

УДК 632.122.1:546.47:546.56:546.77(470.32)

## ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ МЫШЬЯКА И РТУТИ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РАЙОНА РОССИИ

© 2023 г. С. В. Лукин<sup>1,2,\*</sup> (ORCID: 0000-0003-0986-9995)

Представлено академиком РАН В.И. Кирюшиным 19.06.2023 г.

Поступило 19.06.2023 г.

После доработки 31.07.2023 г.

Принято к публикации 04.08.2023 г.

В работе проанализированы результаты государственного агроэкологического мониторинга почв, проводимого в юго-западной части лесостепной зоны Центрально-Черноземного района. Было установлено, что в горизонте Апах пахотного чернозема типичного лесостепной зоны ЦЧР среднее валовое содержание As и Hg составляет 4.18 и 0.022 мг/кг соответственно. В материнской породе (С) содержание As в 1.38 раза выше, а Hg — в 2.22 раза ниже, чем в Апах. В агроэкосистемах Белгородской области главным источником поступления As и Hg являются органические удобрения, однако это не представляет опасности для загрязнения почв и растениеводческой продукции. Наиболее высокое среднее содержание As (0.020 мг/кг) было установлено в зерне озимой пшеницы, гороха и семенах подсолнечника, а самое низкое (0.016 мг/кг) — в зерне кукурузы и сои. Самым высоким содержанием Hg характеризуется зерно ячменя (0.006 мг/кг) и озимой пшеницы (0.007 мг/кг), а в сене эспарцета отмечено наиболее низкое содержание этого элемента (0.002 мг/кг). Превышения уровней ПДК As и Hg для продовольственного зерна и МДУ для кормовой продукции в исследованиях не выявлено.

**Ключевые слова:** кларк, коэффициент биологического поглощения, почва, сельскохозяйственные культуры, чернозем, удобрения, фоновый мониторинг

DOI: 10.31857/S268673972360131X, EDN: HZCOJX

### ВВЕДЕНИЕ

Мышьяк и ртуть относятся к классу высокоопасных веществ. Кларки As и Hg в почвах, по оценкам А.П. Виноградова, составляют 5.0 и 0.05 [1], по данным. А Kabata-Pendias — 6.8 и 0.07 мг/кг [2] соответственно.

As и Hg входят в состав пестицидов, которые широко использовались в сельском хозяйстве в прошлом веке. Hg входит в состав этилмеркурхлорида и этилмеркурофосфата, которые являются наиболее распространенными действующими веществами многих фунгицидов, используемых для протравливания семян. As входит в состав мышьяковистого ангидрида, арсената натрия и других соединений, которые используются в не-

которых инсектицидах, фунгицидах и акарицидах. Важным источником загрязнения почв As являются отвалы сульфидных руд. Значимыми источниками поступления этих элементов в биосферу являются газопылевые выбросы различных промышленных предприятий, сжигание органического топлива и твердых бытовых отходов, использование в качестве удобрений осадков сточных вод (ОСВ) [3–5].

Учитывая высокую токсичность As и Hg, их валовое содержание нормируется в почвах многих стран мира [6, 7]. В России для нормирования валового содержания As в почвах разработаны ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) этого элемента, которые в песчаных и супесчаных почвах составляют 2, в кислых тяжелосуглинистых почвах — 5, в нейтральных тяжелосуглинистых почвах — 10 мг/кг. Для нормирования валового содержания Hg в почвах установлен уровень его предельно-допустимой концентрации (ПДК), равный 2.1 мг/кг [8].

Поскольку ПДК Hg выше кларка элемента по А.П. Виноградову в 42 раза, а ОДК As для кислых

<sup>1</sup>Центр агрохимической службы “Белгородский”, Белгород, Россия

<sup>2</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

\*e-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

**Таблица 1.** Содержание органического вещества и величина  $pH_{H_2O}$  в почвенном профиле пахотных черноземов типичных

