения используют потенциальные запасы питательных элементов из почвы.

Рассмотрим результаты по содержанию калия в исследуемых сельскохозяйственных культурах в 2010 и 2011 г. (рис. 2).

График 2. Содержание калия в биомассе растений



Содержание калия в растениях ячменя в 2010 г. изменялось от 0,77 до 2,89 %. Наибольшее содержание его в растениях ячменя отмечено в пахотном горизонте варианта НПК – 2,89 %. В горизонте A_1A_2 варианта НПК содержание калия в растениях незначительно снизилось – на 0,17 % по сравнению с горизонтом $A_{\text{пах}}$ и составило 2,72 %. В горизонте В варианта НПК содержание калия в растениях ячменя существенно снизилось – на 0,51 % по сравнению с горизонтом $A_{\text{пах}}$ и составило 2,38 %. Таким образом, несмотря на вносимые удобрения, содержание калия снижалось в растениях ячменя, произрастающих на подпахотных горизонтах. Содержание калия в растениях ячменя по вариантам НПК и НК в горизонте $A_{\text{пах}}$ было одинаковым – 2,89 %. Таким образом, недостаток фосфорных удобрений не сказывался на накоплении калия в растениях ячменя. Содержание калия в растениях ячменя в горизонте A_1A_2 по фону НК существенно снизилось – на 0,36 % по сравнению с вариантом НПК этого же горизонта и составило 2,36 %. Содержание калия в растениях ячменя в горизонте В по фону НК снизилось незначительно – на 0,03 % по сравнению с вариантом НПК этого же горизонта и было равно 2,35 %. Резко снижалось содержание калия по фону NP: в горизонте $A_{\text{пах}}$ – 1,08 %, в горизонте A_1A_2 – 0,77, в горизонте В – 0,85 %.

Содержание калия в растениях овса в 2010 г. варьировало от 0,71 до 2,79 %. Наибольшее содержание калия отмечено в растениях овса, произрастающих на пахотном горизонте варианте НПК – 2,79 %. Содержание калия в растениях овса незначительно снизилось и составило в горизонте A_1A_2 – 2,73 %, В – 2,70 %. По фону НК наблюдалось незначительное снижение содержания калия в растениях: в горизонте $A_{\text{пах}}$ до 2,61 % (на 0,18 % ниже, чем в НПК), в горизонте A_1A_2 до 2,57 (на 0,16 % ниже, чем в НПК), в горизонте В до 2,68 % (на 0,02 % ниже, чем в НПК). Наименьшее содержание калия в растениях овса в 2010 г. отмечено по фону NP: в горизонте $A_{\text{пах}}$ – 0,97 %, в горизонте A_1A_2 – 0,71, в горизонте В – 0,95 %.

Содержание калия в растениях овса в 2011 г. изменялось от 1,01 до 2,75 %. Наибольшее содержание калия отмечено по фону НПК: в горизонте $A_{\text{пах}}$, A_1A_2 – 2,75 %, в горизонте В – 2,69 %. Незначительное снижение в растениях калия по сравнению с вариантом НПК наблюдалось по фону НК: в горизонте $A_{\text{пах}}$ – 2,68 % (на 0,07 % ниже, чем в варианте НПК), в горизонте A_1A_2 – 2,64 (на 0,11 % меньше, чем в НПК), в горизонте В – 2,67 % (на 0,02 % меньше, чем в НПК).

Существенно снизилось содержание калия в растениях овса по фону NP без внесения калийных удобрений: в горизонте $A_{\text{пах}}$ – 1,01 % (на 1,74 % ниже, чем в варианте NPK), в горизонте A_1A_2 – 1,12 (на 1,63 % ниже, чем в NPK), в горизонте В – 1,06 % (на 1,63 % ниже, чем в NPK).

Содержание калия в растениях овса, произраставших на дерново-подзолистой среднекультуренной почве (ДП-2) было выше, чем в овсе, развивавшемся на дерново-подзолистой слабокультуренной почве (ДП-1). Особенно хорошо это прослеживается по фону NP: в горизонтах $A_{\text{пах}}$ разница составила 0,04%, A_1A_2 – 0,41, в В – 0,11 %.

Доступность калия почвы сельскохозяйственным культурам рассматривалась по фону NP без внесения калийных удобрений (табл. 3).

3. Вынос калия растениями

Горизонт почвы	Содержание K_2O , %	Урожай, г/сосуд	Вынос K_2O		K_2O в почве, мг/кг	Использование K_2O из почвы, %
			мг/сосуд	мг/кг		
<i>Ячмень (ДП-1), 2010 г.</i>						
$A_{\text{пах}}$	1,08	10,4	112,3	20,4	73	28,2
A_1A_2	0,77	7,9	60,8	11,1	50	22,1
В	0,85	7,3	62,1	11,3	88	12,9
<i>Овес (ДП-1), 2010 г.</i>						
$A_{\text{пах}}$	0,97	7,0	67,9	12,3	73	17,0
A_1A_2	0,71	6,4	45,4	8,3	50	16,5
В	0,95	6,6	62,7	11,4	88	13,0
<i>Овес (ДП-2), 2011 г.</i>						
$A_{\text{пах}}$	1,01	12,7	128,3	23,3	90	25,9
A_1A_2	1,12	9,1	101,9	18,5	90	20,6
В	1,06	9,6	101,8	18,5	73	25,3

Наибольший вынос калия наблюдался из пахотного горизонта - 112,3 мг/сосуд, наименьший из горизонта A_1A_2 – 60,8 мг/сосуд, что в 1,9 раз меньше, чем из пахотного горизонта. Вынос калия из горизонта В был на 1,3 мг/сосуд больше, чем из горизонта A_1A_2 и в 1,8 раз меньше, чем из пахотного горизонта и равен 62,1 мг/сосуд. Коэффициенты использования калия растениями ячменя из почвы составили в горизонтах $A_{\text{пах}}$ – 28,2 %, A_1A_2 – 22,1, В – 12,9 %. Таким образом, доступность калия растениям ячменя из пахотного горизонта дерново-подзолистой почвы выше, чем из подпахотных горизонтов.

