

Работа № 4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Одним из наиболее мощных факторов разрушения природы является загрязнение окружающей среды *тяжелыми металлами*. К ним относятся химические элементы, имеющие плотность более 6 г/см³ и атомную массу свыше 40.

Тяжелые металлы являются частью природы. Они входят в состав почв, пресных и морских вод, содержатся в растительных и животных организмах. В зависимости от количественного содержания и функциональной значимости для живых организмов их делят на три группы. *К первой группе* относят те элементы, которые требуются организмам постоянно и в большом количестве. Их содержание изменяется от 60 до 0,001 % от массы тела. Это кальций, магний, железо. *Ко второй группе* также относятся элементы, необходимые для жизнедеятельности, но в значительно меньших концентрациях. Содержание их изменяется от 0,001 до 0,00001 %. К ним относятся марганец, кобальт, медь, молибден, цинк, ванадий, алюминий. Эти элементы входят в состав ферментов и гормонов.

Концентрация элементов третьей группы не превышает 0,00001 % массы тела. Физиологическая роль отдельных металлов этой группы полностью не выяснена. Сюда входят уран, радий, золото, ртуть, бериллий, свинец, кадмий и др. Поэтому как недостаток, так и избыток их поступления в организм негативно влияют на процессы жизнедеятельности.

Тяжелые металлы в зависимости от биологических особенностей живых объектов, возрастного состояния, действующей концентрации, экологической обстановки вызывают существенные морфологические изменения в организме. Главными из них являются:

- онкогенез и развитие злокачественных опухолей;
- мутагенез – нарушения в соматических клетках и гаметях;
- тератогенез – нарушение структуры и функции отдельных органов, систем и тканей;
- эмбриотоксичность – накопление в эмбрионе и нарушение его развития;
- ингибирование или стимулирование ферментативных процессов;
- некрозы;
- токсикозы.

Эти изменения могут возникнуть по отдельности или в различных временных и пространственных сочетаниях друг с другом.

Содержание тяжелых металлов в овощах и фруктах.

Среди продуктов растительного происхождения, содержащих кобальт следует выделить: злаки, бобовые, картофель, капусту, перец красный, петрушку, редьку, салат, свеклу, зеленый лук, землянику, ежевику, малину, смородину, фундук (лесной орех).

Больше всего меди содержится в растениях лука, петрушки, редьки и кабачков. Значительно меньше содержится меди в продукции растений кукурузы и картофеля.

В значительных количествах цинк находится в следующих продуктах: фасоли, горохе, луке репчатом и зеленом, огурцах, чесноке, кабачках. Немного меньше его в картофеле, моркови, петрушке, редьке, томатах, укропе, землянике, крыжовнике, малине. Очень много цинка в злаках, белых грибах и больше всего в семенах конопли. В незначительных количествах он содержится в баклажанах, арбузе, перце красном, хрене, шпинате, абрикосе, сливе, клюкве, черешне, печени, почках, говядине, сырых яйцах. При хранении пищевых продуктов в цинковой посуде могут накапливаться ядовитые соединения цинка – хлориды, сульфаты.

Наибольшей аккумуляцией элементов отличались столовая свекла и картофель.

К растениям, которые накапливают большие количества марганца (т. е. маргангофиллы), относятся: горох, фасоль, укроп, петрушка, свекла, хрен, шпинат, щавель, морковь, лук, чеснок, грибы, виноград, земляника, клюква, крыжовник, малина, смородина, яблони, груши.

Особенности распределения тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции.

Поступая в растения, тяжелые металлы распределяются в их органах и тканях неравномерно.

Органы накопления ассимилятов (корнеплоды, клубни, плоды) содержат значительно меньше тяжелых металлов, чем вегетативная масса растений. Это можно считать положительным фактом, поскольку именно они составляют хозяйственно ценную часть основных овощных культур.

Содержание тяжелых металлов в корнеплодах моркови (кроме железа) убывает от кончика до головки. Однако высокое содержание железа отмечается в головке моркови. В центральной части корнеплода содержится повышенное количество цинка и свинца.

Для корнеплода столовой свеклы характерно повышенное содержание всех элементов в нижней части (кроме меди). Наименьшее содержание меди и железа отмечено в средней части корнеплода. В центральном цилиндре свеклы наблюдается повышенное количество цинка и свинца.

В мякоти клубней картофеля содержится минимальное количество кадмия, цинка и свинца. Для периферийной части клубней характерно повышенное количество железа. Медь распределена равномерно во всех частях клубня.

