DOI <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-03.19>

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И
ОТХОДОВ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**
COMPARATIVE ASSESSMENT OF HEAVY METALS ACCUMULATION
IN GREY FOREST SOIL WITH MINERAL FERTILIZERS AND WASTE PRODUCTS
OF SUGAR PRODUCTION

Гурин А.Г., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Gurin A.G., Doctor of Agricultural Sciences, Professor
Басов Ю.В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Basov U.V., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
Гнеушева В.В., аспирант
Gneusheva V.V., Post-graduate student
ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, Орел, Россия
Orel State Agrarian University, Orel City, Russia

*E-mail: gurin10159@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

В опыте проводились исследования на серых лесных почвах, заключающиеся в сравнении загрязнения почв тяжелыми металлами при использовании 2-х видов удобрений, традиционного – азофоска марки НПК(МОР) 16:16:16 и нетрадиционного - отходов сахарного производства (свекловичного жома и дефеката). Установлено, что количество тяжелых металлов в почве при внесении минеральных удобрений выше чем при внесении свекловичного жома и дефеката. Наименьшее загрязнение при внесении отходов сахарного производства зафиксированы при внесении свекловичного жома в дозе 150 т/га и дефеката 10 т/га.

ABSTRACT

In the experiment the research was conducted on gray forest soils, which consists in the comparison of soil contamination with heavy metals when using 2 types of fertilizers, traditional NPK (nitrogen content of 16-26%, phosphorus 4% - 20%, potassium 5% - 18%) and non-traditional - waste of sugar production (beet pulp and defecate). The amount of heavy metals in the soil in mineral fertilizers is higher than when making beet pulp and defecate. Least pollution when making waste of sugar production is fixed when you use beet pulp in the dose of 150 t/ha and lime of 10 t/ha.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Свекловичный жом, дефека́т, удобрения, серая лесная, тяжелые металлы, предельно допустимая концентрация, минеральные удобрения.

KEY WORDS

Beet-pulp, lime, fertilizer, grey forest, heavy metals, maximum permissible concentration, spring wheat.

Состояние окружающей природной среды является важнейшим фактором, определяющим жизнедеятельность человека и общества. Высокие концентрации многих химических элементов и соединений, обусловленные техногенными процессами, обнаружены в настоящее время во всех природных средах: атмосфере, воде, почве, растениях.

Применение минеральных удобрений в сельском хозяйстве направлено на увеличение содержания в почве элементов питания растений, повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Однако вместе с действующим

веществом основных элементов питания в почву поступает с удобрениями много различных химических веществ, в т. ч. и тяжелых металлов. Последнее обусловлено наличием токсических примесей в исходном сырье, несовершенством технологий производства и применения удобрений.

Тяжелые металлы относятся к наиболее широко распространенным поллютантам водной и почвенной среды [1]. Они составляют значительную долю загрязнителей окружающей среды и по токсичности занимают второе место после пестицидов. Однажды попав в биогеохимический цикл, они крайне редко и медленно покидают его [5].

Для понимания процессов миграции и аккумуляции тяжелых металлов важно учитывать и разграничивать источник их поступления в окружающую среду. В самом общем плане выделяют естественные (природные) и техногенные источники тяжелых металлов.

По известной биологической классификации химических элементов тяжелые металлы принадлежат к группам микро- и ультрамикроэлементов. Cu, Zn, Mo, Co, Mn, Ni и другие давно известны физиологам как микроэлементы. Таким образом, термины, «тяжелые металлы» и «микроэлементы» относятся к одним и тем же химическим элементам, а употребление того или иного термина связано с их концентрацией.

Тяжелые металлы, попадающие в окружающую среду в результате производственной деятельности человека (промышленность, транспорт и т. д.), являются одними из самых опасных загрязнителей биосферы. Такие элементы, как ртуть, свинец, кадмий, медь, относят к «критической группе веществ - индикаторов стресса окружающей среды».

