

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Учреждение образования
«ПОЛЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Т. Н. Мыслыва, О. Н. Левшук

**ВЕДЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО
ОГОРОДНИЧЕСТВА
В УСЛОВИЯХ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ**

Рекомендации

*для стейкхолдеров (научных сотрудников, врачей,
представителей органов исполнительной власти, населения)*

Горки
БГСХА
2022

УДК 631.95:614.76(083.13)
ББК 41.9
М95

*Рекомендовано Научно-техническим советом БГСХА.
Протокол № 1 от 24 января 2022 г.*

Авторы:

доктор сельскохозяйственных наук, доцент
(УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»)
Т. Н. Мыслыва;

старший преподаватель кафедры ландшафтного проектирования
(УО «Полесский государственный университет»)
О. Н. Левшук

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
заведующий кафедрой агрохимии УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия» *В. Б. Воробьев;*
кандидат биологических наук, директор ГНУ «Полесский аграрно-
экологический институт Национальной академии наук Беларуси»
Н. В. Михальчук;
заведующий лабораторией ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт
Национальной академии наук Беларуси» *М. А. Пастухова*

Мыслыва, Т. Н.

М95 Ведение экологически безопасного огородничества в усло-
виях негативного воздействия урбанизированной среды : реко-
мендации / Т. Н. Мыслыва, О. Н. Левшук. – Горки : БГСХА,
2022. – 49 с.

ISBN 978-985-882-191-3.

Рекомендации посвящены решению актуальной проблемы, связанной со снижением риска для здоровья населения вследствие употребления в пищу картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов, и могут быть использованы в качестве методической и нормативной базы при ведении сельскохозяйственного производства в личных подсобных и крестьянских (фермерских) хозяйствах граждан в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами.

Для стейкхолдеров (научных сотрудников, врачей, представителей органов исполнительной власти, населения).

УДК 631.95:614.76(083.13)
ББК 41.9

ISBN 978-985-882-191-3

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2022

ВВЕДЕНИЕ

Современная социально-экономическая ситуация и сложившийся традиционный уклад жизни поддерживают высокий интерес населения к пополнению пищевого рациона за счет сельскохозяйственной продукции, выращиваемой в личных подсобных хозяйствах. Валовой сбор картофеля, выращенного в таких хозяйствах в 2019 г. в Республике Беларусь, составил 5004,1 тыс. т, в Могилевской области – 675,1 тыс. т, овощей 1238,1 тыс. т и 162,1 тыс. т соответственно.

В то же время качество сельскохозяйственной продукции, получаемой в таких хозяйствах, напрямую зависит от качества почвы, поскольку она является наиболее чувствительным индикатором эколого-геохимической обстановки территории и локалитетом для депонирования и пересечения путей миграции химических элементов, в частности тяжелых металлов. Однако неконтролируемое применение химических средств защиты растений, органических и минеральных удобрений в частном секторе, очень часто научно необоснованное, приводит к загрязнению почвы тяжелыми металлами и остатками пестицидов, что неминуемо влечет за собой и загрязнение выращиваемой на этих почвах сельскохозяйственной продукции.

Установлено, что свыше 90 % всех болезней человека прямо или косвенно связаны именно с состоянием окружающей среды, которое или является причиной возникновения заболеваний, или способствует их развитию. Среди факторов, непосредственно влияющих на формирование величины заболеваемости и смертности населения от злокачественных новообразований, одно из ведущих мест занимают пищевые продукты с повышенным содержанием канцерогенов, в частности тяжелых металлов, относительный вклад которых составляет 35–50 %.

Настоящие рекомендации позволят снизить риск поступления тяжелых металлов и иных загрязняющих веществ в овощную продукцию и картофель, традиционно выращиваемые в частном секторе на территории как сельских, так и городских населенных пунктов, и употребляемые в пищу населением, а значит сохранить здоровье.

1. ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Тяжелыми металлами (ТМ) называют химические элементы периодической системы Д. И. Менделеева, атомная масса которых превышает 50 атомных единиц массы, а удельный вес составляет выше 5 г/см^3 . К их числу относят более 40 элементов, среди которых наиболее распространенными являются: Pb, Zn, Cd, Hg, Cu, Mo, Mn, Ni, Sn, Co и другие [1]. Также к тяжелым металлам часто относят элементы-неметаллы, а иногда даже элементы, атомная масса которых меньше 50 атомных единиц массы, например, Al.

Среди ТМ довольно много микроэлементов, которые являются необходимыми и незаменимыми компонентами биокатализаторов и биорегуляторов важнейших физиологических процессов, происходящих в живых организмах, входят в состав отдельных белковых комплексов (ферментов) или активизируют их деятельность. Однако многие микроэлементы, включая жизненно необходимые для живых организмов, в аномально высоких концентрациях токсичны для растений, животных и человека, что свидетельствует об определяющем значении концентрации элемента в почве и форм его соединений.

Известно, что практически для каждого химического элемента существуют четыре уровня его концентраций: 1) дефицит элемента; 2) оптимальное содержание; 3) повышенное (допустимое) содержание; 4) очень высокое (летальное) содержание [2]. Из этого следует, что при дефиците или оптимальном содержании элемента для живых организмов растительного и животного происхождения он рассматривается как микроэлемент, а при избытке – как опасный загрязнитель – тяжелый металл.

Согласно ГОСТ 17.4.1.02-83 «Охрана природы. Почвы. Классификация загрязняющих веществ для контроля загрязнения» [3] по степени опасности для живых организмов тяжелые металлы подразделяют на три класса (табл. 1).

Таблица 1. Классы опасности загрязняющих веществ

Номер класса	Название класса	Элемент, относящийся к классу
I	Высоко опасные	Hg, Cd, Pb, Zn, As, Se, F
II	Умеренно опасные	Cu, Co, Ni, Mo, Cr, B, Sb
III	Мало опасные	V, W, Mn, Sr, Ba

К первому классу опасности, кроме Hg, Cd, Pb, As, Se, отнесен и такой важный микроэлемент, как Zn, а Cu, согласно этому же нормативному документу, относится ко второму классу опасности. В табл. 2 приведены сведения об основных биогеохимических свойствах тяжелых металлов.

Таблица 2. Отдельные биогеохимические свойства тяжелых металлов [4]

Биогеохимическое свойство	Степень проявления свойства						
	Cd	Co	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Биохимическая активность	В	В	В	В	В	В	В
Токсичность	В	У	У	В	У	В	У
Минеральная форма распространения	В	В	Н	В	Н	В	Н
Органическая форма распространения	В	В	В	В	В	В	В
Подвижность в почве	В	Н	У	В	Н	В	У
Тенденция к биоконцентрации	В	В	У	В	В	В	У
Эффективность накопления	В	У	В	В	У	В	В
Комплексообразующая способность	У	Н	В	У	Н	Н	В
Склонность к гидролизу	У	Н	В	У	У	У	В
Растворимость соединений	В	Н	В	В	Н	В	В

Примечание. В – высокая; П – умеренная; Н – низкая.

Все основные циклы миграции тяжелых металлов в биосфере (водные, атмосферные, биологические) начинаются в почве. Именно в почве происходит их мобилизация и образование различных миграционных форм. Подавляющее большинство тяжелых металлов, попавших на поверхность почвы, закрепляется в верхних гумусовых горизонтах. ТМ сорбируются на поверхности почвенных частиц, связываются с органическим веществом почвы, аккумулируются в гидроксидах железа, входят в состав кристаллических решеток глинистых минералов, находятся в растворимом состоянии в почвенной воде и в газообразном состоянии – в почвенном воздухе, а также являются составной частью почвенной биоты.

Степень подвижности тяжелых металлов зависит от геохимических условий и уровня техногенного воздействия на среду. Тяжелый гранулометрический состав и высокое содержание органического вещества приводят к связыванию тяжелых металлов почвой посредством образования органоминеральных комплексов. Повышение значений pH почвенного раствора усиливает сорбированность катионобразующих металлов (медь, цинк, никель, ртуть, свинец) и повышает подвижность анионобразующих (молибден, хром, ванадий). Усиление окислитель-

ных условий увеличивает миграционную способность металлов. По способности связывать тяжелые металлы почвы образуют следующий убывающий ряд: черноземная почва > серая лесная почва > дерново-подзолистая почва [5].

Тяжелые металлы принадлежат к числу наиболее опасных для окружающей среды химических загрязнителей – экотоксикантов. Действие ТМ часто скрыто, но они двигаются по трофической цепочке с выраженным кумулятивным эффектом, поэтому проявления токсичности могут неожиданно возникать на отдельных уровнях трофических цепей. С другой стороны, развитие промышленности приводит к увеличению выбросов ТМ, их поступлению в экосистемы, в результате чего в ряде сред концентрация этих поллютантов достигает опасных уровней. Среди тяжелых металлов – загрязнителей почвы и растений в агро- и агроселитебных ландшафтах как Беларуси в целом, так и Могилевской области в частности среди тяжелых металлов наиболее распространены такие элементы, как медь, цинк и марганец, являющиеся в то же время и эссенциальными биогенными микроэлементами, а среди техногенных загрязнителей окружающей среды – свинец и кадмий.

Марганец – важнейший микроэлемент, участвующий в процессах фотосинтеза, дыхания, синтеза белков и жиров, входящий в состав 17 манганосодержащих ферментов и активирующий значительное количество металоферментных комплексов [8]. Данный элемент является одним из наиболее распространенных микроэлементов в литосфере, а его содержание в горных породах колеблется в пределах 350–2000 мг/кг. В природной среде марганец входит в состав более чем 100 минералов, а фоновые уровни его содержания в почве варьируют от 40 до 900 мг/кг [4]. Массовая доля марганца увеличивается от кислых (600 г/т) к основным породам (2,2 кг/т). Mn распространен в почвах в виде оксидов и гидроксидов, осажденных как на почвенных частицах, так и в виде конкреций различного диаметра. Он отличается довольно высокой подвижностью и способностью к накоплению, особенно в кислых гидроморфных и полугидроморфных почвах, что связано с его геохимическим поведением, сильно зависящим от окислительно-восстановительных условий [16]. Содержание марганца в различных видах растений, произрастающих на одних и тех же почвах, значительно колеблется. Глобальные уровни содержания Mn изменяются от 17 до 334 мг/кг в однолетних травах и от 25 до 119 мг/кг в многолетних бобовых травах. Критический уровень марганцевой недостаточности для большинства растений находится в пределах 15–25 мг/кг сухой

массы, тогда как уровень токсичной концентрации данного элемента более изменчив и зависит как от биологических особенностей растений, так и от почвенных факторов. Большинство растений испытывает вредное воздействие марганца при его содержании около 500 мг/кг сухой массы. Наиболее типичным проявлением токсического воздействия марганца на растения является железистый хлороз. Характерны также: появление некротических темных пятен на листьях, сморщивание листовой пластинки и неравномерное распределение хлорофилла во взрослых листьях [4]. Значительные количества марганца в организме человека оказывают нейротоксическое действие и могут стать причиной снижения памяти и общего уровня интеллекта у детей и подростков. Длительное воздействие Mn вызывает неврологические симптомы, напоминающие симптомы паркинсонизма или болезни Вильсона, а также может нарушать сердечно-сосудистую деятельность [17]. Техногенными источниками поступления марганца в окружающую среду являются промышленные выбросы (около 80 % приходится на выплавку чугуна и стали), сжигание ископаемого топлива (выбросы ТЭС), применение осадков сточных вод в качестве удобрений и использование магнийсодержащих присадок к бензиновому топливу.

