УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
Том 148, кн. 4 Естественные науки *2006*

УДК 631.4:631.8

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ – МИГРАЦИЯ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ И ВЛИЯНИЕ НА ПОТЕРИ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ИЗ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И УРОЖАЙ АМАРАНТА

Ю.А. Куликов, А.С. Галиуллина

Аннотация

В работе представлены результаты лизиметрических исследований по влиянию уровня загрязнения тяжелыми металлами на потери основных элементов питания из дерново-подзолистой почвы и урожай растений рода *Amaranthus L.* Выявлена эффективность известкования в детоксикации почвы, загрязненной тяжелыми металлами, в зависимости от формы мелиоранта.

Введение

Получение необходимого количества сельскохозяйственной продукции высокого качества является для мировой сельскохозяйственной науки не только одной из важнейших, но и одной из самых сложных проблем, так как в настоящее время резко увеличилась техногенная нагрузка на почву. Так, например, функционирование только металлургических предприятий ежегодно поставляет на почву более 150 000 т меди, 121 500 т цинка, 90 000 т свинца и т. д.; сжигание угля и нефти привносит около 3 600 т свинца, 2 100 т меди, 7 000 т цинка, 1 600 т ртути. Постоянно увеличивающееся число автотранспортных средств способствует поступлению с выхлопными газами более 260 000 т свинца. Известно, что тяжелые металлы (ТМ) являются ингибиторами многих физиологических процессов, поскольку обладают способностью коагулировать белки. Поэтому в настоящее время проблема охраны окружающей среды от загрязнителей, тесно связанная с необходимостью получения в большом количестве экологически чистой сельскохозяйственной продукции путем использования интенсивных технологий, является весьма актуальной.

В литературе имеются довольно противоречивые сведения о миграционной способности наиболее опасных токсикантов, о количественных параметрах их накопления в природной среде, а также о факторах, влияющих на этот процесс [1–10]. В связи с этим до настоящего времени нет единых рекомендаций по детоксикации загрязненных почв. Наиболее признанным способом химической мелиорации кислых почв, как известно, является известкование, которое, резко изменяя химические и биологические свойства почвы, создает защитный барьер поступления ТМ в сельскохозяйственные растения.

В настоящей работе представлены результаты трехлетних (2001–2003 г.) лизиметрических исследований по влиянию уровня загрязнения тяжелыми ме-

таллами на потери основных элементов питания из дерново-подзолистой почвы и урожай растений рода *Amaranthus L.* Выявлена эффективность известкования в детоксикации почвы, загрязненной ТМ, в зависимости от формы мелиоранта.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований служил *Amaranthus cruentus L.* из коллекции Ботанического сада Казанского государственного университета (КГУ).

Лизиметрические исследования проводились в стационарном комплексе Ботанического сада КГУ на дерново-подзолистой почве со следующими агрохимическими показателями: $pH_{KCl} = 3.9$, гумус – 1.4%, N по Корнфилду – 42.7 мг/кг, P_2O_5 по Кирсанову – 114 мг/кг, K_2O по Кирсанову – 37.5 мг/кг. Загрязнение почв тяжелыми металлами искусственно создавали путем внесения окиси меди и уксуснокислого свинца. Одинарные дозы ТМ составляли: меди – 66 мг/кг, свинца – 65 мг/кг. Дерново-подзолистая почва, взятая для экспериментов, отличалась повышенным содержанием никеля, валовое количество которого составляло 159 мг/кг. Доломитовую муку и удобрения вносили в почву при закладке опыта. Доломитовую муку тонкого помола в необожженной и полуобожженной формах вносили в количестве, необходимом для доведения pH почвы до уровня 6.0–7.0. Повторность опыта – трехкратная.

Агрохимические показатели почв определяли по общепринятым методикам.

Содержание ионов основных макроэлементов в лизиметрических водах определяли стандартными методами [11], содержание тяжелых металлов – атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре AAS-3 с пламенным атомизатором [12].