Эти металлы имеют тенденцию закрепляться в отдельных звеньях биологического круговорота, аккумулироваться в биомассе микроорганизмов и растений и по трофическим цепям попадать в организм животных и человека, отрицательно воздействуя на их жизнедеятельность. С другой стороны, тяжелые металлы определенным образом влияют на экологическую обстановку, подавляя развитие и биологическую активность многих организмов.

Актуальность проблемы воздействия тяжелых металлов на почвенные микроорганизмы определяется тем, что именно в почве сосредоточена большая часть всех процессов минерализации органических остатков, обеспечивающих сопряжение биологического и геологического круговорота. Почва является экологическим узлом связей биосферы, в котором наиболее интенсивно протекает взаимодействие живой и неживой материи. На почве замыкаются процессы обмена веществ между земной корой, гидросферой, атмосферой, обитающими на суше организмами, важное место среди которых занимают почвенные микроорганизмы.

Загрязнение почв по своим последствиям существенно отличается от загрязнения вод и воздуха. Во-первых, в почвах равновесие, нарушенное при загрязнении, восстанавливается значительно медленнее, чем в водной и воздушной среде. Во-вторых, при загрязнении почв (деградации почв), как правило, нарушаются их функции и чаще несколько функций. Опасность, вызываемая загрязнением почв тяжелыми металлами, усугубляется еще и слабым выведением их из почв. Так, период полужизни в условиях почвенных лизиметров варьируется в зависимости от вида металла: для цинка – 70-510 лет, кадмия – 13-1100 лет, меди – 310-1500, свинца - 740-5900 лет [10].

Пахотные почвы загрязняются такими элементами, как ртуть, мышьяк, свинец, бор, медь, олово, висмут, которые попадают в почву в составе агрохимикатов, биоцидов, стимуляторов роста растений, структурообразователей. Нетрадиционные удобрения, изготавливаемые из различных отходов, часто содержат большой набор загрязняющих веществ с высокими концентрациями.

Повышение плодородия почв не может быть проведено без учета требований растений. В то же время, создание плодородных почв сопровождается увеличением миграции элементов в водную и воздушную среду. Для повышения урожая сельскохозяйственных культур с учетом экономической эффективности и

экологических ограничений следует «кормить» растения, а не почву, культурные растения, а не сорняки, рассчитывая при этом взаимодействия вносимых удобрений и мелиорантов с конкретной почвой с целью уменьшения эмиграционных потоков за пределы корнеобитаемого слоя и предотвращения скрытого отрицательного действия удобрений.