В плодах кабачка, тыквы и огурца тяжелые металлы рассредоточены примерно одинаково по всей их длине, кроме зоны, примыкающей к плодоножке (примерно треть-четверть плода). В этой зоне содержание тяжелых металлов в 1,5–3,0 раза выше.

В капусте отмечено повышенное содержание цинка и пониженное – кальция. Содержание всех элементов возрастает (примерно в 3–5 раз) от внешних листьев кочана к кочерыге.

Наибольшее количество свинца в репродуктивных органах зерновых

культур, гречихи и подсолнечника сосредоточено в зародыше зерновки, плода и семени. У пшеницы, гречихи и овса в эндосперме содержится большее количество этого элемента, чем в оболочке, тогда как у ячменя наоборот.

Для зеленных культур характерно более высокое содержание свинца в черешках, чем в листовых пластинках. Причем наибольшее количество свинца во всех органах растения наблюдается у укропа, щавеля, салата.

Источники поступления тяжелых металлов могут быть природными (естественными) и техногенными.

К *природным источникам* относятся: выветривание горных пород, эрозионные процессы, разлом литосферных плит, вулканическая деятельность.

К *техногенным* относят следующие:

– выброс при высокотемпературных технологических процессах (из плавильных печей, при производстве стали и сплавов цветных металлов, при обжиге цементного сырья, при сжигании природного органического топлива);

– орошение сточными промышленными водами;

– вторичное загрязнение вследствие выноса тяжелых металлов из отвалов рудников или металлургических предприятий водными или воздушными потоками;

– поступление в почву при постоянном внесении высоких доз органических и минеральных удобрений, пестицидов, регуляторов роста;

– выбросы автомобильного транспорта.

Приемы снижения поступления тяжелых металлов в сельскохозяйственную продукцию:

- оптимизация доз внесения органических и минеральных удобрений, пестицидов, регуляторов роста;

- известкование кислых почв;

- возделывание сортов, устойчивых к накоплению тяжелых металлов;

- возделывание на загрязненных землях технических (лен, рапс, сахарная свекла и др.) и декоративных культур;

- внесение на загрязненные земли веществ, связывающих тяжелые металлы (цеолиты);

- выведение загрязненных земель из сельскохозяйственного оборота;

- снятие верхнего загрязненного слоя почвы.

Характеристика тяжелых металлов.

Ртуть проникает в воздух в результате сжигания ископаемого топлива. Анализ льда Гренландского ледяного купола показал, что, начиная с 800 г. н. э. до 1950-х гг., содержание ртути оставалось постоянным, но уже с 50-х гг. нашего столетия количество ртути удвоилось.

Ртуть и ее соединения опасны для жизни и относятся к 1-му классу опасности. Метилртуть особенно токсична для животных и человека, так как она быстро переходит из крови в мозговую ткань, разрушая мозжечок и кору

головного мозга. Клинические симптомы такого поражения – оцепенение, потеря ориентации в пространстве, потеря зрения. Другим последствием отравления метилртутью является проникновение ртути в плаценту и накопление ее в плоде, причем мать не испытывает при этом болезненных ощущений.

Металлическая ртуть опасна, если ее проглотить и вдыхать ее пары. При этом у человека появляются металлический вкус во рту, тошнота, рвота, колики в животе, зубы чернеют и начинают крошиться.

Соли ртути разъедают кожу и слизистые оболочки тела. Попадание солей ртути внутрь организма вызывает воспаление зева, затрудненное глотание, оцепенение, рвоту, боли в животе.

У взрослого человека при попадании внутрь около 350 мг ртути может наступить смерть.

Свинец содержится в магматических породах и относится к категории редких металлов. Концентрируется в сульфидных породах, которые встречаются во многих местах в мире. Ежегодно в мире в результате воздействия атмосферных процессов мигрирует около 180 тыс. т свинца. При добыче и переработке свинцовых руд теряется более 20 % свинца.

Наиболее серьезным источником загрязнения окружающей среды свинцом являются выхлопы автомобильных двигателей. Антидетонатор тетраметил, или тетраэтилсвинец, прибавляют к большинству бензинов, начиная с 1923 г., в количестве около 80 мг/л. При движении автомобиля от 25 до 75 % этого свинца в зависимости от условий движения выбрасывается в атмосферу. Основная его масса осаждается на землю, но и в воздухе остается заметная ее часть.

