
ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 504.064.36:550.53(476)

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ И В РАСТЕНИЯХ ПШЕНИЦЫ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. А. САМУСИК¹⁾, С. Е. ГОЛОВАТЫЙ²⁾

¹⁾*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,
ул. Ожешико, 22, 230023, г. Гродно, Беларусь*

²⁾*Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь*

Исследования дерново-подзолистых почв лесных и сельскохозяйственных земель в зоне воздействия предприятия по производству строительных материалов показали, что газопылевые выбросы существенно влияют на содержание в почвах и растениях тяжелых металлов. Оценка содержания валовых форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах лесных и сельскохозяйственных земель, попадающих в зону воздействия ОАО «Красносельскстройматериалы», свидетельствует о полиэлементном загрязнении почв кадмием, мышьяком и цинком. Загрязнение почв лесных и сельскохозяйственных земель свинцом носит фрагментарный характер. Наибольшая встречаемость проб с превышением гигиенических нормативов для почв лесных земель установлена для валовых форм цинка, а для почв сельскохозяйственных земель – кадмия и мышьяка. Оценка подвижных форм металлов

Образец цитирования:

Самусик ЕА, Головатый СЕ. Тяжелые металлы в почвах и в растениях пшеницы в зоне воздействия предприятия по производству строительных материалов. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2021;4:76–88.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-4-76-88>

For citation:

Samusik EA, Golovaty SE. Heavy metals in soils and wheat plants in the area of influence of a building materials enterprise. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2021;4:76–88. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-4-76-88>

Авторы:

Елена Андреевна Самусик – старший преподаватель кафедры экологии.
Сергей Ефимович Головатый – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заведующий кафедрой экологического мониторинга и менеджмента.

Authors:

Elena A. Samusik, senior lecture at the department of ecology.
e.samusik@mail.ru
Sergey E. Golovaty, doctor of science (agriculture), full professor; head of the department of environmental monitoring and management.
sscience@yandex.ru

выявила загрязнение почв преимущественно цинком и свинцом. Загрязнение почв кадмием незначительное и носит фрагментарный характер. Отмечается, что дерново-подзолистые почвы сельскохозяйственных земель в северо-восточном направлении от предприятия характеризуются высоким уровнем загрязнения подвижными формами цинка и свинца. В исследованиях не выявлены превышения максимально допустимых безопасных уровней содержания кадмия и свинца в зерне и соломе пшеницы, однако максимальные концентрации данных элементов в растениях этой культуры на некоторых участках в среднем на 25–60 % выше по сравнению с таковыми на контрольных участках, что указывает на наличие локальных зон, в которых наблюдается повышенное накопление тяжелых металлов в сельскохозяйственных растениях. В этой связи в зоне воздействия ОАО «Красносельскстройматериалы» необходимо организовать мониторинг качества растениеводческой продукции на содержание тяжелых металлов.

Ключевые слова: производство строительных материалов; газопылевое загрязнение; элементы-загрязнители; предельно допустимая концентрация; дерново-подзолистые почвы; растительная продукция.

HEAVY METALS IN SOILS AND WHEAT PLANTS IN THE AREA OF INFLUENCE OF A BUILDING MATERIALS ENTERPRISE

E. A. SAMUSIK^a, S. E. GOLOVATYI^b

^a*Yanka Kupala State University of Grodno,
22 Ažeshka Street, Grodno 230023, Belarus*

^b*International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus*

Corresponding author: E. A. Samusik (e.samusik@mail.ru)

Studies of sod-podzolic soils of forest and agricultural lands in the zone of impact of the enterprise for the production of building materials have shown that gas and dust emissions significantly affect the content of heavy metals in soils.

The assessment of the content of gross forms of heavy metals in sod-podzolic soils of forest and agricultural lands adjacent to the territory of JSC «Krasnoselskstroymaterialy» showed widespread soil contamination with cadmium, arsenic and zinc. Soil contamination of forest and agricultural lands with lead is fragmentary. The highest occurrence of samples with an excess of hygienic standards for soils of forest lands was established for gross forms of zinc, and for soils of agricultural lands – for gross forms of cadmium and arsenic.

The assessment of mobile forms of metals revealed soil contamination mainly with zinc and lead. Soil contamination with cadmium is insignificant and is fragmentary. It should be noted that the sod-podzolic soils of agricultural lands in the north-eastern direction from the enterprise are characterized by a high level of contamination with mobile forms of zinc and lead.

The studies did not reveal an excess of the maximum permissible safe levels of cadmium and lead content in wheat grain and straw, however, the maximum concentrations of these elements in plants of this crop were on average 25–60 % higher in some areas compared to those in control areas, which indicates the presence of local zones in which there is an increased accumulation of heavy metals in agricultural plants. In this regard, it is necessary to organize monitoring of the quality of crop production for the content of heavy metals in the zone of influence of JSC «Krasnoselskstroymaterialy».

Keywords: production of building materials; heavy metals; bulk and mobile forms of metals; background content; hygienic standards; sod-podzolic soils; plant products.

Введение

Отличительной особенностью загрязнения почв в зоне воздействия промышленных объектов является накопление в них многокомпонентной смеси химических веществ различной природы. Особое место занимают тяжелые металлы.

Тяжелые металлы, присутствующие в сырье или отходах производства, участвуют в водной и воздушной миграции и могут являться источником химического загрязнения почв преимущественно близлежащих к промышленным объектам территорий, формируя локальные участки загрязнения земель. Элементы, содержащиеся в промышленных выбросах, распространяются на значительные расстояния, формируя педогеохимические аномалии, удаленные от непосредственного источника выброса, что затрудняет его идентификацию [1].

Традиционно в практике оценки химического загрязнения земель используется определение в почвах валовых концентраций тяжелых металлов. Однако валовое содержание отражает только общую картину накопления в землях элементов или их соединений и не всегда свидетельствует об опасности химического загрязнения почв, так как при этом не учитывается миграционная активность поллютантов и возможность

их поступления в другие компоненты природной среды. Более информативным при оценке загрязнения почв является анализ содержания подвижных форм металлов, дающий возможность оценить степень опасности избыточной концентрации элементов в почвах для экосистем и их отдельных компонентов [1].

Цель исследования – оценить содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов (кадмия, мышьяка, цинка, свинца и меди) в дерново-подзолистой почве сельскохозяйственных и лесных земель, а также в растениеводческой продукции, произрастающей на сельскохозяйственных землях, на разном расстоянии (в градиенте расстояния) и по различным направлениям от предприятия по производству строительных материалов.

Материалы и методы исследования

В настоящее время цементная промышленность Беларуси представлена тремя предприятиями (ОАО «Красносельскстройматериалы», ОАО «Белорусский цементный завод» и ОАО «Кричевцементношифер»), из которых ОАО «Красносельскстройматериалы» (Гродненская обл., Волковысский р-н, г. п. Красносельский) является крупнейшим предприятием страны, специализирующемся на производстве цемента, известковых материалов и асбестоцементных изделий.

На территории г. п. Красносельский, по данным многолетних метеорологических наблюдений, в теплый период года преобладают ветры северо-западных, северных, западных и юго-западных составляющих. Характер распределения направления ветра хорошо иллюстрируется в виде так называемых роз-диаграмм. На рис. 1 указано направление ветра за январь и июль, а также в течение года в районе расположения предприятия ОАО «Красносельскстройматериалы», что соответствует средним многолетним данным ГУ «Гродненский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»¹.

