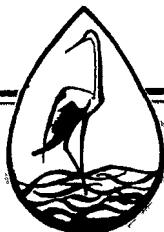


ИНСТИТУТ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ БИОЛОГИИ РАН
МОСКОВСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ им К А ТИМИРЯЗЕВА
ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ УДОБРЕНИЙ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЯ РАСХН



О.А.СОКОЛОВ, В.А.ЧЕРНИКОВ

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

КНИГА 1

АТЛАС

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Рекомендовано Министерством сельского хозяйства и
продовольствия РФ в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений по агрономическим специальностям*

ПУЩИНО • 1999

УДК 631.95:614.76

Соколов О.А., Черников В.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Книга 1. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. – Пущино, ОНТИ ПНЦ РАН, 1999, 164 с.

В связи с все увеличивающимся процессом загрязнения биосферы особый интерес и важное практическое значение приобретает познание механизмов и закономерностей поведения и распределения тяжелых металлов (ТМ) в окружающей среде обитания человека. Основной источник поступления ТМ в биосферу – антропогенный: выбросы и отходы промышленных предприятий, автотранспорт, твердые бытовые отходы, осадки сточных вод и сжигания органического топлива.

В объектах окружающей среды (растения, грибы, рыбы, птицы, дикие и сельскохозяйственные животные, человек) на уровне органа или организма ТМ распределяются неравномерно, что обусловлено механизмами их поступления, депонирования и взаимодействия с компонентами клеток и тканей живых организмов. Познание закономерности неравномерного распределения ТМ является базой системы мероприятий по снижению загрязнения ими объектов окружающей среды.

Атлас представляет интерес для широкого круга читателей и специалистов в области экологии, токсикологии, гигиены, медицины, почвоведения, физиологии и биохимии растений, животных и человека, агрохимии, охраны окружающей среды, селекции и, несомненно, послужит учебным пособием для студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей вузов, для школьников старших классов общеобразовательных и специализированных школ.

Атлас – это настольная книга для широкого круга потребителей, садоводов-огородников, необходимое пособие при покупке или приобретении только качественной продукции, правильного понимания информации, изложенной в сертификатах.

Sokolov O.A., Chernikov V.A. Ecological Safety and Sustainable development. Book 1. Atlas of distribution of heavy metals in environmental objects. – Pushchino, ONTI PSC RAS, 1999.

Due to increasing pollution in the biosphere are of special interest and important practical value the elucidation of the mechanisms and regularities in behavior and distribution of heavy metals (HM) in the man's habitat. Anthropogenic source of HM income into the biosphere is the main: discharge and waste of industrial enterprises, transport, solid everyday waste products, precipitate of sewage and residues from burning of organic fuel.

Heavy metals are unequally distributed in the environmental objects (plants, mushrooms, fishes, birds, wild and domestic animals, the man) in an organ or organism. The basis for this process is the mechanisms of HM income, deposit and interaction with the components of cells and tissues of living organisms. Unequal distribution of HM provides a basis for the measures for lowering the pollution in environmental objects.

Atlas is of interest to a wide range of readers and specialists working in the field of ecology, toxicology, hygiene, soil science, physiology and biochemistry of plants, animals and the man, agrochemistry, environmental protection, breeding.

It is of practical value for senior pupils studying in specialized schools and that ones of general education, as well as it may be helpful for the students, holders of a master's degree, post-graduate students, and the lectures.

Экологический кризис в плане загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами касается прежде всего каждого из нас, потому что без решения вопроса, что мы должны изменить в себе, нам не выжить. Данная работа и направлена на решение этой проблемы, поскольку служит основой для осмысливания того, что мы делаем, находясь на планете Земля.

Из большого числа разнообразных химических веществ, поступающих в окружающую среду из антропогенных источников, особое место занимают тяжелые металлы (ТМ). В связи с увеличивающимся загрязнением биосферы особый интерес и важное практическое значение имеет, с одной стороны, познание механизмов и закономерностей поведения и распределения ТМ в окружающей среде, с другой, тот факт, что свыше 90% всех болезней человека прямо или косвенно связано с состоянием окружающей среды, которая является либо причиной возникновения заболеваний, либо способствует их развитию. ТМ вызывают сердечно-сосудистые расстройства, тяжелые формы аллергии, обладают эмбриотропным и канцерогенным свойствами. Они являются генетическими ядами, поскольку аккумулируются в организме с отдаленным эффектом действия, проявляющимся в наследственных заболеваниях, умственных расстройствах и т. д.