Активными источниками загрязнения свинцом являются также электростанции и бытовые печи, работающие на угле. Источниками загрязнения свинцом в быту могут быть глиняная посуда, покрытая глазурью (свинец содержится в красящих пигментах).

Он токсичен и относится к 1-му классу опасности. Неорганические его соединения нарушают обмен веществ и являются ингибиторами ферментов (подобно большинству тяжелых металлов). Одним из наиболее опасных последствий действия неорганических соединений свинца считается его способность заменять кальций в костях и быть постоянным источником отравления в течение длительного времени. Биологический период полураспада свинца в костях составляет около десяти лет. Количество свинца, накопленного в костях, с возрастом увеличивается, и в 30–40 лет у лиц, по роду занятий не связанных с загрязнением свинцом, составляет 80–200 мг. Органические соединения свинца считаются еще более токсичными, чем неорганические.

Кадмий. Около 1 млн. кг кадмия попадает в атмосферу ежегодно в результате деятельности заводов по его выплавке, что составляет около 45 % от общего загрязнения этим элементом, 52 % загрязнений попадают в результате сжигания или переработки изделий, содержащих кадмий. Кадмий обладает относительно высокой летучестью, поэтому он легко проникает в

атмосферу.

Кадмий и его соединения относятся к 1-му классу опасности. При хроническом отравлении элементом в моче появляется белок, повышается кровяное давление. Он проникает в человеческий организм в течение продолжительного периода. Вдыхание воздуха в течение восьми часов при концентрации кадмия 5 мг/м^3 может привести к смерти.

Цинк. Наиболее серьезными источниками загрязнения атмосферы цинком являются заводы по выплавке цинка и гальванические производства.

Цинк наименее токсичен из всех вышеперечисленных тяжелых металлов. Его физиологическое воздействие заключается в активации ферментов. В больших количествах он вызывает рвоту, эта доза составляет примерно 150 мг для взрослого человека.

Мышьяк в природе присутствует в виде сульфатов. Его содержание в свинцово-цинковых концентратах составляет около 1 %. Вследствие летучести он легко попадает в атмосферу.

Источниками загрязнения этим металлом являются гербициды (химические вещества для борьбы с сорными растениями), фунгициды (вещества для борьбы с грибными болезнями растений) и инсектициды (вещества для борьбы с вредными насекомыми).

По токсическим свойствам мышьяк относится к накапливающимся ядам. По степени токсичности следует различать элементарный мышьяк и его соединения. Элементарный мышьяк сравнительно мало ядовит, но обладает тератогенными и мутагенными свойствами.

Мышьяк и его соединения относятся ко 2-му классу опасности, медленно поглощаются через кожу, быстро всасываются через легкие и желудочно-кишечный тракт. Смертельная доза для человека – 0,15–0,3 г. Хроническое отравление вызывает нервные заболевания, слабость, онемение конечностей, зуд, потемнение кожи, атрофию костного мозга, изменения в печени. Соединения мышьяка являются канцерогенными для человека.

Кобальт не является широко распространенным веществом. Он поступает в атмосферу от сталелитейной промышленности и предприятий по производству синтетических материалов. Этот элемент опасен для жизни организмов ввиду его чрезвычайно высокой реакционной способности и относится к 1-му классу опасности. При попадании внутрь в больших количествах кобальт отрицательно влияет на содержание гемоглобина в крови человека и может вызвать заболевания крови. Предполагают, что металл вызывает базедову болезнь.

Медь обнаруживают в сульфидных осадках вместе со свинцом, кадмием и цинком. Она присутствует в небольших количествах в цинковых концентратах и может переноситься на большие расстояния с воздухом и водой. Аномальное содержание меди обнаруживается в растениях и почвах на расстоянии более 8 км от плавильного завода. Соли меди относятся ко 2-му классу опасности. Токсические свойства элемента изучены гораздо меньше, чем других тяжелых металлов. Поглощение больших количеств меди человеком приводит к болезни Вильсона, при этом избыток элемента

откладывается в мозговой ткани, коже, печени, поджелудочной железе.

Марганец. Основные источники его поступления – производство легированных сталей, сплавов, электрических батарей и других химических источников тока. Марганец относится ко 2-му классу опасности. Присутствие элемента в воздухе сверх нормы вредно влияет на организм человека, что выражается в прогрессирующем разрушении центральной нервной системы.

Исходя из огромной опасности, которую несут в себе эти элементы, появилась необходимость прогноза возможного загрязнения сельскохозяйственной продукции для хозяйств, расположенных в зоне транспортного и промышленного загрязнения.

