

УДК 632.122.1:546.47:546.56:546.77(470.32)

МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ХРОМА И НИКЕЛЯ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЁМНОГО РАЙОНА РОССИИ

© 2024 г. С. В. Лукин^{1,2}

Представлено академиком РАН В.И. Кирюшиным 29.02.2024 г.

Поступило 29.02.2024 г.

После доработки 20.03.2024 г.

Принято к публикации 26.03.2024 г.

Исследования проводились в рамках программы государственного агроэкологического мониторинга. Цель заключалась в проведении экологической оценки содержания хрома и никеля в агроэкосистемах юго-западной части Центрально-Чернозёмного района России на примере Белгородской области. Все аналитические исследования проводились в аккредитованной испытательной лаборатории по общепринятым методикам. В ходе исследований было установлено, что среднее валовое содержание в пахотном слое хрома и никеля в чернозёмах выщелоченных составляет 19.8 и 24.5, в чернозёмах типичных — 20.0 и 24.9, в чернозёмах обыкновенных — 20.9 и 26.6 мг/кг соответственно. Среднее содержание в изучаемых почвах подвижных форм хрома было в пределах 0.13–0.14, никеля 0.37–0.41 мг/кг. Превышения уровней ОДК никеля и ПДК подвижных форм данных тяжёлых металлов в почвах выявлено не было. В агроэкосистемы Белгородской области хром и никель в основном поступают с органическими удобрениями, однако это не представляет опасности для загрязнения почв и растениеводческой продукции. Наиболее высокое среднее содержание хрома (0.45 мг/кг) отмечалось в семенах подсолнечника, а самое низкое (0.22 мг/кг) — в зерне кукурузы. Аномально высоким содержанием никеля (4.81 мг/кг) характеризуется зерно сои, а самая низкая концентрация (0.63 мг/кг) отмечается в зерне кукурузы.

Ключевые слова: кларк, почва, сельскохозяйственные культуры, чернозём, удобрения, тяжелые металлы, фоновый мониторинг

DOI: 10.31857/S2686739724080191

ВВЕДЕНИЕ

По мере развития промышленности увеличивается техногенное воздействие на все компоненты биосферы, в частности существенно возрастает вероятность загрязнения почв тяжёлыми металлами (ТМ). Одними из самых распространённых в природе и широко используемых в промышленности (особенно в металлургии) ТМ являются хром и никель. В соответствии с российскими нормативами Cr и Ni по степени токсичности относятся ко второму классу (умеренно опасные вещества) [1]. Основными антропогенными источниками поступления Cr и Ni в окружающую среду являются предприятия цветной и чёрной металлургии, машиностроения, топливно-энергетического комплекса.

Загрязнение почвы агроэкосистем, особенно вблизи крупных мегаполисов, может происходить при неконтрольном использовании осадков сточных вод (ОСВ) в качестве органических удобрений.

Кларки этих элементов (среднее валовое содержание) в почвах, установленные разными авторами и в разные годы, порой существенно отличаются. Например, кларки Cr и Ni, по результатам исследований, выполненных в середине прошлого века [2], составляют 200 и 40, а по более современным данным [3] — 59.5 и 29.0 мг/кг соответственно.

В растениях Cr и Ni выполняют разнообразные физиологические функции, однако полностью их роль пока не изучена. В частности, для Cr и Ni не установлены уровни минимального содержания в почвах подвижных форм, при которых лимитируется урожайность сельскохозяйственных культур. Например, для таких

¹Центр агрохимической службы “Белгородский”, Белгород, Российская Федерация

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Российская Федерация

микроэлементов, как Zn, Cu, Co, Mn, Mo, уровни низкой обеспеченности почв, при которых целесообразно применять микроудобрения, агрохимическими нормативами регламентированы [4].

При высоких концентрациях в почвах Cr и Ni могут негативно влиять на развитие растений. Поэтому во многих странах мира нормируется их содержание в почвах [5, 6]. В России для нормирования валового содержания Ni в почвах в зависимости от их гранулометрического состава и кислотности установлены уровни ориентировочно допустимых концентраций (ОДК). Например, для тяжелосуглинистых почв с pH_{KCl} менее 5.5 ОДК Ni составляет 40, а для почв с pH солевой вытяжки (pH_{KCl}) более 5.5–80 мг/кг. Фитотоксичность Cr зависит от его степени окисления. Наиболее токсичен Cr^{6+} , и для его содержания в почвах в России установлена предельно допустимая концентрация (ПДК) на уровне 0.05 мг/кг. Валовое содержание Cr^{3+} в России не нормируется [7]. Однако, например, в Германии ПДК Cr^{3+} в почвах установлена на уровне 100 мг/кг [8]. Для содержания подвижных форм Ni и Cr^{3+} , извлекаемых ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4.8, ПДК установлены на уровне 4 и 6 мг/кг соответственно [7].