Проблема ТМ в современных условиях производства — глобальная, поэтому необходимы соответствующие меры по предотвращению загрязнения окружающей среды. Опасность

проблемы состоит еще и в том, что для ТМ существует ряд альтернативных путей поступления и аккумуляции их в продукции.

Особая проблема возникает в связи с загрязнением почвы и воды редкими и рассеянными элементами, обладающими биоцидным действием, например, ртутью, кадмием, свинцом, мышьяком, селеном и другими, применение которых в качестве пестицидов сильно ограничено или вообще запрещено. Загрязнение ими почвы и воды создает во многих районах земного шара постоянный фон, обеспечивающий их стабильную концентрацию в продуктах питания и кормах. В связи с этим необходима соответствующая очистка сточных вод предприятий, использующих соединения ТМ.

Важность понимания проблемы загрязнения продукции ТМ определяется тем, что сельскохозяйственные культуры и животные находятся на более высоком уровне в пищевой цепи производственного процесса и используются как продукты питания человека. Это приводит к накоплению ТМ вдоль пищевой цепи, к тяжелым заболеваниям человека и животных.

Почвы являются природными накопителями ТМ в окружающей среде и основным источником загрязнения сопредельных сред, включая высшие растения. ТМ находятся в почве в виде различных химических соединений. В почвенном растворе и в природных водах они присутствуют в форме свободных катионов и ассоциатов с компонентами раствора. В

большинстве своем это непрочные соединения, называемые слабыми комплексами. В твердой части почвы они находятся в форме обменных катионов и поверхностных комплексных соединений, в виде примесей в структурах глинистых минералов, в форме собственных минералов, устойчивых осадков малорастворимых солей.

К ТМ относятся свыше 40 химических элементов таблицы Менделеева с атомными массами, превышающими 50 атомных единиц, или химические элементы с удельным весом выше 5 г/см³. Не все ТМ представляют одинаковую опасность для живых организмов. По токсичности и способности накапливаться в пищевых цепях лишь немногим более десяти элементов признаны приоритетными загрязнителями биосферы. Среди них выделяют: ртуть, свинец, кадмий, медь, ванадий, олово, цинк, молибден, кобальт, никель. Три элемента (ртуть, свинец, кадмий) считаются наиболее опасными.

Большинство этих элементов относится к группе микроэлементов. В действии каждого микроэлемента на живые организмы много общего: они входят в состав ряда белковых комплексов (ферментов) или активизируют их деятельность; они необходимы живым организмам в очень небольших количествах – тысячных или десятитысячных долях процента. Повышение концентрации их в живых организмах выше оптимального уровня приводит к угнетению роста и развития. Они способны вызвать мутагенез, эмбриотоксический и канцерогенный

эффект. Все ТМ относятся к редкостным и рассеянным в природе химическим элементам.

В процессе эволюции растения, животные и человек приспособились к природному (фоновому) содержанию ТМ в почве. Однако интенсивное развитие промышленности, транспорта и использование различных химических средств привело к накоплению ТМ на значительных территориях, что отрицательно влияет на почву, растения и другие живые организмы, и как следствие, фоновый уровень ТМ в биосфере постоянно возрастает.

Одна из главных задач, связанных с предотвращением негативных последствий загрязнения отдельных компонентов окружающей среды, состоит в выяснении путей и условий локализации ТМ в них.

Авторы выражают благодарность за всестороннюю помощь в подготовке атласа сотрудникам Института почвоведения и фотосинтеза РАН: А.А.Амелину, А.И.Злобиной, Г.К.Тюрюкановой, С.Е.Амелиной, А.А.Снакиной, Л.А.Лапшиной, В.И.Гордеевой, И.Ю.Соколовой, А.В.Матершевой, А.А.Комаровой.

