



УДК 631.4:633.31/37:631.86
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-4-585-595

Геоэкологические особенности распределения серы и марганца в агроэкосистемах Белгородской области

Жуйков Д.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Центр агрохимической службы «Белгородский»
Россия, 308027, г. Белгород, ул. Щорса, д. 8
E-mail: den17den@mail.ru

Аннотация. В статье приведены результаты исследования содержания и распределения серы и марганца в агроэкосистемах Прохоровского и Ровеньского районов Белгородской области. На территориях, различающихся почвенно-географическими и климатическими условиями, проводили сравнительный анализ содержания элементов в базовых компонентах агроэкосистем – почвах и растительности. Кроме данных о валовом содержании серы и марганца в почвенном покрове представлены данные о концентрации доступных для растений подвижных форм изучаемых элементов, установлена интенсивность накопления серы и марганца культурными растениями, культивируемыми в области. Результаты исследований на пашне сравнили с результатами фонового мониторинга, проводимого на участках (кластерах) государственного природного заповедника «Белогорье». Представлена динамика изменения содержания подвижных форм серы и марганца в пахотных почвах области при изменяющемся уровне антропогенной нагрузки. Несмотря на увеличение объемов внесения органических удобрений (главного источника серы и марганца) в агроэкосистемы региона, значительная доля обследованной площади пашни продолжает характеризоваться низким содержанием подвижных форм серы и марганца – 90,3 и 38,8 % соответственно. Наибольшие значения коэффициента биологического поглощения (КБП) марганца были характерны для белого люпина, а серы – для многолетних трав, возделываемых на пашне.

Ключевые слова: сера, марганец, органические удобрения, пашня, зернобобовые культуры, коэффициент биологического поглощения

Для цитирования: Жуйков Д.В. 2022. Геоэкологические особенности распределения серы и марганца в агроэкосистемах Белгородской области. Региональные геосистемы, 46(4): 585–595.
DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-4-585-595

Geological Features of the Distribution of Sulfur and Manganese in Agroecosystems of the Belgorod Region

Denis V. Zhuikov

FSBI «Agrochemical Service Center «Belgorodsky»
8 Schorsa St, Belgorod 308027, Russia
E-mail: den17den@mail.ru

Abstract. The aim of the study was to conduct agroecological monitoring of sulfur and manganese content in the ecosystems of the forest-steppe and steppe zones of the Central Chernozem region of Russia (on the example of the Belgorod region). The current data on the gross content and content of mobile forms of sulfur and manganese in the soil cover of the region, plant products, organic fertilizers. A comparative analysis of the content of elements in the soils of different climatic zones on arable land and virgin lands was carried out, the intensity of accumulation of sulfur and manganese by cultivated plants and vegetation of protected ecosystems was established. The increase in the volume of organic fertilizers in the agroecosystems of the region has led to a steady trend towards an increase in the weighted average content of mobile forms of sulfur and manganese in arable soils, however, a significant proportion of arable land

continues to be characterized by a low content of sulfur available to plants (90.3 %) and manganese (38.8 %), which negatively affects soil productivity. Among agricultural crops, perennial leguminous grasses accumulate sulfur most intensively, and *Lupinus albus* plants accumulate manganese. When studying the chemical composition of the vegetation cover of nature reserves, it was found that sulfur and manganese accumulated more in the grasslands of the steppe zone than in the forest-steppe zone. The highest values of the biological absorption coefficient (BAC) of manganese were characteristic of white lupine plants, and sulfur – for perennial grasses cultivated on arable land.

Keywords: sulfur, manganese, organic fertilizers, arable land, legumes, biological absorption coefficient

For citation: Zhuikov D.V. 2022. Geoecological Features of the Distribution of Sulfur and Manganese in Agroecosystems of the Belgorod Region. *Regional Geosystems*, 46(4): 585–595 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-4-585-595

Введение

В условиях интенсификации сельскохозяйственного производства основное внимание акцентируется на факторах, ограничивающих урожайность сельскохозяйственных культур. Недостаток питательных веществ приводит к снижению продуктивности и ухудшению качества продукции. Поэтому современное сельскохозяйственное производство ставит перед собой задачу обеспечения бездефицитного состояния биогенных элементов в агроэкосистемах [Кирюшин и др., 2019].

Физиологическая роль химических веществ, их содержание и состояние в элементах окружающей среды подробно описаны в отечественных и зарубежных исследованиях. Тем не менее мало изученными остаются вопросы круговорота и трансформации биогенных элементов при изменяющемся уровне антропогенной нагрузки, в частности, содержание химических веществ в почве при длительном внесении органических удобрений. Традиционно освещается агрохимическая ситуация в верхних почвенных горизонтах, а изменение химического состава нижних слоев изучается значительно реже. Нередки противоречия в интерпретации результатов исследований, где проведение лабораторных анализов происходит разными методами.

Жизненно необходимые вещества по содержанию в сухом веществе растений распределены на 3 группы: макро- (> 0,1 % в сухой массе), мезо- (0,1–0,01 %) и микроэлементы (< 0,01 %). По существующей в настоящее время классификации серу относят к мезо-, а марганец – к микроэлементам [Шеуджен и др., 2005; Минеев, 2017].