Учитывая высокую потенциальную опасность загрязнения агроэкосистем Cr и Ni, агрохимической службой России осуществляется мониторинг содержания этих токсикантов в удобрениях, почвах и сельскохозяйственных растениях.

Цель исследований заключалась в проведении экологической оценки содержания Cr и Ni в агроэкосистемах юго-западной части Центрально-Чернозёмного района на примере Белгородской области.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в юго-западной части Центрально-Чернозёмного района России на территории Белгородской области. В почвенном покрове лесостепной зоны области преобладают чернозёмы типичные (44.8% от общей площади пашни) и выщелоченные (25.7%), а степной — чернозёмы обыкновенные (13.0%). Значение гидротермического коэффициента по Селянинову (ГТК) изменяется от 0.9 на юго-востоке степной зоны области до 1.2 на западе лесостепной.

Фоновый мониторинг проводился на участке “Ямская степь” государственного заповедника “Белогорье”, расположенного в лесостепной

зоне, и на территории природного парка “Ровеньский”, находящегося в степной зоне. В верхней части гумусово-аккумулятивного горизонта целинного чернозёма выщелоченного содержание физической глины (частиц размером менее 0.01 мм), $C_{орг}$ и pH водной вытяжки (pH_{H_2O}) составляло 56.4%, 5.63%, 6.3, чернозёма типичного — 57.3%, 5.86%, 7.0, чернозёма обыкновенного — 67.0%, 3.77%, 7.1 соответственно.

В статье использованы материалы локального агроэкологического мониторинга, проводимого агрохимической службой России в 2016–2023 гг. Для осуществления этого вида мониторинга на пахотных почвах области, вне зоны влияния выбросов промышленных предприятий, заложены реперные объекты (участки поля площадью 4–40 га), с которых ежегодно отбирается почва и растениеводческая продукция для химического анализа. Среднее содержание физической глины в пахотном слое (0–25 см) чернозёмов выщелоченных и типичных реперных объектов в лесостепной зоне составило 56.2 и 56.8%, $C_{орг}$ — 3.13 и 3.25%, величина pH_{H_2O} — 6.3 и 6.7 соответственно. На этих реперных объектах отбиралась продукция для химического анализа. Средняя урожайность зерна кукурузы составляла 7.0, сои — 2.2, семян подсолнечника — 3.0 т/га. На реперных объектах степной зоны в пахотном слое содержание физической глины составляло 72.5%, $C_{орг}$ — 3.02%, pH_{H_2O} — 7.8.

Все аналитические исследования проводились в аккредитованной испытательной лаборатории. Валовое содержание (экстрагент 5M HNO_3) и концентрацию извлекаемых ацетатно-аммонийным буферным (ААБ) раствором с pH 4.8 подвижных форм Ni и Cr^{3+} в почве определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии. Валовое содержание этих ТМ в растениеводческой продукции определялось атомно-абсорбционным методом по общепринятым в агрохимической службе методикам [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Хром и никель в почвах. Фоновое валовое содержание Cr и Ni в целинном чернозёме выщелоченном составляло 19.8 и 25.4, в чернозёме типичном — 19.9 и 23.3, в чернозёме обыкновенном — 20.3 и 27.0 мг/кг соответственно.

Среднее валовое содержание Cr и Ni в пахотных чернозёмах выщелоченных составляло 19.8 и 24.5, в чернозёмах типичных — 20.0 и 24.9, в чернозёмах обыкновенных — 20.9 и 26.6 мг/кг соответственно (рис. 1). Валовое содержание Ni

