

## СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ И МАРГАНЦА В ПОЧВАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ОТХОДОВ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

**Н.П. Попова, к.с.-х.н., В.А. Шевченко, чл.-корр. РАН, А.М. Соловьёв, д.с.-х.н.,  
ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»**

Исследования проведены в ООО «Ручьевское-1» Ржевского района Тверской области в 2012-2018 г. на освоенных малопродуктивных дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах. Изучено влияние многолетнего применения органических удобрений свиноводческих комплексов в виде твердой фракции навоза (60-80 т/га) и жидких стоков (100-120 м<sup>3</sup>/га) на динамику содержания меди и марганца в пахотном слое освоенных земель площадью 5294 га.

Установлено, что на почвах с промывным типом водного режима за семилетний период наблюдений средневзвешенное содержание меди увеличилось на 0,1 мг/кг почвы, что в пределах ошибки опыта и составило 1,7 мг/кг при оптимальном значении для региона 2,45 мг/кг. Вместе с тем, многолетнее использование органических удобрений достоверно улучшило обеспеченность исследуемых земель марганцем, содержание которого в пахотном слое приблизилось к оптимальному значению и в конце наблюдений составило 44,8 мг/кг при оптимальном уровне 50,5 мг/кг почвы. Превышения ПДК этих микроэлементов в почве не обнаружено.

**Ключевые слова:** малопродуктивные земли, органические удобрения, микроэлементы, подвижная медь, подвижный марганец.

Для цитирования: Попова Н.П., Шевченко В.А., Соловьёв А.М. Содержание меди и марганца в почвах Северо-Западного региона Нечерноземной зоны при применении отходов свиноводческих комплексов// Плодородие. – 2021. – №6. – С. 72-75. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.20.

В Нечерноземной зоне площадь земель, не используемых в сельскохозяйственном производстве, более 14 млн га [1]. Реализация Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 г. позволила за счет проведения комплексной мелиорации существенно увеличить площади освоения неиспользуемых сельскохозяйственных угодий. Одна из важнейших проблем освоенных сельскохозяйственных угодий – дефицит питательных веществ, в том числе микроэлементов.

При вовлечении в оборот земель сельскохозяйственного назначения Нечерноземной зоны следует учитывать на минеральных дерново-подзолистых почвах дефицит бора и меди, на осушенных болотных и торфянистых землях недостаток меди, цинка и молибдена; а на серых лесных и черноземных почвах необходимо вносить марганец [2, 3]. Сбалансированное применение макро- и микроудобрений с учетом биологических особенностей возделываемых культур позволит сельскохозяйственным товаропроизводителям в ближайшие годы довести ежегодное производство зерна до 145-150 млн т, из них на освоенных землях Нечерноземья дополнительно получают до 35 млн т зерна. Это укрепит продовольственную безопасность России, создаст благоприятные условия для развития экономики регионов [1].

На осваиваемых малопродуктивных землях Северо-Западного региона Нечерноземной зоны важнейшее значение имеют медь и марганец, поскольку в составе этих почв они в дефиците.

По валовому содержанию меди в почве нельзя судить об обеспеченности растений этим микроэлементом. Дело в том, что доступными формами меди явля-

ются ее водорастворимая форма, а также медь, удерживаемая поверхностью коллоидов почвы, что составляет около 1% от ее валового содержания [2]. При анализе обеспеченности почвы доступными формами меди необходимо руководствоваться данными таблицы 1.

**Обеспеченность почвы медью по Я.В. Пейве, мг/кг [4]**

Почва	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
Дерново-глеевая, торфяно-глеевая, дерново-сильноподзолистая песчаная	4-5	2,5-3,5	1,0-2,5	0,5-1,0
Дерново-карбонатная суглинистая	4-6	2,0-3,0	-	-
Торфянистая (низинные, переходные и вересковые болота)	>5	3,0-5,0	1,0-3,0	< 1
Дерново-подзолистая суглинистая	4-5	2,0-3,0	1,0-2,0	-

Доказана физиологическая и биохимическая роль меди в обмене веществ растений. Она является незаменимым микроэлементом, участвующим в углеводном и белковом обмене, повышающим интенсивность дыхания. Медь входит в состав ферментов (полифенолоксидазы, лактазы, дегидрогеназы, а также аскорбинатоксидазы и др.), участвующих в окислительно-восстановительных реакциях, в процессах фотосинтеза. При дефиците меди ускоряется разрушение хлорофилла, отмечаются симптомы хлороза листьев [2, 3, 5].