| Показатель                           | Статистические характеристики   | Горизонт / глубина, см |               |               |               |                 |               |
|--------------------------------------|---------------------------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
|                                      |                                 | А пах<br>0–25          | А<br>26–36    | АВ<br>37–90   | Вса<br>91–111 | Всса<br>112–134 | Сса<br>>135   |
| $pH_{H_2O}$                          | $\bar{x} \pm t_{0.5} s \bar{x}$ | $6.6 \pm 0.3$          | $6.8 \pm 0.3$ | $7.5 \pm 0.3$ | $7.9 \pm 0.2$ | $8.1 \pm 0.2$   | $8.1 \pm 0.2$ |
|                                      | lim                             | 5.8–7.9                | 5.9–8.1       | 6.2–8.1       | 6.4–8.5       | 6.9–8.5         | 6.7–8.5       |
|                                      | V, %                            | 8.7                    | 9.9           | 7.7           | 6.5           | 4.0             | 4.5           |
| Содержание органического вещества, % | $\bar{x} \pm t_{0.5} s \bar{x}$ | $5.6 \pm 0.2$          | $5.0 \pm 0.2$ | $3.5 \pm 0.2$ | $2.1 \pm 0.3$ | $1.2 \pm 0.1$   | $0.9 \pm 0.1$ |
|                                      | lim                             | 4.6–6.3                | 3.9–6.1       | 2.4–4.4       | 0.8–2.8       | 0.6–1.7         | 0.5–1.5       |
|                                      | V, %                            | 7.9                    | 11.6          | 13.8          | 25.8          | 23.2            | 29.6          |

тяжелосуглинистых почв соответствует кларку, у ученых и практиков возникает много вопросов по научной обоснованности отечественных нормативов [9]. Для содержания подвижных форм As и Hg в почвах ПДК не разработаны, поэтому в программе агроэкологического мониторинга эти показатели не определяются.

Учитывая высокую токсичность соединений As и Hg для теплокровных, нормируется их содержание в продукции, предназначенной на пищевые цели, и в кормах для сельскохозяйственных животных [10, 11].

Цель работы – провести экологическую оценку содержания мышьяка и ртути в пахотных почвах, удобрениях и растениеводческой продукции.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в юго-западной части лесостепной зоны Центрально-Черноземного района (ЦЧР) на территории Белгородской области в 2016–2022 гг. Одними из самых распространенных почв в этой зоне являются черноземы типичные. Фоновый мониторинг проводился на участке “Ямская степь” государственного заповедника “Белогорье”, где был выкопан почвенный разрез и отобраны образцы целинного чернозема типичного. На водораздельных пахотных участках Прохоровского района, почвенный покров которых представлен черноземами типичными, было заложено 22 разреза.

В целинном черноземе типичном в слое 10–20 см гумусово-аккумулятивного горизонта (А) содержание органического вещества (по методу Тюрина) и величина  $pH$  водной вытяжки ( $pH_{H_2O}$ ) составляют 10.1% и 7.0, а в слое 121–165 см материнской породы (горизонт С) – 1.1% и 8.2 соответственно. Величины данных параметров для пахотных черноземов типичных представлены в табл. 1.

Отбор проб почвы, удобрений, растениеводческой продукции (в фазу наступления технологической спелости) проводился в соответствии с общепринятой в агрохимической службе методикой [12]. В отобранных пробах содержание As определялось фотометрическим методом, а Hg – атомно-абсорбционным методом по общепринятым в агрохимической службе методикам [13]. Все химические анализы были выполнены в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ “ЦАС “Белгородский”.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*Мышьяк и ртуть в почвах.* По данным фонового мониторинга валовое содержание As и Hg в слое 10–20 см гумусово-аккумулятивного горизонта (А) целинного чернозема типичного составляет 3.12 и 0.030 мг/кг, а в слое 150–160 см почвообразующей породы (горизонт С) – 3.65 и 0.015 мг/кг соответственно. Таким образом, концентрация As в горизонте С в 1.17 раза выше, чем в горизонте А, а содержание Hg, наоборот, в 2 раза ниже. В горизонте А целинного чернозема оподзоленного Липецкой области валовое содержание As и Hg составляет 2.7 и 0.02 мг/кг, серой лесной почвы – 4.1 и 0.03 мг/кг соответственно [14].

