

ведены широкомасштабные серии опытов с озимыми и яровыми зерновыми культурами, озимым и яровым рапсом, зерновыми бобовыми, кукурузой и многолетними травами. Эффективность борных микроудобрений при их внесении в почву и предпосевной обработке семян была сопоставима. Прибавки урожая зависели от содержания подвижной формы микроэлемента. При некорневой обработке вегетирующих растений эффективность зависела от срока применения. Максимальный эффект достигался при обработке злаковых в фазе выхода в трубку, рапса – до начала бутонизации.

Эффективность внесения молибдата аммония в почву зависела от кислотности. На близких к нейтральным и нейтральных почвах наибольшая прибавка урожайности (16-22%) получена при внесении молибдата аммония в почву, предпосевная обработка семян давала несколько меньший эффект (13-16% прибавки урожая). На слабокислых почвах предпосевная обработка семян

была более эффективной по сравнению с внесением микроэлемента. При $pH_{KCl} < 5,0$ внесение молибдена в почву в большинстве случаев не давало статистически достоверной прибавки урожая.

Таким образом, установлено, что наиболее экономически и технологически целесообразным способом является предпосевная обработка семян или обработка вегетирующих растений раствором борной кислоты из расчета 150 г/га, а молибдатом аммония – 250 г/га.

Литература

1. Панасин, В.И. Микроэлементы и урожай / В.И. Панасин. – Калининград, 1995. – 276 с.
2. Экологическое состояние и плодородие почв Калининградской области / В.И. Панасин, Е.С. Роньжина, В.В. Долинина и др. – Калининград, 2014. – 271 с.
3. Бор в агроэкосистемах Калининградской области / В.И. Панасин, Е.С. Роньжина, В.В. Долинина и др. – Калининград, 2012. – 233 с.
4. Панасин, В.И. Гумус и плодородие почв Калининградской области / В.И. Панасин, Д.А. Рымаренко. – Калининград, 2004. – 220 с.

AGROCHEMICAL-SOIL ASPECTS OF BORON AND MOLYBDENUM DISTRIBUTIONS IN AGRICULTURAL SOILS OF KALININGRAD REGION

V.I. Panasin¹, M.I. Vikhmann², R.G. Uytov², D.A. Rymarenko²

¹Kaliningrad State Technical University pr. Sovetskii 1, Kaliningrad, 236000 Russia

²Kaliningradskii Center of Agrochemical Service ul. Molodoi Gvardii 4, Kaliningrad, 236038 Russia

E-mail: agrohimi_39@mail.ru

The supply of agricultural soils with mobile boron and molybdenum compounds has been studied. It is found that almost all of the regional soils are characterized by a low content of mobile molybdenum. About half of the soil area is insufficiently supplied with mobile boron. The dependences of the contents of boron and molybdenum on the genesis of soil, particle size distribution, content and fractional composition of organic matter, and exchange acidity have been studied. Practical recommendations are given on the application of boron and molybdenum microfertilizers.

Keywords: boron, molybdenum, mobile forms, particle size distribution, pH_{KCl} organic matter, microfertilizers.

УДК 631.416.8 : 546 (571.51)

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ МИНУСИНСКОЙ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

А.П. Сергеев, Т.Я. Липатникова, Е.И. Волошин, ГСАС «Минусинская»

Приведены результаты эколого-агрохимического обследования почв по содержанию тяжелых металлов. Показано, что пониженное содержание тяжелых металлов в почвах свидетельствует о гарантированной возможности получения в Минусинской лесостепной зоне экологически безопасной растениеводческой продукции.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почва, почвообразующие породы, гранулометрический состав, содержание, агроценозы, экологически безопасная растениеводческая продукция.

Тяжелые металлы входят в группу микроэлементов. При низкой концентрации в природной среде их определяют как микроэлементы, а при избыточной как тяжелые металлы. Термины (микроэлементы и тяжелые металлы) – категории не столько качественные, сколько количественные, привязанные к крайним вариантам экологической обстановки [1].