Белгородская область является лидером среди регионов России по производству мяса и птицы. Кормовая база, производимая на полях региона, повлекла перераспределение посевых площадей в сторону увеличения доли зернобобовых культур, богатых растительным белком. Постоянное увеличение доз применения традиционных минеральных удобрений, содержащих азот, фосфор, калий, неэффективно, если не учитывать недостаток иных элементов, участвующих в построении белков, к которым в первую очередь относится сера. Причем при увеличении доз азотного питания требуется больше серы. Некоторые авторы по значимости для жизни растений ставят серу на третье место вместо калия [Слюсарев и др., 2016]. Снижение уровня внесения минеральных удобрений, содержащих серу, и большой ее вынос урожаями сельскохозяйственных культур привели к дефициту этого элемента в почвах многих регионов страны [Аристархов, 2016].

Продуктивность пашни также ограничивается при низком уровне содержания микроэлементов, выполняющих каталитическую роль во многих жизненных процессах растений [Торшин, 1996; Поддубный, 2018; Попов, 2018; Сухова и др., 2019]. Недостаток марганца, как и избыток (по степени токсичности марганец относится к тяжелым металлам третьего класса опасности), приводят к замедлению различных биохимических процессов, в том числе синтеза белка, что в конечном счете снижает урожайность и качество сельскохозяйственной

продукции [Lukin, Zhiukov, 2021a]. На недостаток серы и марганца в черноземах может приходиться от 3 до 19 % снижения урожайности сельскохозяйственных культур [Фатеев и др., 2015; Аристархов, 2016].

Образующиеся в больших количествах отходы животноводства справедливо рассматриваются аграриями как ценное органическое удобрение и вносятся в почву. Как правило, на предприятиях с животноводческой отраслью хозяйственный баланс химических элементов положителен [Масютенко, Масютенко, 2017]. Однако в зависимости от вида органического удобрения содержание серы и марганца в них сильно варьирует. При изучении геоэкологических особенностей распределения серы и марганца в агроэкосистемах необходимо также учитывать почвенно-климатические условия региона.

Доступность элементов для растений сильно разнится в зависимости от особенностей климата и почвенного покрова. Знание почвенно-климатических условий позволяет проектировать адаптивно-ландшафтные и экологически сбалансированные системы земледелия, в которых поддержание биогеохимического баланса биогенных элементов является единственным средством поддержания почвенного плодородия и в конечном счете гарантирует устойчивость агроэкосистем [Минеев, 2017]. Улучшение физико-химических свойств почвы создает предпосылки для повышения эффективности сельскохозяйственного производства и устойчивости агроэкосистем [Панасин, 2014; Алмобарак, Межова 2020].

Целью исследования стало изучение содержания и распределения серы и марганца в компонентах агроэкосистем Белгородской области. Для достижения цели были решены следующие задачи:

- определены основные источники поступления элементов в агроэкосистемы;
- выявлены различия в содержании и распределении серы и марганца в почвах разных климатических зон;
- проведено сравнение накопления изучаемых элементов культурными растениями и растительным покровом заповедников.

Объекты и методы исследования

Территория Белгородской области характеризуется умеренно-континентальным климатом, где с запада на юго-восток гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) снижается с 1,2 до 0,8 (рис. 1). Различия в тепло- и влагообеспеченности отражены в исследованиях М.Г. Лебедевой [2016], согласно которым географически территория области располагается в двух агроклиматических районах (рис. 1): втором и третьем. Во втором агроклиматическом районе сумма активных температур (выше +10°C) составляет 2600–2800 °C, в третьем – более 2800 °C. Сумма осадков за период активной вегетации во втором агроклиматическом районе составляет 260–280 мм, в третьем – 230–260 мм.

Другие авторы отмечают, что географическое районирование почв в регионе складывалось в климатических условиях прежних времен (периода голоцен), и в условиях современного климата вместо степной зоны следует выделять подзону южной лесостепи [Лисецкий и др., 2005].

Тем не менее смена влажного климата засушливым отражается в закономерностях влияния факторов почвообразования [Азаренко, 2021]. Закладку почвенных разрезов производили на преобладающем в лесостепной зоне черноземе типичном тяжелосуглинистом (Прохоровский район, ГТК 1,1–1,2) и преобладающем в степной зоне черноземе обыкновенном легкоглинистом (Ровеньский район, ГТК < 0,9). Содержание физической глины в пахотном слое чернозема типичного составляет 56,8 %, а чернозема обыкновенного – 72,5 %. Всего было заложено 44 почвенных разреза: по 22 в каждой почвенно-климатической зоне, где определяли валовое содержание серы и марганца в почвенных образцах, отобранных из каждого генетического горизонта.