Результаты и их обсуждение

Влияние уровня загрязнения почвы тяжелыми металлами и формы мелиоранта на вынос элементов питания с инфильтрационными водами и урожай амаранта. Кальций, магний, калий и натрий являются необходимыми элементами питания для растений. При вымывании этих элементов с инфильтрационными водами растения испытывают их недостаток, что приводит к недобору урожая. На загрязненных ТМ почвах процесс вымывания макроэлементов усиливается, почвы подкисляются, что в дальнейшем приводит к явлениям деградации почвы [13–23]. Степень вымывания элементов питания с инфильтрационными водами зависит от выращиваемой культуры, срока ее вегетации, степени удобренности почвы, известкования, загрязненности ее тяжелыми металлами.

В серии стационарных лизиметрических опытов было исследовано влияние уровня загрязнения почвы Cu и Pb и формы доломитовой муки на вынос Ca и Mg с инфильтрационными водами (табл. 1). Так как потребность растений в элементах питания в течение их жизненного цикла меняется, отбор и анализ лизиметрических вод (просочившихся через слой почвы осадков) проводили в 3 срока: в вегетативную фазу, фазу цветения и плодоношения.

Табл. 1

Влияние уровня загрязнения почвы Cu и Pb и формы доломитовой муки на вынос Ca и Mg с инфильтрационными водами (дерново-подзолистая почва, *A. cruentus L.*)

№ п/п	Вариант опыта	Фаза					
		вегетативная		цветения		плодоношения	
		Концентрация, мг/л					
		Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
Необожженный доломит							
1	Контроль	50	7	17	5	25	5
2	Фон (контроль + NPK)	55	8	25	6	38	4
3	Ф + 1 Cu + 1Pb	53	10	105	20	210	30
4	Ф + 1 Cu + 1 Pb + $CaCO_3$	70	11	125	30	290	44
5	Ф + 3 Cu + 3 Pb	105	20	310	54	750	160
6	Ф + 3 Cu + 3 Pb + $CaCO_3$	85	8	700	78	825	154
Полуобожженный доломит							
1	Контроль	50	8	15	6	25	4
2	Фон (контроль + NPK)	55	10	25	6	40	4
3	Ф + 1 Cu + 1 Pb	55	8	100	20	198	32
4	Ф + 1 Cu + 1 Pb + $CaCO_3$	80	12	135	21	280	41
5	Ф + 3 Cu + 3 Pb	115	23	355	50	775	155
6	Ф + 3 Cu + 3 Pb + $CaCO_3$	95	13	600	71	1000	150

Как видно из табл. 1, вынос Ca и Mg с инфильтрационными водами зависит от фазы вегетации амаранта и уровня загрязнения почвы тяжелыми металлами. На чистых почвах контроля вынос Ca и Mg с инфильтрационными водами укладывался в допустимые нормы, причем наибольшие концентрации Ca (50 мг/л) и Mg (7–8 мг/л) наблюдались в лизиметрических водах в вегетативную фазу. В фазу цветения содержание Ca в лизиметрических водах было наименьшим (15–17 мг/л). Очевидно, в этот период амарант бурно развивает свою корневую систему.

Внесение минеральных удобрений в чистую почву фоновых вариантов несколько увеличивало концентрацию кальция и магния в лизиметрических водах.

При внесении в почву тяжелых металлов концентрации Ca и Mg в лизиметрических водах значительно увеличивались, при этом изменялась и динамика выноса Ca и Mg с инфильтрационными водами: наименьшая концентрация макроэлементов в лизиметрических водах наблюдалась в вегетативную фазу, наибольшая – в фазу плодоношения. При внесении в почву тройной дозы Cu и Pb концентрация кальция в лизиметрических водах уже в вегетативную фазу выходила за границу допустимых норм: 105–115 мг/л.

Внесение в почву доломитовой муки в обеих формах увеличивало вынос Ca и Mg с инфильтрационными водами.