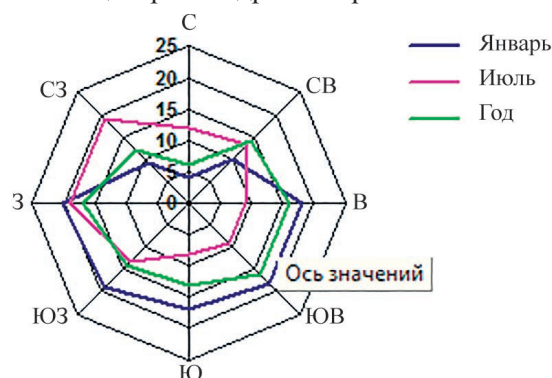


Рис. 1. График среднемноголетней повторяемости ветра в районе расположения предприятия ОАО «Красносельскстройматериалы»

Fig. 1. The graph of the average long-term frequency of wind in the area of the location of the enterprise of JSC «Krasnoselskstroymaterialy»

Почвенный покров исследуемой территории представлен дерново-подзолистыми песчаными почвами на моренных связных песках и дерново-подзолистыми супесчаными почвами на моренных пылевато-песчаных рыхлых супесях.

Пробные площадки были заложены по четырем направлениям (СЗ, ЮВ, ЮЗ, СВ) по ранее намеченному маршруту с учетом годовой «розы ветров», определяющей перенос загрязняющих веществ воздушными потоками. Расстояния от источника загрязнения до места отбора почвенных образцов по основным направлениям составили 1 км, 1,5; 2,5; 3,5; 6,5; 8 и 15 км. Фоновым участком являлась территория, расположенная в удаленности от источника загрязнения в радиусе 15 км.

Отбор почвенных образцов проводился из горизонта 0–20 см с помощью почвенного бура со строго фиксированной глубиной отбора по методическим указаниям². Всего отобрано 66 проб почв (на лесных и сельскохозяйственных землях).

¹Оценка воздействия на окружающую среду по объекту «Реконструкция помольного отделения на филиале № 3 «Известковый завод» ОАО «Красносельскстройматериалы»: отчет о НИР (заключ.) URL: <https://volkovysk.grodno-region.by/uploads/files/ovos-Krasnoselskstroymaterialy.pdf>. (дата обращения: 15.09.2021).

²ТКП 17.03-02-2013 (02120). Правила и порядок определения загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами: утвержд. и введ. в действие постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 29 ноября 2013 г. № 9-Т.

Химико-аналитические испытания проб почв на содержание тяжелых металлов проводились методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Для всех почвенных образцов проводилось определение валовых и подвижных форм кадмия, мышьяка, цинка, свинца и меди.

Для проведения химико-аналитических исследований отобранные образцы почвы высушивались до воздушно-сухого состояния, просеивались через сито 1 мм.

В зоне воздействия предприятия по производству строительных материалов на сельскохозяйственных землях также было проведено выборочное обследование растительных образцов (зерновая культура – яровая пшеница). Всего было отобрано 22 образца растения. Растения отбирали в фазу восковой спелости.

Процедура извлечения валовых форм тяжелых металлов из почвенных и растительных образцов проводилась методом кислотного разложения ($5M HNO_3$ и $1M HNO_3$). Определение подвижных форм металлов проводилось из вытяжки ацетатно-аммонийного буфера (ААБ, pH 4,8) [2].

Для оценки современного состояния почв и растений использовались фактические значения содержания в них химических веществ, коэффициент аномальности K_a (отношение содержания химического вещества в исследованном объекте к местному геохимическому фону), гигиенические нормативы для почв³ и допустимые уровни безопасности для растений^{4, 5}.

В качестве фона для валовых форм тяжелых металлов использованы значения содержания химических веществ в почвах фоновых территорий Гродненской обл. (по данным НСМОС)⁶, для подвижных форм – выводы по наблюдениям за химическим загрязнением земель на фоновых территориях⁷.

В настоящее время в природоохранной практике Республики Беларусь разработаны и используются дифференцированные нормативы содержания валовых форм химических веществ в почвах (ЭкоНиП 17.03.01-001-2020)⁸. В тоже время, поскольку цель настоящих исследований заключалась в оценке содержания не только валовых, но и подвижных форм изучаемых элементов в почве, а также накопление этих элементов в растениях пшеницы, для оценки полученных результатов были использованы гигиенические нормативы (предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочные допустимые концентрации (ОДК) для валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах), которые длительное время применялись в геохимических исследованиях для оценки опасности накопления поллютантов в природных средах и которые с научной точки зрения отражают цель настоящих исследований.

Результаты исследования и их обсуждение

Основным сырьем для производства поргланцементного клинкера являются *карбонатные* (известняки, мел, известковый мергель) и *глинистые* (глина, суглинки, лесс) породы, а также *железистое сырье* (железистые руды, пиритные огарки). Основными источниками эмиссии пыли и тяжелых металлов (в частности, Zn и Pb) в окружающую среду при производстве строительных материалов являются высокотемпературные технологические процессы при производстве цемента (вращающиеся печи обжига клинкера и мельницы помола). При этом на долю обжиговых печей приходится до 70–80 % выбрасываемой пыли. Мощным источником поступления техногенного кадмия является процесс сжигания топлива (угля, шин) [3].

По данным [4], основное количество тяжелых металлов в производственный процесс вносится с техногенными добавками и, прежде всего, с пиритными огарками, с целью регулирования технологических, строительно-технических (Zn – 84,6–91,0 %, Cd – 55,5–67,0 %, Pb – 87,6–89,6 %) и основным сырьем (глиной, мелом) (Zn – 8,8–15,0 %, Cd – 28,3–44,0 %, Pb – 10,2–12,2 %).

Результаты этих же исследований [4] указывают на высокие концентрации данных элементов в пыли, образующейся при производстве цемента. Так, содержание кадмия может варьировать от 0,21 до 219,1 мг/кг, свинца – 642–3728,9 мг/кг, цинка – от 160 до 690,5 мг/кг.

³Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности почвы». Утвержден постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25 января 2021 г. № 37.

⁴Гигиенический норматив «Показатель безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и продуктов питания». Утвержден постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 21 июня 2013 г. № 52.

⁵Ветеринарно-санитарные правила обеспечения в ветеринарно-санитарном отношении кормов и кормовых добавок. Постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 5 февраля 2018 г. № 9.

⁶Экологический бюллетень за 2015 год : земельные ресурсы и почвы. URL: <https://minpriroda.gov.by/ru/ecoza2015> (дата обращения: 15.09.2021).

⁷Экологический бюллетень за 2010 год : земельные ресурсы и почвы. URL: https://minpriroda.gov.by/ru/new_url_2108832364-ru (дата обращения: 15.09.2021).

⁸ЭкоНиП 17.03.01-001-2020. Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах.

Исследования валового содержания тяжелых металлов в почвах лесных и сельскохозяйственных земель на разном расстоянии и по различным направлениям от источника загрязнения представлены на рис. 2–11.

Оценка валового содержания кадмия в почвенном покрове показала, что средние концентрации валовых форм элемента в почвах сельскохозяйственных и лесных земель во всех направлениях превышали геохимический фон по Гродненской обл. с коэффициентом аномальности 5,4 и 4,5 соответственно [5].

Содержание кадмия в почвах лесных земель изменяется в широком диапазоне от 0,1 до 1,85 мг/кг (рис. 2, а), в почвах сельскохозяйственных земель – от 0,12 до 1,59 мг/кг (рис. 3, а). При этом наиболее высокие концентрации валовых форм кадмия зафиксированы в почвах лесных земель юго-восточного направления, где содержание элемента составляет 1,85 мг/кг и превышает гигиенический норматив в 3,7 раза (рис. 2, б) [5]. В почвах сельскохозяйственных земель высокие концентрации валовых форм кадмия выявлены по всем направлениям, которые превышают ОДК в 1,9–3,2 раза (рис. 3, б). Следует отметить, что высокое содержание валовых форм кадмия обнаруживается повсеместно в радиусе 8 км от источника загрязнения как в почвах сельскохозяйственных, так и в лесных землях.

