

12. Подоляк, А.Г. Травосмеси на основе клевера в зоне радиоактивного загрязнения / А.Г. Подоляк, Т.В. Арастович // Белорусское сельское хозяйство. – 2005. – № 6(38). – С. 36- 38.

13. Касьянчик, С.А. Урожай и содержание основных элементов питания в многолетних злаковых травах при возделывании на осушенной торфяно-болотной почве / С.А. Касьянчик, А.М. Устинова // Вести НАН Беларуси: серия аграрных наук. – № 1. – 2007. – С.42-47.

14. О проблемах радиоэкологии торфяных почв / О.В. Сузько [и др.] // Проблемы радиологии загрязненных территорий: юбилейный тематический сборник / Институт радиологии. – Минск, 2006. – Вып. 2. – С. 138-143.

15. Путятин, Ю.В. Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Ю.В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 255 с.

16. Шкель, М.П. Применение удобрений в интенсивном земледелии: справ. пособие / М.П. Шкель [и др.]. – Минск: Ураджай, 1989. – 216 с.

17. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / Богдевич И.М. [и др.] – Минск, 2010. – 24 с.

EFFICIENCY OF FERTILIZERS ON PERENNIAL CLOVER-GRASS MIXTURE GROWN ON HISTOSOL SOIL CONTAMINATED WITH ^{137}CS AND ^{90}SR

I.M. Bogdevitch, A.G. Podolyak, I.I. Novikava

Summary

The results of field experiment (2008-2010) conducted on drained Histosol soil, contaminated with ^{137}Cs and ^{90}Sr are presented. It was found a sufficient effect of different rates of fertilizers on yield of perennial clover-grass mixture and accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the green forage.

Поступила 18 мая 2012 г.

УДК 632.15:631.416.313:631.828

СОДЕРЖАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ НАТРИЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПО «БЕЛАРУСЬКАЛІЙ»

**С.Е. Головатый, З.С. Ковалевич, И.А. Ефимова,
Н.К. Лукашенко, Н.В. Сидорейко**

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Натрий занимает шестое место по распространенности в земной коре и первое место среди металлических элементов в Мировом океане. Содержание натрия в земной коре составляет 2,27% и встречается в виде минералов галита, тенардита, мирабилита, криолита, альбита, нефелина, чилийской селитры и др. Он входит в

состав почвообразующих минералов, основными из которых являются калиево-натриевые полевые шпаты, слюды (биотит и мусковит).

По данным К.И. Лукашева, Н.Н. Петуховой [1, 2], в почвах республики концентрация натрия (в пересчете на Na_2O) колеблется в небольших пределах. Самое высокое содержание этого элемента отмечается в дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках – 0,84%, лессах – 0,92%, самое низкое – в торфяных почвах – 0,08%. Концентрация Na_2O в дерново-подзолистых почвах на древнеаллювиальных и флювиогляциальных песках вдвое ниже, чем в дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках, и составляет 0,41%. Для всех типов почв отмечается уменьшение содержания Na_2O с севера на юг.

Среднее содержание Na_2O в почвах Беларуси несколько ниже, чем его кларк – 0,75 (отношение Na_2O в почвах Беларуси к Na_2O в почвах мира по А.П. Виноградову).

Поступление натрия в почвенную толщу обусловлено выветриванием пород и выходом на дневную поверхность древних морских соленосных отложений. Кроме этого, натрий поступает в почву с минерализованными грунтовыми и подземными водами и атмосферными осадками. В среднем поступление Na_2O в почву с атмосферными осадками в условиях Беларуси составляет 14,3 кг/га [3].

Несмотря на значительные количества натрия, поступающие из выше перечисленных источников, засоленных почв на типовом уровне в классификационном списке почв республики не выделяется. К засоленным почвам относятся почвы, содержащие хотя бы в одном горизонте почвенного профиля легкорастворимые соли в количестве, превышающем пороги токсичности среднесолеустойчивых культур [4].