Отходы предприятий, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию, как правило, характеризуются высокой питательной ценностью и до недавнего времени широко использовались на кормовые цели и для производства пищевых добавок. Однако в несколько последних десятилетий этот способ не позволяет решить проблему утилизации данных отходов в силу следующих причин: 1) увеличение количества образующихся отходов; 2) невыгодность перевозки отходов на дальние расстояния в силу низкого содержания в них сухого вещества; 3) дорогостоящие и энергоемкие технологии по переработке отходов в кормовые и пищевые добавки и т.д. Накапливаясь в больших количествах, отходы перерабатывающей промышленности ухудшают санитарно-гигиеническую и эпидемиологическую ситуацию на прилегающей территории. В связи с этим в последние годы ведется активный поиск путей их утилизации, в том числе рассматривается возможность использования данных отходов в качестве органических удобрений. В настоящее время этот вопрос находится на начальной стадии изучения и информационная база по влиянию отходов предприятий, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию, на урожайность культур и свойства почвы практически не сформирована. На разных стадиях технологического процесса производства сахарного песка или сахара-рафинада из сахарной свеклы получают отходы, различающиеся по своему составу и, соответственно, возможностям и способам их дальнейшего использования. Для лучшего извлечения сахара корнеплоды на свеклорезках измельчают в стружку шириной 4-6 и толщиной 1,0-1,5 мм и направляют в диффузионные установки. Предварительно стружку ошпаривают горячим соком. Нагретая стружка, перемещаемая шнеком с одного конца аппарата в другой, отдает потоку воды сахара и растворимые «несахара». При выходе из аппарата стружка, называемая жомом, содержит 0,20-0,28% сахара от массы переработанной свеклы. Общий выход жома (основной отход свеклосахарного производства) составляет около 90% массы переработанной свеклы. Затем осуществляют очистку диффузионного сока от взвешенных частиц и несахаров. Она включает дефекацию (обработка сока известковым молоком), сатурацию (насыщение сока диоксидом углерода с целью осаждения Са в виде CaCO_3), фильтрацию на фильтр-прессах или вакуум-фильтрах. В результате фильтрации образуется более очищенный сок, который идет на дальнейшую переработку фильтр-прессом, и грязь (дефекат) – второй отход свеклосахарного производства. Доля дефеката составляет 5-6% массы перерабатываемой свеклы. В практике сельского хозяйства достаточно широкое применение нашли все основные отходы свеклосахарного производства. Так, дефекат (фильтр-прессная грязь), вследствие высокого содержания в нем кальция, широко используется в качестве известкового материала. Учитывая же, что наряду с карбонатами (основная часть), кальций в нем представлен и формой Ca(OH)_2 , нейтрализующий эффект дефеката выше, чем известняковой муки. Кроме того, данный отход содержит относительно много органического вещества (10-15% в расчете на 25-30% влажность), что позволяет рассматривать его как источник пополнения органического вещества в почве. Наличие в составе дефеката основных элементов питания ($\text{N} - 0,2-0,7\%$, $\text{P}_2\text{O}_5 - 0,2-0,9\%$, $\text{K}_2\text{O} - 0,3-1,0\%$) позволяет рассчитывать на проявление питательных свойств при его использовании в качестве удобрения, что может способствовать улучшению питательного режима почв и положительно сказаться на росте и развитии растений [9].

Таким образом, отходы свеклосахарной промышленности имеют устоявшийся спрос в сельскохозяйственном производстве в качестве известкового материала (дефекат) и корма для скота (жом). В настоящее время рассматривается возможность использования жома как удобрительного материала. Данные свидетельствуют, что рассматриваемый отход является источником основных элементов питания растений,

однако содержание их в сравнении с традиционными органическими удобрениями невелико. При одинаковом количестве сухого вещества кислый жом (из жомовых ям или подвергшийся хранению на открытых площадках) характеризуется более низким содержанием органического вещества и запасом питательных элементов. При определении возможности применения отходов в качестве удобрений, необходимо проведение экспериментальных исследований, подтверждающих их безопасность.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследования является сравнить степень загрязнения почв тяжелыми металлами (Ni, Cd, Mn, Zn, Pb) при применении нетрадиционного вида удобрений в качестве свекловичного жома и дефеката, и традиционного вида в качестве минеральных удобрений.

Исследования проводили в лабораторно-полевым опыте.

Варианты внесения свекловичного жома и дефеката:

1. Контроль (без внесения жома)
2. 50 т/га жома
3. 100 т/га жома
4. 150 т/га жома
5. 200 т/га жома
6. Жом 150 т/га + дефекат 5 т/га
7. Жом 150 т/га + дефекат 10 т/га
8. Жом 150 т/га + дефекат 15 т/га
9. N₆₄ P₆₄ K₆₄
10. N₉₆ P₉₆ K₉₆
11. N₁₂₈ P₁₂₈ K₁₂₀

Почва опытного участка серая лесная, среднесуглинистая, средней окультуренности, содержание гумуса в пахотном горизонте 2,35%, подвижного фосфора 96-97 мг/кг, обменного калия 230-240 мг/кг, pH сол. 5,35.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Агрохимический анализ показал, что внесение свекловичного жома, дефеката и минеральных удобрений способствует некоторому увеличению тяжёлых металлов в серой лесной почве (табл.1).