Важна роль этого микроэлемента в поддержании иммунитета и устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды. В частности, установлена роль меди в повышении устойчивости растений к грибным и бактериальным заболеваниям, а также к поражению шведской мухой [5]. При недостатке меди ухудшается

водный баланс растений, теряется тургор, наблюдается завядание листьев и побегов.

Особую роль играет медь в усвоении азота, фосфора и калия. Так, например, при дефиците меди на фоне хорошей обеспеченности азотом усиливаются симптомы медного голодания, вплоть до остановки роста и формирования щуплых колосков [5].

Сельскохозяйственные культуры обладают различной чувствительностью к недостатку меди. Наиболее требовательные к ней культуры – пшеница, ячмень, овес, кукуруза. Средней отзывчивостью обладают картофель, клевер луговой, соя. Кроме того, на степень проявления медной недостаточности влияют сортовые особенности растений [3].

Количество подвижной меди выше в почвах легкого гранулометрического состава и значительно понижается на тяжелых и торфяных почвах. Однако, промывной тип водного режима способствует вымыванию меди из пахотного слоя легких почв. Известкование почвы также снижает доступность ее растениям. Создание условий для активной жизнедеятельности почвенной микрофлоры способствует увеличению доступных форм меди в результате ускорения минерализации органического вещества. На доступность в почве меди, а также железа и цинка отрицательно влияет избыток фосфатов, что необходимо учитывать в интенсивном земледелии [5].

Физиологическая роль меди при освоении залежных земель Нечерноземной зоны изучена не полностью.

Значение марганца в метаболизме растений сходно с функциями железа и магния. Марганец обнаружен во всех живых клетках растения. Доказана его важная роль в окислительно-восстановительных реакциях вследствие его способности переходить из низшей в более высокую валентность и наоборот [2, 5]. Установлено, что этот микроэлемент активизирует процесс фотосинтеза и дыхания, а также способствует образованию хлорофилла и аскорбиновой кислоты. Марганец, являясь составной частью комплекса ферментов, участвует в азотном обмене растений, способствуя усвоению молекулярного и нитратного азота.

Содержание марганца в растениях – от нескольких миллиграммов до сотен миллиграммов на 1 кг сухого вещества. С урожаем вынос марганца составляет от 0,5 до 4,5 кг/га в зависимости от культуры [2].

Дефицит марганца часто наблюдается на карбонатных, сильно произвесткованных почвах, а также на торфянистых и других почвах. На доступность марганца в почве оказывают влияние аммиачные формы азота и хлориды калия, которые повышают концентрацию подвижных форм микроэлемента. Обработка почвы и другие приемы, улучшающие воздушный режим, способствуют снижению концентрации подвижного марганца в почве [2, 3, 5].

Наиболее чувствительны к недостатку марганца озимые хлеба в начале весенней вегетации, поскольку он плохо усваивается при пониженных температурах и высокой влажности почвы. При дефиците этого микроэлемента в растительных тканях накапливается железо, что внешне проявляется в виде хлороза. Избыток марганца способствует проявлению хлороза, так как задерживает поступление и усвоение железа в растении. Токсичность марганца может проявляться на кислых дерново-подзолистых почвах, поэтому рекомендуются внесение молибденовых микроудобрений и известкование почвы.

Дерново-подзолистые почвы по обеспеченности подвижным марганцем (по данным Я.В. Пейве) делятся следующим образом (мг/кг почвы): <0,1 – очень бедная, 0,1-10 – бедная, 11-50 – среднеобеспеченная, 51-100 – богатая, >100 – очень богатая [4].

**Цель наших исследований** – изучить влияние многолетнего (семь лет) внесения органических удобрений свиноводческих комплексов в виде твердой фракции навоза (60-80 т/га) и жидких стоков (100-120 м<sup>3</sup>/га) на динамику содержания подвижных форм меди и марганца в пахотном слое малопродуктивных земель.

**Методика.** Исследования проводили в ООО «Ручьевское-1» Ржевского района, Тверской области в 2012-2018 г. Почва опытных участков дерново-подзолистая легкосуглинистая, мощность пахотного горизонта 16-18 см, осушена открытым дренажом. Исходное содержание в почве (2012 г.): гумуса – 1,76-1,78 мг/кг – очень низкое; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 106-109 мг/кг – повышенное; K<sub>2</sub>O – 90-100 мг/кг – среднее; рН<sub>KCl</sub> 4,88-5,00 ед. – слабокислая. При освоении земель проводили известкование. Жидкие стоки свиноводческих комплексов вносили весной или осенью (в норме 100-120 м<sup>3</sup>/га), применяя технологию шланговых систем с одновременной заделкой их в почву. Твердую фракцию (60-80 т/га) вносили разбросным методом с последующей отвальной вспашкой.