Медь – важнейший микроэлемент, участвующий в процессах окисления, усиливающий интенсивность дыхания, способствующий синтезу белков и входящий в состав 19 ферментов, которые являются медьсодержащими протеинами (аскорбиноксидазы, уреазы, дифинилоксидазы, церулоплазмин). Среди пород земной коры повышенные количества меди свойственны для основных (базальты, габбро) горных пород (60–120 мг/кг) и глинистых осадочных пород – 40–60 мг/кг. Минимальные количества этого элемента содержат кислые эффузивные породы (альбиды, граниты) – 5–20 мг/кг, известняки и доломиты – 2–10 мг/кг [4]. Содержание Cu в почве прежде всего зависит от минералогического и гранулометрического состава почвообразующих пород, типа почвообразующего процесса, химизма и уровня залегания грунтовых вод, количества и качества органического вещества почвы, интенсивности антропогенной деятельности [6]. Основные почвообразующие породы Беларуси традиционно бедны медью, особенно мало ее содержат флювиогляциальные и древнеаллювиальные песчаные отложения, а также продукты выветривания кристаллических пород. В связи с этим и почвы, сформированные на таких породах, имеют низкие запасы валовой и подвижной меди. За последние 15 лет средневзвешенное содержание кислоторастворимой меди в почвах Беларуси уменьшилось с 1,89 мг/кг

до 1,83 мг/кг, а доля площади с содержанием Cu менее 3,0 мг/кг колеблется в пределах 66,5–97,5 % в зависимости от региона. Почвы улучшенных сенокосов и пастбищ также бедны доступной медью и на 80,8 % площади нуждаются в подкормках медьсодержащими микроудобрениями. Пахотные почвы Могилевской области характеризуются преимущественно низким (56,1 % площади) содержанием подвижных форм меди, а высокообеспеченные медью почвы имеют незначительное распространение (5,1 %). На территории Горецкого района 58,9 % пахотных земель имеют содержание меди в пределах 1,51–3,0 мг/кг и только 2,8 % содержат более 5 мг/кг этого элемента [7]. Содержание меди в растениях колеблется от 3 до 15 мг на 1 кг сухого вещества. Различные культуры выносят с урожаем от 7,3 до 52,5 г/га меди. При недостатке меди замедляется рост и развитие растений, проявляется хлороз и увядание, задерживается цветение; у зерновых культур не развивается колос, а у плодовых наблюдается суховершинность. При избытке меди листья растений имеют темно-зеленую окраску, развиваются толстые, короткие или похожие на колючую проволоку корни, происходит угнетение образования побегов. Избыток меди ингибирует активность фосфатазы, каталазы, оксидазы и рибонуклеазы. У животных медь преимущественно скапливается в печени, почках и сердце, а ее избыток в организме приводит к токсическим поражениям печени. В организме человека медь образует комплексы с аминами и соединениями серы, способствует синтезу гемоглобина крови, ускоряет формирование эритроцитов, восстановление костной ткани, усиливает действие инсулина, препятствует распаду гликогена в печени. Она способствует синтезу витаминов B1, C, P, PP и E. Суточная потребность меди для взрослого составляет 0,04 мг/кг массы тела, а потребность детского организма в меди вдвое превышает потребность взрослого. При избытке меди в организме человека происходит токсическое поражение печени, почек и головного мозга. Источниками попадания меди в экосистемы являются: выбросы предприятий металлургической промышленности, минеральные и органические удобрения, химические средства защиты растений (фунгициды), известняковые материалы, используемые в качестве химических мелиорантов, осадки сточных вод, используемых для орошения. Так, с 20 т навоза в почву попадает около 40 г меди, а с осадком бытовых сточных вод – до 1500 мг/кг сухого вещества этого элемента. Значительное количество меди (более 200 г/га в год) может поступать в почву и с газообразными выбросами предприятий металлургии [6].

Цинк – эссенциальный микроэлемент, входящий в состав ферментов и участвующий в белковом, углеводном, фосфорном обмене, в биосинтезе витаминов, ростовых веществ, РНК и хлорофилла. Он входит в состав 30 ферментов (карбоангидразы, карбоксипептидазы, глутаматдегидрогеназы, альдолазы, фосфолипазы и др.) [8]. Будучи рассеянным элементом земной коры, цинк является довольно распространенным в биосфере химическим элементом. В магматических горных породах он распределен достаточно умеренно. Наблюдается лишь небольшое обогащение им основных (базальты, габбро) пород, где его содержание достигает 80–120 мг/кг, слабое обеднение гранитов и гнейсов, в которых его содержание не превышает 40–60 мг/кг. Концентрация цинка в глинистых осадочных породах и сланцах повышена и достигает 80–120 мг/кг, в песчаных и карбонатных породах она меньше и колеблется в пределах от 10 до 30 мг/кг [4]. Содержание Zn в почве зависит от минералогического и гранулометрического состава почвообразующих пород, типа почвообразующего процесса, химизма и уровня залегания грунтовых вод, количества и качества органического вещества почвы, интенсивности антропогенной деятельности [9]. Основные почвообразующие породы Беларуси традиционно бедны цинком, особенно мало его содержат флювиогляциальные и древнеаллювиальные песчаные отложения, а также продукты выветривания кристаллических пород. В связи с этим и почвы, сформированные на таких породах, имеют низкие запасы валового и подвижного цинка. За последние 15 лет средневзвешенное содержание кислоторастворимого цинка в почвах Беларуси увеличилось с 3,02 мг/кг до 3,06 мг/кг, а доля площадей пахотных земель с содержанием Zn менее 3,0 мг/кг колеблется в пределах 52,6–73,8 % в зависимости от региона. Почвы пахотных земель Могилевской области характеризуются преимущественно низкой обеспеченностью цинком (средневзвешенное содержание составляет 3,4 мг/кг), более того – 86 % из них испытывают дефицит данного микроэлемента. На территории Горецкого района 56,9 % пахотных земель имеют содержание цинка менее 3,0 мг/кг; 31,4–от 3 до 5 мг/кг; 10,1 % – от 5 до 10 мг/кг и только 1,6 % содержат более 10 мг/кг этого элемента [7]. Содержание цинка в растениях колеблется от 15 до 22 мг на 1 кг сухого вещества, вынос с урожаем у различных культур составляет от 75 до 188 г на 1 га. Недостаток цинка приводит к развитию у плодовых культур (яблоня, абрикос, персик, айва, вишня) мелколистно-розеточной болезни, у цитрусовых вызывает пятнистость листьев и прекращение роста междоузлий. При цинковом голодании в растениях накаплива-

ются небелковые растворимые азотистые соединения (амиды, аминокислоты) и редуцирующие сахара, уменьшается содержание сахарозы и крахмала, увеличивается накопление органических кислот, снижается содержание ауксина. Избыток цинка вызывает хлороз и некроз кончиков листьев, межжилочный хлороз молодых листьев, задержку роста растений в целом и повреждение корней. У животных недостаток цинка вызывает замедление роста и истощение, выпадение шерсти, развитие анемии и снижение жирности молока, бесплодие. Цинк накапливается преимущественно в мышцах и печени животных. Его избыток влечет за собой токсическое отравление организма животного, действуя прежде всего на сердце и органы кроветворения. В организме человека цинк участвует в процессах кроветворения, в обмене белков, жиров и углеводов, в энергетическом обмене, окислительно-восстановительных процессах, в образовании инсулина, нейтрализует повышенный уровень кальция и хрома в пище. В частности, в эритроцитах крови находится цинксодержащий фермент карбоангидраза, регулирующий в организме обмен углекислоты, а в печени и почках – фермент аргиназа, регулирующий образование мочевины. В организме взрослого человека содержится около 3 г цинка, который неравномерно распределен по внутренним органам и преимущественно концентрируется в железах внутренней секреции. Недостаток цинка в организме человека проявляется в повреждении кожи, ненормальности скелета, дефектах репродуктивных органов, карликовости, потере аппетита и снижении скорости роста, он также является причиной возникновения эндемического зоба. Избыток цинка в организме человека снижает усвояемость меди и усугубляет ее недостаток. Источниками попадания цинка в окружающую среду являются: выбросы предприятий металлургической промышленности, минеральные и органические удобрения, известняковые материалы, используемые в качестве химических мелиорантов, осадки промышленных и бытовых сточных вод. Одним из основных техногенных источников загрязнения Zn является устаревшая пирометаллургическая технология, когда в атмосферу выбрасываются огромное количество обогащенных цинком пыли и аэрозоля.

Свинец не принадлежит к физиологически необходимым микроэлементам. Он отнесен к первому (высшему) классу опасности загрязняющих веществ. В земной коре свинец накапливается в кислых сериях магматических пород и глинистых осадках, в которых обычные концентрации Pb колеблются в пределах от 10 до 40 мг/кг. В ультраос-

новых породах и известняковых осадках содержится от 0,1 до 10 мг/кг свинца [4]. Он обладает сильными халькофильными свойствами, поэтому в естественных условиях его основной формой является галенит PbS. Природное содержание свинца в почвах наследуется от материнских пород. Среднее содержание этого элемента в разных типах почв колеблется от $0,37 \times 10^{-3}$ до $4,33 \times 10^{-3}$ %. Минимальные концентрации кислоторастворимых форм свинца характерны для почв легкого гранулометрического состава, в первую очередь песчаных, а максимальное количество Pb содержат дерново-подзолистые глинистые и поверхностно-оглеенные почвы [10]. Существует обратная корреляционная связь между содержанием в почве свинца и содержанием гумуса, причиной чего является способность свинца образовывать хелатные комплексы с органическим веществом почвы и становиться временно недоступным для растений [11]. Кроме того, на миграционные свойства свинца влияет режим увлажнения, поскольку при условии повышенной влажности почвы свинец становится более подвижным, а следовательно, и более доступным для растений [12]. Различные растения обладают неодинаковой способностью поглощать Pb. Повышенное содержание свинца характерно для злаковых зерновых культур и гречихи. Среди дикорастущих растений значительные его количества накапливают: мята перечная, ромашка аптечная, листья ландыша, пустырник, сушеница багульниковая, донник, мать-и-мачеха. Содержание его во многих случаях превышает ПДК в растениях даже тогда, когда посевы размещены на значительном расстоянии от источников загрязнения. Это объясняется тем, что кларк свинца в почвах за последние 30–40 лет повысился на целый порядок. При избытке свинца в растительном организме происходит снижение количества хлорофилла, нарушается процесс поступления кальция и фосфорного питания, тормозится рост корневой системы. Чрезмерное количество Pb в животном организме приводит к поражению центральной нервной системы, печени, почек, мозга, половых органов. Избыток свинца в организме человека ингибирует центральную нервную систему, отрицательно сказывается на работе мозга, почек и мышц. У детей при повышенном содержании свинца (более 20 мкг/ч) происходит снижение коэффициента умственного развития. Токсической для взрослого человека является суточная доза свинца свыше 0,35 мг. Его избыток влечет за собой развитие свинцовой энцефалопатии, нарушение обмена веществ, угнетение ферментативных реакций, авитаминоз, малокровие, рассеянный склероз. Острое воздействие свинца

на организм взрослого человека вызывает повреждение головного мозга, почек и желудочно-кишечные заболевания, в то время как хроническое воздействие может оказывать неблагоприятное воздействие на кровь, центральную нервную систему, артериальное давление, почки и метаболизм витамина D [13]. Источниками попадания свинца в экосистемы являются: выбросы металлургических предприятий, автомобильный транспорт, осадки промышленных и бытовых сточных вод, а также химические средства защиты растений (инсектициды), в состав которых он входит. Наибольшее загрязнение свинцом испытывают почвы урбоэкосистем, где его концентрация в 30–40 раз выше таковой в почвах руэральных регионов. Высокое содержание свинца наблюдается в почвах, расположенных вблизи металлургических предприятий, причиной чего является оседание дымовых выбросов, содержащих повышенные его количества. Свинец концентрируется в почве вдоль автомобильных дорог вследствие того, что он добавляется в горючее как антидетонатор и с выхлопными газами попадает в воздух, а затем оседает на земную поверхность. При внесении в почву до 100 т/га осадка сточных вод содержание свинца в пахотном слое повышается на 4,5 мг/кг почвы [14].