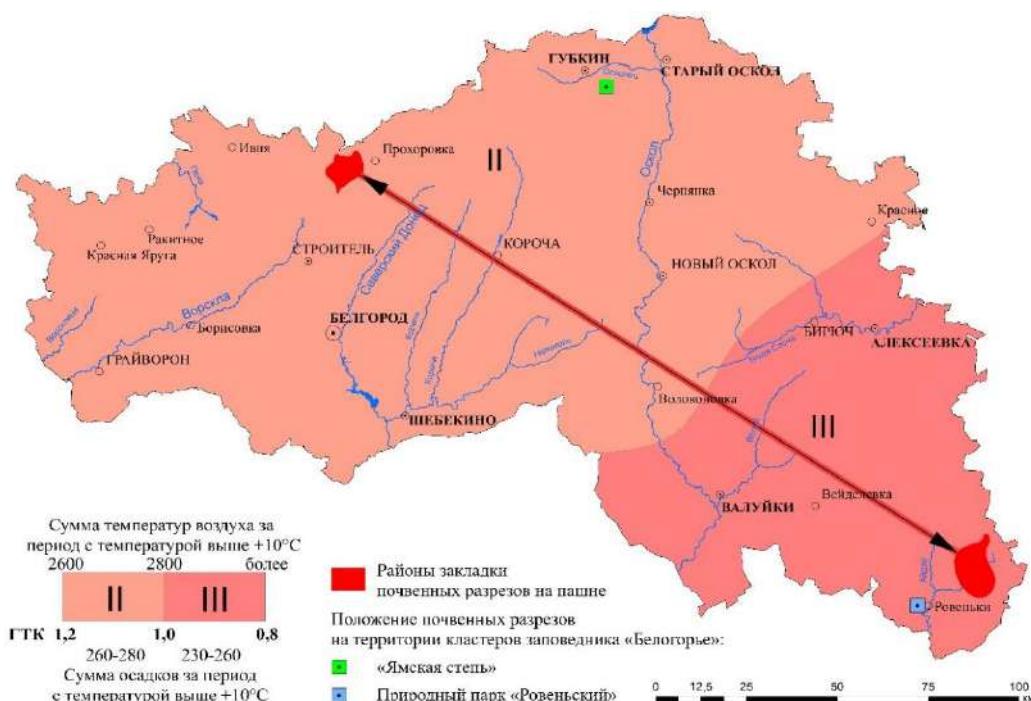


Рис. 1. Агроклиматические районы Белгородской области и расположение объектов исследования [Лебедева и др., 2016]

Fig. 1. Agroclimatic areas of the Belgorod region and the location of research objects [Lebedeva et al., 2016]

Влияние зональных почвенно-климатических факторов обуславливает различия в валовом содержании элементов в почвах. Однако в земледелии большую ценность имеет информация о доступных для растений подвижных формах элементов, концентрация которых значительно меньше, чем их общее содержание. Поэтому в исследовании дополнительно представлены результаты сплошного агрохимического обследования, охватывающего исследование верхнего слоя почв пашни (1,6 млн га) всего региона, и динамика средневзвешенных значений содержания подвижных форм серы и марганца в пахотных почвах при разном уровне внесения органических удобрений.

В рамках фонового агроэкологического мониторинга анализировался химический состав среды, не задействованной в сельскохозяйственном использовании. Отбор образцов почвы и растительного покрова производился с территорий двух участков (кластеров) заповедника «Белогорье», характеризующих почвенно-климатические особенности региона: участка «Ямская степь» (Губкинский район, чернозем типичный, лесостепная зона) и Природного парка «Ровеньский» (Ровеньский район, чернозем обыкновенный, степная зона).

Для анализа растениеводческой продукции культур, возделываемых на реперных объектах (участках пашни, задействованных в сельскохозяйственном использовании), были отобраны 20 образцов растений белого люпина и по 22 образца растений сои, гороха, клевера, эспарцета, люцерны. С заповедных территорий были отобраны по 22 растительного образца фонового травостоя.

Аналитические исследования проводили в аккредитованной лаборатории ФГБУ «Центр агрохимической службы «Белгородский» по общепринятым агрохимической службой России методикам [ГОСТ Р 26490-85, ГОСТ Р 50685-94, Методические указания..., 1992; Методические указания..., 1999; ПНД Ф 16.1:2:2.2.37-02]. Статистическая обработка результатов исследования включала интервальную оценку параметров распределения серы и марганца в компонентах агроэкосистем и заповедных экосистем: расчет средневзвешенного значения с доверительным интервалом, размах варьирования и коэффициент вариации. Интенсивность поглощения изучаемых элементов растениями оценивали по КБП – отношению содержания элемента в золе растения к его содержанию в почве [Полынов, 1948; Перельман, 1975].

Результаты и их обсуждение

С глубиной валовое содержание серы уменьшается в обоих подтипах черноземов (табл. 1). При этом в материнской породе (горизонт C_{Ca}) чернозема обыкновенного концентрация элемента возрастает. По-видимому, причиной увеличения концентрации серы является взаимодействие карбонатных глин, на которых образовался чернозем обыкновенный, с грунтовыми сульфатно-натриевыми водами, в результате чего образуется гипс, содержащий серу [Хитров, Чевердин, 2016; Lukin, Zhuykov, 2021b].

Таблица 1
Table 1

Валовое содержание серы в почвах пашни, мг/кг
Total sulfur content in arable soils, mg/kg

Генетический горизонт	Средняя мощность горизонта, см	$\bar{x} \pm t_{0.5} s \bar{x}$	lim	V, %
Чернозем типичный				
$A_{пах}$	0–25	$552 \pm 79,8$	327–936	32,6
A	26–36	$505 \pm 74,9$	315–956	33,5
AB	37–90	$476 \pm 58,7$	296–820	27,8
B_{Ca}	91–111	$446 \pm 60,8$	235–773	30,8
BC_{Ca}	112–134	$423 \pm 66,9$	219–884	35,7
C_{Ca}	> 135	$451 \pm 64,7$	244–742	32,4
Чернозем обыкновенный				
$A_{пах}$	0–25	$612 \pm 39,7$	472–787	14,6
A	26–43	$636 \pm 53,4$	482–980	18,9
AB	44–72	$609 \pm 41,7$	402–838	15,4
B_{Ca}	73–90	$590 \pm 69,5$	346–978	26,6
BC_{Ca}	91–124	$553 \pm 35,2$	425–698	14,4
C_{Ca}	> 125	$643 \pm 77,4$	330–943	27,2

Аналогичная ситуация наблюдается и на почвах естественных ландшафтов, где валовое содержание серы с глубиной снижается. В черноземе типичном снижение валового содержания серы выражено заметнее, а в черноземе обыкновенном значение данного параметра дифференцировано слабо (рис. 2).