Задания.

1. Спрогнозировать возможное содержание тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции, выращенной в зоне загрязнения.

2. Определить качественное состояние продукции.

3. Разработать мероприятия по снижению загрязнений продукции тяжелыми металлами.

Методика выполнения работы. Первоначально определяют общее содержание каждого элемента в пахотном слое, которое складывается из запасов элемента в почве и той массы, которая вносится с минеральными и органическими удобрениями при возделывании сельскохозяйственных культур:

$$W_{\text{общ}} = W_{\text{почвы}} + W_{\text{удобрений}}.$$

Запасы элемента в пахотном слое почвы определяют по формуле

$$W_{\text{почвы}} = (c \cdot h \cdot a) \cdot 0,1 \cdot 10^6 \text{ (мг/га)}$$

где c – содержание элемента в воздушно-сухой почве, мг/кг (прил. 1);

a – плотность почвы, г/см³ (для торфяно-болотных почв – 0,15–0,2, для минеральных – 1,0–1,3);

h – высота пахотного горизонта, м.

Поступление тяжелого элемента с удобрениями рассчитывают по уравнению

$$W_{\text{уд}} = V \cdot n \text{ (мг/га)},$$

где V – доза удобрения, вносимая в физическом весе, кг/га (прил. 2);

n – содержание элемента в 1 кг удобрения, мг (прил. 3).

Данные заносятся в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Поступление в почву тяжелых элементов с удобрениями

Культура	Вид удобрения	Доза удобрения		Поступление элемента с удобрениями, мг/га				W _{уд} , мг/га			
		д. в., кг/га	в физ. весе, кг/га	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu
	1										
	Сумма										

Затем, используя данные о выносе тяжелых элементов различными органами растений (прил. 5), находят его содержание в товарном урожае культуры с площади в 1 га:

$$V = \frac{W_{\text{общ}} \cdot q}{100},$$

где V – содержание элемента в товарной части продукции, мг/га;

W_{общ} – общее содержание элемента в пахотном слое, мг/га;

q – переход элемента в органы растений, % от общего запаса в почве (прил. 4).

Уровень загрязнения тяжелым металлом продукции (УЗ) определяют как частное между содержанием токсиканта в товарной продукции (мг) и урожайностью (кг/га). Полученные результаты сопоставляют с санитарно-гигиеническими нормами (прил. 5). Данные заносят в табл. 2 и делают соответствующие выводы о качестве продукции.

Т а б л и ц а 2. Возможное накопление элементов Pb, Cd, Cu, Zn в сельскохозяйственной продукции

Культура	Вынос элемента % от общего содержания в почве				Вынос элемента всей продукцией с 1 га, мг/га (V)				Возможное накопление элемента в 1 кг продукции, мг/кг (УЗ)				ПДК, мг/кг продукции				Качество продукции			
	Pb	C	C	Zn	Pb	C	C	Zn	Pb	C	C	Zn	Pb	C	C	Zn	Pb	C	C	Zn

Оценка качества ведется следующим образом:

концентрация ТМ < ПДК – допустимое содержание;

концентрация ТМ > ПДК – недопустимое содержание.

Тяжелые металлы в организм человека поступают главным образом с продуктами питания. Поэтому для получения экологически безопасной

продукции растениеводства на сельскохозяйственных угодьях с избыточным содержанием в почве элементов необходимо осуществлять ряд мероприятий организационного и технологического характера.

Используя материалы прил. 6, необходимо разработать мероприятия по улучшению экологической обстановки в почвах сельскохозяйственных угодий.

Проектируемые приемы оформить в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Мероприятия по оптимизации содержания тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции

Наименование сельскохозяйственных угодий	Приемы	Эффективность, %				Остаточное содержание, мг/кг			
		Cd	Pb	Zn	Cu	Cd	Pb	Zn	Cu

Приложение 1

Содержание тяжелых металлов в 0–20 сантиметровом слое почвы загрязненных городов Беларуси