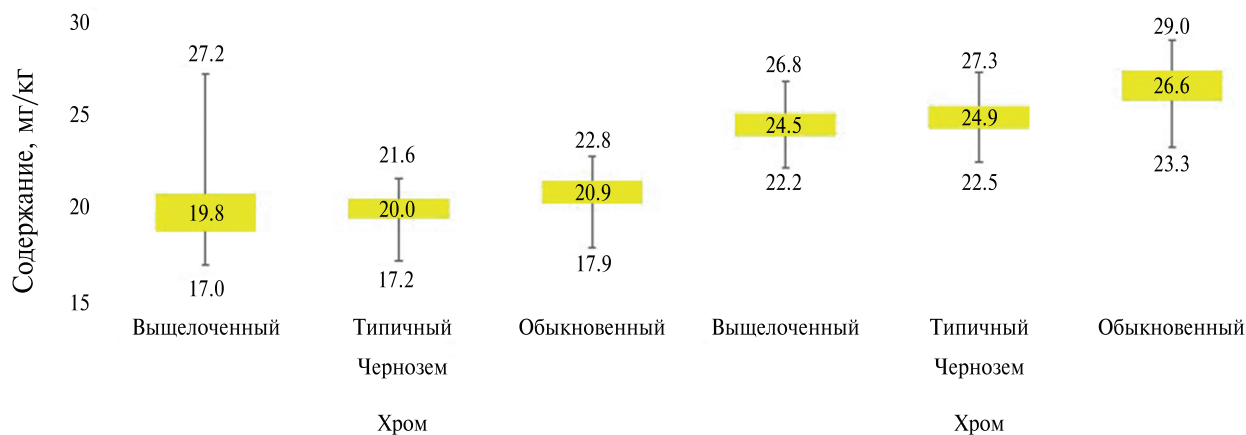


Рис. 1. Валовое содержание хрома и никеля в пахотных почвах ($n=20$), мг/кг.

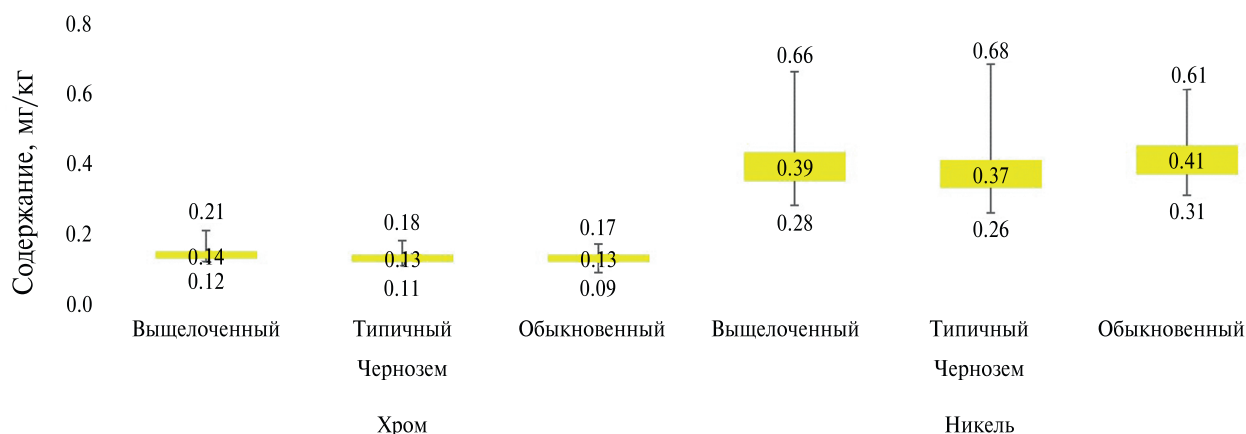


Рис. 2. Содержание подвижных форм хрома и никеля в пахотных почвах ($n=20$), мг/кг.

в чернозёмах обыкновенных было существенно выше, чем в чернозёмах типичных и выщелоченных. В то же время по содержанию Сг существенных различий установлено не было, однако наблюдалась тенденция более высокой концентрации этого элемента в чернозёмах обыкновенных, по сравнению с чернозёмами выщелоченными и типичными. Различия в содержании изучаемых ТМ между чернозёмами выщелоченными и типичными лесостепной зоны и обыкновенными степной зоны во многом обусловлены более тяжёлым гранулометрическим составом последних.

Валовые запасы Сг и Ni в пахотном слое (массой 3000 т/га) чернозёмов выщелоченных в среднем составляют 59.4 и 73.5, чернозёмов типичных — 60.0 и 74.7, чернозёмов обыкновенных — 62.7 и 79.8 кг/га соответственно.