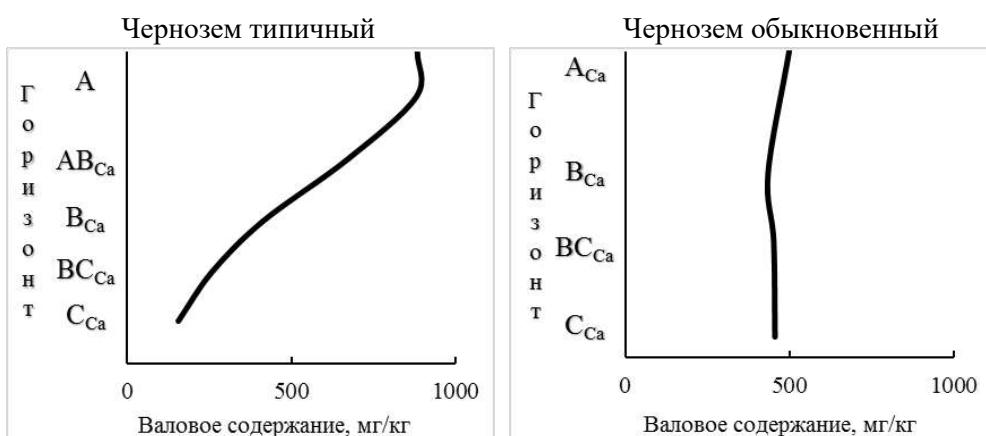


Рис. 2. Валовое содержание серы в почвах заповедных участков
Fig. 2. Total sulfur content in the soils of nature reserves

Наибольшие значения валового содержания марганца отмечены в пахотных горизонтах изучаемых подтипов черноземов, заметно постепенное снижение данного показателя с глубиной (табл. 2).

Таблица 2
 Table 2

Валовое содержание марганца в почвах пашни, мг/кг
 Total manganese content in arable soils, mg/kg

Генетический горизонт	Средняя мощность горизонта, см	$\bar{x} \pm t_{0.5} s \bar{x}$	lim	V, %
Чернозем типичный				
A _{пах}	0–25	345 ± 14,6	245–396	9,6
A	26–36	329 ± 15,9	254–393	10,9
AB	37–90	308 ± 17,0	241–383	12,4
B _{Ca}	91–111	256 ± 19,4	154–321	17,1
BC _{Ca}	112–134	234 ± 18,8	175–328	18,1
C _{Ca}	> 135	232 ± 21,7	123–317	21,1
Чернозем обыкновенный				
A _{пах}	0–25	397 ± 17,9	311–463	10,2
A	26–43	390 ± 16,9	315–445	9,8
AB	44–72	363 ± 21,8	246–434	13,5
B _{Ca}	73–90	327 ± 19,6	238–420	13,5
BC _{Ca}	91–124	287 ± 16,2	225–387	12,7
C _{Ca}	> 125	279 ± 10,3	233–327	8,3

Целинные почвы содержат марганца на 8–40 % больше, чем пахотные (рис. 3).

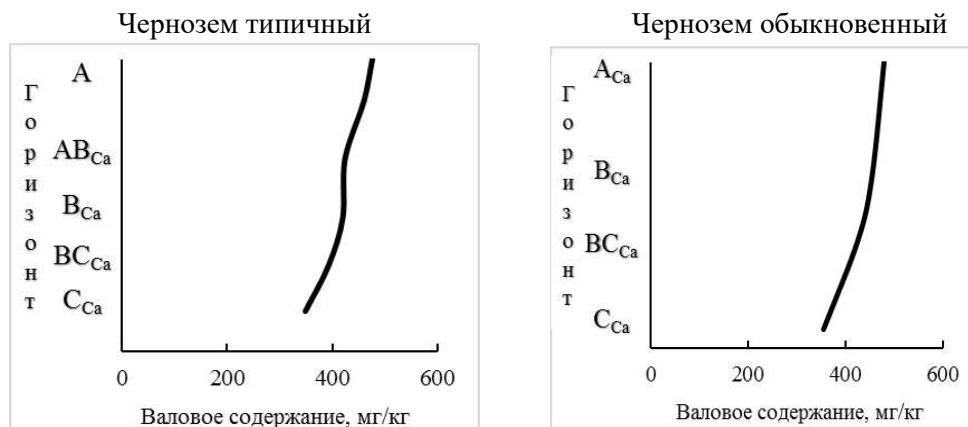


Рис. 3. Валовое содержание марганца в почвах заповедных участков
 Fig. 3. Total manganese content in the soils of nature reserves