Тяжелые металлы в небольших количествах принимают участие в процессах обмена веществ и оказывают влияние на нормальный рост и развитие растений. При высоких концентрациях они относятся к числу наиболее опасных загрязняющих веществ. Поступление в окружающую природную среду токсикантов, содержащихся в атмосферных выбросах промышленных пред-

приятий, выхлопных газах автотранспорта, средствах химизации сельского хозяйства приводит к ухудшению экологической обстановки в агроценозах. Обогащение биосферы токсикантами способствует возникновению геохимических аномалий, увеличивает количество загрязненных земель, что вызывает необходимость в проведении регулярного агрохимического и экологического контроля за содержанием их в почвах и растениях.

Цель исследований – дать эколого-агрохимическую оценку содержания тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий Минусинской лесостепной зоны Красноярского края.

Методика. Минусинская лесостепная зона расположена на юге земледельческой части Красноярского края. По агроклиматическому районированию относится к умеренному поясу и холодно-умеренному подпоясу. Климат природной зоны характеризуется резкой континентальностью. Среднеголетняя сумма осадков в лесостепи колеблется от 330 до 460 мм. выпадающие осадки в течение года распределяются неравномерно. Основная часть осадков выпадает в летний период, их количество является лимитирующим фактором формирования урожая сельскохозяйственных культур. Среднегодовая температура равна 0°C, сумма активных температур меняется от 1740 до 2039°C. Сво-

образные климатические условия лесостепной зоны оказывают определенное влияние на температурный, водный режим почв и развитие в них микробиологических процессов. Неблагоприятное сочетание высокой температуры, низкой влажности почвы и воздуха ухудшает процессы мобилизации доступных для растений питательных веществ и оказывает существенное влияние на плодородие почв.

В структуре почвенного покрова сельскохозяйственных угодий черноземы занимают 44,7%, серые лесные – 21,6, луговые – 7,3 и интразональные почвы – 26,4%. Среди пахотных угодий преобладают черноземы – 89,7%, серые лесные составляют – 4,5, луговые и пойменные – 5,3% [2]. Почвы имеют легкий гранулометрический состав (70,6%), глинистые и тяжелосуглинистые встречаются на площади 29,4%. Характерными особенностями зональных почв являются значительная комплексность пашни, повышенная гумусированность, укороченность аккумулятивного горизонта и пониженная степень их оподзоленности. Разнообразие природных условий в Минусинской лесостепной зоне оказали существенное влияние на потенциальное и эффектив-

ное плодородие почв, содержание и распределение в них различных химических элементов.

Эколого-агрохимическое обследование почв сельскохозяйственных угодий проводили в соответствии с рекомендованными методическими указаниями [3]. Определение валового содержания тяжелых металлов в почвенных образцах проводили по методике ЦИНАО [4] на атомно-абсорбционном спектрофотометре в пламени ацетелен-воздух. Результаты эколого-агрохимического обследования почв сельхозугодий приведены по состоянию на 01.01.2016 г. [5].

Результаты и их обсуждение. Содержание и распределение тяжелых металлов в почвах Минусинской лесостепи зависит от химического состава почвообразующих пород, условий почвообразования, агрофизической и агрохимической характеристики почв, антропогенных факторов, уровня применения удобрений и биологических особенностей сельскохозяйственных культур.

Для лесостепной зоны характерно неодинаковое валовое содержание цинка в почвах (табл. 1).