В пахотном слое чернозема типичного среднее содержание As составляет 4.18 мг/кг, а в горизонте С величина данного параметра возрастает в 1.38 раза (рис. 1). Обратная закономерность характерна для распределения Hg по профилю данной почвы. В пахотном слое концентрация Hg составляет 0.022 мг/кг, что в 2.44 раза выше, чем в горизонте С. Отмеченные закономерности во многом обусловлены особенностями биогенной миграции этих элементов, количественным показателем которой служит коэффициент биологического поглощения (КБП). Этот коэффициент рассчитывается как отношение содержания эле-

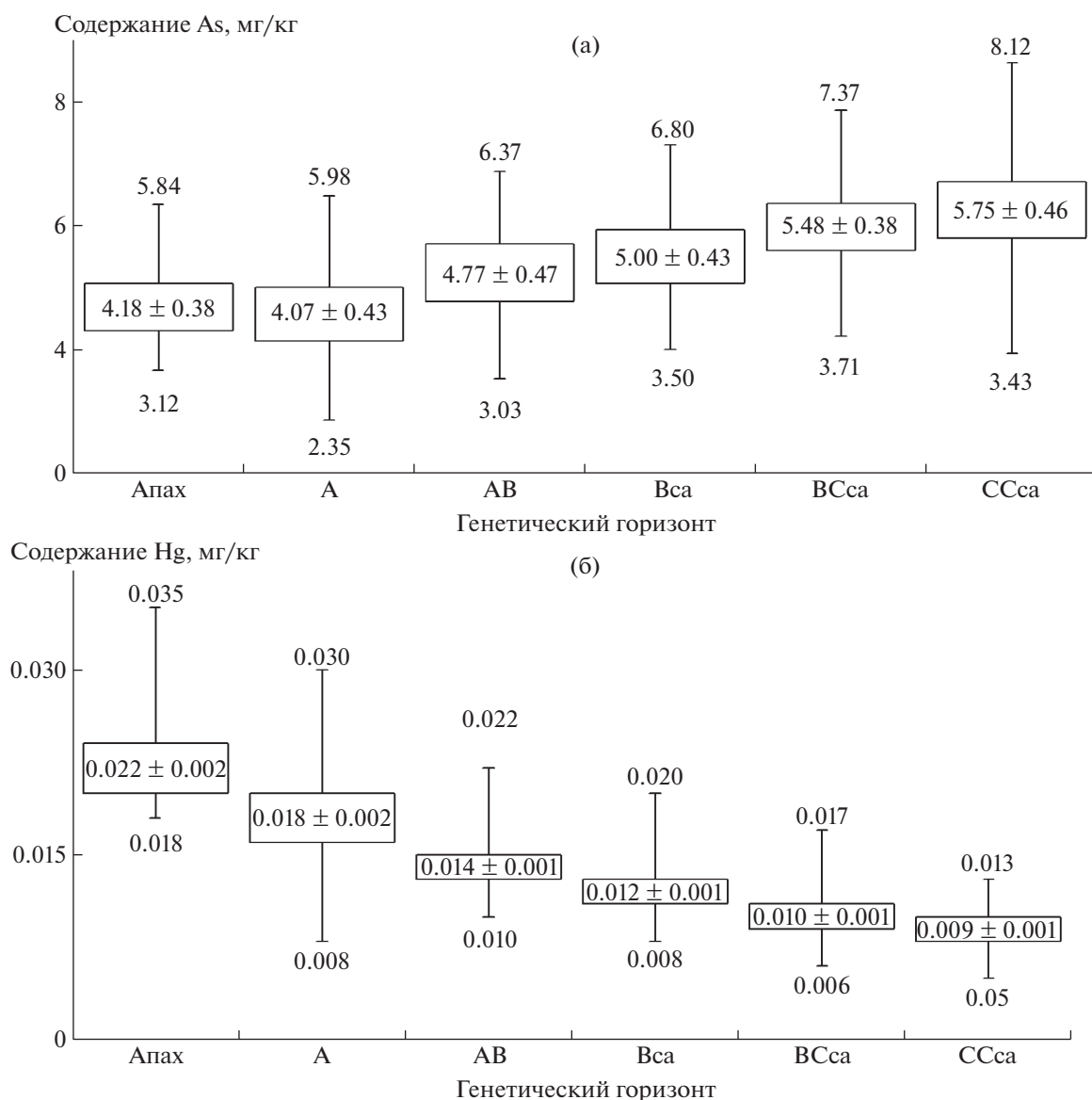


Рис. 1. Валовое содержание As (а) и Hg (б) в профиле чернозема типичного, мг/кг.

мента в золе растений (мг/кг золы) к его содержанию в почве (мг/кг почвы) [15]. Величина КБП естественной целинной растительностью As составляет 0.14, а Hg — 6.60 [16, 17]. По величине данного параметра Hg относится к элементам сильного биологического накопления и для нее, как правило, характерна аккумуляция в гумусовом горизонте, а As — к элементам среднего биологического захвата, поэтому для него характерно более высокое содержание в материнской породе.