Кадмий не принадлежит к физиологически необходимым микроэлементам и относится к первому (высшему) классу опасности загрязняющих веществ. Распространенность кадмия в магматических и осадочных породах не превышает 0,3 мг/кг. Он концентрируется преимущественно в глинистых осадках и сланцах (0,22–0,30 мг/кг). Среди магматических пород наибольшее количество кадмия – 0,13–0,22 мг/кг – содержат базальты и габбро [4]. Содержание кадмия в почве зависит преимущественно от минералогического состава материнской породы. Максимальные его количества содержат песчаные и супесчаные морены (4,6–6,2 мг/кг), а также флювиогляциальные и древнеаллювиальные супесчаные отложения (3,4 мг/кг). Почвы, образованные на гранитах и гнейсах, содержат кадмия больше, чем почвы, образовавшиеся на известняках. Кадмий наиболее подвижен в кислых почвах при pH = 4,5–5,5 [4], а основным процессом его связывания является конкурирующая адсорбция на глинах и органическом веществе [15]. Количество кислоторастворимого кадмия возрастает с увеличением содержания органического вещества и утяжелением гранулометрического состава почвы [10]. Считается, что Cd не входит в состав необходимых для растений элементов, однако он эффективно поглощается как корневой системой, так и листьями. Этот элемент, обладая чрезвычайно высокой

токсичностью, легко передвигается в почвах, быстро усваивается растениями и накапливается в них. Более интенсивно кадмий поступает в растения на кислых почвах и гораздо меньше – на нейтральных и щелочных. Избыток кадмия в растительном организме приводит к разрывам клеточных мембран, угнетению ряда ферментов (карбоангидраза, фосфатаза, дегидрогеназа), нарушению белкового обмена. Из-за химического родства кадмия и цинка он может замещать последний в организме растений, вызывая цинковое голодание. Содержание кадмия в почве на уровне 5 мг/кг на 50 % снижает продуктивность сельскохозяйственных культур, а период полувыведения из его почвы составляет 1100 лет. При продолжительном поступлении кадмия в организм животных снижается потребление корма и прирост массы тела, уменьшается молочная продуктивность. Кадмий обладает кумулятивными свойствами: негативное воздействие на животных проявляется не сразу после поедания корма, содержащего избыточное количество кадмия, а спустя некоторое время. Для взрослого человека допустимая доза кадмия составляет 10 мкг/сут [14]. Его присутствие в воде и пище для детей должно быть полностью исключено. В средних широтах Земного шара около 80 кадмия попадает в организм человека с овощами. Значительные количества этого элемента попадают в организм человека с табачным дымом: в одной сигарете содержится от 1,2 до 2,5 мкг Cd. Он накапливается преимущественно в почках и печени, нарушая их нормальное функционирование. Период полувыведения кадмия из организма человека – 20–30 лет. Кадмий обладает эмбриотропным воздействием, а при попадании в организм человека он способен замещать цинк в энзиматических системах, необходимых для формирования костной ткани, сопровождающейся тяжелыми заболеваниями. Он снижает способность организма человека противостоять болезням; обладает мутагенными и канцерогенными свойствами; отрицательно влияет на наследственность; разрушает эритроциты крови; способствует развитию болезней почек и семенных желез, гастрита и анемии. Выявлено тератогенное влияние кадмия, а также его способность вызывать злокачественные новообразования, перерождение костного мозга и костной ткани. Источниками поступления кадмия в экосистемы являются: промышленные выбросы, осадки промышленных и бытовых сточных вод, сельскохозяйственная деятельность (применение фосфорных минеральных удобрений, известняковых материалов) и выбросы автотранспорта (резина автомобильных шин и смазочные материалы содержат кадмий). Около 80 % антропогенных выбросов кадмия связано с производством

меди, свинца, цинка и кадмия; около 45 % общего загрязнения этим элементом приходится на выплавку кадмия из руд; 52 % кадмия поступает в атмосферу в результате сжигания или переработки изделий, содержащих Cd. В частности, в странах Европы доля металлургических предприятий в загрязнении окружающей среды кадмием составляет около 83 %. Со 100 тоннами осадка в почву вносится 4–5 мг кадмия. Уровень загрязнения почв кадмием в направлении господствующих от автомагистралей ветров даже на расстоянии 130 м составляет 40 ч/млрд., тогда как на незагрязненных площадях – около 9 ч/млрд. Содержание Cd в фосфорных удобрениях в зависимости от места происхождения фосфатного сырья может колебаться от 0,76–0,77 г/т P₂O₅ (Россия) до 43–49 г/т P₂O₅ (Марокко) и даже достигать 176–18 г/т P₂O₅ (Тунис) [14].

Поведение тяжелых металлов в системе «почва – растение» зависит от целого ряда факторов: вида и химических свойств элемента; форм соединений тяжелых металлов в почвах и их трансформации; свойств почвы (гранулометрический состав, pH почвенного раствора, катионная обменная способность, содержание органического вещества); биологических и физиологических особенностей растений, их фенологической фазы и возраста. При длительном хроническом и интенсивном импактном воздействии токсичных веществ в растительных организмах нарушаются основные физиологические функции, что часто приводит к гибели и даже исчезновению целых видов: подавляется работа ферментных систем; повреждаются и отмирают отдельные группы клеток и участки тканей; возникают вертикальные и горизонтальные мутации генов [18].

ТМ, попавшие в организм человека, выводятся из него очень медленно и накапливаются преимущественно в печени. В этой связи продукция растениеводства, выращенная даже на слабозагрязненных почвах, способна вызвать кумулятивный эффект, обуславливая постепенное увеличение концентрации тяжелых металлов в организме теплокровных (человек, животные). Допустимое количество тяжелых металлов, которое человек может потреблять с продуктами питания без риска заболевания, колеблется в зависимости от вида металла и составляет: для свинца – 3,0 мг, кадмия – 0,4–0,5, ртути – 0,3 мг в неделю [14]. В табл. 3 приведены сведения о физиологических отклонениях в организме человека, возникающих из-за недостатка и избытка микроэлементов.

Таблица 3. Воздействие микроэлементов и тяжелых металлов на организм человека [14]

Элемент	Физиологические отклонения	
	при недостатке	при избытке
Mn	Заболевания костной ткани	Лихорадка, пневмония, поражение центральной нервной системы (марганцевый паркинсонизм), эндемическая подагра, нарушение кровообращения, желудочно-кишечных функций, бесплодие
Cu	Слабость, анемия, белокровие, заболевания костной системы, нарушение координации движений	Профессиональные болезни, гепатит, заболевание Вильсона; поражаются почки, печень, мозг, глаза
Zn	Деформация костей, карликовый рост, длительное заживление ожогов, слабое зрение, близорукость	Анемия, угнетение окислительных процессов, дерматиты
Pb	–	Свинцовая энцефалопатия, нарушение обмена веществ, угнетение ферментативных реакций, авитаминоз, малокровие, рассеянный склероз
Cd	–	Гастроинтентинальные расстройства, нарушения органов дыхания, анемия, повышение кровяного давления, поражение почек, остеопороз, мутагенное и канцерогенное действие, разрушает эритроциты крови, поражает печень и семенные железы

2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АГРОСЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Загрязнение почвы тяжелыми металлами имеет две отрицательные стороны. Во-первых, попадая по пищевым цепям из почвы в растения, а оттуда – непосредственно в организм животных и человека, тяжелые металлы вызывают тяжелые нарушения в функционировании органов и систем, приводящие к тяжелым заболеваниям и сокращению продолжительности жизни, а также к снижению количества и качества растениеводческой и животноводческой продукции. Во-вторых, накапливаясь в почве в больших количествах, тяжелые металлы способны изменять ее свойства, прежде всего биологические: уменьшается общая численность почвенных микроорганизмов, сужается их видовой состав, изменяется структура микробиоценозов, снижается интенсивность прохождения основных микробиологических процессов и активность почвенных ферментов. Сильное загрязнение тяжелыми металлами приводит к изменению более консервативных свойств почвы, таких как гумусное состояние, структура, рН почвенного раствора, результатом чего является частичная, а иногда и полная утрата почвенного плодородия.

Классификацию почв по степени загрязнения тяжелыми металлами, согласно ГОСТ 17.4.3.06-86 «Охрана природы. Земли. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ» [3], проводят по предельно допустимым количествам (ПДК) химических веществ в почвах и их фоновому содержанию. По степени загрязнения тяжелыми металлами почвы делят на:

- 1) сильнозагрязненные;
- 2) среднезагрязненные;
- 3) слабозагрязненные.

К сильнозагрязненным относят почвы, содержание загрязняющих веществ в которых в несколько раз превышает ПДК, имеющие, под воздействием химического загрязнения низкую биологическую продуктивность, существенное изменение физико-механических, химических и биологических характеристик, в результате чего содержание химических веществ в выращиваемых культурах превышает установленные нормы. К среднезагрязненным относят почвы, в которых установлено превышение ПДК без видимых изменений в свойствах почв. К слабозагрязненным относят почвы, содержание химических веществ в которых не превышает ПДК, но выше естественного фона.

В случае загрязнения почвы несколькими химическими веществами одновременно используется суммарный показатель кратности превышения норматива ПДК, а при их отсутствии – показатель кратности превышения фоновой концентрации элемента. Суммарный показатель кратности Z_c рассчитывается по формуле (1) [19]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1), \quad (1)$$

где Z_c – суммарный показатель кратности превышения норматива ПДК химических веществ, а при его отсутствии – показатель фоновой концентрации;

K_c – коэффициент, рассчитываемый как отношение содержания i -го химического вещества в почве на контролируемой территории к нормативу ПДК данного вещества, а при его отсутствии – к показателю фоновой концентрации;

n – число учитываемых химических веществ, превышающих нормативы ПДК химических веществ, а при их отсутствии – показатель фоновой концентрации.

Загрязненные почвы по степени загрязнения делятся на:

– низкой степени загрязнения – при превышении нормативов ПДК химических веществ или Z_c от более 1,0 до 5,0 раз или при превышении показателя фоновой концентрации от более 2,0 до 10,0 раз;

– средней степени загрязнения – при превышении нормативов ПДК химических веществ или Z_c от более 5,0 до 20,0 раз или при превышении показателя фоновой концентрации от более 10,0 до 40,0 раз;

– высокой степени загрязнения – при превышении нормативов ПДК химических веществ или Z_c от более 20,0 до 50,0 раз или при превышении показателя фоновой концентрации от более 40,0 до 100,0 раз;

– очень высокой степени загрязнения – при превышении нормативов ПДК/ОДК химических веществ или Z_c более, чем в 50 раз или при превышении показателя фоновой концентрации более, чем в 100,0 раз.

Основными источниками загрязнения тяжелыми металлами урбанизированных агроэкологических ландшафтов являются: применение научно не обоснованных норм внесения органических и минеральных удобрений, агрохимикатов и пестицидов на земельных участках, предназначенных для огородничества и садоводства, выпадение поллютантов на поверхность почвы вследствие их привнесения с загрязненными воздушными массами, а также сжигание твердых бытовых отходов и выбросы автотранспорта. Индекс потенциального экологического риска E_r^i учитывает степень токсичности элементов-загрязнителей, а его величина ранжируется следующим образом [20]: $E_r^i < 40$ – низкий

риск; $40 < E_r^i < 80$ – умеренный риск; $80 < E_r^i < 160$ – допустимый риск; $160 < E_r^i < 320$ – высокий риск; $E_r^i > 320$ – очень высокий риск (табл. 4).

Таблица 4. Источники загрязнения тяжелыми металлами урбанизированных агропоселенческих ландшафтов

Источник загрязнения	Элемент-загрязнитель
Минеральные удобрения и агропоселенческие агенты	Cr, Cd, Cu, Zn, Ni, Mn, Pb
Пестициды	Cd, Cu, Zn, As, Pb
Органические удобрения (навоз, компост)	Cr, Cd, Cu, Zn, Ni, As, Pb, Hg
Атмосферные выпадения (промышленная эмиссия)	Ni, Cd, Pb, Cu, Zn, Hg, Cr
Твердые бытовые отходы	Cd, Zn, Pb, Al, Sn, Fe и Cu
Выбросы автотранспорта	Cd, Zn, Cu, Cr, Ni и Zn

Урбанизированные г. Горки характеризуются низким потенциальным экологическим риском загрязнения кадмием и медью, умеренным риском загрязнения свинцом и очень высоким риском загрязнения цинком. Низкий потенциальный экологический риск соответствует ситуации, когда загрязнение отдельных компонентов ландшафта и негативное воздействие поллютанта, находящегося в почве, на смежные среды будет минимальным. Локализация территорий с максимальным и минимальным экологическим риском загрязнения тяжелыми металлами представлена на рис. 1. Суммарный индекс потенциального экологического риска RI является величиной, характеризующей общий риск загрязнения территории. Величина данного показателя свыше 700 единиц для территории г. Горки соответствует очень высокому общему потенциальному риску загрязнения. Очаг загрязнения почвы медью сконцентрировался в центральной части города, а также в районе дендропарка и питомника. Загрязнение урбанизированных территорий медью вызвано как техногенными факторами, так и дополнительным привнесением этого элемента с удобрениями и пестицидами в результате неконтролируемого их применения населением при ведении индивидуального огородничества и садоводства [21]. Относительно умеренное загрязнение цинком имеют почвы в районе ул. Янки Купалы – ул. Калиновского, в пределах частного сектора в районе улиц Северная, Дружная, Соловьиная и на территории садового товарищества «Садовод». Остальная часть территории города подвержена сильному и очень сильному загрязнению цинком, максимум которого приурочен к земельным участкам в частном секторе в районе ст. Погодино и на территории садового товарищества «Иваново». Именно близость к железнодорожной станции предопределяет высокое содержание цинка в урбанизированных пригородных частях города, кратное 40–100 ПДК этого элемента.