Концентрации подвижных форм серы и марганца в пахотных почвах Белгородской области определяются с 1990–1994 гг. (VI тур агрохимического обследования). Именно в этот период, характеризующийся наиболее высоким уровнем химизации, в пашне региона содержалось максимальное количество доступной для растений серы и марганца – 6,8 и 17,5 мг/кг соответственно [Lukin, 2017]. Наименьшие значения показателей средневзвешенного содержания элементов относятся к периоду 2005–2009 гг., когда объемы внесения органических удобрений были на минимуме и составляли в среднем 1,2 т/га. С развитием животноводства объемы внесения органических удобрений возросли и составили 8,1 т/га в период 2015–2018 гг. Это позволило увеличить содержание подвижной серы и марганца в почвах области до 3,3 и 11,7 мг/кг (рис. 4). По существующей градации средневзвешенное содержание подвижных форм серы в почвах области оценивается как низкое, а марганца – среднее. К почвам с низкой обеспеченностью подвижной серой относится 90,3 % обследованной площади пашни, подвижным марганцем – 38,6 %.

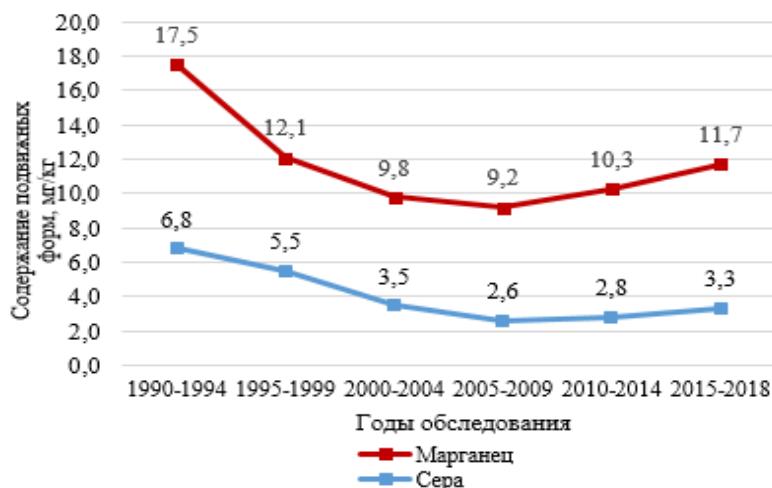


Рис. 4. Изменение средневзвешенного содержания подвижных форм серы и марганца в пахотных почвах Белгородской области

Fig. 4. Change in the weighted average content of mobile forms of sulfur and manganese in arable soils of the Belgorod region

Среди зернобобовых культур наибольшее количество серы было аккумулировано зерном сои, наименьшее – соломой белого люпина. Из числа многолетних трав меньше количество серы содержится в эспарцете. Интенсивность накопления серы разнотравьем степного заповедника (КБП = 113) выше, чем разнотравьем лесостепи (КБП = 43,6) более чем в 2,5 раза (табл. 3). Наибольшее количество марганца было накоплено белым люпином. В зерне этой культуры содержание элемента в 44 раза выше, чем в зерне сои, и в 114 раз больше, чем в зерне гороха.

Таблица 3
Table 3

Содержание серы (%) и марганца (мг/кг) в сухом веществе культурных растений и растительности заповедных участков, КБП

The content of sulfur (%) and manganese (mg/kg) in the dry matter of cultivated plants and vegetation covers of nature reserves, BAC

Сельскохозяйственная культура		Сера			Марганец		
		$\bar{x} \pm t_{0,05} s \bar{x}$	V, %	КБП	$\bar{x} \pm t_{0,05} s \bar{x}$	V, %	КБП
Белый люпин	зерно	0,22 ± 0,01	14,1	94,7	1053 ± 50,9	10,3	72,7
	солома	0,07 ± 0,01	26,5	20,0	841 ± 91,2	23,2	39,3
Соя	зерно	0,34 ± 0,02	11,4	117,0	24,1 ± 1,15	10,8	1,34
	солома	0,21 ± 0,01	7,7	66,6	12,4 ± 1,10	20,0	0,64
Горох	зерно	0,14 ± 0,004	6,5	80,5	9,22 ± 0,47	11,6	0,86
	солома	0,16 ± 0,003	4,1	36,6	18,0 ± 1,67	21,0	0,65
Клевер	сено	0,61 ± 0,04	16,4	125,0	31,2 ± 1,69	12,3	1,03
Эспарцет	сено	0,47 ± 0,04	19,1	153,0	30,7 ± 0,97	7,1	1,59
Люцерна	сено	0,60 ± 0,06	23,8	127,0	28,5 ± 1,48	11,8	0,97
Растительный покров лесостепного заповедника	сено	0,30 ± 0,02	18,3	43,6	25,9 ± 1,52	13,2	0,71
Растительный покров степного заповедника	сено	0,40 ± 0,06	31,6	113,0	29,4 ± 2,75	21,1	0,88

Способность люпина накапливать марганец в очень высоких концентрациях, по-видимому, закрепилась в процессе эволюции, так как страны Средиземноморья (ареал происхождения люпина белого) характеризуются высоким содержанием доступных для растений

форм марганца в почвах [Lukin, Zhiukov, 2022]. Стоит также отметить, что накоплению марганца в люпине способствуют особенности корневого питания этого растения. Корни люпина способны подкислять почвенный раствор, переводя марганец в доступные для растений формы [Holland et al., 2019; Bouray et al., 2021]. В растениях сои марганец большей частью накапливался в зерне, а в растениях гороха – в соломе. Накопление марганца многолетними травами на пашне и растительностью степного заповедника было на одном уровне, а естественным разнотравьем лесостепи фиксация элемента выражена несколько слабее.