Средние валовые запасы As и Hg в пахотном слое (массой 3 тыс. т.) чернозема типичного составляют 12.5 и 0.066 кг/га соответственно. Превышений уровней ОДК As (10 мг/кг) и ПДК Hg установлено не было.

В пахотном слое черноземов обыкновенных Саратовской области валовое содержание As и Hg находится в пределах 3.80–4.54 и 0.018–0.039 мг/кг [18], Белгородской — 4.10–7.13 и 0.015–0.035 мг/кг соответственно [16]. В различных подтипах черноземов Средней Сибири среднее содержание Hg находится в пределах 0.019–0.029 мг/кг [5].

*Мышьяк и ртуть в удобрениях и мелиорантах.* Минеральные удобрения не рассматриваются как важный источник загрязнения почв агроэкосистем As и Hg. По нашим данным, среднее содержание As и Hg в аммиачной селитре составляет 0.34 и 0.005 мг/кг, в азофоске — 0.94 и 0.010 мг/кг соответственно, что ниже, чем валовое содержа-

**Таблица 2.** Содержание мышьяка и ртути в органических удобрениях и дефекаате, мг/кг

| Вариационно-статистические показатели | Вид удобрения                             |                                                    |                                    |                                   |
|---------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
|                                       | стоки навозные<br>(2.22% сухого вещества) | компост<br>соломопометный<br>(56% сухого вещества) | навоз КРС<br>(25% сухого вещества) | дефекаат<br>(87% сухого вещества) |
| As                                    |                                           |                                                    |                                    |                                   |
| n                                     | 52                                        | 42                                                 | 22                                 | 20                                |
| $\bar{x} \pm t_{0.5} s \bar{x}$       | $0.005 \pm 0.001$                         | $0.088 \pm 0.008$                                  | $0.277 \pm 0.036$                  | $2.00 \pm 0.23$                   |
| lim                                   | 0.003–0.008                               | 0.045–0.139                                        | 0.111–0.394                        | 1.10 ± 2.93                       |
| V, %                                  | 29.6                                      | 28.0                                               | 29.5                               | 25.5                              |
| Hg                                    |                                           |                                                    |                                    |                                   |
| n                                     | 64                                        | 32                                                 | 26                                 | 20                                |
| $\bar{x} \pm t_{0.5} s \bar{x}$       | $0.0010 \pm 0.0001$                       | $0.0041 \pm 0.0004$                                | $0.0084 \pm 0.0010$                | $0.014 \pm 0.002$                 |
| lim                                   | 0.0006–0.0018                             | 0.0021–0.0060                                      | 0.0044–0.0125                      | 0.005 ± 0.020                     |
| V, %                                  | 28.0                                      | 27.9                                               | 29.8                               | 33.2                              |

ние элементов в почвах. В 2016–2020 гг. в ЦЧР в среднем за год вносилось 88–156 кг действующего вещества/га минеральных удобрений, с которыми в почву попадало As и Hg 0.13–0.23 и 0.002–0.003 г/га соответственно. При этом запасы в пахотном слое почв As увеличатся всего на 0.001–0.002%, а Hg – на 0.003–0.005%.

Важным источником поступления этих элементов в почвы агроэкосистем являются органические удобрения. В современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур, используемых в ЦЧР, навоз крупного рогатого скота (КРС) и компосты соломопометные рекомендуют вносить один раз в 4–5 лет, а стоки навозные – один раз в 2 года. При внесении рекомендуемых доз навоза КРС 40 т/га, компоста соломопометного 20 т/га, стоков навозных 70 т/га поступление As в почву составит 11.08, 1.76, 0.35, а Hg – 0.336, 0.082, 0.070 г/га соответственно (табл. 2).

Однако в ЦЧР уровень применения органических удобрений достаточно низок, за исключением Белгородской области. Например, в 2016–2020 гг. средние дозы их внесения (в пересчете на навоз КРС) в Тамбовской области составили 0.23, а в Белгородской – 8.83 т/га. С этим количеством органических удобрений в почвы Тамбовской области поступит As и Hg 0.06 и 0.002, Белгородской – 2.45 и 0.074 г/га соответственно. При этом увеличение валовых запасов As и Hg в почвах Тамбовской области составит 0.0005 и 0.003, Белгородской – 0.02 и 0.112% соответственно.