Уровни валового содержания изучаемых элементов, установленные нами, в целом соответствуют результатам исследований, проведённым в других регионах России. Валовое содержание Сг в чернозёмах выщелоченных Красноярского края в среднем составляет 25.7 мг/кг с колебаниями в пределах 19.8–33.4 мг/кг, а содержание Ni изменяется в пределах 5.0–64.8 мг/кг и в среднем составляет 25.6 мг/кг [8, 10]. В Тамбовской области валовое содержание Ni в чернозёмах выщелоченных тяжелосуглинистых и глинистых находится в пределах 20–40 мг/кг [11]. В Саратовской области среднее валовое содержание этого металла в чернозёмных почвах составляет 18.0 мг/кг [12].

Фоновое содержание подвижных форм Сг и Ni в целинном чернозёме выщелоченном составляло 0.14 и 0.58, в чернозёме типичном — 0.15 и 0.53, в чернозёме обыкновенном — 0.16 и 0.54 мг/кг

Таблица 1. Содержание хрома и никеля в органических удобрениях, мг/кг

Вариационно-статистические показатели	Стоки навозные (2.22% сухого вещества)	Компост соломопомётный (56% сухого вещества)	Навоз КРС (25% сухого вещества)
Cr			
n	24	20	20
lim	0.14–0.32	0.31–0.79	0.56–1.25
$\bar{x} \pm t_{0.05} S \bar{x}$	0.20±0.03	0.55±0.07	0.90±0.14
V, %	16.2	27.6	28.1
Ni			
n	20	25	20
lim	0.19–0.36	1.59–4.00	0.30–0.70
$\bar{x} \pm t_{0.05} S \bar{x}$	0.28±0.02	2.35±0.25	0.51±0.07
V, %	16.2	22.1	29.7

соответственно. Эти значения были в пределах варьирования данных показателей, установленных для пахотных аналогов целинных почв.

В пахотных чернозёмах выщелоченных среднее содержание подвижных форм Cr и Ni составляло 0.14 и 0.39, в чернозёмах типичных – 0.13 и 0.37, в чернозёмах обыкновенных – 0.13 и 0.41 мг/кг соответственно. Существенных различий по данным параметрам между изучаемыми почвами не выявлено. В пахотных почвах в подвижной форме Cr и Ni находилось 0.62–0.71 и 1.49–1.59 % от их валового количества соответственно. Превышений российских нормативов ОДК и ПДК изучаемых элементов в почвах не наблюдалось.

Среднее содержание подвижных форм Cr в пахотных почвах Саратовской области составляет 0.7, Красноярского края – 0.2 мг/кг [12]. В пахотных почвах России среднее содержание подвижных форм этого элемента составляет 0.58 мг/кг при вариабельности в пределах 0.02–4.03 мг/кг [13]. В чернозёмах Красноярского края содержание подвижных форм Ni находится в пределах 0.5–2.5 мг/кг (0.6–2.2% от валового количества), а в чернозёмах Тамбовской области – 1.0–2.0 мг/кг [11, 12].

Хром и никель в удобрениях. Минеральные удобрения с учётом их химического состава и применяемых доз в России не рассматриваются как важный источник поступления этих ТМ в почвы агроэкосистем. Мониторинг за качеством минеральных удобрений, проводимый на территории Белгородской области, показал, что среднее содержание Cr и Ni в наиболее распространённых из них составляет: в аммиачной селитре – 1.13 и 0.31 мг/кг, в азофоске (16:16:16) – 1.32 и 0.89 мг/кг

соответственно. За 2019–2022 гг. в Белгородской области средняя доза внесения минеральных удобрений составила 114.4 кг действующего вещества/га, при этом азота, фосфора и калия вносилось 64.8, 17.3, 17.9% от общего количества соответственно. По нашим расчётам с этой дозой минеральных удобрений будет внесено в почву Cr около 0.36, а Ni – 0.16 г/га.

В органических удобрениях концентрации химических элементов и соотношения между ними сильно варьируют в зависимости от вида животных, рациона кормления, количества подстилки, технологии содержания. Значительное влияние на данный параметр оказывают технологические способы удаления и хранения органических удобрений. Например, поступление в почву 100 кг/га азота обеспечивается внесением разного количества органических удобрений: 47.6 т/га стоков навозных, 13.2 т/га навоза крупного рогатого скота (КРС), 3.3 т /га компоста соломопомётного. С этими количествами органических удобрений в почву поступит соответственно: Cr – 9.52, 11.9, 1.80, Ni – 13.3, 6.73, 7.76 г/га. Таким образом, при внесении с органическими удобрениями одинаковой по азоту дозы наибольшее количество Cr поступит в агроценозы с навозом КРС, а Ni – со стоками навозными. Меньше всего Cr поступит с компостом соломопомётным, а Ni – с навозом КРС (табл. 1).