Атлас издан при финансовой поддержке Управы муниципального округа г.Москвы “Тимирязевский” и личного участия главы Управы Ю.Н.Гончарова, которому авторы выражают свою искреннюю благодарность, а также при содействии проектов ТЕМПУС “Совершенствование агроэкологического образования” и ТАСИС, “Укрепление сельскохозяйственных реформ посредством образования”.

ЧТО ТАКОЕ ТЯЖЕЛЬЕ МЕТАЛЛЫ?

К тяжелым металлам (ТМ) относятся химические элементы (металлы) с атомной массой более 40: Не все тяжелые металлы токсичны, так как в эту группу входят: медь, цинк, молибден, кобальт, марганец, получившие название *микроэлементы* и имеющие важное биологическое зна-

чение в жизни теплокровных, растений и микроорганизмов. Поэтому микроэлементы и ТМ – понятия, которые относятся к одним и тем же элементам, основанные скорее на их содержании в объектах окружающей среды. Справедливо использовать понятие “тяжелые металлы”, когда речь

идет об опасных для животных концентрациях элемента, и говорить о нем же, как о микроэлементе тогда, когда он находится в почве, воде, растениях и в организме теплокровных в малых концентрациях.

Тем не менее имеется группа металлов особо токсичных, к которой относятся: ртуть, свинец, кадмий. Они являются наиболее опасными загрязнителями окружающей среды.

В агроландшафтах наиболее распространены: цинк, свинец, ртуть, кадмий, хром. Размеры поступления ТМ в агроландшафт определяются характером человеческой деятельности. Загрязнение окружающей среды ТМ вызывает тревогу, потому что оно многопланово: снижается продуктивность растений, нарушаются естественно сложившиеся фитоценозы, идет деструкция ассимиляционного потенциала фитомассы, ухудшается качество среды обитания человека, включая качество продукции и продуктов питания. Несмотря на высокое качество получаемой растениеводческой продукции (белок, углеводы, жиры, витамины), растения могут накапливать ТМ в концентрациях, опасных для человека и животных, без каких-либо признаков отравления и патологических изменений.

Несмотря на ряд закономерностей и свойств, объединяющих поведение ТМ в системе почва—растение, тем не менее выявлен целый комплекс отличительных и специфических особенностей их включения в пищевые цепи, воздействия на организм человека и животных. Поэтому рассмотрим эти особенности в поведении каждого элемента отдельно.

Кадмий (Cd). Содержание кадмия в почвах невелико и, например, в черноземе составляет $1\text{--}10^{-5}\%$, что на порядок меньше, чем его содержание в растениях. Содержание кадмия в почве зависит от материнской породы. Почвы, которые подстилают граниты и гнейсы, содержат кадмия больше, чем известняки. Примерно 1/3 производимого кадмия

поступает в атмосферу в качестве загрязняющего вещества. Основным источником загрязнения почв кадмием являются промышленные выбросы и сточные воды. Значительная часть кадмия может поступать в почву с фосфорными удобрениями, известковыми материалами и выбросами автотранспорта.

Загрязнение атмосферного воздуха кадмием происходит за счет автомобильного транспорта, поскольку резина покрышек и смазочные масла содержат кадмий.

Содержание кадмия в почве на уровне 5 мг/кг наполовину снижает продуктивность сельскохозяйственных культур, а период его полувыведения из почвы один из самых больших (около 1100 лет).

Кадмий обладает мутагенным и канцерогенным свойствами и представляет генетическую опасность. Примерно 80% антропогенных выбросов кадмия связаны с производством меди, свинца, цинка и кадмия. Около 45% общего загрязнения этим элементом приходится на выплавку кадмия из руд, 52% попадает в атмосферу в результате сжигания или переработки изделий, содержащих кадмий.

Кларк кадмия в почве — 0,5 мг/кг, среднее содержание в подземных водах — 0,05 мкг/л, в поверхностных водах — 0,11 мкг/л, в атмосферных осадках — 0,02 мкг/л, природный уровень в воздухе — 0,002 мкг/м³.

Источник поступления кадмия в поверхностные и грунтовые воды — сточные воды предприятий по добыче руд цветных металлов. Основным источником загрязнения почв являются процессы по добыче и переработке свинцовых и цинковых руд. Выпадение кадмия с осадками вблизи предприятий по его производству может достигать 60–600 г/га в год.