Наименьший вынос калия растениями овса в 2010 г. отмечен из горизонта A_1A_2 – 45,4 мг/сосуд, наибольший из пахотного горизонта – 67,9 мг/сосуд. Вынос калия из горизонта В 62,7 мг/сосуд. Коэффициенты использования калия растениями овса из почвы также, как и ячменя уменьшаются от пахотного горизонта к подпахотному В: в горизонтах $A_{\text{пах}}$ – 17,0 %, в A_1A_2 – 16,5, в В – 13,0 %. Но коэффициенты использования калия растениями овса в пахотном горизонте и горизонте A_1A_2 ниже, чем растениями ячменя этих же горизонтов. Это связано, возможно, с климатическими особенностями вегетационного периода: жаркое засушливое лето 2010 г., высокие среднемесячные температуры, что негативно сказалось на развитии растений овса.

Общий вынос растениями овса калия из почвы в 2011 г. изменялся от 101,8 до 128,3 мг/сосуд. Наибольший вынос калия растениями овса отмечен в пахотном горизонте и составил 128,3 мг/сосуд. В горизонте A_1A_2 и В вынос калия растениями был практически одинаковым - 101,8 – 101,9 мг/сосуд, что на 26,5 мг/сосуд меньше, чем в пахотном горизонте. Вынос калия растениями овса в 2011 г. был выше, чем в 2010 г. Коэффициенты использования калия растениями овса из почвы были схожими в пахотном и подпахотном горизонте В – 25,9 и 25,3 % соответственно. Коэффициент использования калия в горизонте A_1A_2 был на 5,3 % ниже, чем в пахотном горизонте и составил 20,6 %. Коэффициенты использования калия растениями овса среднекультуренной дерново-подзолистой почвы были выше, чем слабокультуренной. Согласно этим данным растения овса в 2011 г. лучше развивались и эффективней использовали калийные ресурсы почвы, чем в 2010 г.

Выводы. 1. Почвенные ресурсы фосфора и калия подпахотных горизонтов значительны и могут быть использованы в большей или меньшей степени различными культурами в зависимости от их биологических особенностей.

2. На основании данных по выносу, коэффициентов использования фосфора и калия растениями ячменя из слабокультуренной почвы можно заключить, что доступность этих питательных элементов растениям ячменя из пахотного горизонта выше, чем из подпахотных горизонтов. Таким образом, можно сделать вывод, что повышенная кислотность подпахотных горизонтов отрицательно воздействует на развитие растений ячменя.

3. Согласно данным, вынос фосфора и калия растениями овса из слабокультуренной дерново-подзолистой почвы составил: $A_{\text{пах}}$ - 15,2 и 67,9 мг/сосуд, A_1A_2 - 9,0 и 45,4, В - 16,6 и 62,7 мг/сосуд соответственно; овес эффективно использует фосфор и калий как из пахотного, так и из подпахотного горизонта В. Это свидетельствует о высокой поглощающей способности корневой системы данной культуры.

4. Вынос фосфора и калия растениями овса из среднекультуренной почвы превышает в 1,2-1,6 раз вынос фосфора и практически в 2 раза – калия по сравнению со слабокультуренной почвой. Таким образом, чем выше уровень окультуренности, тем лучше развиваются растения и эффективнее используют фосфорные и калийные ресурсы почвы, не только пахотных, но и подпахотных горизонтов.

Литература

1. Гусева Ю.Е. Использование растениями ячменя элементов питания из разных слоев дерново-подзолистой почвы// Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук. – М., 2012. – 20 с.

2. *Кобзаренко В.И., Батура И.Н.* Доступность растениям фосфора и калия разных горизонтов дерново-подзолистой почвы. / Доклады ТСХА. Вып. 278. – М., 2006. – С. 536-541.
3. *Кобзаренко В.И.* Ресурсы фосфора и калия темно-серых лесных и дерново-подзолистых почв и возможности их мобилизации// Диссертация на соиск. учен. степ. д. б. наук. – М., 1998. – 235 с.
4. *Кобзаренко В.И., Батура И.Н., Бельдяева К.Ю.* Использование растениями подвижных соединений калия различных горизонтов почв // Доклады ТСХА. Вып. 283. Ч. 1. – М., 2011. – С. 446-449.

AVAILABILITY OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM FROM DIFFERENT HORIZONS OF SODDY-PODZOLIC SOILS FOR BARLEY AND OAT PLANTS

V.V. Kidin, K.Yu. Beldyaeva Russian State Agricultural University – Moscow Agricultural Academy, Russian Academy of Sciences.

ul. Timiryazeva 49, Moscow, 127550 Russia, E-mail: bkler@yandex.ru

The utilization coefficients of phosphorus and potassium from different horizons of soddy-podzolic soils and the removal of these elements by oat and barley plant biomass were determined in pot experiments. Based on these data, the authors conclude that the availability of phosphorus and potassium from subsurface horizons differs from that in the plow horizon, which should be considered in the development of methods for the rational use of fertilizers with account for the biological features of crops and in the fulfilment of measures aimed at increasing the fertility of soils.

Keywords: potassium, phosphorus, barley, oat, utilization coefficient, subsurface horizons, soddy-podzolic soil.