В табл. 2 представлены потери элементов питания из почвы с инфильтрацией в сумме за три года исследований. В течение календарного года количество потерь элементов под культурой было неравномерно. На чистых почвах контроля и при внесении минеральных удобрений максимальные потери эле-

Табл. 2

Потери кальция и магния с инфильтрацией в сумме за три года (дерново-подзолистая почва, *A. cruentus L.*)

№ п/п	Вариант опыта	Количество, кг/га	
		Ca	Mg
Необожженный доломит			
1	Контроль	74.3	17.9
2	Фон (контроль + NPK)	82.1	18.8
3	Ф + 1 Cu + 1 Pb	271.9	56.7
4	Ф + 1 Cu + 1 Pb + $CaCO_3$	286.8	52.5
5	Ф + 3 Cu + 3 Pb	599.5	120.3
6	Ф + 3 Cu + 3 Pb + $CaCO_3$	691.3	126.2
Полуобожженный доломит			
1	Контроль	73.7	16.9
2	Фон (контроль + NPK)	90.8	18.6
3	Ф + 1 Cu + 1 Pb	254.1	35.0
4	Ф + 1 Cu + 1 Pb + $CaCO_3$	278.9	44.9
5	Ф + 3 Cu + 3 Pb	5686	88.4
6	Ф + 3 Cu + 3 Pb + $CaCO_3$	682.7	98.5

ментов питания происходили в ранний период вегетации, минимальные – во время цветения и созревания культуры. При внесении в почву ТМ минимальные потери Ca и Mg происходили в ранний период вегетации, максимальные – во время созревания культуры. На чистых почвах абсолютного контроля потери элементов питания в сумме за три года были минимальными и составляли 73–74 кг/га кальция и 16.9–17.9 кг/га магния. Внесение минеральных удобрений в чистые почвы фоновых вариантов несколько увеличило потери элементов питания с инфильтрацией: 82.1–90.8 кг/га кальция и 18.6–18.8 кг/га магния.

Загрязнение почвы ТМ значительно увеличивало потери кальция и магния с инфильтрацией. Известкование загрязненной ТМ почвы способствовало увеличению вымывания кальция в инфильтрационные воды. Максимальное количество кальция и магния вымывалось в сумме за три года на фоне необожженного доломита с максимальным загрязнением ТМ: 691.3 кг/га кальция, 126 кг/га магния.

Установлено, что вымывание кальция из почвы влечет за собой снижение содержания обменных его форм. С течением времени на фоне обеих форм доломита происходило также снижение содержания валового кальция, причем тем в больших количествах, чем сильнее загрязнение почв ТМ. Баланс валовых форм кальция в почвах опыта был отрицательный, что в дальнейшем должно привести к деструктуризации почвы и снижению ее аэрации.

Загрязнение почвы ТМ, несмотря на внесение минеральных удобрений и высокие дозы доломитовой муки, приводило к получению низких урожаев амаранта и снижению прибавок по всем вариантам опыта. Наибольший недобор урожая наблюдался на фоне высокого уровня загрязнения ТМ (3 ПДК ТМ).

Табл. 3

Динамика кислотности почвенной среды (дерново-подзолистая почва, *A. cruentus L.*)

№ п/п	Вариант опыта	2001 г.		2002 г.		2003 г.	
		pH	Hr	pH	Hr	pH	Hr
Необожженный доломит							
1	Контроль	4.8	3.55	5.0	3.62	5.1	2.80
2	Фон (контроль + NPK)	4.8	3.48	5.1	3.50	5.1	3.20
3	Ф + 1 CuPb	5.0	3.73	5.2	3.70	5.2	2.90
4	Ф + 1 CuPb + $CaCO_3$	6.7	0.92	6.6	0.57	6.6	0.40
5	Ф + 3 CuPb	5.4	3.69	5.1	4.12	4.8	2.74
6	Ф + 3 CuPb + $CaCO_3$	6.9	0.80	6.9	0.71	6.8	0.45
Полуобожженный доломит							
1	Контроль	4.9	3.83	5.0	3.61	4.8	2.80
2	Фон (контроль + NPK)	4.9	3.83	5.0	3.54	4.8	3.33
5	Ф + 1 CuPb	5.1	3.90	5.2	3.80	5.0	2.40
6	Ф + 1 CuPb + $CaCO_3$	6.7	1.20	6.5	1.13	6.5	0.70
9	Ф + 3 CuPb	5.3	4.25	4.9	4.00	4.9	3.00
10	Ф + 3 CuPb + $CaCO_3$	7.1	1.24	7.2	0.78	6.8	0.72