Таблица 1 – Содержание тяжёлых металлов в почве, мг/кг

№ варианта	Содержание элементов				
	Ni	Mn	Cd	Zn	Pb
1	м. 0,002	2,41	м. 0,0002	0,88	0,94
2	м. 0,002	9,88	м. 0,0002	1,03	1,39
3	м. 0,002	7,55	м. 0,0002	0,90	1,26
4	м. 0,002	8,74	м. 0,0002	4,05	1,45
5	м. 0,002	7,11	м. 0,0002	1,94	1,22
6	м. 0,002	6,58	м. 0,0002	0,92	1,11
7	м. 0,002	4,10	м. 0,0002	0,73	1,52
8	м. 0,002	4,19	м. 0,0002	2,20	1,88
9	м. 0,004	25,0	0,43	1,10	2,66
10	м. 0,009	43,0	0,50	1,80	3,10
11	м. 0,009	57,0	1,20	2,90	4,80
ПДК металлов	4	80	3	23	32

При внесении свекловичного жома и дефеката получены следующие данные: количество никеля во всех вариантах с внесением свекловичного жома и дефеката составило менее 0,002 мг/кг. В вариантах с внесением минеральных удобрений содержание никеля увеличилось до 0,009 мг/кг. Больше всего содержание марганца

обнаружено в восьмом варианте при совместном внесении свекловичного жома и дефеката в дозе 150 т/га + 15 т/га и в пятом варианте при максимальной дозе внесения свекловичного жома в дозе 200 т/га. Наименьший показатель зафиксирован в седьмом варианте с дозой 150 т/га свекловичного жома и 10 т/га дефеката. Количество кадмия в почве во всех вариантах составило менее 0,0002 мг/кг, за исключением вариантов с внесением минерального удобрения. В зависимости от дозы внесения количество кадмия составило 0,43-1,20 мг/кг.

При изучении содержания цинка и свинца в почве выявлена следующая закономерность. Наибольшее количество цинка и свинца, относительно контроля зафиксировано в четвертом и восьмом вариантах, то есть при вынесении 150 т/га свекловичного жома, и составило $Zn=4,05$ мг/кг (контроль 0,88 мг/кг), $Pb=1,45$ мг/кг (контроль 0,94 мг/кг) и при внесении 150 т/га жома и 15 т/га дефеката соответственно составило $Zn=2,20$ мг/кг, $Pb=1,88$ мг/кг. Наименьший уровень загрязнения установлен при совместном внесении свекловичного жома и дефеката в дозе 150 т/га + 10 т/га, и составило $Zn=0,73$ мг/кг, $Pb=0,52$ мг/кг.

Внесение в почву минеральных удобрений привело к более существенному накоплению тяжёлых металлов, по сравнению с внесением отходов сахарного производства. Это можно объяснить более высоким содержанием тяжёлых металлов в качестве балластных веществ в удобрениях. В нитрофоске содержание тяжёлых металлов составило: $Ni= 20$ мг/кг, $Mn = 32$ мг/кг, $Cd= 1,62$ мг/кг, $Zn = 27$ мг/кг, $Pb = 16$ мг/кг, при этом увеличение доз внесения минеральных удобрений способствовало большему накоплению тяжёлых металлов в почве. В варианте с внесением N 120P 120 K 120 содержание марганца увеличилось - в 2,5 раза по сравнению с внесением свекловичного жома и дефеката, никеля - в 45 раз, свинца - в 34 раза, кадмия - в 6000 раз. Следовательно, использование отходов сахарного производства в качестве органического удобрения является менее опасным мелиорантом, относительно минеральных удобрений.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

совместное внесение свекловичного жома и дефеката способствуют наименьшему загрязнению почв тяжёлыми металлами, вследствие подщелачивания и снижения перехода токсикантов в доступные и подвижные формы для сельскохозяйственных культур, а, следовательно, и их загрязнению;

содержание никеля, цинка, марганца, кадмия, свинца в свекловичном жоме и дефекате относительно минеральных удобрений находятся в минимальном количестве;

количество тяжёлых металлов в отходах сахарного производства (свекловичный жом и дефекат) не превышают ПДК после их внесения в почву;

наименьшее загрязнение почв тяжёлыми металлами относительно других вариантов достигнута в седьмом варианте при внесении свекловичного жома в дозе 150 т/га и дефеката 10 т/га. $Ni= 0,002$ мг/кг (контроль = м. 0,002 мг/кг), $Mn = 4,10$ мг/кг (контроль = 2,41 мг/кг), $Cd=$ м. 0,0002 мг/кг (контроль = м. 0,0002), $Zn = 0,73$ мг/кг (контроль = 0,88 мг/кг), $Pb = 0,52$ мг/кг (контроль = 0,94 мг/кг).