Содержание As и Hg в дефекаате, который широко используется для мелиорации кислых почв,

существенно выше, чем в органических удобрениях. В ЦЧР средние дозы внесения этого мелиоранта составляют 8–12 т/га, а периодичность – 1 раз в 10 лет. В среднем за 2016–2020 гг. известкование в ЦЧР проводилось на сравнительно небольшой площади – 132 тыс. га/год (1.5% от посевной площади) [19]. Поэтому поступление в агроэкосистемы с дефекаатом As и Hg в количестве 16.0–24.0 и 0.109–0.163 г/га не представляет угрозы для загрязнения почв.

По оценкам некоторых авторов, ежегодные потери As и Hg со смытой почвой в результате развития эрозионных процессов в агроэкосистемах Белгородской области оцениваются в 7.20 и 0.044 г/га соответственно, при этом баланс данных элементов формируется отрицательным [16].

*Мышьяк и ртуть в сельскохозяйственных культурах.* В сельскохозяйственных растениях As и Hg в наибольшей степени накапливаются в побочной продукции (солома, стебли), а не в основной (зерно, семена). Например, содержание As и Hg в побочной продукции кукурузы выше, чем в основной в 1.3 и 2.9, сои – 1.4 и 2.9 раза соответственно [4, 5].

Среднее содержание As в семенах подсолнечника, зерне озимой пшеницы и гороха составляло 0.020, зерне ячменя – 0.019 мг/кг. Достоверных различий по данному показателю между этими культурами не установлено. В зерне кукурузы и сои содержание As было достоверно меньше, чем у отмеченных выше культур, и в среднем составляло 0.016 мг/кг. В сене клевера и люцерны среднее содержание элемента составляло 0.018 мг/кг,

**Таблица 3.** Содержание мышьяка и ртути в продукции сельскохозяйственных культур, мг/кг

| Вид продукции<br>(влажность, %) | Сельскохозяйственная<br>культура | n  | $\bar{x} \pm t_{0.5} s \bar{x}$ | lim         | V, % |
|---------------------------------|----------------------------------|----|---------------------------------|-------------|------|
| As                              |                                  |    |                                 |             |      |
| Семена (7%)                     | подсолнечник                     | 22 | $0.020 \pm 0.001$               | 0.017–0.022 | 9.5  |
| Зерно (14%)                     | озимая пшеница                   | 70 | $0.020 \pm 0.002$               | 0.009–0.041 | 29.3 |
|                                 | ячмень                           | 80 | $0.019 \pm 0.001$               | 0.011–0.034 | 28.4 |
|                                 | кукуруза                         | 23 | $0.016 \pm 0.001$               | 0.014–0.021 | 11.7 |
|                                 | горох                            | 22 | $0.020 \pm 0.002$               | 0.013–0.028 | 20.6 |
|                                 | соя                              | 42 | $0.016 \pm 0.001$               | 0.010–0.028 | 22.8 |
| Сено (16%)                      | клевер                           | 22 | $0.018 \pm 0.001$               | 0.014–0.023 | 14.8 |
|                                 | люцерна                          | 22 | $0.018 \pm 0.001$               | 0.015–0.021 | 11.8 |
|                                 | эспарцет                         | 22 | $0.017 \pm 0.001$               | 0.014–0.020 | 10.9 |
| Hg                              |                                  |    |                                 |             |      |
| Семена (7%)                     | подсолнечник                     | 22 | $0.004 \pm 0.0003$              | 0.002–0.005 | 19.7 |
| Зерно (14%)                     | озимая пшеница                   | 41 | $0.007 \pm 0.001$               | 0.003–0.009 | 24.9 |
|                                 | ячмень                           | 45 | $0.006 \pm 0.001$               | 0.003–0.009 | 28.3 |
|                                 | кукуруза                         | 22 | $0.003 \pm 0.001$               | 0.002–0.004 | 29.9 |
|                                 | горох                            | 22 | $0.003 \pm 0.0002$              | 0.002–0.004 | 20.6 |
|                                 | соя                              | 21 | $0.003 \pm 0.0003$              | 0.001–0.004 | 26.5 |
| Сено (16%)                      | клевер                           | 22 | $0.003 \pm 0.0004$              | 0.001–0.006 | 28.3 |
|                                 | люцерна                          | 22 | $0.003 \pm 0.0003$              | 0.002–0.004 | 19.0 |
|                                 | эспарцет                         | 22 | $0.002 \pm 0.0004$              | 0.001–0.005 | 30.0 |

что достоверно не отличалось от его содержания в эспарцете (табл. 3).