1. Валовое содержание цинка, меди, кобальта и марганца в 0-20 см слое почвы, мг/кг

Район	Обследованная площадь, тыс. га	Цинк		Медь		Кобальт		Марганец	
		min – max	среднее	min – max	среднее	min – max	среднее	min – max	среднее
Ермаковский	37,96	20,41-61,74	39,67	0,10-27,15	13,93	3,42-12,79	7,25	166,0-390,0	272,7
Идринский	79,21	23,80-78,88	44,20	0,10-24,41	16,03	3,44-12,18	7,38	140,0-729,0	312,6
Каратузский	90,13 (90,23)*	19,18-62,10	42,67	0,04-28,80	15,08	0,09-10,00	7,20	-	-
Краснотуранский	100,72	31,71-79,93	46,49	9,20-30,89	18,72	4,03-15,13	8,01	185,0-570,0	256,0
Курагинский	101,09	28,10-59,30	45,17	7,88-48,90	16,73	2,60-13,90	7,44	147,0-363,0	298,8
Минусинский	133,75 (124,93)*	22,98-56,25	42,76	0,10-77,08	13,67	3,08-10,83	6,67	138,0-334,0	236,0
Шушенский	66,29	23,67-78,69	40,29	0,10-19,91	12,51	5,53-16,10	10,10	147,0-672,0	321,3
По зоне	609,15 (600,33)	19,18-79,93	43,04	0,04-77,08	15,24	0,09-16,10	7,72	138,0-729,0	282,9

*В скобках указана площадь для кобальта и марганца.

Примечание. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) в почвах: цинка – 220 мг/кг, меди – 132 мг/кг [6], предельно допустимые концентрации (ПДК) в почвах: кобальта – 50 мг/кг, марганца – 1500 мг/кг [7].

На распределение цинка в пахотном горизонте большое влияние оказывает пестрота в плодородии почв. Анализ пространственного распределения цинка в почвенном покрове показывает, что разница между минимальным и максимальным содержанием этого элемента в почвах составляет 4,2 раза. Различия в распределении цинка в почвах связаны с низкой концентрацией этого элемента в почвообразующих породах и их неодинаковым гранулометрическим составом. Наиболее высокие концентрации цинка отмечаются в глинистых и тяжелосуглинистых почвах. При облегчении гранулометрического состава почв содержание цинка в них уменьшается. Среднее содержание цинка на обследованной территории в 2,1 раза ниже кларковых значений. При проведении эколого-токсикологического картографирования не установлено загрязнения почв сельскохозяйственных угодий цинком.

Концентрация валовой меди в разных типах почв лесостепной зоны обладает высокой природной вариативностью, обусловленной микропестротой почвенного покрова, географическими и геохимическими условиями формирования почв. На обследованной территории отмечаются значительные колебания в содержании меди в почвах. Эти различия обусловлены неодинаковой концентрацией элемента в почвообразующих породах и разной направленностью почвообразовательных процессов. Из-за развития подзолообразовательного процесса содержание меди в пахотном горизонте серых лесных почв ниже, чем в черноземах. Луговые и интра-

зональные почвы характеризуются повышенным содержанием меди. Накопление меди в этих почвах происходит за счет ее перераспределения с повышенных элементов рельефа в пониженные, в которых формируются эти почвы. Среднее содержание валовой меди в почвах сельскохозяйственных угодий составляет 15,24 мг/кг, что в 2 раза ниже кларка. При обследовании загрязнение почв медью не выявлено.

Пространственное распределение валового кобальта в почвах определяется гранулометрическим составом и концентрацией в почвообразующих породах (см. табл. 1). В разных типах и подтипах почв отмечаются значительные колебания кобальта в почвенном покрове. Максимальные значения этого элемента в 178,9 раза превосходят его минимальную концентрацию в почвах. В черноземах среднее содержание кобальта выше, чем в серых лесных почвах. Пониженное содержание кобальта в разных подтипах серых лесных почв происходит в результате подзолообразовательного процесса и обеднения гумусового горизонта соединениями полуторных оксидов. В отличие от черноземов и серых лесных почв верхний горизонт в луговых и интразональных почвах характеризуется более высоким содержанием кобальта. Такое распределение кобальта в этих почвах происходит за счет его миграции в агроландшафтах. Среднее содержание кобальта в почвах лесостепной зоны ниже кларка и не превышает принятых санитарных норм.