При этом недобор урожая при внесении в почву полуобожженной формы доломитовой муки был значительно ниже, чем в аналогичных вариантах с внесением необожженной формы доломитовой муки.

В табл. 3 представлена динамика кислотности почвенной среды за три года. Внесение доломитовой муки в почву, содержащую ТМ, способствовало поддержанию pH почв на уровне 6.5–7.2 несмотря на достаточно большие потери оснований с инфильтрацией атмосферных осадков.

Влияние уровня загрязнения почвы тяжелыми металлами и формы мелиоранта на вынос ТМ с инфильтрационными водами и фитомассой амаранта. Определение концентрации ТМ в лизиметрических водах проводили по тем же фазам вегетации растений, что и макроэлементов. Закономерность потерь ТМ с инфильтрацией была аналогична распределению потерь для макроэлементов. В табл. 4 представлены данные о суммарных количествах потерь ТМ с инфильтрацией за три года. Как видно из таблицы, потери Ni, Cu и Pb из почвы с инфильтрацией незначительны. В целом суммарные среднегодовые потери ТМ составили десятые (Ni) и сотые (Cu, Pb) доли процента от внесенной в почву дозы. Внесение в почву высокой дозы Cu и Pb (3 ПДК ТМ) увеличивало концентрацию этих металлов в лизиметрических водах приблизительно в 1.5–1.9 раза. Заметного влияния доз $CaCO_3$ на концентрацию исследуемых ТМ в лизиметрических водах не наблюдалось. Известкование почвы, независимо от формы мелиоранта, способствовало снижению попадания в грунтовые воды меди, свинца и никеля. И хотя их количества в сумме за три года составляют сотые доли процента, необходимо учесть, что ТМ обладают аккумулятивным свойством и накапливаются в каждом последующем звене биологиче-

Табл. 4

Потери ТМ с лизиметрическими водами в сумме за три года опыта (дерново-подзолистая почва, *A. cruentus L.*)

№ п/п	Вариант опыта	г/га			% от исходной дозы загрязнения		
		Ni	Cu	Pb	Ni	Cu	Pb
Необожженный доломит							
1	Контроль	6.8	3.9	44.6	0.002	–	–
2	Фон (контроль + NPK)	15.8	5.4	45.0	0.005	–	–
3	Ф + 1 Cu + 1 Pb	53.2	7.0	141.8	0.014	0.004	0.091
4	Ф + 1 Cu + 1 Pb + $CaCO_3$	42.8	5.1	99.3	0.011	0.003	0.064
5	Ф + 3 Cu + 3 Pb	112.1	12.4	214.4	0.029	0.003	0.046
6	Ф + 3 Cu +3 Pb + $CaCO_3$	147.6	13.7	208.8	0.039	0.003	0.045
Полуобожженный доломит							
1	Контроль	6.8	4.0	45.1	0.002	–	–
2	Фон (контроль + NPK)	16.0	5.6	44.2	0.005	–	–
3	Ф + 1 Cu + 1 Pb	51.5	7.1	135.1	0.016	0.006	0.080
4	Ф + 1 Cu + 1 Pb + $CaCO_3$	39.3	7.5	117.5	0.013	0.005	0.075
5	Ф + 3 Cu + 3 Pb	109.8	13.5	213.9	0.033	0.003	0.046
6	Ф + 3 Cu + 3 Pb + $CaCO_3$	130.7	11.5	212.0	0.043	0.002	0.045

ской цепи, приводя к необратимым изменениям органов теплокровных животных и человека.