Отсутствие засоления почв республики объясняется тем, что во влажном климате и при промывном водном режиме, что характерно для природных ландшафтов Беларуси, соли натрия легко выщелачиваются и выносятся за пределы почвенного профиля.

Однако в республике имеются крупные промышленные центры, где сосредоточена огромная масса загрязняющих веществ, в том числе и натрия, поступающих в окружающую среду с выбросами в атмосферу, с твердыми и жидкими промышленными отходами. В зоне их воздействия имеет место локальное загрязнение земель натрием. К таким промышленным центрам относится ПО «Беларуськалий».

Соли натрия, поступающие в виде соляной пыли с обогатительных фабрик и солеотвалов в результате ветровой эрозии, инфильтрации загрязненных вод сквозь ложе солеотвалов и дамб хранилищ жидких и твердых отходов, а также аварий при транспортировке и хранении отходов, значительно загрязняют прилегающие территории.

Пространственное распределение водорастворимого натрия и оценка степени загрязнения им сельскохозяйственных земель в зоне деятельности предприятий ПО «Беларуськалий» было рассмотрено нами в предыдущих научных статьях [5, 6].

Цель исследований заключалась в определении подвижных форм содержания натрия в почвах и распределении их в профиле дерново-подзолистых почв в условиях техногенного загрязнения.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2006-2009 гг. в зоне влияния предприятий ПО «Беларуськалий» на землях СПК «Горняк», «Решающий», «Краснодворцы» Солигорского района, СПК «Исерно» Слуцкого района с различным содержанием

натрия в почвах. При этом почвенные образцы отбирались на различном удалении от источников загрязнения, с таким расчетом, чтобы было возможно выделить почвы с естественным содержанием (фоновым) натрия и почвы, загрязненные этим элементом.

В изучении форм нахождения натрия в почвах использовался маршрутный метод исследований. Образцы почв отбирались согласно методическим указаниям [7, 8] с помощью бура на глубине 0-5 и 6-20 см с каждых 3-5 га в радиусе 3 км от солеотвалов и шламохранилищ, а при закладке разрезов – как с каждого генетического горизонта почв, так и по слоям с шагом 10 см.

При изучении распределения натрия по профилю почв и его фракционного состава применялся профильно-катенарный метод. Для этого в 500 м от источников загрязнения – солеотвалов 2-го комбината – на длинном пологом склоне с запада на восток был заложен почвенный ряд, состоящий из нескольких разрезов дерново-подзолистой легкосуглинистой и супесчаной почв разной степени увлажнения: автоморфной, временно избыточно увлажненной, глееватой и глеевой.

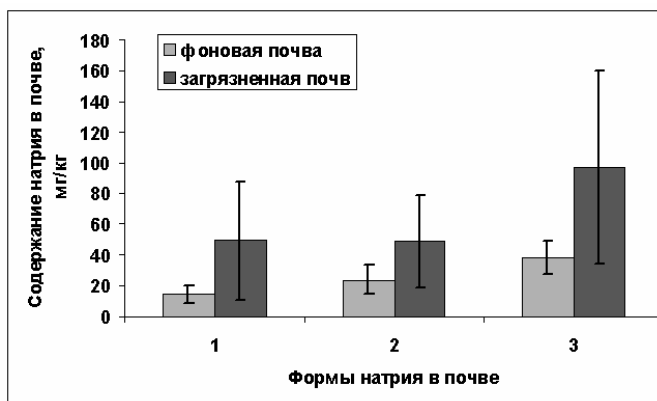
Агрохимические анализы в почвенных образцах (гумус, рН, P_2O_5 , K_2O , Ca, Mg) выполнены по методикам, изложенным в ГОСТ 26483-85, ГОСТ 26213-91, ГОСТ 260207-91, ГОСТ 26487-85. Формы натрия определяли по ГОСТ 26950 – 86 «Метод определения обменного натрия» и ГОСТ 26427-85 «Метод определения натрия и калия в водной вытяжке».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Формы содержания натрия в почвах в условиях техногенного загрязнения.