На содержание и распределение марганца в почвенном покрове влияют неодинаковые условия почвообразования, различия в агрофизической, агрохимической характеристике почв и концентрации элемента в почвообразующих породах. На обследованной территории максимальное содержание марганца в почвах превосходит его минимальную концентрацию в 5,3 раза. Изменения в содержании марганца связаны с пестротой в плодородии почв, различиями в гранулометрическом составе и концентрации элемента в почвообразующих породах. Более высоким содержанием валового марганца характеризуются серые лесные почвы. В них средняя концентрация марганца в верхнем горизонте в 1,2-1,3 раза выше, чем в черноземах. Повышенное содержание марганца отмечается в луговых и интразо-

нальных почвах, сформированных в пониженных элементах рельефа. Среднее содержание марганца в агроценозах Минусинской лесостепи ниже кларка и предельно допустимой концентрации в почвах.

Кадмий в почвах находится в небольшом количестве. На его содержание в почвах влияют многие факторы почвообразования, среди которых химический состав материнских пород играет основную роль. Кадмий является химическим аналогом цинка. Его концентрация в почвенном покрове определяется теми же факторами, что и цинка. В большинстве почв накопление кадмия происходит в гумусовом горизонте, что обусловлено биогенной аккумуляцией этого элемента. В почвах Минусинской лесостепной зоны наблюдается значительное варьирование валового содержания кадмия (табл. 2).

2. Валовое содержание кадмия, свинца, никеля и ртути в 0–20 см слое почв, мг/кг

Район	Обследованная площадь, тыс. га	Кадмий		Свинец		Никель		Ртуть	
		min – max	среднее	min – max	среднее	min – max	среднее	min – max	среднее
Ермаковский	37,96	0,015-0,320	0,181	3,60-11,81	7,88	15,03-41,53	29,07	0,011-0,200	0,019
Идринский	79,21	0,014-0,390	0,176	4,75-16,04	9,46	0,27-38,44	23,48	0,001-0,040	0,017
Каратузский	90,13	0,140-0,500	0,365	5,04-17,60	8,59	10,10-42,90	28,65	0,001-0,047	0,018
Краснотуранский	100,72	0,017-0,590	0,340	5,11-16,16	10,10	16,83-51,61	26,96	0,010-0,049	0,020
Курагинский	101,09	0,040-0,741	0,260	0,66-20,40	8,11	6,99-40,00	25,99	0,001-0,050	0,014
Минусинский	135,48 (133,75)	0,015-0,581	0,144	0,07-14,02	2,96	15,50-43,58	26,67	0,001-0,143	0,019
Шушенский	66,29	0,013-0,490	0,174	3,80-22,21	10,22	12,90-41,48	23,37	0,012-0,360	0,025
По зоне	610,88 (609,15)	0,013-0,741	0,238	0,07-22,21	8,19	6,99-51,61	26,31	0,001-0,360	0,020

Примечание. ОДК в почвах: кадмия – 2 мг/кг, свинца, никеля – 80 мг/кг, ПДК ртути – 2,1 мг/кг.

Концентрация кадмия в разных типах и подтипах почв варьирует от 0,013 до 0,741 мг/кг, или в 57 раз. Такой характер распределения кадмия в почвах связан с неодинаковым содержанием этого элемента в почвообразующих породах. При облегчении гранулометрического состава почв концентрация в них кадмия уменьшается. На обследованной территории среднее содержание кадмия в почвах ниже фоновых значений и ориентировочно допустимой концентрации.

Для лесостепной зоны характерно изменение пространственного распределения свинца в почвах, обусловленное разной концентрацией элемента в составе почвообразующих пород. Более высоким средним содержанием свинца характеризуются почвы Краснотуранского и Шушенского районов. Пониженная концентрация валового свинца отмечается в почвенном покрове Минусинского района. При утяжелении гранулометрического состава содержание свинца в почвах повышается. Среднее содержание свинца в почвах Минусинской лесостепи в 1,9 раза ниже кларковых значений. На обследованной территории не обнаружено загрязнение почв агроценозов свинцом.