Вынос тяжелых металлов растениями амаранта представлен в табл. 5, из которой видно, что в сумме за три года вынесено очень незначительное их количество. Никель поступает в растения в количестве тысячных долей процента от исходной дозы загрязнения, медь и свинец – сотых долей процента. Известкование почвы, независимо от формы мелиоранта, и увеличение содержания в почве ТМ (до 3 ПДК) не оказывали существенного влияния на вынос растениями исследуемых ТМ. Полученные данные позволяют сделать заключение о том, что в связи с незначительным содержанием Ni, Cu и Pb в надземных частях амаранта на фоне высокого загрязнения почвы этими металлами он не может быть источником повышения количества этих металлов в кормовой и пищевой цепи.

Сложив потери ТМ с инфильтрацией с суммарным их выносом растительной продукцией (табл. 6), получим, что естественным путем очищение почв от тяжелых металлов происходит очень медленно и может продолжаться сотни лет. Известь способствует снижению попадания ТМ в грунтовые воды и растения, поэтому при известковании почв замедляется естественный процесс очищения почвы, так как ТМ образуют с кальцием малорастворимые комплексы.

Выводы

1. Загрязнение почв ТМ оказывает отрицательное влияние на миграцию из корнеобитаемого слоя кальция и магния: при загрязнении почвы ТМ потери Ca

Табл. 5

Вынос ТМ *A. cruentus L.* в сумме за три года опыта (дерново-подзолистая почва)

№ п/п	Вариант опыта	г/га			% от исходной дозы загрязнения		
		Ni	Cu	Pb	Ni	Cu	Pb
Необожженный доломит							
1	Контроль	15.5	10.4	35.6	0.006	–	–
2	Фон (контроль + NPK)	30.4	37.3	66.7	0.009	–	–
3	Ф + 1 Cu + 1 Pb	36.9	41.2	82.7	0.009	0.029	0.055
4	Ф + 1 Cu + 1 Pb + $CaCO_3$	32.1	30.0	79.8	0.007	0.020	0.049
5	Ф + 3 Cu + 3 Pb	31.7	40.3	84.1	0.008	0.009	0.018
6	Ф + 3 Cu +3 Pb + $CaCO_3$	34.1	36.1	90.9	0.009	0.008	0.020
Полуобожженный доломит							
1	Контроль	16.7	11.7	36.8	0.006	–	–
2	Фон (контроль + NPK)	300	36.2	65.6	0.009	–	–
3	Ф + 1 Cu + 1 Pb	37.2	49.4	86.2	0.013	0.031	0.060
4	Ф + 1 Cu + 1 Pb + $CaCO_3$	27.0	33.5	69.0	0.009	0.021	0.041
5	Ф + 3 Cu + 3 Pb	34.4	44.4	96.3	0.010	0.010	0.021
6	Ф + 3 Cu + 3 Pb + $CaCO_3$	33.4	34.8	89.3	0.011	0.008	0.020

Табл. 6

Суммарное отчуждение ТМ с растениями и инфильтрацией (дерново-подзолистая почва, *A. cruentus L.*)

№ п/п	Варианты	% от исходной дозы загрязнения		
		Ni	Cu	Pb
Необожженный доломит				
1	Контроль	0.0056	–	–
2	Фон (контроль + NPK)	0.0133	–	–
3	Ф + 1 Cu + 1 Pb	0.022	0.033	0.146
4	Ф + 1 Cu + 1 Pb + $CaCO_3$	0.018	0.023	0.115
5	Ф + 3 Cu + 3 Pb	0.037	0.012	0.059
6	Ф + 3 Cu + 3 Pb + $CaCO_3$	0.048	0.011	0.065
Полуобожженный доломит				
1	Контроль	0.0049	–	–
2	Фон (контроль + NPK)	0.0126	–	–
3	Ф + 1 Cu + 1 Pb	0.029	0.037	0.140
4	Ф + 1 Cu + 1 Pb + $CaCO_3$	0.022	0.026	0.116
5	Ф + 3 Cu + 3 Pb	0.043	0.013	0.067
6	Ф + 3 Cu + 3 Pb + $CaCO_3$	0.051	0.010	0.065