Количество кадмия в фосфорных удобрениях в значительной степени зависит от его содержания в исходном сырье и технологии производства (табл. 1). Содержание кадмия в

Содержание кадмия в фосфорных удобрениях различных стран, г/т Р₂О₅

Страна	Кадмий
Россия	0,76–0,77
Марокко	42,5–49,8
Тунис	176,2–218,1

фосфорных удобрениях невелико и составляет 0,25 мг/кг, однако в фосфорных удобрениях, полученных на основе сырья из Туниса и Марокко, его содержание может достигать 150–170 мг/кг. Такие удобрения лучше не применять, или применять в ограниченном количестве.

Поскольку кадмий в фосфорных удобрениях находится в основном в подвижном состоянии, он легкодоступен возделываемым культурам. Именно этим и объясняется небольшое повышение содержания его в почве при существенном повышении количества кадмия в растениях. С фосфорными удобрениями в течение года в почву вносится кадмия в 2–3 раза больше, чем потребляется растениями, поэтому ежегодный прирост содержания кадмия в почвах за счет применения фосфорных удобрений составляет 0,15%. При длительном постоянном применении фосфорных удобрений может сложиться ситуация опасного накопления кадмия в растениях. Однако правильный выбор форм минеральных удобрений, выращиваемых культур и сортов позволяет избежать опасного накопления кадмия в почве.

Поступление кадмия на поверхность земли с сухими и мокрыми выпадениями составляет 0,2–9 кг/км². Растения способны использовать кадмий из фосфорных удобрений в размере 0,4–7%. Ежегодное поступление кадмия с фосфорными удобрениями в почву составляет примерно 5 г/га, тогда как в почве содержится 0,6 кг/га кадмия.

Кобальт (Со). В земной коре содержание кобальта составляет 2·10⁻³%, а в почве – 1–15 мг/кг, в растениях – 0,01–0,6 мг/кг сухого вещества и может достигать 11,6 мг/кг.

Источники загрязнения окружающей среды кобальтом – отходы и выбросы металлургических предприятий, сточные воды коммунального хозяйства. В минеральных удобрениях и известковых материалах кобальт практически отсутствует. Недостаток кобальта наблюдается в 60% всех почв и только 30% почв России имеют среднее содержание этого элемента.

Кобальт в растениях концентрируется в генеративных органах, в пыльце и в клубеньках бобовых культур, положительно действует на размножение клубеньковых бактерий, способствует накоплению витамина В₁₂ у бобовых культур, гороха, лука и репы. Под действием кобальта улучшается диетическая ценность продукции в результате увеличения его содержания в растениях, возрастает содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы, увеличивается количество крахмала в клубнях картофеля, а также содержание аскорбиновой кислоты и белка в зерне кукурузы.

Кобальт, накапливаясь в основном в генеративных органах растений, способствует прорастанию пыльцы. Содержание кобальта в растительных тканях в пределах 15–50 мг/кг является избыточным или токсичным для растений.

Повышенное содержание кобальта

та в почве вызывает у растений безлепестковую анемону.

От недостатка в кормах кобальта страдают крупный рогатый скот, козы и овцы, что приводит к резкому снижению продуктивности животных (падение удоев молока и сокращение в нем витамина B_{12}). Оптимальная норма кобальта в кормах для нормальной регуляции функций у животных – 0,07–1,7 мг/кг сухого вещества корма.

Постоянный дефицит кобальта в кормах животных способствует эндемическому заболеванию – анобельтозу и авитаминозу B_{12} . Для данного заболевания характерно разрушение волоссяного покрова (сухотка или “лизуха”) и нарушение функции печени. При этом развивает анемию, приводящая при недостатке витамина B_{12} к малокровию.

Никель (Ni). Среднее содержание никеля в растениях составляет $5 \cdot 10^{-5}\%$ на сырое вещество, в организме животных – $1 \cdot 10^{-6}\%$, в почвах – $4 \cdot 10^{-3}\%$.

Основные источники поступления никеля в окружающую среду: сжигание топлива, цветная и черная металлургия, осадки сточных вод промышленности и коммунального хозяйства. Металлургические предприятия ежегодно на поверхность земли выбрасывают свыше 12 тыс. т никеля. В кислой среде никель более подвижен, чем в нейтральной или щелочной.