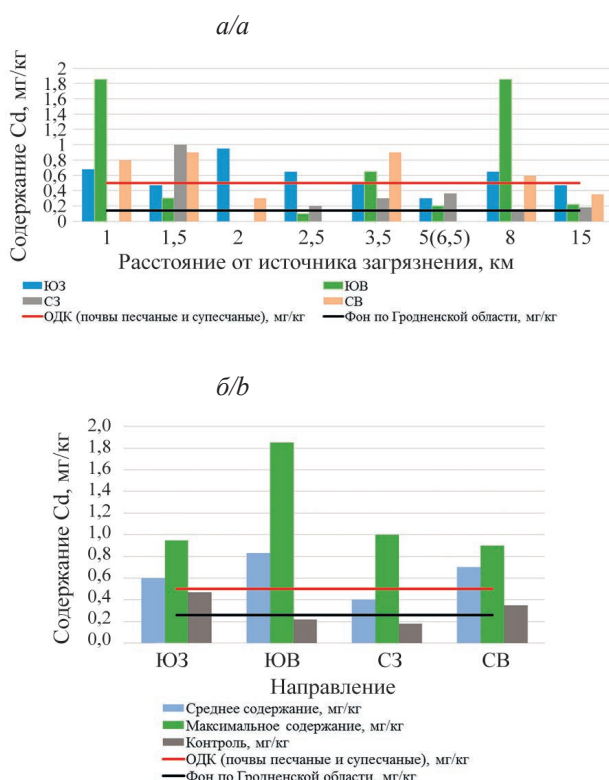


Рис. 2. Фактическое валовое содержание Cd в дерново-подзолистых почвах лесных земель в градиенте расстояния от источника загрязнения (а) и по направлениям (б)

Fig. 2. Actual gross Cd content in soddy-podzolic soils of forest lands in the gradient of distance from the pollution source (a) and along the directions (b)

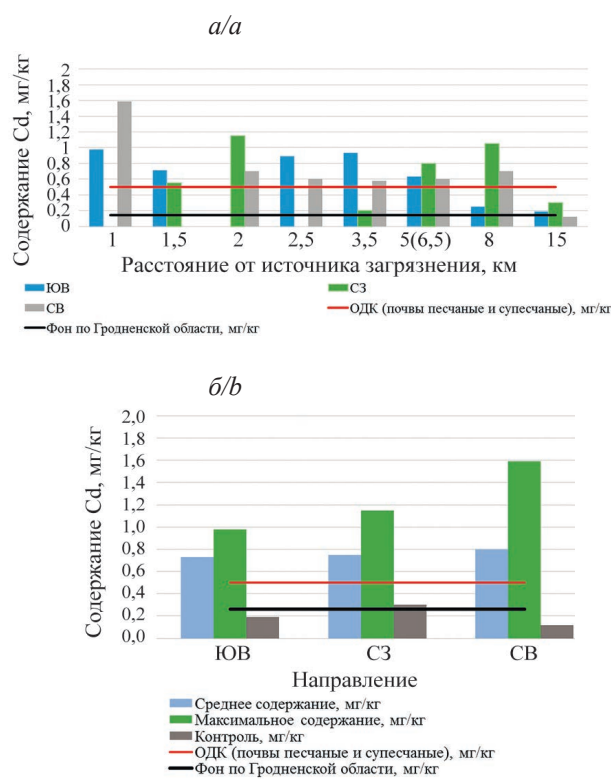


Рис. 3. Фактическое валовое содержание Cd в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственных земель в градиенте расстояния от источника загрязнения (а) и по направлениям (б)

Fig. 3. Actual gross content of Cd in soddy-podzolic soils of agricultural lands in the gradient of distance from the pollution source (a) and along the directions (b)

Анализ валового содержания мышьяка в почвах свидетельствует, что средние концентрации элемента в почвах сельскохозяйственных земель северо-западного и северо-восточного направлений превышали местный геохимический фон для Гродненской обл. с коэффициентом аномальности 3,1 и 2,6 соответственно, для почв лесных земель юго-западного и юго-восточного направлений – $K_a = 3,3$ и $3,1$ соответственно.

Содержание мышьяка в почвах лесных земель изменяется в широком диапазоне от 0,5 до 11,5 мг/кг (рис. 4, а), в почвах сельскохозяйственных земель – от 0,1 до 8 мг/кг (рис. 5, а). Наиболее высокие концентрации валовых форм кадмия зафиксированы в почвах лесных земель юго-западного и юго-восточного направлений, где содержание элемента составляет 9,98 мг/кг и 11,5 мг/кг, что превышает гигиенический норматив в 5 и 5,8 раза соответственно (рис. 4, б). В почвах сельскохозяйственных земель

северо-западного и северо-восточного направлений выявлены высокие концентрации валовых форм мышьяка с превышением ПДК в 4 и 3,5 раза соответственно (рис. 5, б). Отмечено, что высокое содержание валовых форм кадмия обнаруживается повсеместно в радиусе 8 км от источника загрязнения в почвах сельскохозяйственных земель, в почвах лесных земель – в радиусе 2,5 км.

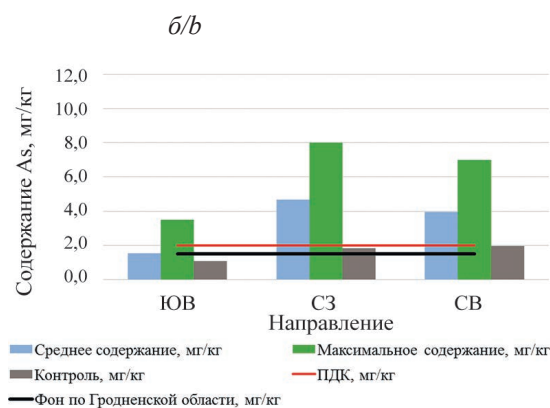
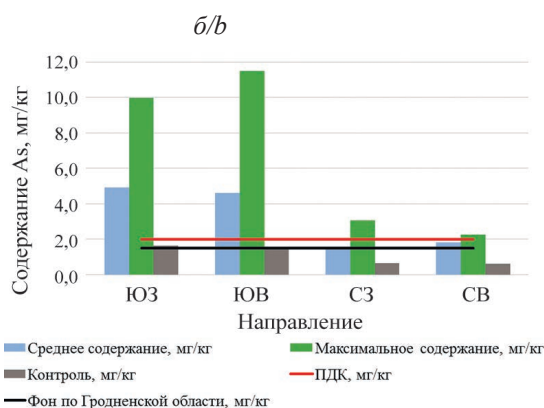
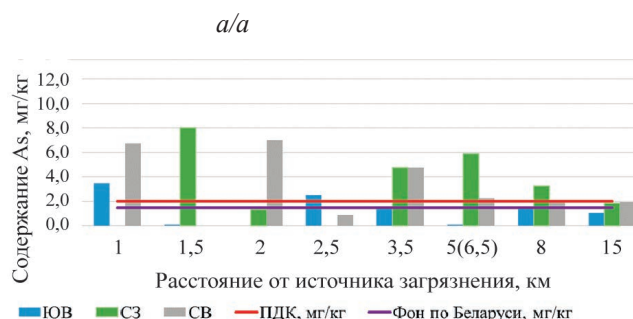
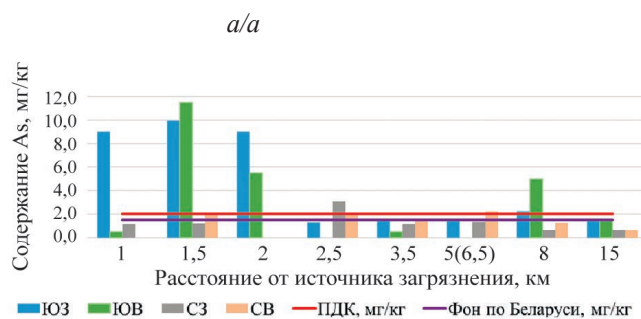


Рис. 4. Фактическое валовое содержание As в дерново-подзолистых почвах лесных земель в градиенте расстояния от источника загрязнения (а) и по направлениям (б)

Рис. 5. Фактическое валовое содержание As в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственных земель в градиенте расстояния от источника загрязнения (а) и по направлениям (б)

Fig. 4. Actual gross As content in soddy-podzolic soils of forest lands in the gradient of distance from the pollution source (a) and along the directions (b)

Fig. 5. Actual gross As content in soddy-podzolic soils of agricultural lands in the gradient of distance from the pollution source (a) and along the directions (b)

Обнаружено, что средние концентрации валовых форм цинка в почвах сельскохозяйственных и лесных земель во всех направлениях превышали местный геохимический фон с коэффициентом аномальности 1,8 и 2,7 соответственно (рис. 6, а, 7, а).