Содержание меди в почве определяли согласно ГОСТу Р 506984-94, а подвижного марганца – ГОСТу Р 50685-94.

В исследованиях за период наблюдений на удаленных полях ООО «Ручьевское» вносили высокие дозы органических удобрений в виде твердой фракции навоза (60-80 т/га), а жидкие стоки свиноводческих комплексов (100-120 м<sup>3</sup>/га) – на близлежащих полях, расположенных на расстоянии до 4 км. Общая площадь пашни, участвующая в эксперименте 5294 га.

**Результаты и их обсуждение.** В начале освоения (2012 г.) 88,9% залежных земель имели низкий уровень обеспеченности подвижными формами меди и только 11,1% – средний, при средневзвешенном содержании данного микроэлемента 1,6 мг/кг почвы. Через шесть лет доля полей с низкой обеспеченностью меди снизилась на 5,6% и составила 83,3% при одновременном увеличении на такую же величину площади пашни со средним уровнем. Тем не менее, средневзвешенное содержание меди увеличилось всего лишь на 0,1 мг/кг почвы, что находилось в пределах ошибки опыта (рис. а). Шестилетнее применение отходов животноводческих комплексов в указанных дозах не превысило ПДК меди в почве, которая равна 3 мг/кг [6].

На основании представленных данных можно заключить, что для быстрой ликвидации дефицита меди на вновь осваиваемых ранее мелиорированных торфянистых и заболоченных землях со слабокислой реакцией почвенного раствора одних органических удобрений недостаточно. Наряду с ними в качестве медьсодержащих удобрений следует применять пиритные огарки (отходы сернокислой промышленности), содержащие 0,25-0,6% меди, а также медный купорос, содержащий 23-25% действующего вещества.

Установлено, что регулярное внесение в качестве основного удобрения высоких доз твердой фракции навоза (60-80 т/га) и жидких стоков свиноводческих комплексов (100-120 м<sup>3</sup>/га) способствует повышению содержания подвижных форм марганца при вовлечении в производ-

ственный цикл малопродуктивных земель. Так, в начале освоения залежи (2012 г.) средневзвешенное содержание марганца составляло 40,4 мг/кг почвы, при этом доля

земель с низким уровнем обеспеченности подвижными формами марганца равнялась 47,6%, а со средним – 52,4% (рис. б).

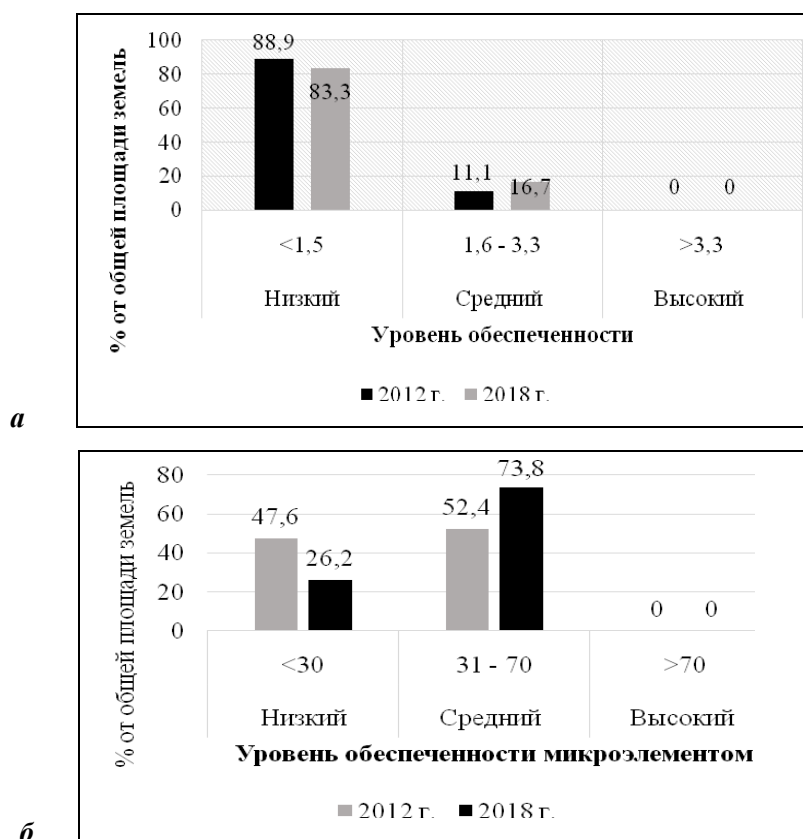


Рис. Динамика распределения почв по обеспеченности подвижными формами меди (а) и марганца (б), мг/кг