и Mg с инфильтрацией значительно увеличивались во все фазы развития амаранта, что вело к потерям урожая. Наибольший недобор урожая амаранта наблюдался в вариантах с высоким уровнем загрязнения ТМ (3 ПДК ТМ). Известкование почвы снижало токсическое влияние ТМ на растения, при этом полуобожженная форма доломитовой муки оказывала по сравнению с необожженной формой больший нейтрализующий эффект.

2. Результаты трехлетних лизиметрических исследований показали, что потери Ni, Cu и Pb из почвы с инфильтрацией незначительны. В целом суммарные среднегодовые потери ТМ составили десятые (Ni) и сотые (Cu, Pb) доли процента от внесенной в почву дозы. Внесение в почву высокой дозы Cu и Pb (3 ПДК ТМ) увеличивало концентрацию этих металлов в лизиметрических водах приблизительно в 1.5–1.9 раза. Заметного влияния доз $CaCO_3$ на концентрацию исследуемых ТМ в лизиметрических водах не наблюдалось. Известкование почвы, независимо от формы мелиоранта, незначительно снижало концентрацию Ni, Cu и Pb в лизиметрических водах.

3. Вынос ТМ растениями амаранта был незначителен и составил тысячные доли процента у Ni и сотые доли – у Cu и Pb. Прямой связи между степенью загрязнения почвы Cu и Pb и интенсивностью поступления их в растения не обнаружено. Увеличение содержания в почве ТМ (до 3 ПДК) не оказывало существенного влияния на вынос растениями исследуемых ТМ. Известкование почвы, независимо от формы мелиоранта, несколько снижало поступление Ni, Cu и Pb в растения.

4. Результаты лизиметрических исследований показали, что загрязненные Ni, Cu и Pb почвы очищаются за счет естественных процессов (вынос урожаем, вымывание инфильтрационными водами) очень медленно. При этом на почвах с содержанием Ni, Cu и Pb не более 3 ПДК мала вероятность загрязнения ТМ грунтовых вод и растительной продукции.

Summary

Yu.A. Koulikov, A.S. Galiullina. Heavy metals – migration in the ground-plant system and influence on the losses of basic feeding elements out of soddy-podzolic soil and the amaranth crop.

The results of lisimetric researches on the influence of a pollution level by heavy metals on the main basic feeding elements out of soddy-podzolic soil and on the plants crop of the *Amaranthus L.* kind have been presented in the work. There has been revealed the efficiency of the liming process in soil detoxication, contaminated by heavy metals depending on the meliorator form.

Литература

1. *Аканова Н.И., Шильников И.А.* Агроэкологическая оценка применения известьсодержащих отходов промышленности // Вестник ТО РЭА. – 1999. – № 1. – С. 41–43.
2. *Милащенко Н.З.* Программа исследований тяжелых металлов в географической сети опытов по средствам химизации // Химия в сел. хоз-ве. – 1995. – № 4. – С. 4–8.
3. *Ягодин Б.А.* Тяжелые металлы и здоровье человека // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. – № 4. – С. 18–20.

4. *Копосов Г.Ф., Шинкарев А.А., Королева Н.В., Игнатьев Ю.А.* Результаты лизиметрических исследований и их роль в оптимизации культурных растений республики Татарстан // Вестник ТО РЭА. – 1999. – № 1. – С. 39–40.

5. *Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф.* Накопление тяжелых металлов в почве и поступление их в растения в длительном агрохимическом опыте // Доклады РАСХН. – 1993. – № 6. – С. 20–22.

6. *Обухов А.И., Попова А.А.* Баланс тяжелых металлов в агроценозах дерново-подзолистых почв и проблемы мониторинга // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. – 1992. – № 3. – С. 31–39.