Натрий в силу своей химической природы в почвах образует преимущественно легкорастворимые соли и находится в основном в водорастворимой и обменных формах, обладая высокой миграционной способностью в почвенном профиле.

В пахотных горизонтах дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почв фоновое содержание водорастворимого натрия составило в среднем $16,3 \pm 5,9$ мг/кг, обменного – $23,8 \pm 10,0$, суммы обменного и водорастворимого соответственно – $38,1 \pm 11,0$ мг/кг (рис. 1).



Формы натрия в почве: 1 – водорастворимая; 2 – обменная; 3 – обменная+водорастворимая

Рис. 1. Содержание подвижных форм натрия в незагрязненных (фоновых) и загрязненных дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почвах в зоне влияния ПО «Беларуськалий»

При анализе этих данных обращает на себя внимание тот факт, что как в этих, так и в более ранних наших исследованиях [5] содержание водорастворимого натрия в незагрязненных (фоновых) почвах было в 1,3-1,4 раза больше, чем принятая величина фоновых значений натрия – 10 мг/кг [9, 10]. Это дает основание для более углубленных исследований по уточнению фоновых концентраций этого элемента в почвах. Данный вопрос является важным, особенно при мониторинге и оценке химического загрязнения почв, когда в качестве одного из критериев используется фоновое содержание водорастворимых форм элемента в почве.

Содержание подвижных форм натрия в загрязненных почвах в наших исследованиях было в 2-3 раза выше, чем в фоновых, и составляло в среднем: водорастворимого – $49,4 \pm 39,3$ мг/кг, обменного – $48,7 \pm 29,9$, суммы обменного и водорастворимого – $97,2 \pm 69,0$ мг/кг.

Следует отметить, что при загрязнении почв натрием значительная (более 50%) часть элемента находится в легкоподвижном состоянии (в почвенном растворе), что увеличивает его миграционную активность в профиле почв и доступность для растений.

Доля водорастворимого Na от общего содержания его в почве повышалась с увеличением степени загрязнения почв натрием (рис. 2).

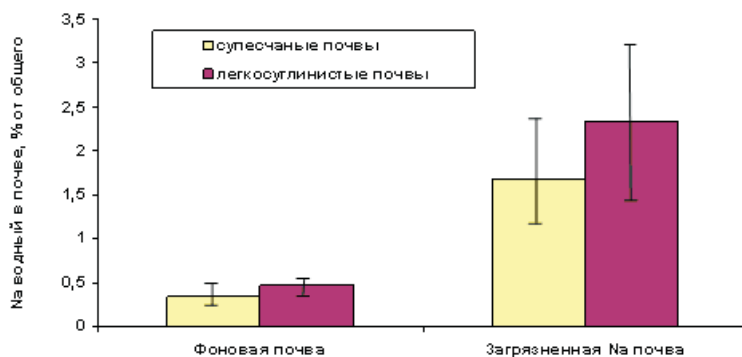


Рис. 2. Содержание водорастворимого натрия в дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почвах в зоне влияния ПО «Беларуськалий»

Так, в пахотном горизонте фоновых дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почв водорастворимый натрий составлял от 0,37 до 0,49% общего его содержания при среднем значении этого показателя – 0,43%. При этом в дерново-подзолистых супесчаных почвах этот показатель был в пределах 0,35-0,42%, в дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах – несколько выше 0,40-0,49%.

В загрязненных почвах эта форма натрия составляла в среднем 2,15% валового содержания и колебалась в пределах от 0,95% до 3,45%. В отдельных случаях (в местах разлива рассолов из шламохранилищ ПО «Беларуськалий») содержание водорастворимого натрия колебалось от 62 до 75% от общего содержания этого элемента в почве.

В фоновых почвах доля водорастворимого натрия от суммы обменного и водорастворимого в пахотном горизонте составляет 20-35% (среднее 29%) (рис. 3). В условиях натриевого загрязнения более половины от суммы обменных и водорастворимых форм занимала водорастворимая форма – 51,8-52,9% (в среднем 52%).