Город	Содержание тяжелых металлов, мг на 1 кг почвы					
	Cd	Zn	Pb	Cu	Ni	Mn
Гомель	0,15	64,2	32,6	18,5	7,8	216
Брест	0,45	38,6	36,1	7,1	5,0	120
Витебск	0,40	64,6	28,4	15,9	6,2	179
Могилев	0,27	22,8	21,6	18,2	7,8	195
Бобруйск	0,40	76,1	32,1	13,2	4,8	200
Орша	0,56	55,3	24,9	18,2	6,6	241
Пинск	0,36	32,3	22,0	8,6	4,8	96
Борисов	0,25	63,9	23,3	7,7	3,9	92
Сморгонь	0,40	31,3	17,6	7,8	5,3	149
Светлогорск	0,33	21,4	14,6	3,6	3,1	201
Молодечно	0,46	28,3	14,6	7,8	5,1	147
Солигорск	0,15	28,3	15,2	7,4	3,7	87
Новополоцк	0,25	24,8	18,9	4,6	5,4	241
Фоновое содержание	0,02	–	0,5	–	–	–

Содержание основных элементов питания в некоторых видах минеральных удобрений, %

Вид удобрений	Содержание действующего вещества		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Аммиачная селитра	34–35	–	–
Мочевина	46	–	–
Суперфосфат простой	–	14–19,5	–
Суперфосфат двойной	–	45	–
Фосмука	–	19–30	–
Хлористый калий	–	–	58,1–62,5
Нитрофоска	11–17	8,5–17	10–17
Нитроаммофос	17–25	20–24	–

Содержание тяжелых металлов в некоторых видах минеральных удобрений, мг/кг

Вид удобрений	Fe	Mn	Cu	Ni	Cr	Pb	Zn	Cd
Апатит	710	49,5	11,3	3,0	1,7	9,8	7,5	–
Нитрофоска	360	67,5	11,3	6,0	3,3	14,8	9,0	0,03
Нитроаммофос	272	181	8,5	0,8	8,8	9,8	0,38	20,0
Суперфосфат простой	643	113,3	32	6,0	3,3	15,5	50,0	50,0
Суперфосфат двойной	1468	455	7,2	35,0	6,8	31,8	1430	170
Фосмука	865	172,5	2,5	20,8	6,5	14,5	42,8	0,23
Аммиачная селитра	25	2,0	0,8	7,5	–	13,0	6,0	0,25
Мочевина	–	–	201,9	–	–	174,4	186,4	1,3
Хлористый калий	403	15	4,5	13,3	–	12,5	12,3	4,25

**Накопление тяжелых металлов различными частями растений,
% от содержания (в период уборки)**

Культура	Части растений	Pb	Cd	Cu	Zn
Зерновые культуры	Корень	12–17	68–77	30–74	20–50
	Солома	5–8	12–17	11–54	10–20
	Зерно	4–5	4–5	10–49	10–52
Кормовые, овощные культуры	Корень	5–9	6–34	59–98	20–44
	Лист	6–12	30–34	10–74	11–70
	Стебель	8–10	8–9	9–40	5–54
	Плод	2–11	5–6	7–44	6–38
	Клубень	11–12	4–7	12–18	11–74
Плодовые культуры	Плоды	3–5	4–6	19–62	12–70

Временные гигиенические нормативы содержания некоторых химических элементов в основных пищевых продуктах, мг/кг

Элемент	ПДК				
	Молочные продукты	Хлеб (зерно)	Овощи	Фрукты	Соки
Железо	3,0	50,0	50,0	50,0	15,0
Йод	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0
Кадмий	0,01	0,022	0,03	0,03	0,022
Медь	0,5	5,0	10,0	10,0	5,0
Мышьяк	0,05	0,2	0,2	0,2	0,2
Никель	0,1	0,5	0,5	0,5	0,3
Олово	100	–	200	100	100
Ртуть	0,005	0,01	0,02	0,01	0,005
Свинец	0,05	0,2	0,5	0,4	0,4
Селен	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Сурьма	0,05	0,1	0,3	0,3	0,2
Хром	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Фтор	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Цинк	5,0	25,0	10,0	10,0	10,0

**Эффективность мероприятий по снижению накопления тяжелых металлов
в сельскохозяйственной продукции**

Агротехнические приемы	Эффективность, %			
	Cd	Pb	Zn	Cu
Известкование кислых почв	50–60	30–40	40–50	20–40
Внесение органических удобрений: в дозе 50 т/га 100 т/га	20–40	10–20	50–60	20–30
	30–59	25–40		
Внесение органических мелиорантов: лигнита в дозе 50 т/га 100 т/га	40–50	13–26		
	50–60	20–40		
цеолитов в дозе 100 т/га	15–30	10–30		
сапропелей в дозе 50 т/га	36–50	20–30		
Регулирование водного режима почв	50–60	45–50	45–50	
Посев технических культур, продукция которых не используется человеком в пищу и в качестве корма животным				