Для зерна пшеницы, ячменя и кукурузы, используемых на пищевые цели, ПДК As установлена на уровне 0.2 мг/кг, а для семян подсолнечника, зерна сои и гороха – 0.3 мг/кг [10]. Для оценки качества грубых и сочных кормов (в том числе сена) установлен максимально допустимый уровень (МДУ) содержания As, равный 0.5 мг/кг [11]. В наших исследованиях превышения ПДК и МДУ изучаемых элементов не наблюдалось. Среднее содержание As в растениеводческой продукции, произведенной на территории России, варьирует от 0.020 до 0.046 мг/кг [20].

В зерне кукурузы, гороха и сои, сене клевера и люцерны содержание Hg в среднем составляет 0.003, в семенах подсолнечника – 0.004 мг/кг. Существенно выше содержание этого элемента в зерне ячменя (0.006 мг/кг) и озимой пшеницы (0.007 мг/кг). Самое низкое среднее содержание Hg установлено в сене эспарцета (0.002 мг/кг).

Для предназначенных на пищевые цели зерна пшеницы, ячменя и кукурузы ПДК Hg установлена на уровне 0.03, зерна гороха – 0.02, семян подсолнечника и зерна сои – 0.05 мг/кг [10]. МДУ со-

держания Hg в сене составляет 0.05 мг/кг [11]. В агроценозах Средней Сибири содержание Hg в зерне пшеницы в среднем составляет 0.0016, ячменя – 0.002, сене многолетних трав – 0.004 мг/кг [5]. Среднее содержание ртути в растениеводческой продукции в разных федеральных округах России варьирует от 0.0005 до 0.010 мг/кг [20].

В 2016–2020 гг. в Белгородской области средняя урожайность озимой пшеницы составляла 4.89, кукурузы – 7.04, подсолнечника – 2.89, сои – 2.22, сена многолетних трав – 3.0, а отчуждение As и Hg из агроэкосистем с основной продукцией этих культур составляло 0.10 и 0.034, 0.11 и 0.021, 0.06 и 0.012, 0.04 и 0.007, 0.05 и 0.009 г/га соответственно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что в горизонте Апах пахотного чернозема типичного лесостепной зоны ЦЧР среднее валовое содержание As и Hg составляет 4.18 и 0.022 мг/кг соответственно. В материнской породе (С) содержание As в 1.38 раза выше, а Hg – в 2.22 раза ниже, чем в Апах. В агроэкосистемах Белгородской области главным источником поступления As и Hg явля-

ются органические удобрения, однако это не представляет опасности для загрязнения почв и растениеводческой продукции. Наиболее высокое среднее содержание As (0.020 мг/кг) было установлено в зерне озимой пшеницы, гороха и семенах подсолнечника, а самое низкое (0.016 мг/кг) — в зерне кукурузы и сои. Самым высоким содержанием Hg характеризуется зерно ячменя (0.006 мг/кг) и озимой пшеницы (0.007 мг/кг), а в сене эспарцета отмечено наиболее низкое содержание этого элемента (0.002 мг/кг). Превышения уровней ПДК As и Hg для продовольственного зерна и МДУ для кормовой продукции в исследованиях не выявлено, однако это не исключает необходимость проведения мониторинга качества растениеводческой продукции.

### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
2. *Kabata-Pendias A.* Trace Elements in Soils and Plants, 2011. 505 p.
3. *Rovira J., Nadal M., Schuhmacher M., Domingo J.L.* Concentrations of trace elements and PCDD/Fs around a municipal solid waste incinerator in Girona (Catalonia, Spain). Human health risks for the population living in the neighborhood // *Sci Total Environ.* 2018. V. 630. P. 34–45.
4. *Toth G., Hermann T., Szatmari G., Pasztor L.* Maps of heavy metals in the soils of the European Union priority areas for detailed assessment // *Science of the Total Environment.* 2016. V. 565. P. 1054–1062.
5. *Побилат А.Е., Волошин Е.И.* Экологическая оценка содержания ртути в агроценозах Средней Сибири // *Микроэлементы в медицине.* 2019. № 20 (4). С. 57–62.  
<https://doi.org/10.19112/2413-6174-2019-20-4-57-62>
6. *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.  
<https://doi.org/10.1134/S1064229319100107>
7. *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 // *J. Integrative Agriculture.* 2018. V. 17. № 4. P. 765–774. 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.  
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61892-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61892-6)
8. 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”.  
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61892-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61892-6)
9. *Безуглова О.С., Околелова А.А.* О нормировании содержания мышьяка в почвах // *Живые и биокосные системы.* 2012. № 1. (Режим доступа: URL: <https://jbks.ru/archive/issue-1/article-7>).  
<https://doi.org/10.18522/2308-9709-2012-1-7>
10. ТРТС015/2011 Технический регламент Таможенного союза “О безопасности зерна” (с изменениями на 15 сентября 2017 года) Технический регламент Таможенного союза от 09.12.2011 N015/2011. Режим доступа: [docs.cntd.ru/document/902320395](https://docs.cntd.ru/document/902320395) (дата обращения: 03.02.2023).
11. ВМДУ-87 “Временный максимально допустимый уровень содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках”, 1987.
12. Методические указания по проведению локального мониторинга на реперных и контрольных участках / В.Г. Сычев, А.В. Кузнецов, А.В. Павлихина и др. Москва: Росинформагротех, 2006. 76 с.
13. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: Типография Московской с.-х. академии им. К.А. Тимирязева, 1992. 61 с.
14. Почвы Липецкой области / Ю.И. Сискевич, В.А. Никоноренков, О.В. Долгих и др. Липецк: Изд-во ООО “Позитив Л”, 2018. 209 с.
15. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 342 с.
16. *Селюкова С.В.* Экологическая оценка содержания свинца, кадмия, ртути и мышьяка в агроэкосистемах юго-западной части Центрально-Черноземного района России. Автореферат на соискание ученой степени кандидата биологических наук. М.: РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2019. 25 с.
17. *Chekmarev P.A., Lukin S.V., Selyukova S.V.* Monitoring of mercury content in agroecosystems of the central chernozem region of Russia // *Pollution Research.* 2021. V. 40. № 1. P. 34–39.
18. *Медведев И.Ф., Деревягин С.С.* Тяжелые металлы в экосистемах. Саратов: “Ракурс”, 2017. 178 с.
19. <http://www.fedstat.ru/indicators/stat.do> (дата обращения 24.03.2023).
20. *Побилат А.Е., Волошин Е.И.* Микроэлементы в сельскохозяйственных растениях // *Микроэлементы в медицине.* 2021. № 22 (3). С. 3V14.  
<https://doi.org/10.19112/2413-6174-2021-22-3-3-14>

# MONITORING OF ARSENIC AND MERCURY CONTENT IN AGROECOSYSTEMS OF THE CENTRAL CHERNOZEMIC REGION OF RUSSIA

**S. V. Lukin<sup>a,b,#</sup>**

<sup>a</sup>*Belgorod Center for Agrochemical Service, Belgorod, Russian Federation*

<sup>b</sup>*Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation*

<sup>#</sup>*e-mail: serg.lukin2010@yandex.ru*

Presented by Academician of the RAS V.I. Kiryushin June 19, 2023

The work analyzed the results of state agroecological monitoring of soils carried out in the southwestern part of the forest-steppe zone of the Central Chernozemic region of Russia. It was found that the average gross content of As and Hg in horizon A of arable chernozem of the typical forest-steppe zone of the Central Chernozemic region is 4.18 and 0.022 mg/kg, respectively. In the parent rock (C), the content of As is 1.38 times higher, and Hg is 2.22 times lower than in A. In the agroecosystems of the Belgorod region organic fertilizers are the main source of As and Hg, but this does not pose a danger to soil pollution and crop production. The highest average As content (0.020 mg/kg) was found in winter wheat grains, peas and sunflower seeds, and the lowest (0.016 mg/kg) was found in corn and soybean grains. The highest content of Hg is characterized by barley grains (0.006 mg/kg) and winter wheat (0.007 mg/kg), and the lowest content of this element (0.002 mg/kg) was noted in esparcet hay. Exceeding the levels of maximum allowable concentration of As and Hg for food grains and maximum allowable level for feed products was not revealed in the studies.

**Keywords:** clark, biological absorption coefficient, soil, crops, chernozem, fertilizers, background monitoring