Спустя шесть лет после вовлечения земель в сельскохозяйственный оборот средневзвешенное содержание доступного марганца увеличилось на 4,4 мг/кг почвы и составило 44,8 мг/кг за счет снижения на 21,4% посевных площадей с низким уровнем обеспеченности этим микроэлементом. В 2018 г. подавляющее количество полей агрофирмы (73,8%) характеризовалось средним уровнем обеспеченности подвижными формами марганца, что существенно выше (52,4%) исходного значения.

Почвы с высоким содержанием марганца, превышающим ПДК – 300 мг/кг, за шестилетний период внесения повышенных доз органических удобрений не выявлены.

Для ликвидации дефицита марганца на хорошо аэрируемых легких почвах, наряду с органическими удобрениями следует применять марганцевые: сернокислый марганец (24,6% окиси марганца), марганезированный гранулированный суперфосфат (1,5-2,5% оксида марганца); марганцевые шламы (10-17% оксида марганца).

Марганцевые удобрения обеспечивают наибольший эффект при возделывании технических и овощных культур в годы с недостатком влаги во второй половине вегетации.

**Выводы.** 1. При систематическом внесении высоких доз органических удобрений свиноводческих комплексов в виде твердой фракции навоза (60-80 т/га) и жидких стоков (100-120 м<sup>3</sup>/га) за шестилетний период наблюдений отмечена положительная динамика содержания меди в пахотном слое вовлекаемых в сельскохозяйственный оборот малопродуктивных земель на всей

площади пашни агрофирмы. Однако, средневзвешенное содержание меди на легкосуглинистых дерново-подзолистых почвах с промывным типом водного режима увеличилось всего на 0,1 мг/кг почвы, что находилось в пределах ошибки опыта и составило 1,7 мг/кг при оптимальном значении 2,45 мг/кг. Полагаем, что это объясняется тем, что на осваиваемых землях при внесении органических удобрений с четко выраженной щелочной реакцией почвенного раствора фиксация меди почвенным поглощающим комплексом ослаблена.

2. Регулярная заделка высоких доз органических удобрений обеспечила за годы проведения исследований достоверное повышение содержания марганца в пахотном слое вовлекаемых в производственный цикл залежных земель. Средневзвешенное содержание данного элемента увеличилось на 4,4 мг/кг и достигло 44,8 мг/кг почвы при оптимальном значении 50,5 мг/кг. На кислых почвах Нечерноземной зоны для снижения дефицита марганца, наряду с внесением органических удобрений, целесообразна предпосевная обработка семян марганезированным суперфосфатом из расчета 2,5-5,0 кг/т семян.

#### Литература

1. Шевченко В. А., Бородин В. В., Бондарева Г. И. и др. Научно-методические подходы к оценке состояния агроландшафтов и принципы освоения вышедших из оборота мелиорированных земель. – М.: ВНИИ гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2021. – 220 с.
2. Минеев В. Г., Сычев В. Г., Гамзиков Г. П. и др. Агрохимия: классический учебник для стран СНГ. – М.: Изд-во ВНИИА, 2017. С. -258-261, 271-273.

3. Ягодин Б. А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В. И. Агрохимия/ Под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Колос, 2002. – С.287-322.  
4. Пейве Я. В. Биохимия почв. – М.: Госиздатсельхозлитературы, журналов и плакатов, 1961. – 422 с.  
5. Анспок П. И. Микроудобрения: Справочник. – 2-е изд., перераб. и допол. – Л.: Агропромиздат, 1990. – С. 33-226.

6. Федеральный закон Российской Федерации «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30 марта 1999 г. Предельно допустимые концентрации ПДК химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2041-06. Дата введения: 1 апреля 2006 г.