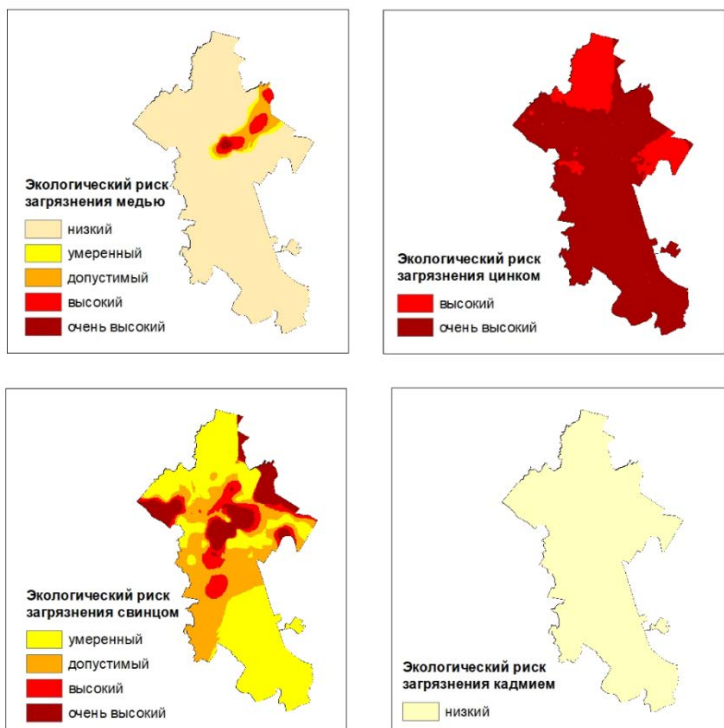


Рис. 1. Пространственное распределение индекса потенциального экологического риска загрязнения тяжелыми металлами урбаноземов г. Горки

Локализация максимального загрязнения почвы Pb приурочена к тем же участкам города, что и загрязнение Cu, кроме того, высокие содержания данного поллютанта отмечены в почвах в пределах садового товарищества «Труд». Достаточно высокое содержание Pb в урбаноземах садового товарищества «Труд» и в районе левого берега р. Поросица имеет техногенную природу и обусловлено боковым поступлением загрязненного ливневого стока от автотранспортных ландшафтов вследствие того, что данная территория находится на пониженных элементах рельефа. Кадмий является наименее широко представленным в почвах поллютантом, максимальный уровень загрязнения которым не превышает 10 ПДК. В южной части города, а также в пределах садового товарищества «Садовод» отмечено минимальное загрязнение почв Pb и Cd.

3. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ КАРТОФЕЛЯ И ОВОЩЕЙ В ПРЕДЕЛАХ АГРОСЕЛИТЕЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Проблема загрязнения растений тяжелыми металлами обостряется в связи с тем, что почва не является единственным источником их поступления в растительный организм, поскольку загрязняющие вещества могут поступать в растения и непосредственно из атмосферы. Тяжелые металлы можно разделить на фитотоксические (токсичность для растений выше, чем для человека и животных) и токсичные для человека и животных. К фитотоксическим тяжелым металлам относятся медь, никель, цинк. Однако одни и те же металлы неодинаково влияют на разные виды растений. Поступление и накопление поллютантов в растениях определяется целым рядом особенностей:

- 1) разные виды растений обладают неодинаковой способностью поглощать и накапливать тяжелые металлы;
- 2) растения имеют физиолого-биохимические защитные механизмы, препятствующие поступлению тяжелых металлов в их организм;
- 3) отсутствует прямая связь между уровнем загрязнения и интенсивностью поступления тяжелых металлов в растения.

Попадая из почвы в растительные организмы в чрезмерных количествах, тяжелые металлы нарушают в них обмен веществ, что сказывается на показателях роста и развития растений, особенно на начальных этапах. В табл. 5 приведены сведения об основных видах нарушений, фиксируемых в растительных организмах из-за избытка или недостатка микроэлементов. Именно эту особенность используют при биотестировании загрязненной почвы для установления ее фитотоксичности, под которой понимают снижение тест-функций, снимаемых с растительного тест-объекта на исследуемой почве, по сравнению с контролем. Различные виды растений проявляют неодинаковую устойчивость к содержанию тяжелых металлов в почве. Наиболее устойчивыми являются дикорастущие виды, а среди культурных растений – бобовые [5]. Устойчивость растений к повышенным концентрациям тяжелых металлов и их способность накапливать загрязнители могут представлять большую опасность для здоровья человека, поскольку в таких условиях вероятным становится проникновение контаминантов в пищевые цепи. Отнесение почвы к разряду опасно загрязненной исходя из содержания в ней тяжелых металлов, еще не означает, что выращиваемая на такой почве растениеводческая продукция будет непригодной к употреблению в пищу из-за высокого загрязнения. Растения обладают целым комплексом защитных свойств, в результате чего в органы запа-

сания ассимилянтов попадает ослабленный поток имеющихся в почве в избыточных количествах химических элементов. Не всегда на загрязненной почве получают такую же продукцию, к тому же обнаружено, что разные овощные культуры способны в разной степени накапливать поллютанты.

Таблица 5. Физиологические нарушения, возникающие у растений при избытке и недостатке содержания в них микроэлементов и тяжелых металлов [4, 8, 14]

Элемент	Физиологические нарушения		Культуры, чувствительные к недостатку / к избытку элемента
	при недостатке	при избытке	
Mn	Болотная пятнистость, межжилочный хлороз молодых листьев, снижение интенсивности фотосинтеза	Бурые пятна вытянутой формы на листьях, межжилочный хлороз старых листьев	Зерновые (ячмень, овес), горох, сахарная свекла, плодовые / картофель, огурцы, томаты
Cu	Вилт, меланизм, белые скрученные верхушки, ослабление образования метелок, нарушения одревеснения стеблей, хлороз, экзантема, низкая урожайность, гибель до начала плодоношения	Темно-зеленые листья; толстые, короткие или похожие на колючую проволоку корни, угнетение образования побегов	Злаковые зерновые (овес), подсолнечник, шпинат, люцерна / злаковые и бобовые, шпинат
Zn	Межжилочный хлороз у однодольных, остановка роста, розеточность листьев у деревьев, фиолетово-красные точки на листьях, снижение интенсивности фотосинтеза	Хлороз и некроз кончиков листьев, межжилочный хлороз молодых листьев, задержка роста растений в целом, поврежденные корни	Зерновые (кукуруза), бобовые, травы, хмель, лен, виноград, цитрусовые / злаки, шпинат
Pb	–	Снижение интенсивности фотосинтеза, темно-зеленые листья, скручивание старых листьев, бурые короткие корни	–
Cd	–	Бурые края листьев, хлороз, красноватые жилки и черешки, скрученные листья и бурые недоразвитые корни	– / Бобовые (бобы, фасоль), шпинат, редис, морковь, овес

В табл. 6 приведена информация о местах локализации максимального загрязнения тяжелыми металлами картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки.

Таблица 6. Места локализации максимального загрязнения тяжелыми металлами картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки

Тяжелый металл	Сельскохозяйственная культура				
	картофель	свекла столовая	морковь столовая	капуста белокочанная	лук репчатый
Медь	пер. Мстиславский ул. Пушкина	ул. Володарского ул. Герцена ул. Жукова ул. Мандрикова ул. Лизы Чайкиной ул. Озерная ул. Придорожная ул. Янки Купалы пер. Речной	просп. Интернациональный гаражный кооператив «Строитель» садоводческое товарищество «Верхнее озеро» ул. Рытова	–	ул. О. Кошевого ул. Высокая
Цинк	ул. Садовая	вся территория города	вся территория города кроме садового товарищества «Яблонька»	вся территория города, кроме ул. Бруцеровской ул. Карла Маркса ул. Мандрикова пер. Шмидта	ул. Садовая ул. Первомайская ул. Тимирязева ул. Дворцовая ул. Высокая
Свинец	ул. Горького ул. Озерная ул. Чапаева		Микрорайон «Слобода» ул. Сурганова ул. Якубовского	ул. Бруцеровской ул. Королева ул. Циолковского садовое товарищество «Труд»	ул. Лизы Чайкиной ул. Комарова ул. Первомайская пер. Октябрьский пер. 2-й Октябрьский
Кадмий	микрорайон «Заречье» ул. Высокая ул. Гаражная ул. Кузнецова ул. Космонавтов ул. Чапаева	просп. Интернациональный	вся территория города	площадь Якубовского ул. Лизы Чайкиной ул. Космонавтов микрорайон «Слобода»	садоводческие товарищества «Иваново» и «Яблонька»

Загрязнение овощей и картофеля, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, имеет полиэлементный характер и обусловлено как условиями места произрастания растений и уровнем загрязнения почвы, так и их биологическими особенностями. По содержанию в товарной продукции картофеля и овощей преобладающие позиции занимают цинк, марганец и медь, относящиеся к важным микроэлементам, необходимым для нормального роста и развития растений; исключение составляет морковь столовая, которая способна накапливать кадмий и является его концентратом.

Санитарно-гигиеническое качество картофеля и овощей является неудовлетворительным, а доминирующими их загрязнителями выступают: для картофеля Cd; для свеклы столовой и моркови столовой – Zn и Cd; для капусты белокочанной и лука репчатого – Zn; для свеклы столовой – Cu.

В разрезе отдельных сельскохозяйственных культур концентратами меди являются картофель и свекла столовая, цинка – капуста белокочанная и лук репчатый, кадмия – морковь столовая.

По результатам выполненных исследований определены зоны с различным уровнем комплексного загрязнения тяжелыми металлами картофеля и овощей (рис. 2–3).

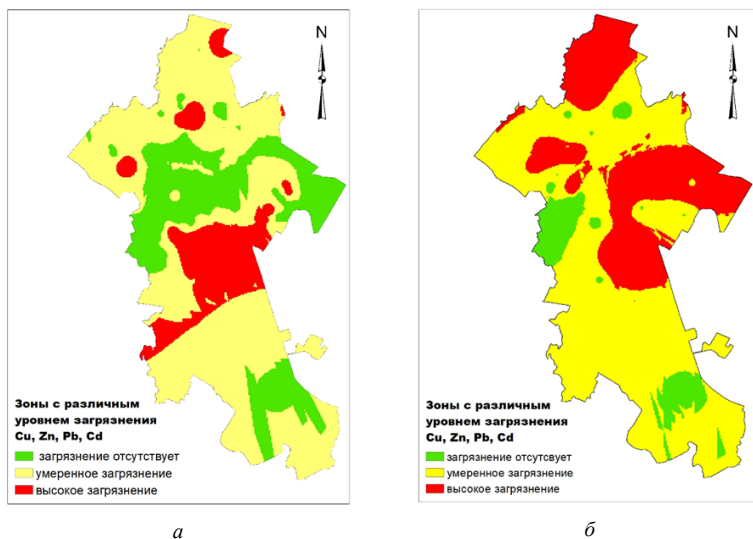
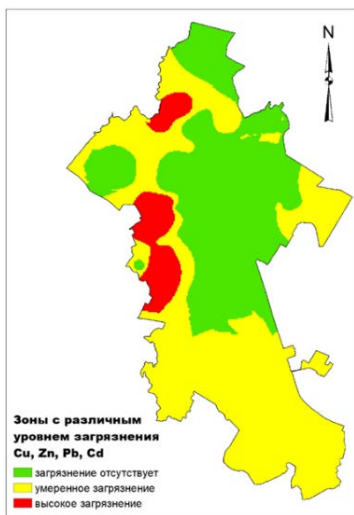
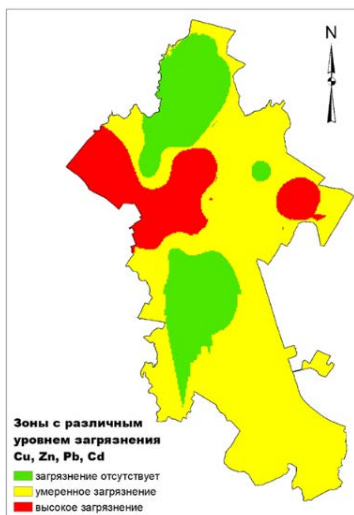


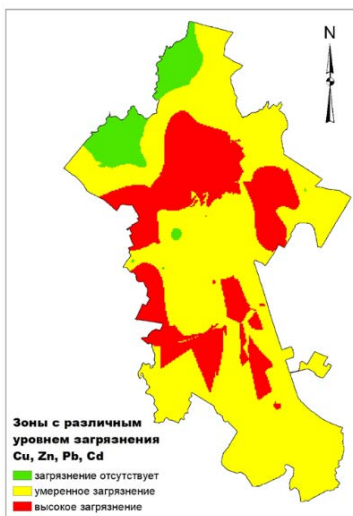
Рис. 2. Территория с комплексным загрязнением картофеля (*а*) и свеклы столовой (*б*) тяжелыми металлами



a



б



в

Рис. 3. Территория с комплексным загрязнением моркови столовой (*a*), капусты белокочанной (*б*) и лука репчатого (*в*) тяжелыми металлами

Исходя из уровней комплексного загрязнения тяжелыми металлами следует избегать выращивания:

1) картофеля – в пределах микрорайона «Заречье», левого берега р. Поросица (район улиц Чапаева, Кошевого, Озерной, М. Гарецкого, Циолковского, Королева), части садового товарищества «Садовод», района ул. Соловьиной, Гаражной, Дворцовой, Высокой (рис. 2, *а*);

2) свеклы столовой – в пределах северной и восточной части г. Горки, в микрорайоне «Заречье», на левом берегу р. Поросица (район улиц О. Кошевого, Озерной, М. Гарецкого), на части улиц Якубовского, Бруцера-Ерофеевской и Красинской (рис. 2, *б*);

3) моркови столовой – в микрорайоне «Слобода» и в районе гаражного кооператива «Белый ручей» (рис. 3, *а*);

4) капусты белокочанной – в районе ул. Машерова, на территории садового товарищества «Труд» и в пределах левого берега р. Поросица (район улиц Кошевого, Озерной, М. Гарецкого) (рис. 3, *б*);

5) лука репчатого – в пределах садового товарищества «Садовод», северной части садового товарищества «Труд» и в районе гаражного кооператива «Белый ручей» (рис. 3, *в*).