7. *Овчаренко М.М.* Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение // Химия в сел. хоз-ве. – 1995. – № 4. – С. 8–16.

8. *Овчаренко М.М., Шильников И.А.* Влияние известкования и уровня реакции среды в почве на поступление в растения тяжелых металлов // Агрохимия. – 1996. – № 1. – С. 25–30.

9. *Хасбиуллина Р.Г., Федоров А.А., Опарин А.Ю.* Влияние минеральных удобрений и мелиорантов на миграцию тяжелых металлов в системе почва – растение // Вопросы технологий возделывания с.-х. культур в Приморском крае. – Новосибирск, 1991. – С. 33–36.

10. *Шильников И.А., Лебедева Л.А., Лебедев С.Н , Графская Г.А., Сопильняк Н.Т., Ефремова Л.В., Горешникова Е.В., Семенова Н.П., Бодров А.В., Панасюк Р.Г.* Факторы, влияющие на поступление тяжелых металлов в растения // Агрохимия. – 1994. – № 10. – С. 94–101.

11. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: МГУ, 1989. – 303 с.

12. *Бреус И.П., Садриева Г.Р., Полякова Л.Д., Морозова Л.Я., Игнатьев Ю.А., Маркович Л.Е.* Методические разработки по лизиметрическим методам исследования. Ч. 2. Анализ лизиметрических вод. – Казань, 1996. – 26 с.

13. *Зубенко В.Ф, Чапалда М.Г., Гулковский В.В., Климов О.В., Майстер А.А.* Вымывание химических элементов с лизиметрическими водами при сельскохозяйственном использовании дерново-среднеподзолистой почвы // Вестник с.-х. науки. – 1983. – № 7. – С. 12–16.

14. *Мазур Г.А., Симачинский В.Н.* Миграция кальция и магния в почвах Полесья // Вопросы известкование кислых почв. – Пермь, 1976. – С. 119–127.

15. *Пономарев В.В., Сотникова Н.С.* Закономерности процессов миграции и аккумуляции элементов в подзолистых почвах // Биологические процессы в подзолистых почвах. – М., 1972. – С. 6–36.

16. *Райла А.А.* Вымывание веществ из дерново-подзолистых глееватых и дерново-подзолистых почв Литовской ССР: Автореф. дис. … канд. с.-х. наук. – Каунас, 1970. – 23 с.

17. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение / Под ред. М.М. Овчаренко. – М.: Пролетарский светоч, 1997. – 290 с.

18. *Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Яблокова О.Т., Яковлева Л.В.* Биологический круговорот и баланс питательных веществ в земледелии северо-западной зоны РСФСР // Повышение плодородия почв и продуктивности сельского хозяйства при интенсивной химизации. – М., 1983. – С. 47–59.

19. *Ринькис Т.Я., Холлендорф В.Ф.* Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами. – Рига, 1982. – 303 с.

20. *Шильников И.А.* Баланс кальция в пахотных почвах РСФСР // Химия в сел. хоз-ве. – 1979. – № 5. – С. 21–24.

21. *Юркин С.Н.* Баланс кальция и устранение повышенной кислотности почв // Земледелие. – 1981. – № 7. – С. 56–57.

22. *Яковлева Л.В.* Влияние известкования на вымывание элементов питания из дерново-подзолистых почв северо-западной зоны: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Л., 1984. – 17 с.

23. *Яковлева М.Е.* Определение баланса кальция в почвах зоны избыточного увлажнения // Химия в сел. хоз-ве. – 1983. – № 11. – С. 15–18.

Поступила в редакцию
19.06.06

Куликов Юрий Алексеевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, директор Ботанического сада Казанского государственного университета.
E-mail: *Yuri.Koulikov@ksu.ru*

Галиуллина Альбина Салихзяновна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь Ботанического сада Казанского государственного университета.
E-mail: *albinasg@telecet.ru*