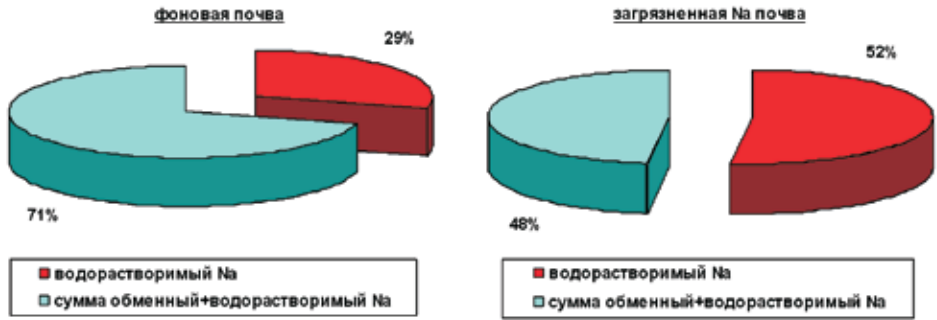


Рис. 3. Долевое содержание подвижных форм натрия в дерново-подзолистых почвах

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что в пахотном горизонте дерново-подзолистых почв в условиях загрязнения натрием их поверхностного слоя более половины от суммы обменных и водорастворимых форм занимает водорастворимая форма.

Распределение форм натрия в профиле почв, загрязненных этим элементом. Для установления характера распределения форм натрия в профиле дерново-подзолистых почв был заложен почвенный ряд, состоящий из 4-х разрезов так, что каждый последующий отличался от предыдущего на один интервал по степени гидроморфизма. Таким образом, представленный ряд почв по степени увлажнения характеризовался автоморфной (разрез №107), временно избыточно увлажненной (разрез №108), глееватой (разрез №109) и глеевой почвой (разрез №110). По гранулометрическому составу исследуемые почвы были супесчаные и суглинистые, подстилаемые с глубины 0,4-0,8 м моренным суглинком. Почвы в разной степени загрязнены натрием, степень загрязнения которых определяли по содержанию его водорастворимой фракции в верхних горизонтах профиля.

Результаты исследований свидетельствуют, что в пахотном горизонте дерново-подзолистой автоморфной и временно избыточно увлажненной почвах (разрезы №107 и №108) водорастворимого натрия содержалось 24-25 мг/кг. В дерново-подзолистой глееватой и глеевой почвах водорастворимого натрия было в 1,8-3,2 раза больше и составило в среднем 44 мг/кг (разрез №109) и 80,8 мг/кг (разрез №110).

Такая же тенденция наблюдалась и для обменной формы натрия с той лишь разницей, что абсолютные значения были несколько ниже. Содержание обменного натрия в пахотном горизонте автоморфной почвы было на уровне 22 мг/кг, в глеевой – на уровне 73 мг/кг.

Таким образом, прослеживается четкая пространственная дифференциация содержания подвижных форм натрия в зависимости от орографии (ландшафта), что объясняется горизонтальным переносом влаги (водная эрозия) и концентрацией солей в пониженных формах рельефа, на периферии западин и болот в так называемых зонах аккумуляции. Это явление наблюдалось визуально в зоне поверхностного загрязнения земель натрием, непосредственно прилегающей к солелотвалам и шламохранилищам.

Б.Б. Польшин установил пять групп геохимической подвижности элементов при миграции в ландшафтах. По данной группировке, Са, Na, К, Mg относятся к элементам высокой миграционной активности [11].

Однако в природе не всегда выдерживаются эти закономерности. В.А. Ковда [12] на основе большого числа материалов дал эмпирическую группировку соединений по их геохимической подвижности, связанную с условиями геохимии почв. В соответствии с этой группировкой, натрий и его соединения относятся к очень высокой и высокой подвижности, а также обладают высокорастворимыми свойствами. Этому способствует низкая биогенность натрия.

Установлено, что натрий мигрирует в почвенной толще в ионной форме в составе истинных растворов [13].

