

УДК 631.81.033

UDC 631.81.033

**МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ КАК ФАКТОР
ТРАНСФОРМАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ НА
ПРИМЕРЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО
КУБАНИ**

**MINERAL FERTILIZERS AS THE FACTOR OF
TRANSFORMATION OF HEAVY METALS IN
SOIL – PLANT SYSTEM ON THE EXAMPLE
OF LEACHED BLACK SOIL OF KUBAN**

Лебедовский Иван Анатольевич
к.с.-х.н.

*Кубанский государственный аграрный
университет, Россия*

Lebedovskiy Ivan Anatolievich
Cand.Agr.Sci.

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Яковлева Елена Александровна
студентка

*Кубанский государственный аграрный
университет, Россия*

Yakovleva Elena Aleksandrovna
student

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье приведено содержание тяжелых металлов в удобрениях. Рассчитано количество лет, обеспечивающих экологически безопасное внесение минеральных удобрений до превышения предельно-допустимой концентрации тяжелых металлов в почве. Рассчитан баланс тяжелых металлов в почве и определена их роль как микро- и ультрамикроэлементов в черноземе выщелоченном

In the article, the maintenance of heavy metals in fertilizers is resulted. The quantity of the years providing ecologically safe entering of mineral fertilizers before excess of maximum-permissible concentration of heavy metals in soil is calculated. The balance of heavy metals as micro – and ultra microelements in leached black soil is resulted

Ключевые слова: УДОБРЕНИЯ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, МИКРОЭЛЕМЕНТЫ, БАЛАНС, ЧЕРНОЗЕМ ВЫЩЕЛОЧЕННЫЙ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ, НАКОПЛЕНИЕ

Keywords: FERTILIZERS, HEAVY METALS, MICROELEMENTS, BALANCE, CHERNOZEM, POLLUTION, ACCUMULATION

В настоящее время проблема получения высоких урожаев экологически безопасной продукции растениеводства является неотъемлемой частью экономической безопасности страны, что требует повышения интенсификации сельского хозяйства. Только одних яровых культур в 2012 г. планируется посеять 50,8 млн га, что на 300 тыс. га больше уровня прошлого года [6].

Наибольший интерес из антропогенных загрязнителей представляют тяжелые металлы (ТМ), что связано с их двойкой функцией в жизни живых существ: с одной стороны, они могут накапливаться, оказывая тем самым токсическое воздействие, а с другой – они являются микроэлементами,

важными для человека, животных и растений. Поэтому изучение их содержания в субъектах агроценоза является актуальной проблемой.

Установлено, что без применения удобрений получение высоких урожаев растениеводческой продукции невозможно [4]. Поэтому в 2012 г. субъектами Российской Федерации была заявлена потребность в минеральных удобрениях, равная 2,7 млн тонн действующего вещества. При этом необходимо подкормить 15 млн га озимых культур [6]. В состав минеральных удобрений могут входить соединения тяжелых металлов в виде балласта. Таким образом, при длительном применении удобрений необходимо проведение постоянных мониторинговых исследований [3].

Целью наших исследований было изучение влияния длительного применения удобрений на содержание тяжелых металлов в черноземе выщелоченном Западного Кавказа на примере заложенного в 1981 г. опыта кафедры агрохимии Кубанского ГАУ. Опыт был заложен по схеме № 57, предложенной ВИУА для Географической сети полевых опытов с удобрениями, и представляет собой 1/4 часть полной схемы факториального эксперимента 4x4x4. Опыт проводился на фоне зернотравянопропашного севооборота: люцерна – люцерна – озимая пшеница – озимый ячмень – подсолнечник – озимая пшеница – соя – озимая пшеница – сахарная свекла – кукуруза (зерно) – яровой ячмень + люцерна.

Удобрения вносили под основную обработку почвы: карбамид (46 % N), аммонийную селитру (34% N), двойной суперфосфат (43% P₂O₅), аммофос (12 % N, 52% P₂O₅) и хлористый калий 60 % K₂O). Количество минеральных удобрений, внесенных за две ротации полевого севооборота, представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Количество минеральных удобрений, внесенных за две ротации полевого севооборота

Вариант	Количество д.в., кг/га
Контроль	-
N ₈₀ P ₀ K ₀	N ₁₁₈₀
N ₀ P ₆₀ K ₀	P ₁₀₈₀
N ₀ P ₀ K ₄₀	K ₇₆₀
N ₄₀ P ₃₀ K ₂₀	N ₅₉₀ P ₅₄₀ K ₃₈₀
N ₈₀ P ₆₀ K ₄₀	N ₁₁₈₀ P ₁₁₈₀ K ₇₆₀
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₆₀	N ₁₇₇₀ P ₁₆₂₀ K ₁₁₄₀

В удобрениях нами было определено содержание тяжелых элементов (табл. 2). Наибольшие их количества отмечаются в фосфорных удобрениях и навозе. Это свидетельствует о том, что при их внесении необходим постоянный аналитический контроль содержания тяжелых металлов.