При этом содержание цинка в почвах лесных земель значительно выше, чем в почвах сельскохозяйственных земель и составляет 56,8 мг/кг и 37,4 мг/кг соответственно. Наиболее высокие концентрации валовых форм цинка зафиксированы в почвах лесных земель северо-западного и северо-восточного направлений, где содержание элемента составляет 100,5 мг/кг и 74,5 мг/кг, что превышает ОДК в 1,8 и 1,4 раза соответственно. В почвах сельскохозяйственных земель лишь северо-восточного направления выявлены высокие концентрации валовых форм цинка с превышением ОДК в 1,9 раза. Отмечено, что высокое содержание цинка обнаруживается повсеместно в радиусе 8 км от источника загрязнения как в почвах лесных, так и почвах сельскохозяйственных земель (рис. 6, б, 7, б).

Сравнительный анализ содержания валовых форм свинца в почвах лесных и сельскохозяйственных земель выявил повсеместное накопление данного элемента во всех направлениях. Средние концентрации валовых форм свинца в почвах сельскохозяйственных и лесных земель превышали местный геохимический фон с коэффициентом аномальности 2,0 и 2,5 соответственно (рис. 8, а, 9, а).

При этом среднее содержание свинца в почвах лесных и сельскохозяйственных земель составляло 15,0 мг/кг и 17,0 мг/кг соответственно. Наиболее высокие концентрации валовых форм свинца зафиксированы в почвах лесных земель юго- и северо-западного, юго-восточного направлений, где содержание элемента в среднем составляет 34,9 мг/кг, что превышает гигиенический норматив в 1,1 раза (рис. 8, б). В почвах сельскохозяйственных земель лишь северо-восточного направления выявлены высокие концентрации валовых форм свинца, и превышает ПДК в 1,5 раза (рис. 9, б).

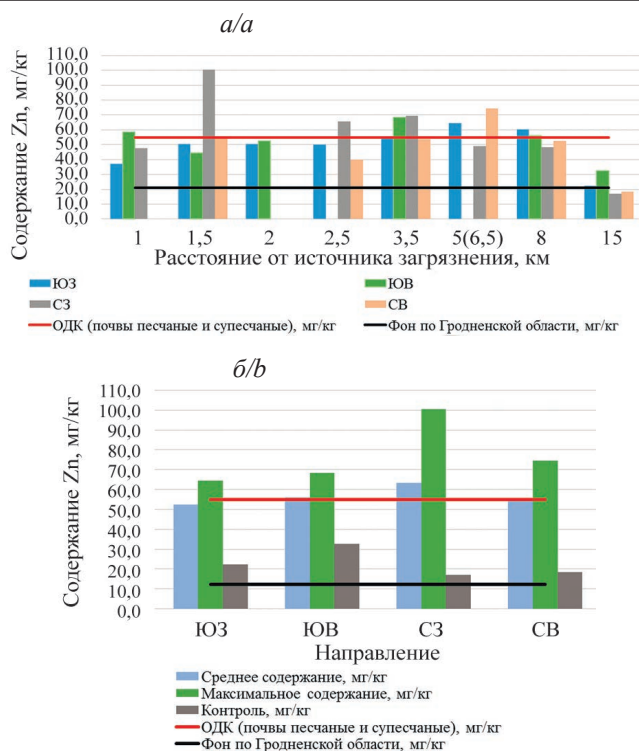


Рис. 6. Фактическое валовое содержание Zn в дерново-подзолистых почвах лесных земель в градиенте расстояния от источника (а) загрязнения и по направлениям (б)

Fig. 6. Actual gross Zn content in soddy-podzolic soils of forest lands in the gradient of distance from the pollution source (a) and along the directions (b)

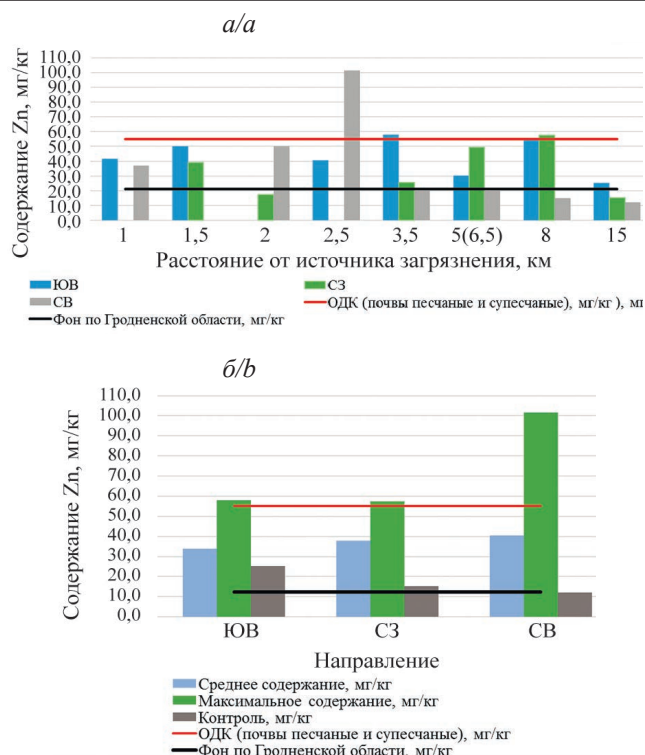


Рис. 7. Фактическое валовое содержание Zn в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственных земель в градиенте расстояния от источника (а) загрязнения и по направлениям (б)

Fig. 7. Actual gross content of Zn in soddy-podzolic soils of agricultural lands in the gradient of distance from the source (a) of pollution and in directions (b)

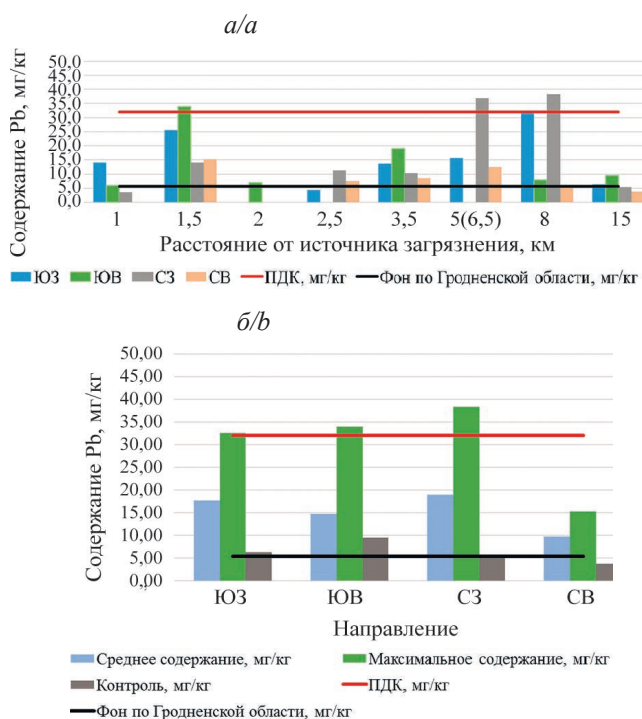


Рис. 8. Фактическое валовое содержание Pb в дерново-подзолистых почвах лесных земель в градиенте расстояния от источника (а) загрязнения и по направлениям (б)