Средняя доза внесения органических удобрений в Белгородской области составила 9.6 т/га. Поступление Cr оценивается в 8.64, а Ni – 4.9 г/га. В целом же для российского земледелия характерен низкий уровень использования органических удобрений (1.5 т/га)

Таблица 2. Содержание хрома и никеля в сельскохозяйственных культурах, мг/кг абсолютно сухого вещества

Вариационно-статистические показатели	Кукуруза		Соя		Подсолнечник	
	побочная продукция (солома)	основная продукция (зерно)	побочная продукция (солома)	основная продукция (зерно)	побочная продукция (стебли)	основная продукция (семена)
Cr						
n	20	20	22	22	22	22
lim	0.23–0.50	0.17–0.29	0.31–0.43	0.37–0.45	0.34–0.50	0.39–0.51
$\bar{x} \pm t_{0.05} s \bar{x}$	0.36±0.02	0.22±0.01	0.39±0.03	0.41±0.01	0.42±0.02	0.45±0.02
V, %	14.8	11.9	14.9	5.6	9.1	8.5
Ni						
n	20	20	20	20	20	20
lim	0.32–0.57	0.20–0.78	0.45–0.93	4.53–5.29	0.39–0.79	0.75–1.00
$\bar{x} \pm t_{0.05} s \bar{x}$	0.36±0.02	0.63±0.07	0.62±0.06	4.81±0.11	0.64±0.05	0.87±0.04
V, %	14.8	26.1	18.4	4.5	18.8	9.7

и соответственно незначительное поступление с ними Cr (1.35 г/га) и Ni (0.77 г/га).

Таким образом, среднее поступление в почвы Cr и Ni с органическими удобрениями выше, чем с минеральными, в 24 и 30.6 раза соответственно. За счёт внесения органических удобрений, без учёта выноса элементов с урожаем и потерь в результате эрозии, валовые запасы Cr и Ni в пахотном слое преобладающих в области чернозёмов типичных повысятся в среднем за год на 0.014 и 0.0066% соответственно.

По некоторым оценкам, с органическими удобрениями в почвы Белгородской области Ni и Cr попадает 77 и 71% от их общего поступления соответственно. Баланс изучаемых элементов в земледелии формируется отрицательным, поскольку вынос Ni и Cr с урожаем сельскохозяйственных культур и потери со смывтой почвой превышают суммарные объёмы поступления от различных источников [14].

Хром и никель в растениях. Уровень содержания и соотношение подвижных форм элементов в почвах наряду с биологическими особенностями разных видов растений во многом определяют их химический состав. Изучаемые нами металлы относятся к так называемым облигатным элементам, которые всегда содержатся в растениях. Cr участвует в синтезе белков, влияет на содержание хлорофилла и фотосинтез. При очень высоком содержании подвижных форм Cr в почвах снижается поступление в растения макроэлементов (K, P) и микроэлементов (Fe, Mn, Cu, B), наблюдается увядание надземной части и хлороз молодых листьев. Ni принимает участие в структурной организации и

функционировании ДНК, РНК и белка. Он стимулирует накопление симбиотически связанного азота бобовыми культурами и входит в состав фермента уреазы, который участвует в гидролизе мочевины [15–17]. По своей роли в различных биохимических процессах Ni схож с Fe и Co. Токсичность элемента проявляется в угнетении процессов фотосинтеза и транспирации, появлении хлороза листьев у растений [16].

По обобщённым данным, концентрации Cr и Ni, не приводящие к нарушению физиологических процессов в растениях, изменяются в очень широких пределах и находятся на уровне 0.1–0.5 и 0.2–10 мг/кг соответственно [8, 10, 16]. Границы токсичного уровня для обоих элементов некоторыми авторами оцениваются в 5–30 мг/кг [3]. В сельскохозяйственных культурах Новосибирской области содержание Cr изменяется в пределах 0.1–2.0, Ni 0.2–7.5 мг/кг [16]. В Западном Забайкалье в зерне яровой пшеницы и зелёной массе люцерны Cr содержится 0.54–2.67, Ni – 0.12–2.58 мг/кг [8, 10, 18].