Никель необходим растениям в очень малых количествах. В водных культурах никель токсичен для растений (кукуруза, бобы) в дозе 2 мг/л. Более токсичен никель для растений на кислых почвах. Токсичность никеля проявляется при содержании его в растениях на уровне 50 мг/кг. Высоким потреблением никеля отличаются растения семейства астровых и бурачниковых, низким – розанные.

Никель способен изменять активность окислительно-восстановительных процессов, влияет на поглощающую способность корней: задерживает поступление железа. При повышенном содержании никеля в

почве происходит угнетение роста растений, снижается содержание хлорофилла в листьях.

При загрязнении кормов никелем происходит эндемичное заболевание у животных, ухудшается зрение вследствие накопления его в роговице глаз. Он вызывает заболевание рака полости рта и толстой кишки.

Марганец (Mn). Среднее содержание марганца в растениях равно 10–1%. В клетках растений наибольшее его количество находится в цитоплазме. Марганец принимает участие в процессах фотосинтеза дыхания: в азотном и нуклеиновом обменах. Содержание марганца в почвах колеблется в пределах 0,01–0,4%.

Марганец оказывает прямое действие на рост и развитие растений, на их химический состав. Недостаток марганца в почве сдерживает рост и развитие растений, при этом происходит накопление железа в надземных органах. При избытке марганца в почве, наоборот, содержание железа снижается и у растений развивается клороз, проявляющийся в пятнистости листьев. При избытке марганца Fe(II) переводится в Fe(III), которое накапливается в виде органофосфорного железа, а растение начинает испытывать недостаток в железе.

Марганец в почве находится в двух-, трех- и четырехвалентном состоянии. Однако, проходя цикл биологического круговорота, марганец испытывает превращения от двухвалентной формы до четырехвалентной. Переходя в двухвалентную форму, он вновь поглощается растениями.

Марганец принимает участие в почвообразовании: синтезе гумуса, глинообразовании, оглеении, образовании иллювиальных горизонтов, гидрогенной аккумуляции конкреций. В почве марганец встречается в виде солей, оксидов, гидрооксидов, органических соединений и зачастую в виде фосфатов. В кислых почвах обычно образуются растворимые фосфаты марганца, в нейтральных и слабощелочных – труднораствори-

мые. Почвенные горизонты, обогащенные железом, особенно илювиальные, содержат повышенное количество марганца. Однако растениям наиболее доступен марганец, находящийся в гумусовом горизонте.

Содержание подвижного марганца зависит от pH почвенного раствора и механического состава почвы. В кислых почвах его больше, чем в нейтральных и щелочных, а в песчаных и супесчаных меньше, чем в суглинистых и глинистых. Известкование почвы снижает подвижность марганца и его поступление в растения.

Наиболее чувствительны к недостатку марганца овес, сахарная свекла, картофель, при его острой недостаточности на листьях развивается серая пятнистость.

В почву марганец поступает с выбросами промышленных предприятий, с осадками сточных вод.

Медь (Cu). Валовое содержание меди в почвах не превышает 1-10⁻⁵%. Очень низкое содержание меди в почвах с высоким pH. Содержание меди в серых лесных почвах составляет 10–15 мг/кг, в черноземах – 15–20 мг/кг.

Источники поступления меди в экосистемы: выбросы металлургических предприятий, минеральные и органические удобрения, осадки сточных вод. Из всех минеральных удобрений большее количество меди содержится в простом суперфосфате. В 20 т навоза содержится 40 г меди. Сточные воды, в осадке которых содержится свыше 800 мг/кг меди, не разрешается использовать в сельскохозяйственном производстве. Установлено, что медь усиливает токсичность фтора. Удобрения, содержащие медь, применяют на торфяниках и черноземах, которые содержат большое количество карбонатов кальция, и на бедных песчаных почвах. Все остальные почвы содержат достаточное количество меди для нормального роста растений.

Свыше 70% всей меди, находящейся в листе растения, сосредо-

точено в хлоропластах. Физиологическая роль меди определяется ее входением в состав медьюсодержащих белков и 19 ферментов.