Fig. 8. Actual gross Pb content in soddy-podzolic soils of forest lands in the gradient of distance from the pollution source (a) and along the directions (b)

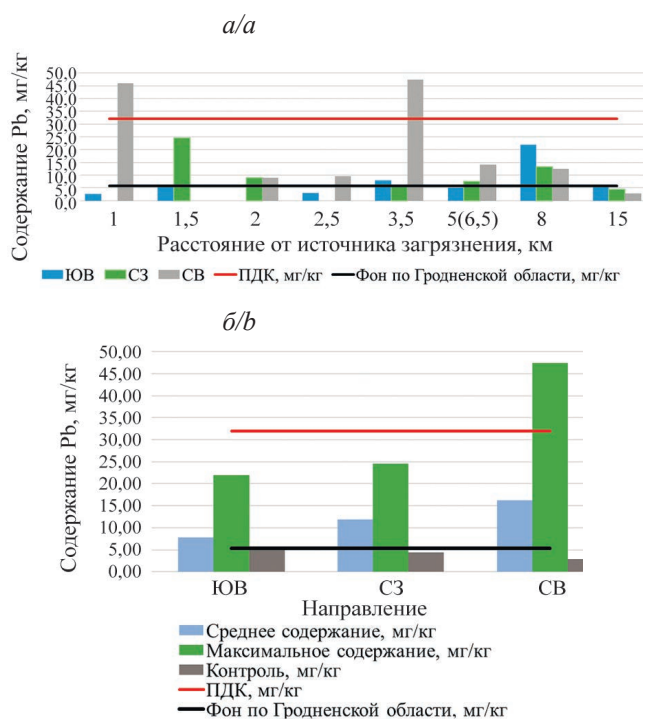


Рис. 9. Фактическое валовое содержание Pb в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственных земель в градиенте расстояния от источника загрязнения (а) и по направлениям (б)

Fig. 9. Actual gross Pb content in soddy-podzolic soils of agricultural lands in the gradient of distance from the source (a) of pollution and in directions (b)

Средние концентрации валовых форм меди в почвах сельскохозяйственных земель лишь северо-восточного направления превышают местный геохимический фон с коэффициентом аномальности 2,9. При этом содержание меди в почвах лесных земель варьирует в диапазоне от 1,3 до 9,5 мг/кг (рис. 10, а, б), в почвах сельскохозяйственных земель – 1,5–10,7 мг/кг (рис. 11, а). Наиболее высокие концентрации валовых форм меди зафиксированы лишь в почвах сельскохозяйственных земель северо-восточного направления, где содержание элемента составляет 38,3 мг/кг, что превышает ОДК в 1,2 раза (рис. 11, б).

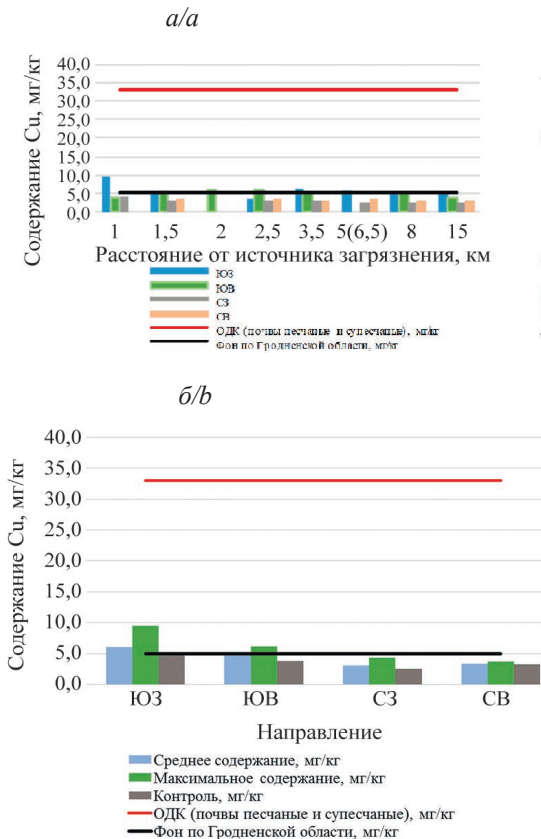


Рис. 10. Фактическое валовое содержание Cu в дерново-подзолистых почвах лесных земель в градиенте расстояния от источника загрязнения (а) и по направлениям (б)

Fig. 10. Actual gross Cu content in soddy-podzolic soils of forest lands in the gradient of distance from the pollution (a) source and along the directions (b)

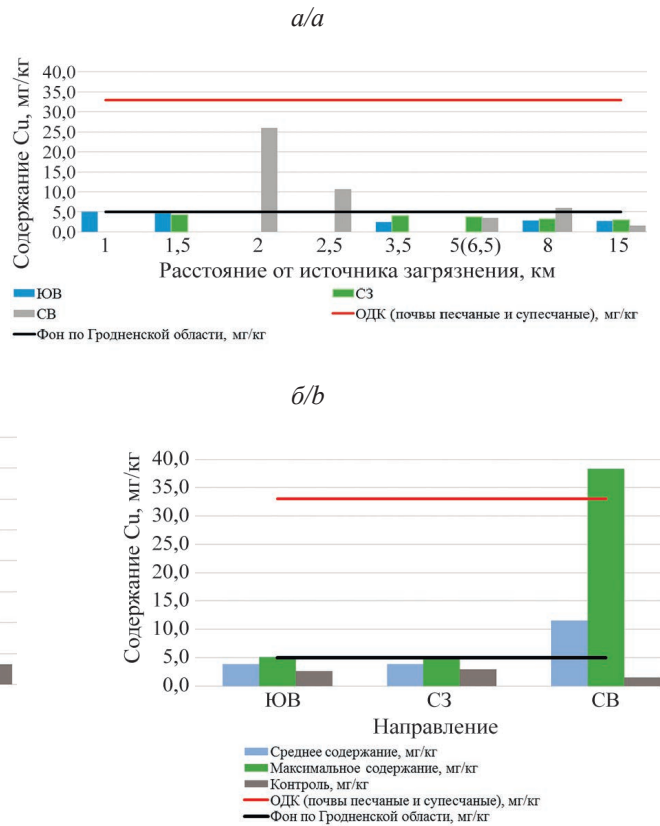


Рис. 11. Фактическое валовое содержание Cu в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственных земель в градиенте расстояния от источника загрязнения (а) и по направлениям (б)

Fig. 11. Actual gross Cu content in soddy-podzolic soils of agricultural lands in the gradient of distance from the pollution source (a) and along the directions (b)

В 80 % случаев почвы сельскохозяйственных угодий северо-западного и северо-восточного направлений загрязнены кадмием с наибольшим значением, равным 2,3 ОДК и 3,2 ОДК; мышьяком с максимальным значением, равным 4 ПДК и 3,5 ПДК соответственно. В 50 % случаев почвы лесных земель юго-восточного направления загрязнены кадмием с наибольшим значением – 3,7 ОДК и мышьяком – 5,8 ПДК. Содержание валовых форм меди не превышало установленных нормативов в почвах лесных земель во всех направлениях, однако в 17 % случаев почвы сельскохозяйственных земель северо-восточного направления загрязнены медью с наибольшим значением, равным 1,2 ОДК (см. таблицу).

Сравнение валовых концентраций тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах лесных и сельскохозяйственных земель с фоновыми значениями, проведенных на территории Гродненской обл., позволяет констатировать загрязнение почв преимущественно кадмием, мышьяком, цинком и свинцом.

Исследования подвижных форм металлов в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственных земель, прилегающих к предприятию по производству строительных материалов, выявили интенсивное накопление в почве кадмия, цинка и свинца, а в дерново-подзолистых почвах лесных земель – лишь цинка и свинца.