В Красноярском крае содержание Cr и Ni в зерне яровой пшеницы находится в пределах 0.10–0.20 и 0.32–0.67, ячменя – 0.18–0.22 и 0.34–0.70, овса – 0.12–0.22 и 2.19–2.38 мг/кг соответственно. Причём содержание Ni в зерне овса существенно превышает МДУ, что объясняется физиологическими особенностями данной культуры, а не загрязнением почв [8, 10].

В наших исследованиях изучаемые культуры в силу своих биологических особенностей значительно различались по способности накапливать Cr и Ni. Минимальное среднее содержание Cr и Ni было установлено в зерне кукурузы

— 0.22 и 0.63 мг/кг соответственно. В семенах подсолнечника было зафиксировано самое высокое содержание Cr (0.45 мг/кг), что более чем в два раза выше, чем в зерне кукурузы. В зерне сои установлено аномально высокое содержание Ni (4.81 мг/кг), в 7.6 раза превышающее концентрацию данного элемента в зерне кукурузы (табл. 2). Видимо, это связано с большой концентрацией в зерне сои фермента уреазы, содержащего Ni. По оценкам других авторов, содержание Ni в зерне сои составляет не менее 3.0 мг/кг [19].

Содержание Cr в побочной продукции изучаемых культур или не отличалось от содержания в основной (соя, подсолнечник), или было выше (кукуруза). Содержание Ni в основной продукции кукурузы, сои и подсолнечника было соответственно в 1.75, 7.76 и 1.34 раза выше, чем в побочной, что свидетельствует о его важной роли в формировании репродуктивных органов растений.

Российскими нормативными актами содержание изучаемых элементов нормируется только в продукции, предназначенной для кормовых целей. Максимально допустимые уровни (МДУ) концентрации Cr и Ni для фуражного зерна составляют 0.5 и 1.0 мг/кг соответственно [20]. В наших исследованиях, вне зависимости от используемых сортов (гибридов) и агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур, превышения МДУ содержания Cr отмечено не было, однако концентрация Ni в зерне сои существенно превышала данный норматив. Установленные нами факты, а также результаты исследований других авторов свидетельствуют о низкой научной проработке МДУ содержания Ni, утверждённых ещё в прошлом веке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что среднее валовое содержание в пахотном слое Cr и Ni в чернозёмах выщелоченных составляет 19.8 и 24.5, в чернозёмах типичных — 20.0 и 24.9, в чернозёмах обыкновенных — 20.9 и 26.6 мг/кг соответственно. Среднее содержание в изучаемых почвах подвижных форм Cr было в пределах 0.13–0.14, Ni — 0.37–0.41 мг/кг. Превышения уровней ОДК Ni и ПДК подвижных форм данных ТМ в почвах выявлено не было. В агроэкосистеме Белгородской области Cr и Ni в основном поступают с органическими удобрениями, однако это не представляет опасности для загрязнения почв и растениеводческой продукции. Наиболее

высокое среднее содержание Cr (0.45 мг/кг) отмечалось в семенах подсолнечника, а самое низкое (0.22 мг/кг) — в зерне кукурузы. Аномально высоким содержанием Ni (4.81 мг/кг) характеризуется зерно сои, а самая низкая концентрация (0.63 мг/кг) отмечается в зерне кукурузы.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены за счёт федеральных средств в рамках государственного задания на проведение агроэкологического мониторинга земель сельскохозяйственного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 17.4.1.02-83. Государственный стандарт Союза ССР. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Стандартинформ, 2008. 4 с.
2. *Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
3. *Kabata-Pendias A.* Trace Elements in Soils and Plants. 2010. 548 p.
4. *Lukin S. V., Zhuikov D. V.* Content and Balance of Trace Elements (Co, Mn, Zn) in Agroecosystems of the Central Chernozemic Region of Russia // Agriculture. 2022. Vol. 12. № 2. DOI: 10.3390/agriculture12020154. EDN HCQUTK.
5. *Semenkov I. N., Koroleva T. V.* International Environmental Legislation on the Content of Chemical Elements in Soils: Guidelines and Schemes // Eurasian Soil Science. 2019. V. 52. № 10. P. 1289–1297. DOI: 10.1134/S1064229319100107. EDN BHVME.
6. *Chen Sh., Wang M., Li Sh., Zhao Zh. E. W.* Overview on current criteria for heavy metals and its hint for the revision of soil environmental quality standards in China // Journal of Integrative Agriculture. 2018. V. 17. № 4. P. 765–774. DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61892-6.
7. СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”. Утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021. № 2.
8. *Побилат А. Е., Волошин Е. И.* Мониторинг хрома в почвах и растениях Красноярского края // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2019. 22(2), С. 49–54. DOI: 10.29296/25877313-2019-02-08. EDN YXIEKD.
9. Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции

- растениеводства. М.: Типография Московской с.-х. академии им. К.А. Тимирязева, 1992. 61 с.
10. *Побилат А. Е., Волошин Е. И.* Содержание никеля в агроценозах Красноярского края // Микроэлементы в медицине. 2019. 20(1). С. 52–58. DOI: 10.19112/2413-6174-2019-20-1-52-58.
 11. *Юмашев Н. П., Трунов И. А.* Почвы Тамбовской области. Мичуринск-Наукоград РФ: Изд-во Мичуринского государственного аграрного университета, 2006. 216 с.
 12. *Медведев И. Ф., Деревягин С. С.* Тяжелые металлы в экосистемах. Саратов: “Ракурс”, 2017. 178 с.
 13. *Аристархов А., Лунев М., Павлихина А.* Эколого-агрохимическая оценка состояния пахотных почв России по содержанию в них подвижных форм тяжелых металлов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2016. № 6. С. 42–47.
 14. *Хижняк Р. М.* Экологическая оценка содержания микроэлементов (Zn, Cu, Co, Mo, Cr, Ni) в агроэкосистемах лесостепной зоны юго-западной части ЦЧО / Автореф. канд. дис. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. 24 с.
 15. *Чимитдоржиева Г. Д., Цыбенков Ю. Б., Мильхеев Е. Ю., Нимбуева А. З., Бодеева Е. А.* Никель лесостепных экосистем Западного Забайкалья в системе порода — почва — гумусовые вещества — растения // Агрохимия. 2016. № 3. С. 58–64.
 16. *Сысо А. И.* Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.
 17. *Caio C. Fabiano, Tiago Tezotto, José L. Favarin, Joseph C. Polacco and Paulo Mazzafera.* Essentiality of nickel in plants: a role in plant stresses // *Frontiers in Plant Science*. 2015. 6:754. DOI: 10.3389/fpls.2015.00754
 18. *Кашин В. К.* Содержание микроэлементов в люцерне в Западном Забайкалье // Агрохимия. 2018. № 8. С. 46–51. DOI 10.1134/S0002188118080070. EDN XWMXCP.
 19. *Мальцева Н., Якунина Н., Ядрищенская О.* Соя полнотеловая в кормлении кур несушек // Комбикорма. 2007. № 4. С. 51–52.
 20. ВМДУ-87 “Временный максимально допустимый уровень содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках”, 1987. 4 с.

MONITORING OF CHROME AND NICKEL CONTENTS IN AGROECOSYSTEMS OF CENTRAL CHERNOZEM REGION OF RUSSIA

S. V. Lukin^{a,b}

^aBelgorod Center for Agrochemical Service, Belgorod, Russian Federation

^bBelgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation

The research was carried out within the framework of the state agroecological monitoring program. The goal was to conduct an environmental assessment of chromium and nickel content in agroecosystems of the southwestern part of the Central Chernozem region using the example of the Belgorod region. All analytical studies were carried out in an accredited testing laboratory using generally accepted methods. During the research, it was found that the average gross content of chromium and nickel in the arable layer in leached chernozems is 19.8 and 24.5, in typical chernozems — 20.0 and 24.9, in ordinary chernozems — 20.9 and 26.6 mg/kg, respectively. The average content of mobile forms of chromium in the studied soils was in the range of 0.13–0.14, nickel — 0.37–0.41 mg/kg. Exceeding the levels of the approximately permissible amount of nickel and the maximum permissible concentration of mobile forms of these heavy metals in soils was not detected. In the agroecosystems of the Belgorod region, chromium and nickel are mainly supplied with organic fertilizers, but this does not pose a risk for soil contamination and crop production. The highest average chromium content (0.45 mg/kg) was observed in sunflower seeds, and the lowest (0.22 mg/kg) in corn grain. Soybean grain is characterized by an abnormally high nickel content (4.81 mg/kg), and the lowest concentration (0.63 mg/kg) is observed in corn grain.

Keywords: clark, soil, crops, chernozem, fertilizers, heavy metals, background monitoring