Территориально зоны, в пределах которых возможно получение относительно не загрязненной продукции, размещены:

1) картофеля – в пределах микрорайона «Слобода», в районе улиц Сурганова, Якубовского, Шмидта, Строителей, в частном секторе на восточной окраине города, в районе дендропарка и ботанического сада, а также на территории садового товарищества «Иваново» (рис. 2, *а*);

2) свеклы столовой – в пределах микрорайона «Слобода» и садового товарищества «Иваново» (рис. 2, *б*);

3) моркови столовой – в пределах территории садовых товариществ «Труд» и «Садовод», а также в центральной части города и на территории микрорайона «Заречье» (рис. 3, *а*);

4) капусты белокочанной – на территории микрорайона «Заречье» и садового товарищества «Садовод» (рис. 3, *б*);

5) лука репчатого – в районе улиц Якубовского, Бруцера-Ерофеевская, Фурманова, Матросова, Космонавтов, северной и южной части микрорайона «Слобода» и в районе железнодорожной станции Погодино (рис. 3, *в*).

4. КАНЦЕРОГЕННЫЙ И НЕКАНЦЕРОГЕННЫЙ РИСК ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПОТРЕБЛЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ И ОВОЩЕЙ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Установлено, что 85–90 % всех случаев возникновения рака определяется влиянием канцерогенов окружающей среды: из них 70–80 % связывают с химическими и 10 % – с радиационными факторами, а среди химических веществ с наиболее высокой степенью канцерогенности выделяют полициклические ароматические углеводороды, нитрозамины и тяжелые металлы [22].

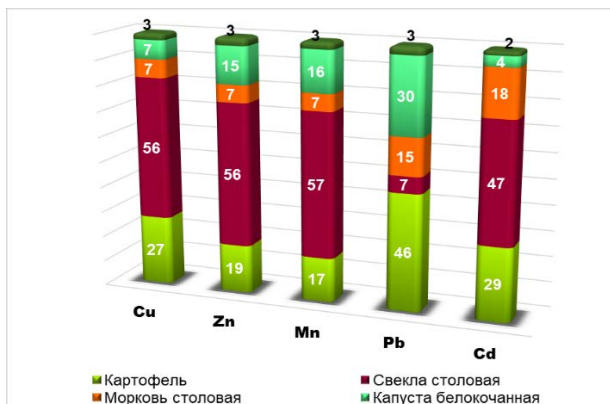
Заболееваемость злокачественными новообразованиями в Республике Беларусь, как и во всем мире, с каждым годом растёт, а ежегодный прирост составляет примерно 1000 новых случаев. Ежегодно от злокачественных новообразований в республике умирает свыше 13 тыс. городских и свыше 5 тыс. сельских жителей и этот показатель имеет устойчивую тенденцию к росту [23]. Аналогичная ситуация прослеживается и в отношении жителей Горецкого района и г. Горки, где уровень общей заболеваемости злокачественными новообразованиями держится на стабильно высоких показателях и по состоянию на 01.01.2020 г. составляет 775,6 случаев на 100 тыс. населения и 418,3 случая на 100 тыс. лиц трудоспособного возраста, ежегодно увеличиваясь на более чем 200 случаев (в абсолютных показателях).

Одним из действенных методов предупреждения опасности, обусловленной воздействием канцерогенных и неканцерогенных химических веществ на человека, является установление риска наступления нежелательных эффектов с целью дальнейшей разработки методов его минимизации.

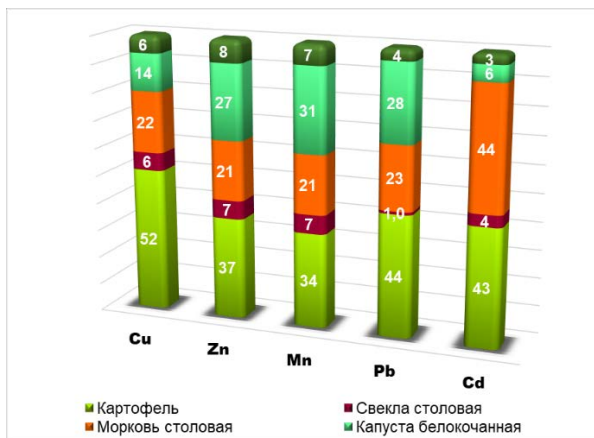
Установлено, что максимальный вклад в экспозицию Cu, Zn, Mn и Cd, поступающих в организм взрослого населения г. Горки, вносят свекла столовая, вклад которой в зависимости от вещества-загрязнителя колеблется от 47 до 57 %, и картофель, вклад которого составляет 17–29 %. Для свинца приоритетными по экспозиции в организм являются все тот же картофель (46 %) и капуста белокочанная (30 %) (рис. 4, а).

Для детского населения максимальный вклад в экспозицию меди и кадмия вносят морковь столовая (22 % и 44 % соответственно) и картофель (52 % и 43 % соответственно), а основным источником поступ-

ления в организм цинка, марганца и свинца являются картофель (37–44 %) и капуста белокочанная (27–31 %) (рис. 4, б).



а – взрослое население



б – детское население

Рис. 4. Вклад отдельных культур в общее значение экспозиции тяжелых металлов, поступающих вследствие употребления в пищу картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, %

Несмотря на то, что лук репчатый имеет достаточно высокое загрязнение цинком, из-за невысокого общего объема потребления и низкой удельной доли в рационе питания его вклад в экспозицию данного контаминанта для взрослого населения составляет только 3 %, а для детского достигает 8 %.

Характеристика риска развития неканцерогенных эффектов от употребления в пищу загрязненных тяжелыми металлами картофеля и овощей осуществляется посредством сравнения фактических уровней экспозиции с безопасными уровнями воздействия (референтными дозами) и расчета коэффициента опасности (HQ), выражающего отношение фактически установленной дозы контаминанта к допустимой (2) [24]:

$$HQ = AD / RfD, \quad (2)$$

где AD – среднесуточная доза поступления химических веществ в организм человека, мг/кг массы тела;

RfD – референтная (безопасная) доза поступления химических веществ в организм человека, мг/кг массы тела.

Характеристика риска развития неканцерогенных эффектов при комплексном воздействии тяжелых металлов в случае наличия полиэлементного загрязнения проводится посредством расчета индекса опасности (HI) (3) [24]:

$$HI = \sum HQ_i, \quad (3)$$

где HQ_i – коэффициенты опасности для отдельных компонентов смеси воздействующих химических веществ.

Следует, однако, отметить, что коэффициент опасности HQ не является мерой риска, а лишь указывает на его наличие (либо отсутствие в случае соответствия величины допустимому уровню) и свидетельствует о вероятности развития негативных эффектов за счет ежедневного поступления контаминантов с продуктами питания в организм человека в течение жизни, которая будет возрастать пропорционально росту величины коэффициента опасности [22].

Коэффициент опасности содержания тяжелых металлов в картофеле и овощах, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки и употребляемых в пищу взрослым населением на уровне 90-го перцентиля превышает 1,0, поэтому необходимо усилить контроль за содержанием контаминантов в тех сельскохозяйственных культурах, которые вносят максимальный вклад в общее значение экспозиции тяжелых металлов (табл. 7). В разрезе отдельных элементов в отношении взрослого населения ни на уровне медианы, ни на уровне 90-го перцентиля коэффициент опасности не превышал допустимого значе-

ния, что свидетельствует об относительной безопасности употребления картофеля и овощей в случае их моноэлементного загрязнения.

Таблица 7. **Неканцерогенный риск, обусловленный поступлением тяжелых металлов при употреблении в пищу картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки**

Тяжелый металл	Среднесуточная экспозиция металла, AD , мг/кг массы тела/сутки		Референтная доза при хроническом пероральном поступлении RfD , мг/кг/сутки	Коэффициент опасности HQ	
	Exp _{med}	Exp _{90 %}		Exp _{med}	Exp _{90 %}
Взрослые					
Медь	0,005160	0,008357	0,019	0,272	0,440
Цинк	0,025195	0,035405	0,3	0,084	0,118
Марганец	0,015803	0,024691	0,14	0,113	0,176
Свинец	0,000393	0,001733	0,0035	0,112	0,495
Кадмий	0,000077	0,000415	0,0005	0,154	0,830
Суммарный индекс опасности, HI				0,735	2,059
Дети					
Медь	0,036711	0,061164	0,019	1,932	3,219
Цинк	0,177712	0,254098	0,3	0,592	0,847
Марганец	0,110599	0,167720	0,14	0,790	1,198
Свинец	0,003170	0,013628	0,0035	0,906	3,894
Кадмий	0,000633	0,003403	0,0005	1,266	6,806
Суммарный индекс опасности, HI				5,486	15,964

Для детского населения HQ содержания марганца и свинца в картофеле и овощах превышал 1,0 на уровне 90-го перцентиля, а меди и кадмия – еще и на медианном уровне. Данный факт свидетельствует о том, что при употреблении в пищу картофеля и овощей воздействие на организм детей присутствующих в них тяжелых металлов характеризуется как недопустимое. Для взрослого населения критическим органом, для которого наиболее возможно возникновение неканцерогенных эффектов вследствие воздействия тяжелых металлов, поступающих при употреблении в пищу картофеля и овощей, следует считать почки, тогда как для детского населения уязвимыми являются практически все органы и системы, а максимальному негативному воздействию будут подвергаться почки, кровь и кроветворные органы, центральная нервная система.

Оценку канцерогенного риска, под которым понимают вероятность повышения частоты злокачественных новообразований у людей за счет перорального воздействия химических канцерогенов [24], осуществляли посредством расчета величин индивидуального, суммарного и популяционного рисков.

Расчет величины индивидуального канцерогенного риска (*ICR*) выполняли по формуле (4) [25]:

$$ICR = AD \cdot SF_0, \quad (4)$$

где *AD* – среднесуточная доза поступления химических веществ в организм человека, мг/кг;

*SF*₀ – фактор наклона, (мг/(кг · день))⁻¹.

Величину популяционного канцерогенного риска (*PCR*) определяли по формуле (5) [25]:

$$PCR = ICR \cdot POP, \quad (5)$$

где *ICR* – индивидуальный канцерогенный риск;

POP – численность исследуемой популяции.

Среди исследуемых тяжелых металлов канцерогенный риск определяли для химических элементов с доказанным для человека канцерогенным эффектом – для свинца и кадмия (табл. 8).

Таблица 8. Индивидуальный канцерогенный риск, обусловленный поступлением тяжелых металлов при употреблении в пищу картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки

Тяжелый металл	Группа воздействия	Индивидуальный канцерогенный риск (вероятность), <i>ICR</i>		Уровень индивидуального канцерогенного риска
		Exp _{med}	Exp _{90%}	
Свинец	Взрослые	0,18 · 10 ⁻⁴	0,81 · 10 ⁻⁴	Средний
	Дети	0,15 · 10 ⁻³	0,64 · 10 ⁻³	Средний
Кадмий	Взрослые	0,29 · 10 ⁻⁴	0,16 · 10 ⁻³	Средний
	Дети	0,24 · 10 ⁻³	1,29 · 10 ⁻³	Средний
Суммарный риск	Взрослые	0,47 · 10 ⁻³	0,24 · 10 ⁻³	Средний
	Дети	0,39 · 10 ⁻³	1,93 · 10 ⁻³	Средний

Суммарный уровень индивидуального канцерогенного риска от употребления в пищу картофеля и овощей в течение жизни только за счет двух идентифицированных канцерогенов – Pb и Cd составляет 0,39 · 10⁻³ – 0,47 · 10⁻³ для медианных значений и 0,24 · 10⁻³ – 1,93 · 10⁻³ для 90-го перцентиля, что по международной критериальной шкале оценивается как средний канцерогенный риск. Данный уровень риска является допустимым для производственных условий, однако при воздействии на все население необходим динамический контроль и углубленное изучение источников и возможных последствий вредных воздействий для принятия мер по управлению риском в направлении его минимизации. Наличие среднего канцерогенного риска требует разработки и проведения комплекса плановых оздоровительных мероприятий по снижению рисков, которые в свою очередь должны осно-

ываться на результатах углубленной оценки различных аспектов существующих проблем и установлении степени их приоритетности по отношению к другим гигиеническим, экологическим, социальным и экономическим проблемам на данной территории [24].