В почвах сельскохозяйственных земель юго- и северо-восточного, северо-западного направлений максимальные концентрации подвижного кадмия превышают фон в 2,7 раз, 7,6 и 1,9 раза соответственно (рис. 12).

Основные статистические параметры содержания валовых форм тяжелых металлов в почвах, прилегающих к цементному предприятию по направлениям

The main statistical parameters of the content of gross forms of heavy metals in the soils adjacent to the cement enterprise in the following directions

Химический элемент	Направление	В почвах лесных земель	В почвах сельскохозяйственных земель*
Cd	Юго-запад	1,9/57**	
	Юго-восток	3,7/43	1,9/83
	Северо-запад	2,0/20	2,3/80
	Северо-восток	1,8/80	3,2/80
As	Юго-запад	5,0/57	
	Юго-восток	5,8/50	1,8/33
	Северо-запад	1,5/20	4,0/80
	Северо-восток	1,1/40	3,5/80
Zn	Юго-запад	1,2/29	–
	Юго-восток	1,3/50	1,1/33
	Северо-запад	1,8/60	1,1/20
	Северо-восток	1,4/80	1,9/17
Pb	Юго-запад	1,0/14	
	Юго-восток	1,1/17	–
	Северо-запад	1,2/40	–
	Северо-восток	–	1,5/33
Cu	Юго-запад	–	
	Юго-восток	–	–
	Северо-запад	–	–
	Северо-восток	–	1,2/17

Примечание. *Химико-аналитические испытания проб почв сельскохозяйственных земель юго-западного направления на содержание валовых форм тяжелых металлов не осуществлялись в связи с неоднородностью рельефа; ** в числителе – максимальная кратность превышения гигиенического норматива (разы), в знаменателе – встречаемость значений выше ПДК (ОДК) (%).

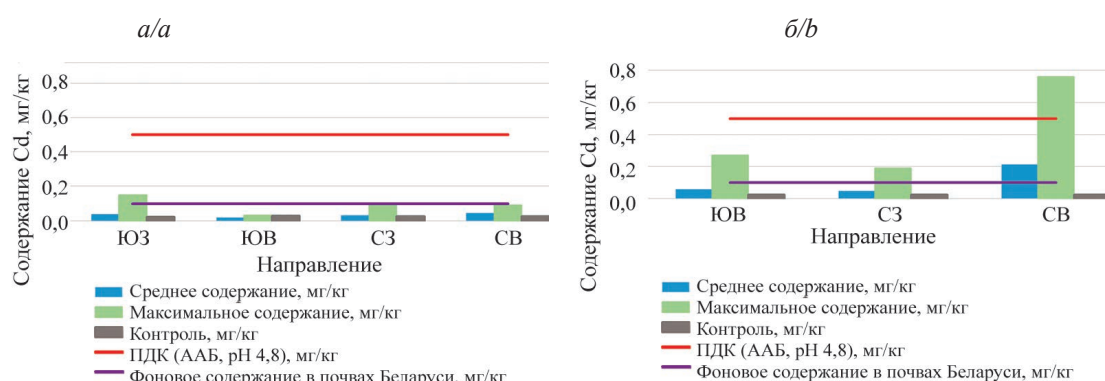


Рис. 12. Фактическое содержание подвижных форм Cd в дерново-подзолистых почвах лесных (а) и сельскохозяйственных земель (б) по направлениям

Fig. 12. Actual content of mobile forms of Cd in soddy-podzolic soils of forest (a) and agricultural lands (b) by directions

Максимальные концентрации подвижного цинка и свинца обнаружены в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственных земель северо-восточного направления, где превышение фона составило в 13,3 и 21,6 раза соответственно (рис. 13, 14). В частности, отмечено повсеместное превышение среднего содержания подвижного цинка над фоном в почвах лесных земель в 1,0–2,4 раза.

Количество подвижных форм свинца в почвах лесных земель во всех направлениях изменялось в диапазоне от 0,4 до 3,5 мг/кг. При этом зафиксированы превышения концентраций подвижного свинца в почвах лесных земель над фоновым значением во всех направлениях в 1,8–2,9 раза (рис. 14).

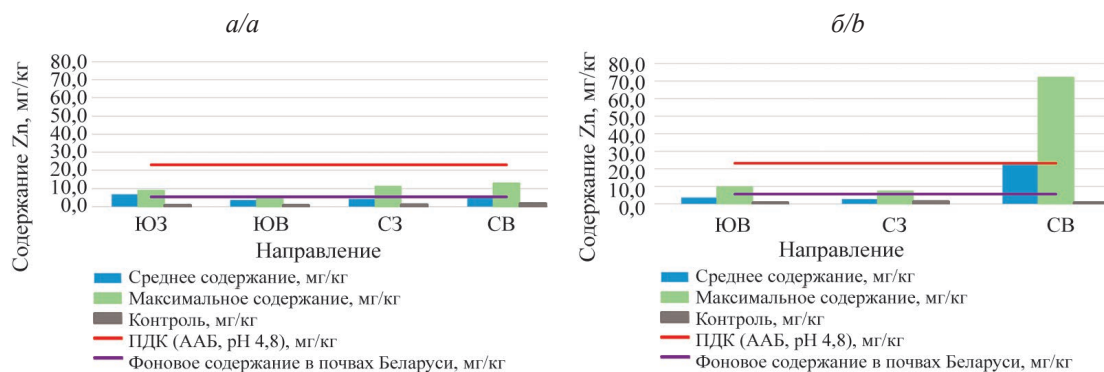


Рис. 13. Фактическое содержание подвижных форм Zn в дерново-подзолистых почвах лесных (а) и сельскохозяйственных земель (б) по направлениям

Fig. 13. Actual content of mobile forms of Zn in soddy-podzolic soils of forest (a) and agricultural lands (b) by directions

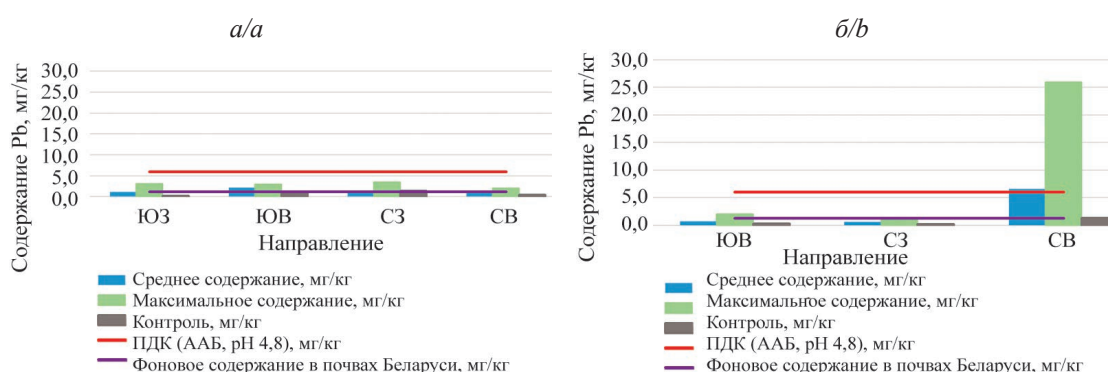


Рис. 14. Фактическое содержание подвижных форм Pb в дерново-подзолистых почвах лесных (а) и сельскохозяйственных земель (б) по направлениям

Fig. 14. Actual content of mobile forms of Pb in soddy-podzolic soils of forest (a) and agricultural lands (b) by directions

Сравнение полученных данных с гигиеническими нормативами [9] показало, что 17 % проб почв сельскохозяйственных земель северо-восточного направления загрязнены подвижным кадмием с наибольшим значением, равным 1,5 ПДК; цинком – 3,1 ПДК и свинцом – 4,3 ПДК.