Распределение никеля в почвах лесостепной зоны определяется разными условиями их почвообразования, гранулометрическим составом и концентрацией элемента в почвообразующих породах. Для почв лесостепи характерна неоднородность в распределении никеля в верхнем горизонте (см. табл. 2). Разница между минимальным и максимальным содержанием никеля в почвах составляет 7,4 раза. Больше всего никеля в глинистых и тяжелосуглинистых почвах, при облегчении гранулометрического состава концентрация элемента уменьшается. Среднее содержание валового никеля в почвах лесостепной зоны в 1,9 раз ниже кларка. При проведении эколого-токсикологического картографирования загрязнение почв сельскохозяйственных угодий никелем не обнаружено.

В Минусинской лесостепной зоне содержание ртути в почвах характеризуется большим разнообразием. На концентрацию ртути в почвах влияют неоднородность и пестрота почвенного покрова. Колебания ртути в почвах связаны с разными условиями их почвообразования и неодинаковой концентрацией элемента в составе почвообразующих пород. В региональных условиях на содержание ртути в почвах также большое влияние оказывает их гранулометрический состав. В почвах легкого гранулометрического состава содержание валовой ртути низкое. При утяжелении гранулометрического состава концентрация ртути повышается. Среднее содержание ртути в почвенном покрове несколько выше кларка. При обследовании загрязнение почв ртутью не выявлено.

Почвы лесостепной зоны различаются по содержанию мышьяка (табл. 3). Это связано с неодинаковой концентрацией данного элемента в почвообразующих породах. На обследованной территории содержание мышьяка в почвах колеблется от 0,15 до 6,90 мг/кг при среднем значении 3,59 мг/кг, что равно 0,7 кларка. При облегчении гранулометрического состава концентрация мышьяка в почвах уменьшается. При обследовании загрязнение почв мышьяком не установлено.

3. Валовое содержание мышьяка в 0–20 см слое почв, мг/кг

Район	Обследованная площадь, тыс. га	Мышьяк	
		min–max	среднее
Ермаковский	37,96	0,72-5,20	3,35
Краснотуранский	4,44	3,20-6,90	4,62
Минусинский	146,80	0,15-5,70	2,36
Шушенский	9,50	0,70-6,50	4,02
По зоне	198,70	0,15-6,90	3,59

Примечание. ОДК мышьяка в почвах – 10 мг/кг.

Пространственное распределение хрома в почвах определяется гранулометрическим составом и концентрацией элемента в почвообразующих породах (табл. 4). Валовое содержание хрома в зональных почвах колеб-

лется от 4,50 до 21,02 мг/кг, или в 4,7 раза. Среднее содержание хрома на обследованной площади - 12,79 мг/кг. Из-за низкой концентрации элемента в почвообразующих породах почвы обеднены хромом, содержание которого в 5,5 раза ниже кларка.

4. Валовое содержание хрома в 0–20 см слое почв, мг/кг

Район	Обследованная площадь, тыс. га	Хром	
		min–max	среднее
Красноярский	21,09	4,50-10,00	9,42
Шушенский	17,97	11,10-21,02	16,16
По зоне	39,06	4,50-21,02	12,79

Примечание. ПДК хрома в почвах – 100 мг/кг [8].

За исключением кадмия, почвы Минусинской лесостепной зоны в 1,6-6,7 раза меньше содержания тяжелых металлов в сравнении с аналогами из Западной Сибири (табл. 5).