О высокой мобильности натрия свидетельствуют исследования С.М. Пакшиной. Она установила, что с потоками раствора, движущимися вниз, выносятся больше натрия, чем кальция при обоих значениях разности давления, тогда как с потоком раствора, движущимся вверх, или с осмотическим потоком наблюдается больший вынос катиона Ca^{++} , чем Na^+ [14, 15].

Подвижность натрия в почве определяется мобильными формами его нахождения – обменной и водорастворимой и тесно связана с увлажненностью почв и количеством влаги, участвующей в этом процессе.

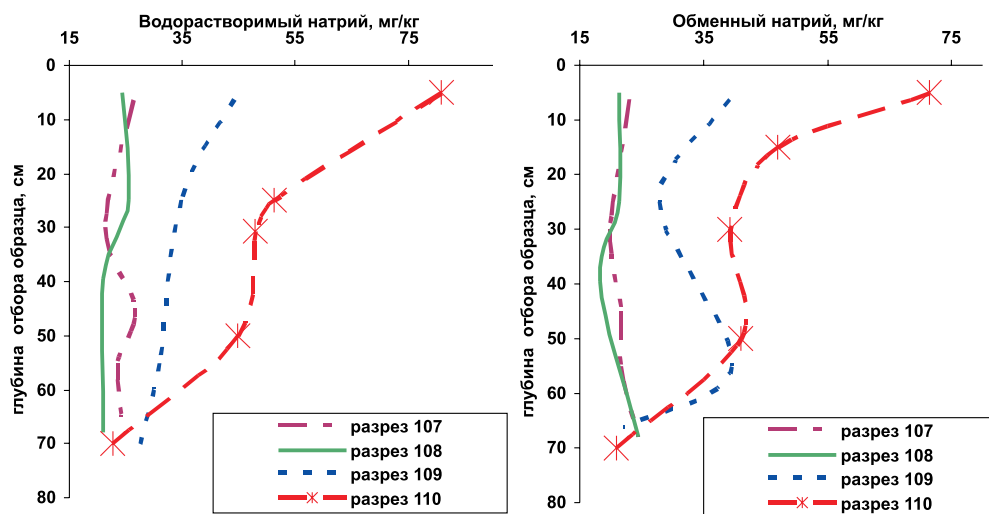


Рис. 4. Распределение подвижных форм натрия в профиле дерново-подзолистых легкосуглинистых почв с различной степенью загрязнения натрием

На рисунке 4 представлено графическое изображение распределения подвижного натрия в профиле исследуемых почв. Сопоставляя линии поведения содержания натрия в исследуемых почвах необходимо отметить единый характер его распределения в профиле почв разрезов №108, №109, №110. Так, наибольшее содержание элемента (48,3-153,5 мг/кг) отмечается в верхних гумусовых или пахотных горизонтах, несмотря на различия в абсолютных значениях, что подтверждает разную степень поверхностного загрязнения почв (табл. 1). Горизонт A_2 во всех почвах характеризуется наименьшими значениями содержания натрия (40,1-83,6 мг/кг). В горизонте Bg вновь отмечается увеличение содержания подвижных форм натрия, что связано с переносом влаги по профилю и с гранулометрическим составом горизонта. С глубиной количество натрия резко уменьшается.

Аналогичный характер поведения отмечается в профиле тех же почв и для водорастворимого натрия. Для автоморфных почв (разрез №107) характерна слабая