Во всех исследованных удобрениях наибольшее количество отмечено марганца, за исключением аммонийной селитры, где преобладает цинк. В навозе цинка и марганца содержится значительно больше, чем в других используемых минеральных удобрениях.

Следует обратить внимание на содержание опасного токсического вещества – кадмия. Его количество в навозе составляет 0,12 мг/кг, двойном суперфосфате – 0,18 мг/кг. В остальных исследуемых удобрениях эти величины составляют 0,04–0,09 мг/кг.

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов в применяемых минеральных удобрениях и навозе, мг/кг

Элемент	Суперфосфат двойной	Калий хлористый	Аммонийная селитра	Аммофос	Навоз
Медь	28,00	0,44	2,00	14,00	33,85
Цинк	26,05	2,00	9,20	13,05	22,80
Свинец	1,21	0,31	0,57	0,53	6,37
Кадмий	0,18	0,04	0,08	0,09	0,120
Марганец	94,0	7,16	8,20	47,0	360,4
Кобальт	1,20	0,52	0,46	0,60	4,68

Нами было рассчитано поступление ТМ в почву с минеральными удобрениями по вариантам опыта за две ротации севооборота (табл. 3).

Таблица 3 – Поступление меди, цинка и свинца в почву с минеральными удобрениями за две ротации севооборота, г/га

Вариант	Итого ТМ					
	Cu	Zn	Pb	Cd	Mn	Co
N ₄₀ P ₃₀ K ₂₀	32,1	36,4	2,25	0,47	116,5	1,91
N ₈₀ P ₆₀ K ₄₀	64,2	72,8	4,5	0,94	233,0	3,82
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₆₀	96,3	109,2	6,7	1,41	349,5	5,73

Из полученных данных следует, что за две ротации севооборота с минеральными удобрениями наибольшее количество поступает марганца, составляющее от 116,5 до 349,0 г/га, в зависимости от уровня внесения минеральных удобрений. Кадмия и кобальта на варианте с тройными дозами азота, фосфора и калия поступает 1,41 и 5,73 г/га, соответственно.

С минеральными удобрениями значительное количество поступило меди и цинка. Тройные дозы минеральных удобрений обеспечивали поступление этих элементов на уровне 96,3 и 109,2 г/га, соответственно. Максимальное количество поступления свинца достигало 6,7 г/га за две ротации севооборота в условиях внесения тройных доз минеральных удобрений.

В ходе анализа полученных данных нами было рассчитано количество лет, необходимых для превышения предельно-допустимой концентрации (ПДК) в почве в условиях поступления различных доз азота, фосфора и калия с минеральными удобрениями на фоне возделывания озимых колосовых культур (озимая пшеница, озимый ячмень). Как следует из данных таблицы 4, для накопления каждого из тяжелых металлов требуется различное число лет.

Таблица 4 – Число лет, необходимых для превышения ПДК тяжелых металлов в почве

Элемент	Доза удобрения		
	$N_{40}P_{30}K_{20}$	$N_{80}P_{60}K_{40}$	$N_{120}P_{90}K_{60}$
Марганец	1940000	1455000	64700
Медь	169062	84531	5635
Цинк	200000	99889	63382
Свинец	2660000	1331000	887333,3
Кобальт	980000	490000	326666
Кадмий	1150000	92000	65715

Наименьшее количество лет отмечается при внесении тройных доз минеральных удобрений. Наибольшее накопление в почве меди наступит через 5635 лет при внесении $N_{120}P_{90}K_{60}$. Содержание марганца, цинка и кадмия наступит в пределах 63382–65715 лет, свинца – 887333,3 года и кобальта – 326666. При снижении доз минеральных удобрений количество лет накопления увеличивается. Поэтому внесение основного удобрения в дозах $N_{40}P_{30}K_{20}$ и $N_{80}P_{60}K_{40}$ можно считать экологически допустимым при возделывании озимой пшеницы и озимого ячменя на черноземе выщелоченном Северного Кавказа (см. табл. 4).