Для подвижного мышьяка и меди превышения над гигиеническими нормативами, разработанными для сельскохозяйственных земель, не зафиксированы (рис. 15, 16).

Сравнение концентраций подвижных форм металлов в дерново-подзолистых почвах лесных и сельскохозяйственных земель с фоновыми значениями, осуществленных на территории Гродненской обл., позволяет констатировать загрязнение почв преимущественно свинцом. При этом наибольшая доля почв сельскохозяйственных угодий, загрязненных кадмием, цинком и свинцом, с концентрацией выше фона установлена для северо-восточного направления.

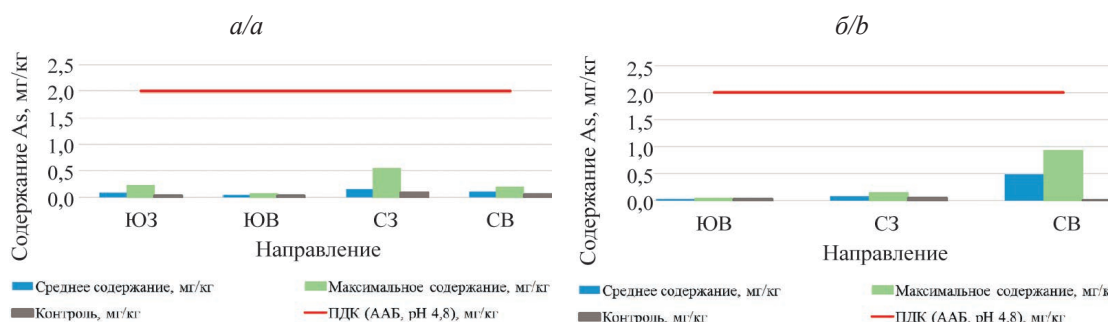


Рис. 15. Фактическое содержание подвижных форм As в дерново-подзолистых почвах лесных (а) и сельскохозяйственных земель (б) по направлениям

Fig. 15. The actual content of mobile As forms in soddy-podzolic soils of forest (a) and agricultural lands (b) by directions

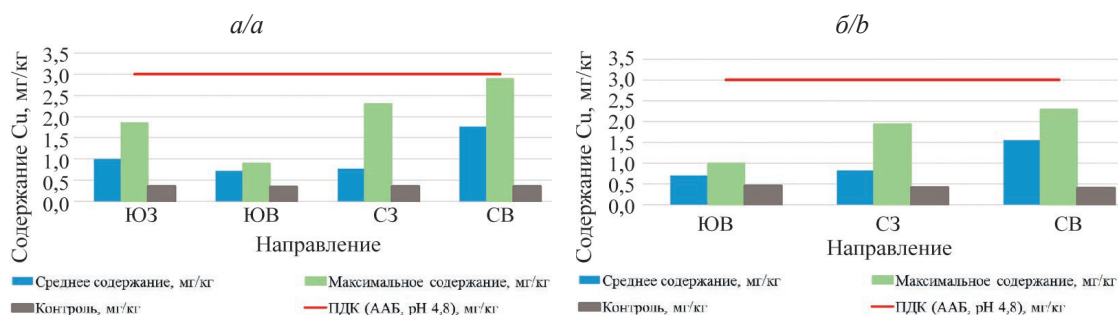


Рис. 16. Фактическое содержание подвижных форм Cu в дерново-подзолистых почвах лесных (а) и сельскохозяйственных земель (б) по направлениям

Fig. 16. The actual content of mobile forms of Cu in soddy-podzolic soils of forest (a) and agricultural lands (b) by directions

По степени подвижности в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственных земель изучаемые тяжелые металлы располагаются в следующем порядке (по убыванию): Zn (30,3 %) > Cd (27,6 %) > Pb (24,9 %) > Cu (22,7 %) > As (7,6 %); в лесных землях – Cu (27 %) > Pb (15,4 %) > Zn (8,7 %) > Cd (8,6 %) > As (6,6 %). Наименьшей подвижностью в почвах сельскохозяйственных и лесных земель во всех направлениях отличается мышьяк.

Исследования также показали высокое процентное соотношение подвижных форм кадмия, цинка и свинца от их валовой концентрации в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственных земель северо-восточного направления. В частности, максимальная доля подвижных форм кадмия в почве составляет 76 % (в 60 % случаев), цинка – 86,9 % (в 50 %) и свинца – 96,2 % (в 33 % случаев).

Результаты корреляционного анализа показали наличие достоверной прямой средней корреляционной зависимости между подвижными и валовыми формами цинка и меди ($r=0,49$ и $r=0,58$, $p < 0,05$) в почвах лесных земель, высокой корреляционной зависимости для цинка в почвах юго-восточного направления ($r=0,94$) и меди в почвах северо-восточного направления ($r=0,84$). Для почв сельскохозяйственных земель выявлены достоверные взаимосвязи для мышьяка, свинца и меди (в диапазоне $r=0,45-0,58$, $p < 0,05$): с наибольшими коэффициентами корреляции для мышьяка в почвах юго-восточного направления ($r=0,80$), для свинца в почвах северо-восточного направления ($r=0,75$) и для меди в почвах северо-западного направления ($r=0,94$). Следует также отметить наличие высокой корреляционной связи для цинка в почвах сельскохозяйственных земель северо- и юго-восточного направления ($r=0,85$ и $r=0,86$, при $p < 0,05$). Повышенное содержание подвижных форм кадмия, цинка и свинца в исследуемых почвах может свидетельствовать о техногенном факторе их накопления.

В местах отбора почвенных образцов с высоким содержанием валовых форм тяжелых металлов были отобраны растительные образцы. Результаты анализа растительной продукции на содержание тяжелых металлов (Cd, Pb) и оценка ее по гигиеническим нормативам безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и продуктов питания [6] показали, что превышения максимальных допустимых уровней свинца и кадмия в зерне пшеницы не наблюдались (рис. 17, 18).

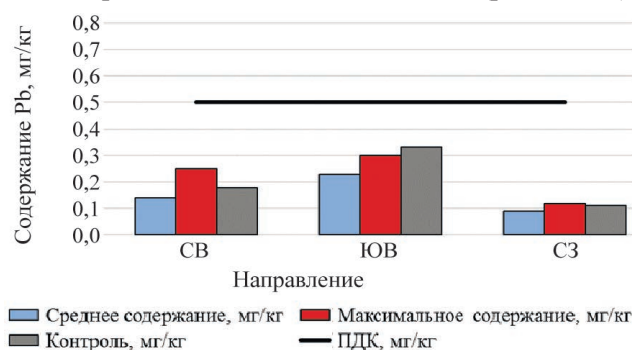


Рис. 17. Накопление свинца в зерне пшеницы, произрастающей на дерново-подзолистой супесчаной почве, мг/кг в.с. массы

Fig. 17. Accumulation of lead in wheat grain growing on sod-podzolic sandy loam soil, mg/kg

Результаты анализа соломы пшеницы на содержание Pb, Cd и оценка ее в соответствии с ветеринарно-санитарными правилами обеспечения безопасности в отношении кормов и кормовых добавок [7] показали отсутствие превышения установленных нормативов (рис. 19, 20).