Суммарный уровень популяционного канцерогенного риска свидетельствует о том, что возможно возникновение до 10,5 случаев злокачественных новообразований в популяции детского населения г. Горки и до 8,2 случая – в популяции взрослого населения (рис. 5).

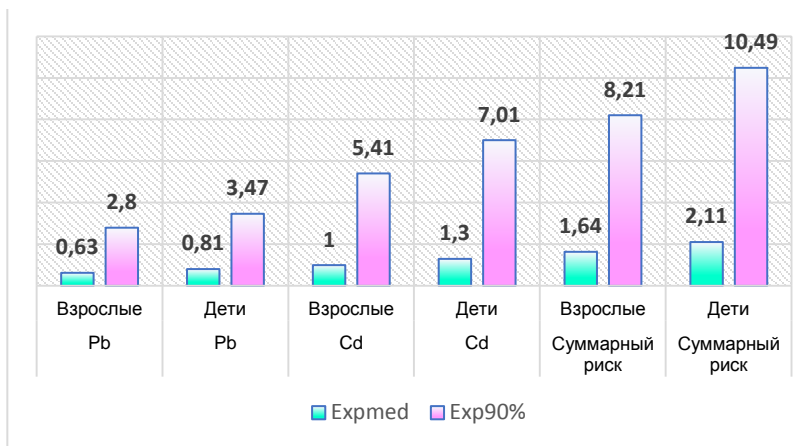


Рис. 5. Популяционный канцерогенный риск, обусловленный поступлением тяжелых металлов при употреблении в пищу картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, число случаев

Следует, однако, учитывать, что в связи со стохастическим характером канцерогенного процесса, его длительным латентным периодом, отличиями в возрастной чувствительности и сложным характером временной и возрастной зависимости достоверности смерти человека точно предусмотреть сроки развития злокачественных новообразований на основе имеющейся на сегодня научной информации в популяции не представляется возможным. Кроме того, при оценке канцерогенного риска от употребления в пищу картофеля и овощей, загрязненных тяжелыми металлами, не учитывается возможное снижение дозы экспозиции вследствие их переработки. В этой связи ситуацию с загрязнением картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, нельзя считать критической либо опасной, однако она требует пристального внимания со стороны как органов охраны здоровья, так и органов местного самоуправления.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ РИСКОМ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

В современных социально-экономических условиях основой деятельности человека становится принцип экологической рациональности, включающий разработку и практическое использование систем, технологий и способов, обеспечивающих получение экологически безопасной продукции растениеводства и животноводства. Нормирование содержания токсичных ингредиентов, в частности тяжелых металлов, в компонентах окружающей среды, прежде всего, в продовольственном сырье и непосредственно в продуктах питания – важный шаг для снижения риска для здоровья от попадания вредных веществ в организм человека. Для оценки и предупреждения негативного воздействия продуктов питания на здоровье человека оперируют таким понятием как предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества. В табл. 9 приведены предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в пищевых продуктах, воде и продовольственном сырье.

Таблица 9. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в пищевых продуктах и продовольственном сырье, мг/кг [26]

Пищевой продукт или сырье	Pb	Cd	Hg	Cu	Zn	As
1	2	3	4	5	6	7
Зерновые	0,5	0,1	0,03	10,0	50,0	0,2
Зернобобовые	0,5	0,1	0,02	10,0	50,0	0,3
Крупы (кроме гречихи)	0,5	0,1	0,03	10,0	50,0	0,2
Крупа гречневая	0,5	0,04	0,03	15,0	50,0	0,2
Мука, кондитерские изделия	0,5	0,1	0,02	10,0	50,0	0,2
Хлеб	0,3	0,05	0,01	5,0	25,0	0,1
Сахар-песок	1,0	0,05	0,01	1,0	3,0	0,5
Соль кухонная	2,0	0,1	0,01	3,0	10,0	1,0
Конфеты	1,0	0,1	0,01	15,0	30,0	0,5
Молоко	0,1	0,03	0,005	1,0	5,0	0,05
Масло сливочное	0,1	0,03	0,03	0,5	5,0	0,1
Сыр	0,3	0,2	0,02	4,0	50,0	0,2
Масло растительное	0,1	0,05	0,03	0,5	5,0	0,1
Овощи свежие	0,5	0,03	0,02	5,0	10,0	0,2
Фрукты, ягоды	0,4	0,03	0,02	5,0	10,0	0,2
Грибы	0,5	0,1	0,05	10,0	20,0	0,5
Чай	10,0	1,0	0,1	100,0	-	1,0
Мясо и птица	0,5	0,05	0,03	5,0	70,0	0,1
Колбасные изделия вареные	0,5	0,05	0,03	5,0	70,0	0,1

1	2	3	4	5	6	7
Консервы из мяса и птицы	1,0	0,1	0,03	5,0	70,0	0,1
Яйца	0,3	0,01	0,02	3,0	50,0	0,1
Жиры животные	0,1	0,03	0,03	0,5	5,0	0,1
Рыба свежая речная	1,0	0,2	0,6	10,0	40,0	1,0
Рыба свежая морская	1,0	0,2	0,4	10,0	40,0	5,0
Моллюски и ракообразные	10,0	2,0	2,0	0,2	30,0	200,0
Минеральные воды	0,1	0,01	0,005	1,0	5,0	0,1
Пиво, вино и другие спиртные напитки	0,3	0,03	0,005	5,0	10,0	0,2
ПДК для продуктов, не вошедших в перечень	1,0	0,05	0,02	25,0	50,0	1,0

Управление риском представляет собой процесс принятия решений, включающий рассмотрение совокупности различных факторов риска совместно с соответствующей информацией по оценке риска с целью разработки оптимальных решений по устранению или снижению уровней риска. Данный процесс является логическим продолжением процесса оценки риска, однако, не тождественен ему и направлен на обоснование оптимальных в конкретной ситуации решений по устранению риска либо его минимизации. Базисной основой управления риском является совокупность оценок полученных величин риска, сравнительная характеристика возможных ущербов для здоровья людей и общества в целом, возможные затраты на реализацию различных вариантов управленческих решений по снижению риска и тех выгод, которые будут в дальнейшем получены в результате реализации мероприятий, направленных на минимизацию риска. Стратегия управления риском для населения г. Горки вследствие загрязнения урбаноземов, картофеля и овощей тяжелыми металлами предусматривает последовательное прохождение следующих этапов (рис. 6).

На первом этапе управления риском необходимо выполнить сравнительную характеристику существующих рисков с целью установления приоритетов – определения круга вопросов, требующих первоочередного внимания, установление вероятности появления риска и его последствий. Этот этап управления риском предусматривает определение уровней вероятности развития нарушений состояния здоровья (посредством оценки неканцерогенного и канцерогенного рисков) и анализ их причинной обусловленности (поиск источников загрязнения с максимальным вкладом в экспозицию контаминантов), а также углубленную характеристику неблагоприятных последствий и ущербов состоянию здоровья населения (табл. 10).

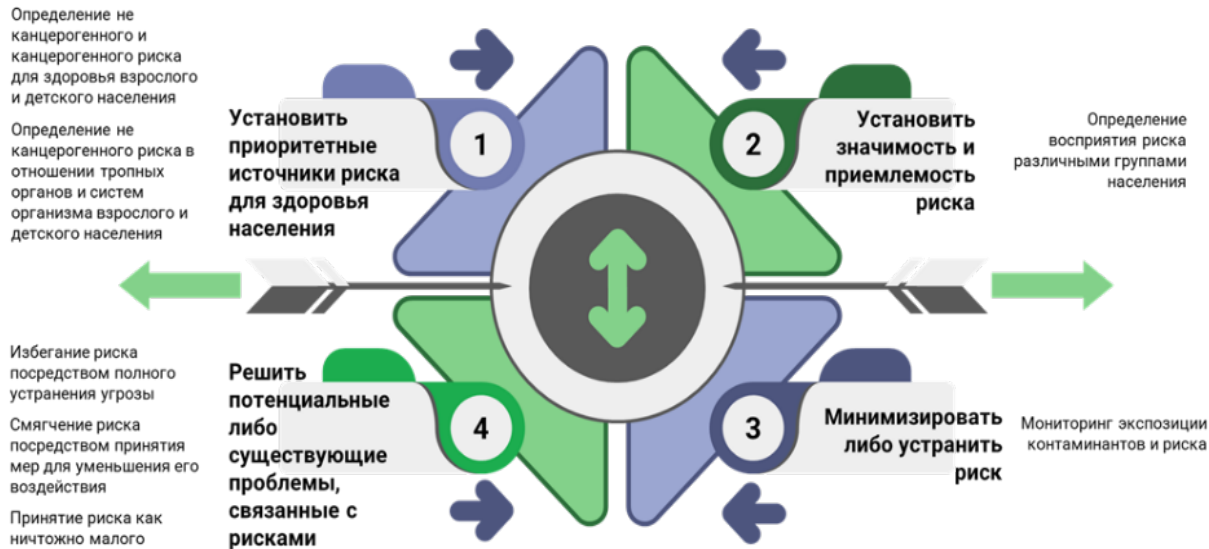


Рис. 6. Стратегия управления неканцерогенным и канцерогенным риском для населения от потребления картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки

Таблица 10. Характеристика уровней риска для населения г. Горки вследствие загрязнения картофеля и овощей тяжелыми металлами

Фактор риска	Уровень риска			
	М	Н	У	В
Неканцерогенный риск				
Монозагрязнение картофеля и овощей тяжелыми металлами (взрослые)				
Полизагрязнение картофеля и овощей тяжелыми металлами (взрослые)				
Монозагрязнение картофеля и овощей тяжелыми металлами (дети)				
Полизагрязнение картофеля и овощей тяжелыми металлами (дети)				
Канцерогенный риск				
Загрязнение картофеля и овощей свинцом и кадмием (взрослые)				
Загрязнение картофеля и овощей свинцом и кадмием (дети)				

Примечание: М – минимальный; Н – незначительный; У – умеренный; В – высокий.

При наличии минимального уровня риска фиксируется ограниченное негативное воздействие на группу риска, а необходимость в принятии дополнительных корректирующих и предупреждающих мер отсутствует. При незначительном уровне риска имеет место незначительное негативное воздействие на небольшую группу населения или небольшую группу риска и требуется проведение небольшого числа дополнительных корректирующих и предупреждающих мероприятий с затратой минимальных ресурсов.

При умеренном уровне риска присутствует умеренное негативное воздействие на большую группу населения или большую группу риска и требуется проведение определенного числа дополнительных корректирующих и предупреждающих мероприятий – иногда с затратой умеренных ресурсов

При высоком уровне риска осуществляется значительное негативное воздействие на небольшую группу населения или небольшую группу риска и требуется проведение большого числа дополнительных корректирующих и предупреждающих мероприятий – иногда с затратой значительных ресурсов.

На этапе анализа приемлемости риска учитывается возможность осуществления контролирующих (регулирующих) мер с целью уменьшения потенциального негативного воздействия контаминантов на окружающую среду и здоровье человека.

Этап снижения и контроля уровней риска предусматривает мероприятия, максимально способствующие минимизации или устранению риска. Такие мероприятия могут включать как ограничение количества экспонируемых лиц, так и ограничение сферы использования источника риска или территорий с локализацией таких источников. Контроль риска осуществляют посредством его периодического либо постоянного мониторинга, что позволяет быстро реагировать на возникновение опасной ситуации, осуществлять прогнозирование уровней экспозиции контаминантов и величины риска.

Целью последнего этапа стратегии управления риском является реагирование на риск, который уже превратился в проблему. Данное мероприятие возможно осуществить тремя способами:

- 1) избежать риска, полностью устранив причину угрозы;
- 2) смягчить риск посредством принятия мер для уменьшения его воздействия;
- 3) принять риск, предположив вероятность его негативного воздействия как ничтожно малую.

Избежать уже существующего риска возможно посредством полного отказа от употребления в пищу детьми сельскохозяйственных культур, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки.