Содержание питательных веществ в органических удобрениях из ферм на территории Белгородской области сильно различается (табл. 4). Наибольшее количество марганца в пересчете на сухое вещество содержится в соломопометном компосте (284 мг/кг), а серы – в навозных стоках отрасли свиноводства (10,8 г/кг).

Таблица 4
 Table 4

Содержание серы и марганца в органических удобрениях, мг/кг
 The content of sulfur and manganese in organic fertilizers, (mg/kg)

Статистический показатель	Сера		Марганец	
	на исходную влажность	на сухое вещество	на исходную влажность	на сухое вещество
Компост соломопометный (66 % сухого вещества)				
n	34		25	
$\bar{x} \pm t_{0,05} s \bar{x}$	3535 ± 440	6313 ± 786	$159 \pm 21,0$	284 ± 38
lim	1479–7071	2641–12627	66–257	118–459
V, %	35,7		32,6	
Навоз КРС (25 % сухого вещества)				
n	24		32	
$\bar{x} \pm t_{0,05} s \bar{x}$	853 ± 141	3412 ± 564	$48,0 \pm 5,32$	$192 \pm 21,3$
lim	382–1622	1528–6488	17,4–88,4	69,6–354
V, %	38,8		30,8	
Стоки навозные (2,22 % сухого вещества)				
n	74		26	
$\bar{x} \pm t_{0,05} s \bar{x}$	$240 \pm 18,7$	10811 ± 842	$3,97 \pm 0,59$	179 ± 27
lim	115–565	5180–25450	1,13–7,08	50,9–319
V, %	37,9		36,7	

Однако с учетом различной влажности органических удобрений и внесении их средними дозами: соломопометного компоста 15 т/га, навоза КРС 40 т/га и навозных стоков 70 т/га в почву оценка поступления серы составит 53, 34 и 16,8 кг/га соответственно, а марганца – 2,39, 1,92 и 0,28 кг/га соответственно.

Заключение

Разница почвенно-климатических условий проявилась в неравном распределении серы и марганца по территории Белгородской области. Уменьшение количества осадков и утяжеление гранулометрического состава с запада на юго-восток территории выразилось в том, что в почвах степной зоны валовое содержание элементов выше, чем в лесостепной. Наибольшее валовое содержание марганца фиксировали в верхних гумусово-аккумулятивных горизонтах почв, что свидетельствует о биогенном накоплении элемента. Распределение серы по профилю изучаемых почв имеет свои особенности. На пашне и целине в лесостепной зоне (чернозем типичный) валовое содержание серы с глубиной снижается, а в степи (чернозем обыкновенный) заметно увеличение содержания элемента в нижних горизонтах ввиду первичного засоления нижнего почвенного горизонта.

Содержание доступных для растений форм серы и марганца в почвах значительно меньше, чем их общее количество. Как показало исследование, недостаток подвижной серы ощущается практически на всей площади пашни региона, а марганца – на трети обследованных почв. Постоянные мониторинговые исследования химических элементов, находящихся в минимуме, позволяют отслеживать их содержание в компонентах агроэкосистем, предвидеть наступление негативных последствий ввиду их дефицита. Оптимизация питания растений, в том числе серой и марганцем, должна производиться с учетом региональных почвенно-климатических особенностей, а также при изменяющемся уровне антропогенной нагрузки.

Список источников

- ГОСТ Р 26490-85. 1985. Почвы. Определение подвижной серы по методу ЦИНАО. М., Издательство стандартов, 48 с.
- ГОСТ Р 50685-94. 1994. Почвы. Определение подвижных соединений марганца по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. М., Госстандарт России, 12 с.
- Лисецкий Ф.Н., Пересадько В.А., Лукин С.В., Петин А.Н. 2005. Природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области: атлас. Белгород, Белгородский государственный университет, 180 с.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах. 1992. М., ЦИНАО, 40 с.
- Методические указания по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения. 1999. М., ЦИНАО, 8 с.
- Минеев В.Г. 2017. Агрохимия: учебное пособие. М., ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 854 с.
- ПНД Ф 16.1:2.2.37-02. 2002. Методика выполнения измерений валового содержания серы в почвах, донных отложениях, грунтах турбидиметрическим методом. М., Центр экологического контроля и анализа, 16 с.