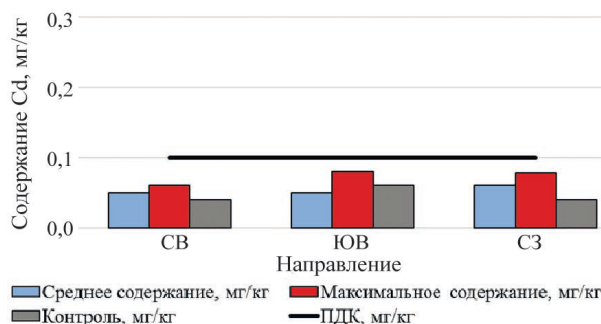


Рис. 18. Накопление кадмия в зерне пшеницы, произрастающей на дерново-подзолистой супесчаной почве, мг/кг

Fig. 18. Accumulation of cadmium in wheat grain growing on sod-podzolic sandy loam soil, mg/kg

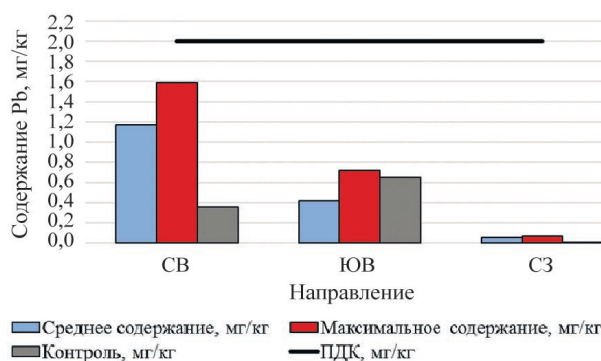


Рис. 19. Накопление свинца в соломе пшеницы, произрастающей на дерново-подзолистой супесчаной почве, мг/кг

Fig. 19. Accumulation of lead in wheat straw growing on sod-podzolic sandy loam soil, mg/kg

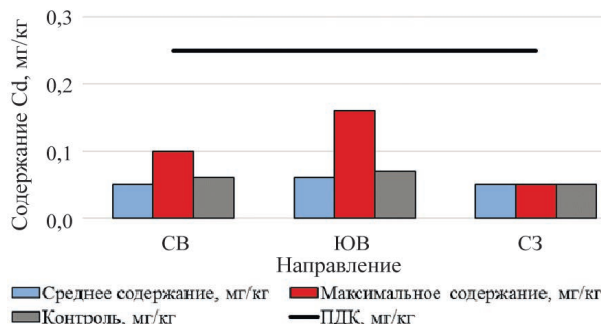


Рис. 20. Накопление кадмия в соломе пшеницы, произрастающей на дерново-подзолистой супесчаной почве, мг/кг

Fig. 20. Accumulation of cadmium in wheat straw growing on sod-podzolic sandy loam soil, mg/kg

Несмотря на то, что не были выявлены превышения максимально допустимых безопасных уровней содержания кадмия и свинца в зерне и соломе пшеницы, максимальные концентрации этих элементов в данной культуре на некоторых участках в среднем на 25–60 % выше по сравнению с контрольными участками. Это указывает на наличие локальных зон, в которых наблюдается повышенное накопление тяжелых металлов в сельскохозяйственных растениях. Следовательно, в зоне воздействия ОАО «Красносельскстройматериалы» необходимо организовать мониторинг качества растениеводческой продукции на содержание тяжелых металлов.

Заключение

Исследования дерново-подзолистых почв лесных и сельскохозяйственных земель в зоне воздействия предприятия по производству строительных материалов показали, что газопылевые выбросы существенно влияют на содержание тяжелых металлов в почвах и растениях пшеницы. Оценка содержания валовых форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах лесных и сельскохозяйственных земель, прилегающих к территории ОАО «Красносельскстройматериалы», показала полиэлементное загрязнение почв

кадмием, мышьяком и цинком. Загрязнение почв лесных и сельскохозяйственных земель свинцом носит фрагментарный характер: в почвах лесных земель северо-западного направления возможно обусловлено выбросами выхлопных газов машин, а в почвах сельскохозяйственных земель северо-восточного направления – выбросами грузовой техники, осуществляющей транспортировку мела с карьера.

Наибольшая встречаемость проб с превышением гигиенических нормативов для почв лесных земель установлена для валовых форм цинка, а для почв сельскохозяйственных земель – для валовых форм кадмия и мышьяка. Установлено высокое содержание подвижных форм цинка и свинца в почвах. Содержание подвижных форм кадмия в почвах незначительное и носит фрагментарный характер. Следует отметить, что дерново-подзолистые почвы сельскохозяйственных земель в северо-восточном направлении от предприятия характеризуются высоким уровнем содержания подвижных форм цинка и свинца.

Результаты корреляционного анализа содержания валовых и подвижных форм элементов в почвах лесных земель показали наличие достоверной прямой средней корреляционной зависимости для цинка и меди ($r = 0,49$ и $r = 0,58$, $p < 0,05$), высокой корреляционной зависимости для цинка в почвах юго-восточного направления ($r = 0,94$) и для меди в почвах северо-восточного направления ($r = 0,84$). Для почв сельскохозяйственных земель выявлены достоверные взаимосвязи для мышьяка, свинца и меди (в диапазоне $r = 0,45–0,58$, $p < 0,05$): с наибольшими коэффициентами корреляции для мышьяка в почвах юго-восточного направления ($r = 0,80$), для свинца в почвах северо-восточного направления ($r = 0,75$) и для меди в почвах северо-западного направления ($r = 0,94$). Следует также отметить наличие достоверной высокой корреляционной связи для цинка в почвах сельскохозяйственных земель северо- и юго-восточного направления ($r = 0,85$ и $r = 0,86$, при $p < 0,05$).

В исследованиях не выявлены превышения максимально допустимых безопасных уровней содержания кадмия и свинца в зерне и соломе пшеницы, однако максимальные концентрации этих элементов в данной культуре на некоторых территориях в среднем на 25–60 % выше по сравнению с контрольными участками, что указывает на наличие локальных зон, в которых наблюдается повышенное накопление тяжелых металлов в сельскохозяйственных растениях. В этой связи в зоне воздействия ОАО «Красносельскстройматериалы» необходимо организовать мониторинг качества растениеводческой продукции на содержание тяжелых металлов.

Библиографические ссылки

1. Головатый СЕ, Савченко СВ, Самусик ЕА. Кадмий, цинк и свинец в почвах в зоне воздействия промышленных предприятий. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2017;4:70–80.
2. *Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства.* Москва: ЦИНАО; 1992. 61 с.
3. Кенжетаев ГЖ, Сырлыбеккызы С, Жидебаева АЕ. Экологическая оценка состояния почв в районе цементного завода «Каспий Цемент» на месторождении мела Шетпе Южное. *Вестник КазНУ. Серия экологическая.* 2019;67(4):32–44.
4. Какарека СВ, и др. *Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: опыт оценки удельных показателей.* Минск : Институт геологических наук НАН Беларуси; 1998. 156 с.
5. Логинов ВФ, редактор. *Состояние природной среды Беларуси.* В: *Экологический бюллетень,* Минск: [б. и.]; 2014. 364 с.

References

1. Golovaty SE, Savchenko SV, Samusik EA. *Kadmiy, tsink i svineti v pochvakh v zone vozdeystviya promyshlennykh predpriyatiy* [Cadmium, zinc and lead in soils in the zone of impact of industrial enterprises]. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2017;4:70–80. Russian.
2. *Methodological guidelines for the determination of heavy metals in the soils of farmland and crop production.* Moscow: TSINAO, 1992. 61 p. Russian.
3. Kenzhetaev GZh, Syrlybekkyzy S, Zhidebaeva AE. *Ecological assessment of the state of soils in the area of the cement plant “Caspian Cement” at the mela Shetpe Yuzhnoye deposit.* *Vestnik KazNU. The series is ecological.* 2019;67(4):32–44. Russian.
4. Kakareka SV, et al. *Vybrosy tyazhelykh metallov v atmosferu: opyt otsenki udel'nykh pokazateley* [Emissions of heavy metals into the atmosphere: experience in assessing specific indicators]. *Minsk: Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus;* 1998. 156 p. Russian.
5. Loginov VF, editor. *Sostoianie prirodnoy sredy Belarusi* [The state of the natural environment of Belarus]. In: *Ecology byulletin,* Minsk: [publisher unknown]; 2014. 364 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 16.09.2021.
Received by editorial board 16.09.2021.