Таблица 1

Фракционный состав натрия в профиле дерново-подзолистых почв

Горизонт, глубина отбора образцов, см	Фракционный состав натрия в почве, мг/кг				
	валовое содержание	обменный + водорастворимый	водорастворимый		
			содержание, мг/кг	% от обмен.+водн.	% от валового
<i>Разрез. 107. Дерново-палево-подзолистая супесчаная почва, развивающаяся на пылеватых (лессовидных) связных супесях, подстилаемых с глубины 0,5 м моренным суглинком</i>					
A _n (0-24)	3200	48,3	25,4	52,6	0,8
A ₂ B ₁ (24-44)	3300	41,9	22,1	52,7	0,7
B _g (44-50)	2700	50,6	26,6	52,7	1,0
<i>Разрез. 108. Дерново-палево-подзолистая временно избыточно увлажненная супесчаная почва, развивающаяся на пылеватых (лессовидных) связных супесях, подстилаемых с глубины 0,5 м моренным суглинком</i>					
A _n (0-28)	2800	46,3	24,4	52,7	0,8
A ₂ (28-33)	3100	44,4	23,4	52,7	0,8
B _g (33-50)	3400	40,1	21,1	52,6	0,6
D _g (50-70)	3300	40,9	21,5	52,6	0,7
<i>Разрез. 109. Дерново-подзолистая глееватая суглинистая почва, развивающаяся на пылеватых (лессовидных) легких суглинках, подстилаемых с глубины 0,6 м моренным суглинком</i>					
A ₁ (0-20)	3400	83,8	44,1	52,6	1,3
A ₂ B ₁ (20-30)	3500	59,8	31,5	52,7	0,9
B _{2g} (30-60)	3300	70,8	37,3	52,7	1,1
D _g (60-75)	2700	49,4	26,0	52,6	1,0
<i>Разрез. 110. Дерново-подзолистая глеевая суглинистая почва, развивающаяся на пылеватых (лессовидных) легких суглинках, подстилаемых с глубины 0,8 м моренным суглинком</i>					
A ₁ (0-20)	3100	153,5	80,8	52,6	2,6
A ₁ A ₂ (20-35)	3000	97,6	51,4	52,7	0,9
B _{1g} (35-55)	3200	83,6	44,0	52,6	1,4
B _{2g} (55-80)	2400	92,6	48,7	52,6	2,0
G (80-90)	2500	43,1	22,7	52,7	0,9

дифференциация профиля: наблюдается достаточно равномерное распределение как водорастворимого, так и подвижного натрия на глубину профиля.

Такое распределение подвижных форм натрия в почвах свидетельствует о достаточно высокой миграционной активности этого элемента в профиле почв, особенно его водорастворимой формы.

Некоторые исследования показывают, что коэффициент интенсивности миграции Na₂O в легкосуглинистой почве составляет 127, в рыхлосупесчаной – 109 [3].

Фракционный состав натрия в профиле дерново-подзолистых почв представлен в таблице 1. Валовое содержание натрия в супесчаных почвах (разрез 107 и разрез 108) находилось в пределах и 2700-3400 мг/кг, в суглинистых почвах – в пределах 2400-3500. Доля водорастворимого Na от валового содержания его в почве повышалась с увеличением степени загрязнения почв натрием. Так, в пахотном горизонте почв разрезов №107 и №108 водорастворимый натрий занимал

0,78% и 0,9% от валового содержания, а в пахотных горизонтах разрезов №109 и №110 доля водорастворимого натрия достигала соответственно 1,3 и 2,6%.

ВЫВОДЫ

1. Маршрутные исследования, проведенные в зоне действия предприятий ПО «Беларуськалий» показали, что в пахотном горизонте фоновых дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почвах содержание водорастворимого натрия в среднем составляло $16,3 \pm 5,9$ мг/кг, обменного – $23,8 \pm 10,0$, суммы обменного и водорастворимого соответственно $38,1 \pm 11,0$ мг/кг. В загрязненных почвах содержание водорастворимого натрия возрастало в среднем до $49,4 \pm 39,3$ мг/кг, обменного – до $48,7 \pm 29,9$, суммы обменного и водорастворимого – до $97,2 \pm 69,0$ мг/кг.

2. Доля водорастворимого натрия от суммы обменного и водорастворимого в пахотном горизонте фоновых дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почв составляла 20-35%. В почвах загрязненных натрием более половины от суммы обменных и водорастворимых форм (51,8-52,9%) приходилось на водорастворимый натрий, причем это отмечалось во всех генетических горизонтах профилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геохимические провинции покровных отложений БССР / под ред. К.И. Лукашева. – Минск, Наука и техника, – 1969. – 476 с.