Таким образом, применяемые минеральные удобрения не могут являться существенным источником накопления тяжелых металлов в почве.

Исследуемые нами тяжелые металлы – свинец и кадмий – представляют собой наибольшую опасность для людей и биосферы в целом. Они активно включаются в биогеохимические циклы превращений в природе [1, 3]. Так, нами установлено, что доля подвижных форм кадмия (доступных растениям) в почвах агробиоценозов Краснодарского края может достигать до 40–50 % по отношению к валовому содержанию. Безопасным уровнем считается содержание кадмия, ртути, свинца в пище

не более 10^{-4} % (1 мг/л). Однако в настоящее время предел допустимой концентрации (ПДК) пересматривается в сторону уменьшения приблизительно до 10^{-6} %.

В связи с этим воздействие минеральных удобрений в почве на трансформацию ТМ должно всегда учитывать при разработке системы удобрения в целом.

Более того, в биосфере тяжелые металлы проявляют различные биогеохимические свойства, что очень важно учитывать при нормировании их содержания в почве (табл. 5).

Таблица 5 – Биогеохимические свойства тяжелых металлов

Свойства	Cd	Co	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Биохимическая активность	В	В	В	В	В	В	В
Токсичность	В	У	У	В	У	В	У
Обогащение аэрозолей	В	Н	В	В	Н	В	В
Минеральная форма распространения	В	В	Н	В	Н	В	Н
Органическая форма распространения	В	В	В	В	В	В	В
Подвижность	В	Н	У	В	Н	В	У
Тенденция к биоконцентрированию	В	В	У	В	В	В	У
Эффективность накопления	В	У	В	В	У	В	В
Комплексообразующая способность	У	Н	В	У	Н	Н	В
Склонность к гидролизу	У	Н	В	У	У	У	В
Растворимость соединений	В	Н	В	В	Н	В	В
Время жизни	В	В	В	Н	В	Н	В

В – высокая, У – умеренная, Н – низкая.

С учётом этой особенности и особенностей содержания тяжёлых элементов в почве – их постоянной трансформации из твёрдой фазы почвы в почвенный раствор и наоборот, необходимо подходить к изучению проблемы накопления тяжёлых металлов в почве комплексно, рассматривая не только содержание самого металла, но и формы его нахождения в почве.

Необходимо отметить, что почву, в отличие от других компонентов биосферы (воздух, вода), невозможно полностью очистить от ТМ, даже самыми современными методами, однако с помощью агротехнических методов можно способствовать их переходу из одной формы в другую,

например, из почвенного раствора в почвенно-поглощающий комплекс или в необменное состояние, как это происходит при известковании [5].

Таким образом, тяжёлые металлы в почвах находятся в разных формах, что в основном зависит от типа почвы и конкретной почвенно-экологической обстановки. Более того, соотношение их форм различно в зависимости от почвенной разности. Для всех почв характерно, что большая часть ТМ сосредоточена в твёрдой фазе почвы, а меньшая – в водорастворимой (подвижной) фракции, которая является доступной растениям. Существуют также обменные формы, находящиеся в почвенно-поглощающем комплексе и обуславливающие физико-химический тип обмена, а также формы, сосредоточенные в составе солей и обуславливающие химический тип обмена. Сумма всех форм ТМ составляет их валовое содержание в почве. Групповой состав тяжёлых металлов в почве определяется действием различных химических экстрагентов [1].

В связи с этим необходимо знать, какое количество тяжелых металлов используется растениями, то есть их баланс в почве [5].

Баланс элементов питания – это математическое выражение их круговорота в земледелии и биосфере [4].

Баланс тяжелых металлов в почве определяли по разности между поступлением в почву катионов тяжелых металлов с удобрениями и атмосферными осадками и отчужденным с поля урожаем, а также потерями за счет эрозии.

Расчет баланса является актуальной задачей современной агрохимии при разработке и внедрении системы удобрения, а также эколого-агрохимической оценке почвы [4].

В таблицах 6–7 представлен баланс тяжелых металлов под посевами озимой пшеницы и озимого ячменя.

Таблица 6 – Баланс тяжелых металлов в черноземе выщелоченном на фоне возделывания озимого ячменя, кг/га

Вариант опыта	Тяжелые металлы					
	Mn	Cu	Zn	Pb	Co	Cd
Контроль	-3,2	-0,02	-0,11	-0,06	-0,0057	0,0010
N ₄₀ P ₃₀ K ₂₀	-2,71	-0,01	-0,08	-0,05149	-0,00418	0,000184
N ₈₀ P ₆₀ K ₄₀	-2,90	-0,02	-0,09	-0,06	-0,006	0,000454
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₆₀	-3,01	-0,02	-0,39	-0,06	-0,004	-0,00026

Анализ данных таблиц 6–7 показал, что баланс всех рассматриваемых нами ТМ является отрицательным, за исключением результатов по кадмию.