Список литературы

- Азаренко Ю.А. 2021. Оценка фонда подвижных форм микроэлементов в пахотных почвах лесостепи и степи Омского Прииртышья. В кн.: Экологические чтения – 2021. Материалы XII национальной научно-практической конференции с международным участием. Омск, 04–05 июня 2021. Омск, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина: 13–18.
- Алмобарак Ф., Межкова Л.А. 2020. Результаты мониторинга природно-антропогенной трансформации агроэкосистем Воронежской области за период сельскохозяйственного природопользования. Самарский научный вестник, 9(1(30)): 14–18. DOI: 10.24411/2309-4370-2020-11101
- Аристархов А.Н. 2016. Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения. Международный сельскохозяйственный журнал, 5: 39–47.
- Кирюшин В.И., Лукин С.В., Соловиченко В.Д., Мельников В.И. 2019. Белгородская модель адаптивно-ландшафтного земледелия. Белгород, Константа, 272 с.
- Лебедева М.Г., Крымская О.В., Ченdev Ю.Г. 2016. Агроклиматические ресурсы Белгородской области в начале XXI века. Достижения науки и техники АПК, 30(10): 71–76.
- Масютенко М.Н., Масютенко Н.П. 2017. Нормирование агрогенной нагрузки в агроландшафте на черноземных почвах. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, 4: 3–8.
- Панасин В.И. 2014. Мониторинг микроэлементного состояния агроэкосистем. Агрохимический вестник, 4: 18–21.
- Перельман А.И. 1975. Геохимия ландшафта. М., Высшая школа, 342 с.
- Поддубный А.С. 2018. Динамика агрохимического состояния пахотных почв в лесостепи Белгородской области. Достижения науки и техники АПК, 32(6): 15–17. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10603
- Полынов Б.Б. 1948. К вопросу о роли элементов биосфера в эволюции организмов. Почвоведение, 10: 594–607.
- Попов В.В. 2018. Состояние плодородия пахотных земель в юго-восточных районах Ростовской области. Достижения науки и техники АПК, 32(3): 7–11. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10302



- Слюсарев В.Н., Швец Т.В., Попова Ю.С. 2016. Формы органической серы в бурых лесных почвах низких и средних гор Северо-Западного Кавказа. Труды Кубанского государственного аграрного университета, 62: 105–111. DOI: 10.21515/1999-1703-62-105-111
- Сухова О.А., Болдырев В.В., Акулов А.В. 2019. Мониторинг содержания микроэлементов в почвах Волгоградской области. Достижения науки и техники АПК, 33(4): 20–21. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10405
- Торшин С.П., Ягодин Б.А., Удельнова Т.М., Кокурин Н.Л., Забродина И.Ю. 1996. Микроэлементы в растениях Центрально-черноземного региона России. Агрохимия, 1: 20–30.
- Фатеев А.И., Чабан В.И., Подобед О.Ю. 2015. Содержание микроэлементов в черноземах степной зоны Украины и их изменения при длительном применении в севообороте. Почвоведение и агрохимия, 1(54): 207–215.
- Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И. 2016. Почвы Каменной Степи от времени В.В. Докучаева до наших дней. Живые и биокосные системы, 16: 2.
- Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Прокопенко В.В. 2005. Удобрения, почвенные грунты и регуляторы роста растений. Майкоп, ГУРИПП «Адыгея», 404 с.
- Bouray M., Moir J.L., Lehto N.J., Condrone L.M., Touhami D., Hummel C. 2021. Soil pH Effects on Phosphorus Mobilization in the Rhizosphere of Lupinus Angustifolius. *Plant Soil*, 469: 387–407.
- Holland J.E., White P.J., Glendining M.J., Goulding K.W.T., McGrath S.P. 2019. Yield Responses of Arable Crops to Liming – An Evaluation of Relationships Between Yields and Soil pH from a Long-Term Liming Experiment. *European Journal of Agronomy*, 105: 176–188. DOI: 10.1016/j.eja.2019.02.016
- Lukin S.V. 2017. Dynamics of the Agrochemical Fertility Parameters of Arable Soils in the Southwestern Region of Central Chernozemic Zone of Russia. *Eurasian Soil Science*, 50(11): 1323–1331. DOI: 10.1134/S1064229317110096
- Lukin S.V., Zhuikov D.V. 2021a. Monitoring of the Contents of Manganese, Zinc, and Copper in Soils and Plants of the Central Chernozemic Region of Russia. *Eurasian Soil Science*, 54(1): 63–71. DOI: 10.1134/S1064229321010099
- Lukin S.V., Zhuykov D.V. 2021b. Ecological Assessment of Sulfur Content in Agroecosystems of the Central Black Earth Region of Russia. In: Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE 2021). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 20–21 June 2021, Ussurijsk, 937(3): 022043. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022043
- Lukin S.V., Zhuikov D.V. 2022. Content and Balance of Trace Elements (Co, Mn, Zn) in Agroecosystems of the Central Chernozemic Region of Russia. *Agriculture*, 12(2): 154. DOI: 10.3390/agriculture12020154

References

- Azarenko J.A. 2021. Evaluation of the Fund of Mobile Forms of Microelements in Arable Soils of the Forest-Steppe and Steppe of the Omsk Irtysh Region. In: Environmental Readings-2021. Materials of the XII National Scientific and Practical Conference with International Participation. Omsk, 04–05 June 2021. Omsk, Publ. Omskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. P.A. Stolypina: 3–18 (in Russian).
- Almobarak F., Mezhova L.A. 2020. Results of Monitoring of Natural and Anthropogenic Agro Ecosystems Transformation in the Voronezh Region for the Period of Agricultural Environmental Management. Samara Journal of Science, 9(1(30)): 14–18 (in Russian). DOI: 10.24411/2309-4370-2020-11101
- Aristarhov A.N. 2016. Sera v agroekosistemakh Rossii: monitoring soderzhaniya v pochvakh i effektivnost eye primeneniya [Sulfur in Agroecosystems of Russia: Monitoring of the Content in Soils and the Effectiveness of Its Application]. Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal, 5: 39–47.
- Kirjushin V.I., Lukin S.V., Solovichenko V.D., Mel'nikov V.I. 2019. Belgorodskaya model adaptivno-landshaftnogo zemledeliya [Belgorod Model of Adaptive Landscape Farming]. Belgorod, Publ. Konstanta. 272 p.
- Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Chendev Yu.G. 2016. Agroclimatic Resources of Belgorod Region at the Beginning of the 21st Century. Achievements of Science and Technology of AIC, 30(10): 71–76 (in Russian).
- Masyutenko M.N., Masyutenko N.P. 2017. Normalization of Agrogenic Loads in Agricultural Landscapes on Chernozem Soils. Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyaystvennoj akademii, 4: 3–8 (in Russian).
- Panasin V.I. 2014. Monitoring of Microelemental Condition of Agroecosystems. Agrochemical Herald, 4: 18–21 (in Russian).