Одной из мер по смягчению существующего риска в случае, когда вся продукция загрязнена тяжелыми металлами, а избежать ее употребления в пищу не представляется возможным, может быть удаление тех органов растений, которые больше всего накапливают тот или иной поллютант. В частности, удаление внутреннего кочана у капусты белокочанной позволяет избавиться от 17 % тяжелых металлов; удаление кожицы у картофеля позволяет снизить содержание меди в клубне на 13 %, а удаление его периферийной зоны – содержание свинца, цинка и кадмия на 80 %. У столовой свеклы удаление мякоти корнеплода обеспечивает снижение содержания меди и кадмия более чем на 70 %, а удаление кожицы – уменьшение содержания свинца и цинка на 3,5 %. Поскольку основная масса меди и кадмия в корнеплоде столовой моркови концентрируется в его мякоти, его удаление позволяет снизить содержание этих элементов на 67 %. Снизить концентрацию кадмия и цинка в луке репчатом на 20 % позволяет удаление у него доньшка [5, 14].

Детоксикация почвы, загрязненной тяжелыми металлами, представляет собой совокупность мер и методов, направленных на создание в загрязненных почвах таких условий, которые ослабляют или полностью избавляют почву от действия токсичных загрязняющих веществ, а также обеспечивают благоприятные условия для его самоочищения, также является одной из действенных мер по смягчению риска. В настоящее время на загрязненных тяжелыми металлами почвах используют следующие методы детоксикации:

- 1) физические – удаление загрязненного слоя почвы и его захоронение;
- 2) химические – инактивация или снижение токсического действия загрязнителей посредством известкования, внесения органических и минеральных удобрений;
- 3) биологические – выращивание культур, устойчивых к загрязнению и способных выносить из почвы токсичные вещества.

Для условий частного сектора хозяйствования наиболее приемлемыми являются химические и биологические способы детоксикации почвы, загрязненной тяжелыми металлами.

Наибольшую опасность представляют подвижные формы тяжелых металлов, которые легкодоступны для растений. Подвижность же тяжелых металлов существенно зависит от содержания в почве органического

вещества, рН почвенного раствора и процента содержания илстой фракции. Исходя из этого, наиболее перспективным направлением детоксикации загрязненных тяжелыми металлами почв является разработка мер, направленных именно на снижение подвижности тяжелых металлов, закрепление их в почве, что обеспечит снижение доступности токсикантов для растений и их накопление в продукции агроценозов. Одной из таких мер является известкование – химический способ детоксикации загрязненных тяжелыми металлами почв, который приводит к снижению подвижности поллютантов за счет образования труднорастворимых комплексных соединений, а также сорбции их оксидами и гидроксидами железа и марганца. Внесение известняковых материалов обогащает почву кальцием, улучшает ее структуру, активизирует процессы окисления. Дозы CaCO_3 следует рассчитывать исходя из буферной способности почвы и дифференцировать в зависимости от степени ее загрязнения тяжелыми металлами, поскольку в настоящее время не существует нормативов относительно объемов внесения известняковых материалов в почву именно с целью ее детоксикации. Однако следует отметить, что любой способ закрепления тяжелых металлов в почве имеет свой срок действия. Рано или поздно часть загрязнителей снова начинает поступать в почвенный раствор, а оттуда при посредничестве растений – в организм животных и человека.

Среди биологических приемов детоксикации почвы необходимо выделить такие, как выращивание токсикотолерантных сортов и культур, используемых в качестве корма для животных; выращивание сельскохозяйственных культур только на семена; выращивание на загрязненных площадях технических и лесных культур; использование загрязненных территорий для разведения цветов и декоративных растений. Способность отдельных видов к гипераккумуляции химических элементов используют при фиторемедиации почв. Эффективными гипераккумуляторами, способными накапливать Co, Cu, Ni, Pb, Mn, Zn, Cd, Cr, Se являются такие растения, как *Elleanthus biformifolius*, *Thlaspi caerulescens*, *Haumaniastrum robertii*, *Minuartia verna*, *Macadamia neurop hylla*, *Psychotria doarrei*, *Dichapetalum gentianoides*, *Astragalus racemosus*, *Dicranopetris dichodoma*, *Pteris vittata*, *Sutera fodina* [27]. Высоким выносом Cu, Pb, Zn, Cd характеризуются гречиха и кормовые бобы [28], а также растения *Brassica juncea*, аккумуляторами Cu и Cd являются *Elsholtzia splendens*, *Sedum plumbizincicola* и *Pennisetum sp.*, пригодные для фитомелиорации [29, 30]. Высокая толерантность дикорастущих злаков к тяжелым металлам и их способность накапливать значительные

количества токсичных ионов свидетельствует о возможности использования *Elytrigia repens*, *Phleum pratense* и *Dactylis glomerata* для фито-стабилизации, а *Setaria viridis* – для фитоэкстракции загрязненных тяжелыми металлами почв [31]. Токсичные Pb и Cd концентрируют представители семейств *Rosaceae*, *Convallariaceae* и *Amaranthus retroflexus*, являющийся достаточно распространенным представителем сеgetальной флоры, формирующим значительную вегетативную массу, что делает возможным применение данного вида в качестве фиторемедианта загрязненных свинцом почв [32].

При составлении плана реагирования на риск глубина его детализации должна соответствовать значимости риска, поскольку существует ненулевая концепция риска, предусматривающая его постоянное наличие (табл. 11).

Таблица 11. План реагирования на риск для населения г. Горки вследствие загрязнения картофеля и овощей тяжелыми металлами

Фактор риска	Способ реагирования на риск		
	избегание	смягчение	принятие
Не канцерогенный риск			
Монозагрязнение картофеля и овощей тяжелыми металлами (взрослые)			
Полизагрязнение картофеля и овощей тяжелыми металлами (взрослые)			
Монозагрязнение картофеля и овощей тяжелыми металлами (дети)			
Полизагрязнение картофеля и овощей тяжелыми металлами (дети)			
Канцерогенный риск			
Загрязнение картофеля и овощей свинцом и кадмием (взрослые)			
Загрязнение картофеля и овощей свинцом и кадмием (дети)			

Не смотря на то, что риск для здоровья населения г. Горки от употребления картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов, при существующем уровне их загрязнения оценивается как средний либо низкий (допустимый), учитывая тот факт, что данные продукты составляют от 40 до 50 % в структуре рациона жителей городов и поселков городского типа в Республике Беларусь, целесообразным представляется информирование жителей об опасности и обеспечение мониторинга качества растениеводческой продукции, выращиваемой населением в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки.

Информирование о риске представляет собой продолжение процесса управления риском и реализуется посредством распространения результатов определения степени риска для здоровья человека и решений по его контролю среди стейкхолдеров (врачей, научных сотрудников, представителей органов исполнительной власти, населения и общества в целом) [24]. При распространении информации о риске необходимо принимать во внимание факт особенностей восприятия риска различными группами населения. Это особо важно учитывать в конкретном рассматриваемом случае, поскольку целевой аудиторией информирования о риске являются жители г. Горки, как и любые другие обыватели, в своем восприятии риска ориентирующиеся не только на его количественные характеристики и возможные последствия для здоровья, но и на устойчивые сформировавшиеся стереотипы и общественное мнение, так называемые «факторы возмущения». Вследствие этого результатом информирования о риске может являться как его недооценка, так и переоценка возможных последствий. Основные характеристики риска, влияющие на его восприятие, приведены в табл. 12.

Таблица 12. Характеристики риска, влияющие на его восприятие стейкхолдерами [24, 33]

Характеристики, усиливающие восприятие риска	Характеристики, снижающие восприятие риска
Большой риск	Меньший риск
Недобровольный	Добровольный
Искусственный	Природный
Риски, контролируемые другими лицами	Риски, контролируемые самим индивидуумом
Риски без выгод	Риски с выгодой
Источники информации о риске, не заслуживающие доверия	Источники информации о риске, заслуживающие доверия

Например, опасностям, которые воспринимаются как незнакомые или вызывают страх, присваивается более высокий уровень риска в сравнении с фактическим уровнем, основанным на чисто статистических данных. И наоборот, опасности с низкой вероятностью, которые рассматриваются как имеющие потенциально катастрофические последствия, воспринимаются как опасности высокого риска и вызывают сильный общественный резонанс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты собственных исследований по оценке уровней загрязнения тяжелыми металлами компонентов агроселитебных ландшафтов, выполненных на территории г. Горки Могилевской области, позволили комплексно оценить текущую экологическую ситуацию и разработать ряд рекомендаций населению, позволяющих снизить риск для здоровья от употребления в пищу картофеля и овощей, выращиваемых на загрязненной тяжелыми металлами почве.

Полученные результаты легли в основу разработки стратегии управления риском для взрослого и детского населения г. Горки вследствие загрязнения урбаноземов, картофеля и овощей тяжелыми металлами.

Данное издание вносит вклад в процесс информирования о риске, являющемся естественным продолжением управления риском и реализующегося посредством распространения результатов определения степени риска для здоровья человека и решений по его контролю среди стейкхолдеров (врачей, научных сотрудников, представителей органов исполнительной власти, населения и общества в целом).

Предложенные мероприятия по устранению и минимизации риска для здоровья от загрязнения тяжелыми металлами могут быть экстраполированы на территорию других малых городов Республики Беларусь.

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ И ПОНЯТИЙ

Агрэкосистема – природно-производственная система, созданная для получения качественной сельскохозяйственной продукции за счет использования возобновляемой способности энергетическо-ресурсного потенциала компонентов ландшафта.

Агроландшафт – антропогенный территориальный комплекс, в котором природная растительность на большей части заменена агрофитоценозами (посевами сельскохозяйственных культур, многолетними насаждениями).

Агроселитебный ландшафт – форма ландшафта, промежуточная между селитебным и агроландшафтом, субдоминирующий тип городских селитебных ландшафтов.

Антропогенный объект – объект, созданный для обеспечения социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов.

Воздействие на окружающую среду – любое прямое или косвенное воздействие на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к изменению окружающей среды.

Вред, причиненный окружающей среде, – имеющее денежную оценку отрицательное изменение окружающей среды или отдельных компонентов природной среды, природных или природно-антропогенных объектов, выразившееся в их загрязнении, деградации, истощении, повреждении, уничтожении, незаконном изъятии и (или) ином ухудшении их состояния, в результате вредного воздействия на окружающую среду, связанного с нарушением требований в области охраны окружающей среды, иным нарушением законодательства.

Вредное воздействие на окружающую среду – любое прямое либо косвенное воздействие на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к отрицательным изменениям окружающей среды.

Загрязнение окружающей среды – поступление в компоненты природной среды, нахождение и (или) возникновение в них в результате вредного воздействия на окружающую среду вещества, физических факторов (энергия, шум, излучение и иные факторы), микроорганизмов, свойства, местоположение или количество которых приводят к отрицательным изменениям физических, химических, биологических и иных показателей состояния окружающей среды, в том числе к превышению нормативов в области охраны окружающей среды.

Загрязнение почвы – попадание на поверхность и внутрь почвы загрязняющих веществ, которые не разлагаются в процессе самоочищения и изменяют физические, химические и биологические свойства почвы.

Загрязняющее вещество – вещество или смесь веществ, поступление которых в окружающую среду вызывает ее загрязнение.

Канцерогенный риск – вероятность развития злокачественных новообразований на протяжении всей жизни человека, обусловленная воздействием потенциального канцерогена.

Канцерогенный эффект – возникновение новообразований при воздействии факторов окружающей среды.

Качество окружающей среды – состояние окружающей среды, характеризующееся физическими, химическими, биологическими и (или) иными показателями или их совокупностью.

Компоненты природной среды – земля (включая почвы), недра,

воды, атмосферный воздух, растительный и животный мир, а также озоновый слой и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле.

Коэффициент биологического накопления элемента ($K_{\text{би}}$) – отношение концентрации загрязнителя в растительной продукции к его концентрации в почве, которое используется для оценки возможности перехода подвижных форм тяжелых металлов из почвы в растения.

Коэффициент опасности (HQ) – отношение воздействующей дозы (или концентрации) химического вещества к его безопасному (референтному) уровню воздействия.

Коэффициент опасности элемента ($K_{\text{оп}}$) – соотношение между концентрацией поллютанта в биомассе растения и его предельно допустимой концентрацией.

Кумулятивный риск – вероятность развития вредного эффекта в результате одновременного поступления в организм всеми возможными путями химических веществ, обладающих сходным механизмом действия.

Микроэлементы – химические элементы, содержащиеся в растительных и животных организмах в малых количествах (в тысячных и меньших долях процента) и участвующие в промежуточных процессах обмена веществ в качестве биологических активаторов, влияя на основные функции живых организмов: рост, развитие, размножение. К ним относятся марганец, бор, йод, медь, молибден, бор, фтор, цинк.