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Будников Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем. Соросовский образовательный журнал. 1998.-№5.-С.23-29
2. ГН 2.1.7.2041-06 – предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве
3. ГОСТ 27593-88
4. Никифорова Л.О., Белопольский Л.М. Влияние тяжелых металлов на процессы биохимического окисления органических веществ, Москва, БИНОМ, 2007
5. Приказ МПР РФ от 02.12.2002 №786 «Об утверждении федерального классификационного каталога отходов» - с. 5

6. Савич В.И., Парахин Н.В., Сычев В.Г. и др. Почвенная экология. – Орел: Издательство Орел ГАУ, 2002, 546 с.
7. Савостина О.А., Крицкая Е.Б. Отходы сахарного производства//Успехи современного естествознания. – 2008. – №7. – с. 137;
8. Титова В.И., Дабахов М.В., Дабахова Е.В. Обоснование использования отходов в качестве вторичного материального ресурса в сельскохозяйственном производстве: учебное пособие / Нижегородская гос. с.-х. академия. – Н. Новгород, Изд-во ВВАГС, 2009. – 178 с.
9. Черников В.А., Р.М. Алексахин, А.В. Голубев и др. Агроэкология. – М. Колос, 2000. - 536 с.
10. Чертко Н.К., Геохимическая экология: Учеб. Пособие. - Мн.: БГУ, 2002. -79 с.
11. Плодородие без "химии": основы биологизации земледелия Центральной России на примере Орловской области: монография / Лобков В.Т., Абакумов Н.И., Бобкова Ю.А. и др. // Орел: Орловский ГАУ, 2016. 160 с. ISBN 978-5-93382-288-2
12. Soil and biological aspects of a biologization of modern agriculture / Lobkov V.T., Plygun S.A., Zolotukhin A.I. // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2016. Т. 49. №1. С. 67-72.
13. Formation of a system for efficient use of mineral and organic fertilizers as part of justification of sectoral foresight / Polukhin A.A., Plygun S.A. // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2016. Т. 57. №9. С. 10-15.
14. Теоретические и практические аспекты биологизации земледелия в современных тенденциях развития мирового сельского хозяйства / Лобков В.Т., Плыгун С.А. // Вестник АПК Ставрополя. 2014. №4 (16). С. 150-154.
15. Приоритетные направления развития земледелия / Лобков В.Т., Плыгун С.А. // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2012. Т. 34. №1. С. 2-6.
16. Средообразующие функции здоровой почвы - фитосанитарные и социальные аспекты / Соколов М.С., Глинушкин А.П., Торопова Е.Ю. // Агрохимия. 2015. №8. С. 81-94.
17. Фитосанитарные особенности возделывания яровой пшеницы по мезоформам рельефа на обыкновенных чернозёмах оренбургской области / Каракулев В.В., Глинушкин А.П., Соловых А.А. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2011. Т. 4. №32-1. С. 66-68.
18. Защита сельскохозяйственных культур от болезней в местах выброса нефтегазового конденсата / Глинушкин А.П. // Нефтепромысловое дело. 2008. №11. С. 119-120.
19. Неорганические факторы управления патогенными бактериями / Глинушкин А.П., Безрядин С.Г., Айсувакова О.П., Батманова Е.А. // Russian Agricultural Science Review. 2014. Т. 3. № 3. С. 44-48.
20. Healthy soil - phytosanitary basis of non-pesticide crop production / Sokolov M.S., Glinushkin A.P., Toropova E.Y., Borovaya V.P., Bugaeva L.N. // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2015. Т. 48. № 12. С. 3-9.