- Perel'man A.I. 1975. Geohimija landshafta [Geochemistry of the landscape]. Moscow, Pabl. Vysshaja shkola, 342 p.
- Poddubnyi A.S. 2018. Dynamics of an Agrochemical State of Arable Lands in the Forest-Steppe of Belgorod Region. Achievements of Science and Technology of AIC, 32(6): 15–17 (in Russian).
- Polynov B.B. 1948. K voprosu o roli elementov biosfery v evolyutsii organizmov [On the Role of the Elements of the Biosphere in the Evolution of Organisms]. Pochvovedeniye, 10: 594–607.
- Popov V.V. 2018. State of Fertility of Arable Land in the Southeastern Districts of Rostov Region. Achievements of Science and Technology of AIC, 32(3): 7–11 (in Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10302
- Slyusarev V.N., Shvets T.V., Popova Yu.S. 2016. Forms of Organic Sulfur in Brown Forest Soils of Low and Medium Mountains of the Northwest Caucasus. Works of the Kuban state agrarian university, 62: 105–111 (in Russian). DOI: 10.21515/1999-1703-62-105-111
- Sukhova O.A., Boldyrev V.V., Akulov A.V. 2019. Monitoring of Trace Elements in the Soils of the Volgograd Region. Achievements of Science and Technology of AIC, 33(4): 20–21 (in Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10405
- Torshin S.P., Yagodin B.A., Udelnova T.M., Kokurin N.L., Zabrodina I.Yu. 1996. Mikroelementy v rasteniyakh Tsentralno-chernozemnogo regiona Rossii [Trace elements in plants of the Central Chernozem region of Russia]. Agrokhimiya, 1: 20–30 (in Russian).
- Fateev A.I., Chaban V.I., Podobed O.Yu. 2015. The Content of Microelements in Chernozem of a Steppe Zone of Ukraine and Their Change at the Prolonged Use of Fertilizers in a Crop Rotation. Soil Science and Agrochemistry, 1(54): 207–215 (in Russian).
- Khitrov N.B., Cheverdin Yu.I. 2016. Soils of Kamennaya Steppe from the Days of V.V. Dokuchaev till Nowadays. Zhivye i biokosnye sistemy, 16: 2 (in Russian).
- Sheudzhen A.H., Onishchenko L.M., Prokopenko V.V. 2005. Udobrenija, pochvennye grunty i reguljatory rosta rastenij [Soil soils and plant growth regulators]. Maykop, Pabl. GURIPP «Adygeja», 404 p.
- Bouray M., Moir J.L., Lehto N.J., Condron L.M., Touhami D., Hummel C. 2021. Soil pH Effects on Phosphorus Mobilization in the Rhizosphere of Lupinus Angustifolius. Plant Soil, 469: 387–407.
- Holland J.E., White P.J., Glendining M.J., Goulding K.W.T., McGrath S.P. 2019. Yield Responses of Arable Crops to Liming – An Evaluation of Relationships Between Yields and Soil pH from a Long-Term Liming Experiment. European Journal of Agronomy, 105: 176–188. DOI: 10.1016/j.eja.2019.02.016
- Lukin S.V. 2017. Dynamics of the Agrochemical Fertility Parameters of Arable Soils in the Southwestern Region of Central Chernozemic Zone of Russia. Eurasian Soil Science, 50(11): 1323–1331. DOI: 10.1134/S1064229317110096
- Lukin S.V., Zhuikov D.V. 2021a. Monitoring of the Contents of Manganese, Zinc, and Copper in Soils and Plants of the Central Chernozemic Region of Russia. Eurasian Soil Science, 54(1): 63–71. DOI: 10.1134/S1064229321010099
- Lukin S.V., Zhuykov D.V. 2021b. Ecological Assessment of Sulfur Content in Agroecosystems of the Central Black Earth Region of Russia. In: Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE 2021). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 20–21 June 2021, Ussurijsk, 937(3): 022043. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022043
- Lukin S.V., Zhuikov D.V. 2022. Content and Balance of Trace Elements (Co, Mn, Zn) in Agroecosystems of the Central Chernozemic Region of Russia. Agriculture, 12(2): 154. DOI: 10.3390/agriculture12020154

Поступила в редакцию 17.08.2022;
поступила после рецензирования 9.09.2022;
принята к публикации 27.09.2022

Received August 17, 2022;
Revised September 09, 2022;
Accepted September 27, 2022

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Жуйков Денис Валерьевич, заведующий лабораторией проектирования агроландшафтов ФГБУ «Центр агрохимической службы «Белгородский», Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Denis V. Zhuikov, head of the laboratory of agricultural landscape design, Agrochemical Service Center «Belgorodsky», Belgorod, Russia