2. Лукашев, К.И. Химические элементы в почвах / К.И. Лукашев, Н.Н. Петухова. – Минск.: Наука и техника, – 1970. – 228 с.

3. Сазоненко, О.П. Интенсивность миграции химических элементов в дерново-подзолистых почвах при разных формах и уровнях применения азотных удобрений в звене севооборота: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / О.П. Сазоненко. – Минск, 2006. – 129 с.

4. Базилевич, Н. И. Опыт классификации почв по засолению / Н.И. Базилевич, Е.И. Панков // Почвоведение. – 1968. – № 11. – С. 3-16.

5. Головатый, С.Е. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий». Сообщение 2. Натрий / С.Е. Головатый, З.С. Ковалевич, Н.К. Лукашенко // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – №2(41). – С. 244-255.

6. Возделывание сельскохозяйственных культур в условиях хлоридно-натриевого загрязнения почв: рекомендации / С.Е. Головатый [и др.] / Институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 28 с.

7. Методические указания по обследованию почв в зоне действия Солигорского калийного комбината. – Минск, 1989. – 7 с.

8. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: метод. указания; под ред. И.М. Богдевича. – Минск, 2006. – 64с.

9. Петухова, Н.Н. Геохимическое состояние почвенного покрова Беларуси / Н.Н. Петухова, В.А. Кузнецов // Природные ресурсы. – 1999. – № 4. – С. 40-49.

10. Логинов, В.Ф. Природная среда Беларуси / В.Ф. Логинов. – Минск: БИП_С, 2002. – с. 246.

11. Польшов, Б.Б. Избранные труды; под ред. И.В. Тюрина, А.А. Саукова. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 751 с.

12. Ковда, В.А. Биосфера, тенденции ее изменения и проблемы сельского хозяйства / В.А. Ковда – М., 1982. – С. 211-219.

13. Базилевич, Н.И. Геохимия почв содового засоления / Н.И. Базилевич. – М.: Наука, 1965. – 352 с.

14. Пакшина, С. М. Передвижение солей в почве / С.М. Пакшина. – М.: Наука, 1980. – 120 с.

15. Пакшина, С. М. Миграция солей в микропорах почвы: автореф. дис. ... доктора биол. наук: 03.02.13 / С.М. Пакшина; Академия наук СССР, Сибирское отделение, Институт почвоведения и агрохимии, Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова. – Новосибирск, 1990. – 37 с.

THE MAINTENANCE OF VARIOUS FORMS OF SODIUM IN THE CONDITIONS OF POLLUTION OF SOILS BY THIS ELEMENT

S.E. Golovaty, Z.S. Kovalevitch, I.A. Efimova,
N.K. Lukashenko, N.V. Sidoreiko

Summary

Results of researches by definition of mobile forms of sodium in soils in the conditions of technogenic pollution of soils are resulted. At pollution of soils by sodium more than half of mobile sodium it is presented by water-soluble forms. Distribution of mobile sodium on a profile of soils has eljuvialno-illuvial character and depends on a water mode of soils.

Поступила 23 февраля 2011 г.

УДК 631.83:631.582:631:631.415.1:631.445.2

ВЫНОС КАЛИЯ УРОЖАЕМ КУЛЬТУР СЕВООБОРОТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КИСЛОТНОСТИ ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ, УРОВНЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОДВИЖНЫМ КАЛИЕМ И ДОЗ КАЛИЙНОГО УДОБРЕНИЯ

Г.М. Сафроновская¹, Т.М. Германович², В.А. Сатишур³, И.А. Царук¹

¹Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

²Белорусский государственный экономический университет,
г. Минск, Беларусь

³Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,
г. Брест, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Наметившаяся положительная тенденция роста и стабилизации урожайности в республике основана на соблюдении технологий возделывания сельскохозяйственных культур и сбалансированном питании растений. В комплексе мероприятий по повышению урожайности и качества культур основная роль принадлежит оптимизации минерального питания растений [1].