## THE CONTENT OF COPPER AND MANGANESE IN SOD-PODZOLIC SOILS OF THE NORTH-WESTERN REGION OF THE NON-CHERNOZEM ZONE OF RUSSIA DURING THE LONG-TERM USE OF WASTE FROM PIG-BREEDING COMPLEXES

Popova N.P., Shevchenko V.A., Soloviev A.M.,  
FSBSI «VNIIGiM im. A.N. Kostyakova», Moscow, Russian Federation

*The research was carried out in LLC Ruchevskoe-1, Rzhevsky district, Tver region in 2012 ... 2018. on developed unproductive, sod-podzolic, light loamy soils. The influence of long-term use of organic fertilizers from pig-breeding complexes in the form of solid fraction of manure (60 ... 80 t / ha) and liquid waste (100 ... 120 m<sup>3</sup> / ha) on the dynamics of the content of copper and manganese in the arable layer has been studied.*

*It was found that on soils with a leaching type of water regime over a six-year observation period, the weighted average copper content increased by 0.1 mg / kg of soil, which was within the experimental error and amounted to 1.7 mg / kg with an optimal value for the region of 2.45 mg / kg. At the same time, the long-term use of organic fertilizers significantly improved the provision of the studied lands with manganese, the content of which in the arable layer approached the optimal value and at the end of the observations amounted to 44.8 mg / kg with the optimal level of 50.5 mg / kg of soil. No excess of the MPC for these microelements was found in the soil.*

*Keywords: unproductive lands, organic fertilizers, trace elements, mobile copper, mobile manganese*

DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.21

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ СОСТАВА КОМПЛЕКСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ МЫШЬЯКА

Г.А. Ступакова, к.б.н., Н.И. Аканова, д.б.н., Е.Э. Игнатьева,  
Т.И. Щиплецова, Д.К. Митрофанов,  
ФГНБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии  
имени Д.Н. Прянишникова»  
127434, Россия, Москва, ул. Прянишникова, 31а, e-mail: vniia@list.ru

*Дан краткий обзор по содержанию мышьяка в почвах и минеральных удобрениях. При определении метрологических характеристик образцов минеральных удобрений разных производителей оценены характеристики неоднородности и стабильности образцов. Проведена аттестация четырех образцов состава минеральных удобрений на содержание мышьяка в 20 аккредитованных лабораториях. Установлены количественные величины содержания мышьяка в стандартных образцах (СО) комплексных минеральных удобрений в пределах от 1,36 до 30,3 мг/кг. На основе разработанных образцов проведены межлабораторные сравнительные испытания (МСИ) в 25 испытательных лабораториях (ИЛ) АПК на содержание мышьяка в СО состава минеральных удобрений. Представлены результаты МСИ, проведен анализ испытаний.*

*Ключевые слова: мышьяк, минеральные удобрения, межлабораторные сравнительные испытания.*

Для цитирования: Ступакова Г.А., Аканова Н.И., Игнатьева Е.Э., Щиплецова Т.И., Митрофанов Д.К. Разработка методологии оценки состава комплексных минеральных удобрений на содержание мышьяка// Плодородие. – 2021. – №6. – С. 75-78. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.21.

Анализ литературных данных по содержанию мышьяка в разных типах почв достаточно противоречив [1], средняя концентрация этого элемента в почвах колеблется от 0,1 до 40 мг/кг [2]. Содержание мышьяка в почве зависит от её физико-химических свойств и поступления этого элемента с внешними источниками: отходами металлообрабатывающей промышленности, промышленными выбросами, минеральными удобрениями, пестицидами и др. [1]. Согласно СанПиН 1.2.3685-21 [3], мышьяк относится к 1-му классу опасности, величина ПДК/ОДК (валовое содержание) с учетом фона (кларка) от 2 до 10 мг/кг, в зависимости от pH почвы и её гранулометрического состава.

Тяжелые металлы в минеральных удобрениях [4] являются естественными примесями, содержащимися в

агрорудах. Поэтому количество их в минеральных удобрениях зависит от исходного сырья и технологии его переработки. Наиболее существенные как по набору, так и по концентрациям примесей тяжелых металлов фосфорные удобрения, а также удобрения, получаемые с использованием экстракционной ортофосфорной кислоты (аммофосы, аммофоски, нитрофосы, нитрофоски, двойные суперфосфаты) [5].

Отмечено [2], что в отечественном сырье мышьяка меньше, чем в зарубежном: в апатитах 0,6-2,4 мг/кг, в фосфоритах 15,4-43,2, в природных фосфатах из Бельгии и США 55 и 188 мг/кг соответственно. Содержание мышьяка в фосфорных удобрениях зависит не только от концентрации в исходном сырье, но и от особенности технологии производства и чистоты участвующих в