5. Фоновое валовое содержание тяжелых металлов в 0–20 см слое почв, мг/кг

Элемент	Кларк почвы [9]	Западная Сибирь [1, 11]		Минусинская лесостепная зона
		черноземы	разные почвы	
Цинк	90	70,6	73	43,04
Медь	30	24,1	31	15,24
Кобальт	8	7,9	13	7,72
Марганец	1000	775	797	282,9
Кадмий	0,5*	0,17	0,15-0,21	0,23
Свинец	16	19,7	18	8,19
Никель	50	39,3	42	26,31
Ртуть	0,01*	0,077	0,057-0,085	0,020
Мышьяк	5	20,9	13	3,59
Хром	70	95,1	84	12,79

*По А.П. Виноградову [10].

На количество подвижной формы ТМ в агроценозах большое влияние оказывают неодинаковые условия их почвообразования, плодородие почв, валовое содержание, климат и уровень применения минеральных и органических удобрений. В 2007-2015 гг. на реперных участках локального мониторинга в 0-20 см слое почв среднее содержание подвижной меди колебалось от 0,13 до 0,28 мг/кг, цинка – 0,28-0,93, кадмия – 0,05-0,09, свинца – 0,30-1,12, никеля – 0,6-1,7 мг/кг и не превышало принятых санитарных норм [7].

На содержание тяжелых металлов в растениях влияют погодные условия, свойства почв, обеспеченность их подвижной формой элемента и биологические особенности сельскохозяйственных культур. Концентрации меди в зеленой массе трав, сене многолетних бо-

бовых и злаковых трав варьировала в пределах – 0,67-6,06 мг/кг натурального корма, цинка – 3,64-28,66, марганца – 5,3-3,02, мышьяка – 0,015-0,12, ртути – 0,001-0,019, свинца – 0,04-3,36, кобальта – 0,04-0,81 мг/кг, что ниже существующих МДУ [12]. Содержание ртути, мышьяка, кадмия, свинца в урожае зерновых, зернобобовых, овощных культур и картофеля была ниже предельно допустимой концентрации [13].

Заключение. Почвы сельскохозяйственных угодий Минусинской лесостепной зоны характеризуются пониженным содержанием валовой и подвижной форм тяжелых металлов в них. Низкие дозы вносимых минеральных (15 кг д.в./га) и органических (0,8 т/га) удобрений не оказывают существенного влияния на содержание тяжелых металлов в почвах. Высокая гумусированность зональных почв (средневзвешенное содержание – 6,7%) и нейтральная реакция среды (рН 6,1) способствуют уменьшению биодоступности тяжелых металлов растениям и гарантируют получение в агроценозах экологически безопасной растениеводческой продукции.

Литература

1. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.
2. Крупкин П.И. Черноземы Красноярского края. – Красноярск: изд-во КрасГУ, 2002. – 332 с.
3. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения. – М.: Росинформгортех, 2003. – 240 с.
4. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЦИНАО, 1992. – 62 с.
5. Отчет о научно-производственной деятельности за 2015 год ФГБУ ГСАС «Минусинская». – Минусинск, 2016. – 62 с.
6. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве.
7. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
8. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. – СПб.: Мир и семья, 2001. – 896 с.
9. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картографирования. – М.: ИМГРЭ, 2002 – 92 с.
10. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: изд-во АН СССР, 1957. – 259 с.
11. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2007. – 277 с.
12. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. – М., 1987. – 5 с.
13. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. СанПин 2.3.21078-01. – М.: РИТ ЭКСПРЕСС, 2002. – 216 с.

HEAVY METALS IN SOILS OF THE MINUSINSK FOREST-STEPPE ZONE OF KRASNOYARSK KRAI

A.P. Sergeev, T.Ya. Lipatnikova, E.I. Voloshin
Minusinskaya State Station of Agrochemical Service
ul. Suvorova 35, Minusinsk, Krasnoyarsk krai, 662607 Russia

The article presents results of ecoagrochemical soil survey for heavy metals. It is shown that the reduced contents of heavy metals in soils confirm a guaranteed opportunity of receiving ecologically safe crops in the Minusinsk forest-steppe zone.

Keywords: heavy metals, soil, soil-parent materials, particle size distribution, content, agroecosis, ecologically safe crop.