Баланс ТМ по озимому ячменю и озимой пшенице идентичен. Это свидетельствует об отсутствии существенных различий по выносу изучаемых нами тяжелых элементов этими культурами.

Таблица 7 – Баланс тяжелых металлов в черноземе выщелоченном на фоне возделывания озимой пшеницы, кг/га

Вариант опыта	Тяжелые металлы					
	Mn	Cu	Zn	Pb	Co	Cd
Контроль	-2,55	-0,02	-0,14	-0,066	-0,0044	0,0011
N ₄₀ P ₃₀ K ₂₀	-2,79	-0,03	-0,16	-0,05	-0,0047	0,000111
N ₈₀ P ₆₀ K ₄₀	-2,90	-0,02	-0,13	-0,06593	-0,00666	0,000675
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₆₀	-3,03	-0,02	-0,43	-0,06575	-0,00409	-0,00038

Баланс кадмия в варианте с утроенными дозами минеральных удобрений для обеих культур отрицателен. Вероятнее всего, это объясняется поглощением этого элемента растениями на фоне повышенной их обеспеченности макроэлементами, а также его выщелачиванием из пахотного слоя почвы под воздействием подкисляющего действия высоких доз минеральных удобрений.

Кадмий, как отмечалось выше, наиболее ядовитое токсическое вещество из всех изучаемых нами тяжелых металлов. Его баланс

положителен на вариантах с внесением рекомендуемых доз минеральных удобрений, поэтому отмечается тенденция к его накоплению и необходимы постоянные мониторинговые исследования за этим химическим элементом в почве и растениях.

В связи с различной биогеохимической активностью ТМ и отрицательным их балансом, указывающим на их вынос, необходимо исследование содержания этих элементов в зерне рассматриваемых сельскохозяйственных культур (табл. 8).

Таблица 8 – Содержание тяжелых металлов в зерне и их основные ПДК, мг/кг

Элемент	Озимый ячмень	Озимая пшеница	ПДК*
Медь	5,97	5,83	10,0
Цинк	29,85	35,36	50,0
Свинец	0,27	0,23	0,5 (0,3*)
Кадмий	0,05	0,03	0,1 (0,03*)
Марганец	30,32	32,12	
Кобальт	0,201	0,34	

Примечание: *значения ПДК для сырья, предназначенного для производства продуктов детского питания.

Из данных таблицы 8 следует, что содержание тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы и озимого ячменя не превышает существующих агроэкологических нормативов. Следует отметить, что для производства детских продуктов питания зерно по содержанию свинца и кадмия не пригодно. Содержание меди и цинка не превышает значений, установленных ПДК.

Необходимо отметить, что озимый ячмень больше выносит меди, свинца, кадмия и кобальта, по сравнению с озимой пшеницей. Цинк и марганец отчуждаются с поля в меньшей степени озимым ячменем, чем озимой пшеницей. При этом баланс исследуемых нами ТМ отрицательный, что свидетельствует об их роли для растений как микро- и

ультрамикроэлементов в условиях распространения черноземов выщелоченных Северо-Западного Кавказа.

Таким образом, минеральные удобрения не могут являться существенным источником загрязнения окружающей среды и, в частности, таких субъектов агроценоза, как почва и растения.

Список литературы

1. Александрова Э.А. Тяжёлые металлы в почвах и растениях и их аналитический контроль / Н.Г. Гайдукова, Н.А. Кошеленко, З.Н. Ткаченко. – Краснодар: КГАУ, 2001. – С. 6–11.
2. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
3. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
4. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: «Афиша», 2006. – 1075 с.
5. Шеуджен, А.Х. Микроэлементы и формы их соединений в почвах Кубани / А.Х. Шеуджен, Х.Д. Хурум, И.А. Лебедовский. – Майкоп: ОАО «Полиграфиздат», 2008. – 56 с.
6. Расширенное заседание Коллегии Министерства сельского хозяйства Российской Федерации // Пресс служба [Электронный ресурс]. – Москва: Минсельхоз России, 2012. – Режим доступа <http://www.mcx.ru/news/news/show/5210.78.htm>