Мониторинг окружающей среды – система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду – нормативы, которые установлены в соответствии с величиной допустимого совокупного воздействия всех источников на окружающую среду и (или) отдельные компоненты природной среды в пределах конкретных территорий и при соблюдении которых обеспечивается устойчивое функционирование естественных экологических систем и сохраняется биологическое разнообразие.

Нормативы предельно допустимых концентраций химических и иных веществ – нормативы, установленные в соответствии с показателями предельно допустимого содержания химических и иных веществ в окружающей среде, несоблюдение которых приводит к причинению экологического вреда.

Окружающая среда – совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов.

Оценка риска для здоровья – процесс установления вероятности развития и степени выраженности неблагоприятных последствий для здоровья человека или здоровья будущих поколений, обусловленных воздействием факторов среды обитания.

Популяционный риск – агрегированная мера ожидаемой частоты вредных эффектов среди всех подвергшихся воздействию людей.

Предельно допустимый риск – верхняя граница приемлемого риска, превышение которой требует применения дополнительных мер по его снижению.

Приемлемый риск – уровень риска развития неблагоприятного эффекта, который не требует принятия дополнительных мер по его снижению, и оцениваемый как независимый, незначительный по отношению к рискам, существующим в повседневной деятельности и жизни населения.

Природная среда – совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов.

Природно-антропогенный объект – природный объект, измененный в результате хозяйственной и иной деятельности, и (или) объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение.

Причинение вреда окружающей среде – вредное воздействие на окружающую среду, связанное с нарушением требований в области охраны окружающей среды путем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов сточных вод в водные объекты с превышением установленных нормативов допустимых выбросов и сбросов химических и иных веществ по одному или более загрязняющему веществу или в отсутствие таких нормативов, если их установление требуется законодательством, незаконного изъятия дикорастущих растений и (или) их частей, диких животных, других природных ресурсов.

Распространение информации о риске (коммуникация о риске) – элемент анализа риска, предусматривающий взаимный обмен информацией между специалистами по оценке риска, лицами, принимающими управленческие решения, средствами массовой информации, заинтересованными группами и широкой общественностью.

Распространение экологической информации – действия обладателей экологической информации, направленные на ее доведение до

сведения государственных органов, других государственных организаций, иных юридических лиц и граждан, в том числе индивидуальных предпринимателей, путем ее размещения в печатных изданиях, других средствах массовой информации, на своих официальных сайтах в глобальной компьютерной сети Интернет или иными общедоступными способами.

Референтная доза/концентрация – суточное воздействие химического вещества в течение всей жизни, которое устанавливается с учетом всех имеющихся современных научных данных и, вероятно, не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья чувствительных групп населения.

Риск – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

Риск для здоровья – вероятность развития угрозы жизни или здоровью человека либо угрозы жизни или здоровью будущих поколений, обусловленная воздействием факторов среды обитания.

Тяжелые металлы – химические элементы, атомная масса которых превышает 50 атомных единиц массы, а удельный вес – 5 г/см³, к числу которых относят более 40 элементов: Pb, Zn, Cd, Hg, Cu, Mo, Mn, Ni, Sn, Co и др.

Управление риском – процесс принятия решений, включающий рассмотрение совокупности политических, социальных, экономических медико-социальных и технических факторов совместно с соответствующей информацией по оценке риска с целью разработки оптимальных решений по устранению или снижению уровней риска, а также способам последующего контроля (мониторинга) экспозиций и рисков.

Урбаноземы – почвы, формирующиеся на антропогенно нарушенных (с инородными включениями, нарушенным сложением) грунтах, не подвергавшихся целенаправленной рекультивации на всю глубину корнеобитаемого слоя (до 1,5 м) и имеющих гумусированный горизонт (искусственно созданный, либо сформированный почвообразующими процессами *in situ*).

Факторы риска – факторы, провоцирующие или увеличивающие риск развития определенных заболеваний.

Характеристика риска – этап оценки риска, на котором синтезируются данные, полученные на предшествующих этапах исследова-

ний, проводится расчет и ранжирование рисков, источников их образования, воздействующих сред и путей поступления химических веществ в организм, а также анализ всех неопределенностей для обоснования выводов и рекомендаций, необходимых для управления риском.

Экологическая безопасность – состояние защищенности окружающей среды, жизни и здоровья граждан от возможного вредного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Экологическая информация – документированная информация, содержащая сведения о состоянии окружающей среды, воздействиях на нее и мерах по ее охране, а также о воздействиях окружающей среды на человека.

Экологический вред – вред, причиненный окружающей среде, а также вред, причиненный жизни, здоровью и имуществу граждан, в том числе индивидуальных предпринимателей, имуществу юридических лиц и имуществу, находящемуся в собственности государства, в результате вредного воздействия на окружающую среду;

Экологический риск – вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для окружающей среды и вызванного вредным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.

Экспозиция (уровень воздействия) – контакт организма (рецептора) с химическим, физическим или биологическим агентом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водяницкий, Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю. Н. Водяницкий. – Москва: ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, 2008. – 86 с.
2. Ковда, В. А. Биогеохимия почвенного покрова / В. А. Ковда. – Москва, 1985. – 262 с.
3. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. Межгосударственный стандарт: ГОСТ 17.4.1.02-83. – Введ. 01.01.85. (переиздан август 2008 г.). – Москва: Стандартинформ, 2008. – 4 с.
4. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас; пер. с англ. – Москва: Мир, 1989. – 439 с.
5. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі в умовах посиленого антропогенного впливу на навколишнє середовище / Т. М. Мислива, Л. О. Герасимчук, В. О. Греков, В. А. Трембіцький; за ред. Т. М. Мисливої. – Житомир, 2011. – 50 с.
6. Мыслыва, Т. Н. Использование геостатистических инструментов для оценки пространственного распределения кислоторастворимой меди в почве / Т. Н. Мыслыва // Вестник БГСХА. – 2020. – № 2. – С. 170–175.
7. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 275 с.
8. Школьник, М. Я. Микроэлементы в жизни растений / М. Я. Школьник. – Москва: Наука, 1978. – 250 с.
9. Мыслыва, Т. Н. Использование геостатистических инструментов для оценки пространственного распределения кислоторастворимого цинка в почве / Т. Н. Мыслыва // Вестник БГСХА. – 2020. – № 3. – С. 205–211.
10. Мислива, Т. М. Свинць і кадмій у ґрунтах агроландшафтів Житомирського Полісся / Т. М. Мислива // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2013. – Вип. 3 (25). – С. 43–50.
11. Влияние высоких концентраций тяжелых металлов на гумусное состояние и биологическую активность чернозема обыкновенного карбонатного / О. С. Безуглова, В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев [и др.] // Известия высших учебных заведений. – Северо-Кавказский регион. Сер. Естественные науки. – 1999. – № 2. – С. 65–71.
12. Головатый, С. Е. Содержание миграционно-активных форм свинца в дерново-подзолистых и торфяных почвах / С. Е. Головатый, Н. К. Лукашенко, З. С. Ковалевич // Экологический вестник. – 2010. – № 3 (13). – С. 15–22.
13. Hertz-Picciotto, I. The evidence that lead increases the risk for spontaneous abortion / I. Hertz-Picciotto // American Journal of Industrial Medicine. – 2000. – Vol. 38. – P. 300–309.
14. Соколов, О. А. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды / О. А. Соколов, В. А. Черников. – Пушино, ОНТИ ПНЦ РАН, 1999. – 164 с.
15. Миграция кадмия, цинка, свинца и стронция из дерново-подзолистых почв / И. А. Шильников, М. М. Овчаренко, М. В. Никифорова, Н. И. Аканова // Агрохимический вестник. – 1998. – № 5–6. – С. 43–44.
16. Карпиченко, А. А. Накопление титана, марганца и хрома в почвах г. Пинска / А. А. Карпиченко, Н. К. Чертко / Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. докл. Междунар. науч. конф. (Минск, 14–17 сент. 2016 г.) / Нац. акад. наук Беларуси. – Минск, 2016. – С. 237–240.
17. Otto, D. A. Environmental manganese: guideline exposure levels, evidence of health effects and research needs / D. A. Otto, H. K. Hudnell // Presented at 8th International Symposium on Neurobehavioral Methods and Effects in Occupational and Environmental Health. Brescia, Italy, 2002. – P. 23–26.

18. Agroecological responses of heavy metal pollution with special emphasis on soil health and plant performances / V. Srivastava, A. Sarkar, S. Singh [et al.] // *Frontiers in Environmental Sciences*. – 2017. – Vol. 5. – P. 64.
19. Об утверждении инструкции об организации работ по проведению мониторинга земель. – [Электронный ресурс]: постановление Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь № 68 от 22 декабря 2009 г. – Режим доступа: <http://pravo.levonevsky.org>.
20. Левшук, О. Н. Риск загрязнения тяжелыми металлами урбаноземов г. Горки / О. Н. Левшук // *Вестник БГСХА*. – 2020. – № 3. – С. 217–225.
21. Мислива, Т. М. Важкі метали в урбаноземах агроселітебних ландшафтів південно-західної частини м. Житомира / Т. М. Мислива, Л. О. Герасимчук // *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. – Сер. Агрономія. – 2011. – Вип. 162. – Ч. 1. – С. 155–165.
22. Надточий, П. П. Канцерогенный и не канцерогенный риск от употребления картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Житомир / П. П. Надточий, Т. Н. Мыслыва, Ю. А. Белявский // *Экологический вестник*. – 2015. – № 1. – С. 80–87.
23. *Здравоохранение в Республике Беларусь [Электронное издание]: офиц. стат. сб. за 2018 г.* – Минск: ГУ РНПЦ МТ, 2019. – 261 с.
24. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г. Г. Онищенко, С. М. Новиков, Ю. А. Рахманин [и др.] / под ред. Ю. А. Рахманина, Г. Г. Онищенко. – Москва, 2002. – 408 с.
25. Методика оценки риска здоровью населения факторов среды обитания: инструкция по применению № 025-1211 от 08.06.2012 г. / ГУ «Республиканский научно-практический центр гигиены». – Минск, 2012. – 23 с.
26. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. – [Электронный ресурс] : СанПиН 42-123-4089-86; введ. 31.03.1986 г. – Режим доступа: http://www.libusnr.ru/doc_ussr/usr_13248.htm.
27. Liu, X. Phytoextraction: a cost-effective approach to metal contaminated soils / X. Liu, B. Xing // *Journal of Northeast Agricultural University*. – 2003. – Vol. 10. Issue 2. – P. 182–187.
28. Ильинский, А. В. Биологическая очистка почв, загрязненных тяжелыми металлами / А. В. Ильинский // *Агрохимический вестник*. – 2003. – № 5. – С. 30–32.
29. Effects of a copper-tolerant grass on the ecosystem of copper-contaminated arable soil / G. T. Boon, L. A. Bouwman, J. Bloem, P. F. Romkens // *Environmental Toxicology and Chemistry*. – 1998. – Vol. 17 (10). – P. 1964–1971.
30. In situ phytoremediation of copper and cadmium in a co-contaminated soil and its biological and physical effects / X. Lei, X. Xiangyu, L. Jiani [et al.] // *RSC Advances*. – 2019. – Vol. 9. – P. 993–1003. doi: 10.1039/c8ra07645f.
31. Состояние травянистой растительности и накопление тяжелых металлов растениями, произрастающими в условиях техногенного загрязнения почвы / Ю. В. Батова, Н. М. Казнина, А. Ф. Титов, Г. Ф. Лайдинен // *Вестник Тамбовского университета*. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – Т. 19. – Вып. 5. – С. 1642–1645.
32. Івашенко, О. О. Бур'яни в агрофітоценозах / О. О. Івашенко. – К., 2001. – 240 с.
33. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Ю. А. Рахманин, С. М. Новиков, Т. А. Шашина [и др.]. – Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Экотоксикологическая характеристика тяжелых металлов.....	4
2. Загрязнение тяжелыми металлами почвенного покрова агроселитебных ландшафтов	16
3. Загрязнение тяжелыми металлами картофеля и овощей в пределах агроселитебных ландшафтов	20
4. Канцерогенный и не канцерогенный риск для населения от потребления картофеля и овощей, загрязненных тяжелыми металлами	26
5. Рекомендации по управлению риском для населения от загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами.....	32
Заключение.....	41
Перечень основных терминов и понятий.....	41
Библиографический список	47

Практическое издание

Мыслыва Тамара Николаевна
Левшук Оксана Николаевна

ВЕДЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ОГОРОДНИЧЕСТВА
В УСЛОВИЯХ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ

Рекомендации

Редактор *Е. П. Савиц*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 03.02.2022. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 3,02. Уч.-изд. л. 2,57.
Тираж 100 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.