Определенную роль медь играет в азотном обмене, входя в состав фермента нитритредуктазы. В результате действия меди на биосинтез леггемоглобина и активность целого ряда ферментных систем фермент усиливает процесс связывания молекулярного азота атмосферы бобовыми культурами.

Под действием меди усиливается прочность хлорофилл-белкового комплекса, снижается степень разрушения хлорофилла в темноте. Медь положительно действует на процесс зеленения у всех растений.

Медь повышает устойчивость растений к полеганию, способствует увеличению засухо-, морозо- и жароустойчивости растений. При дефиците меди задерживается рост растений, проявляется хлороз и увядание, задерживается цветение, падает продуктивность, происходит побеление кончиков листьев и не развивается колос у зерновых культур. У плодовых культур при недостатке меди появляется суховершинность. Растения испытывают недостаток меди, если в почвах Нечерноземной зоны ее содержится менее 1,5–2,0 мг, в Черноземной зоне – 2,0–5,0 мг на 1 кг почвы. Недостаток меди в основном проявляется на осушенных болотных почвах в Северо-Западном, Центральном и Волго-Вятском районах России.

При недостатке или избытке меди в почве и растениях у человека развиваются заболевания костной ткани – эндемическая анемия, эндемический деформирующий артроз.

Значительное поступление меди в агроландшафт наблюдается в регионах интенсивного виноградарства, где она широко используется для борьбы с болезнями винограда.

Поступая с пищей, медь всасывается в кишечник, связывается с белком сыворотки крови – альбу-

мином, затем поглощается печенью, откуда в составе белка церулоплазмина возвращается в кровь и поставляется органам и тканям.

Молибден (Mo). Содержание молибдена в почвах колеблется в пределах от $2,9 \cdot 10^{-4}$ до $4,2 \cdot 10^{-4}\%$. Молибден является микроэлементом с широким спектром биологического действия. Малые количества его оказывают благотворное влияние на организм, а большие вызывают молибденовый токсикоз. В тяжелых по механическому составу почвах содержится молибдена больше, чем в легких. Среднее содержание молибдена в растениях колеблется от 0,5 до 2,3 мг/кг сухого вещества.

Источники загрязнения окружающей среды молибденом: дымовые выбросы промышленных предприятий, минеральные удобрения, известковые материалы, сточные воды.

Содержание молибдена в растениях колеблется в пределах 0,1–300 мг/кг. В листьях молибден сосредоточен в хлоропластах и его содержится больше, чем в стеблях и корнях. В растениях молибден входит в состав фермента нитратредуктазы, участвующего в восстановлении нитратов до нитритов, а также в состав другого фермента – нитрогеназы, осуществляющего в процессе биологической фиксации молякулярного азота связывание азота атмосферы. Участие молибдена в фиксации азота воздуха объясняет его особое значение для роста и развития бобовых культур. Кроме того, молибден принимает участие в ряде физиологических процессов: биосинтезе нуклеиновых кислот, фотосинтезе, дыхании, синтезе пигментов и витаминов.

К недостатку молибдена в почве чувствительны: люцерна, клевер, горох, бобы, вика, капуста, салат и шпинат. Эти же культуры хорошо отзываются на внесение молибденовых удобрений.

Почвы легкого механического состава с низким содержанием гумуса содержат низкое количество

молибдена. Низкое содержание подвижного молибдена характерно для дерново-подзолистых песчаных почв, наиболее высокое – для черноземов. Дефицит молибдена проявляется на дерново-подзолистых, серых лесных, осущенных кислых торфяниках и черноземных почвах.

Положительное действие молибдена на азотное питание растений состоит в том, что корни лучше используют другие элементы, в т.ч. фосфор и калий. Молибден обеспечивает более полное включение поступившего в растения азота в белки, тем самым снижая накопление нитратов в овощных и кормовых культурах.

Содержание молибдена в продукции выше 1 мг/кг сухой массы вредно для здоровья человека и животных. Если же в растениях содержание молибдена выше 20 мг/кг, то употребление их в пищу в свежем виде вызывает у животных молибденовые токсикозы, а у человека – эндемическую подагру. Высушивание и замораживание растений уменьшает токсическое действие молибдена, так как при этом снижается количество растворимых форм молибдена. При добавлении в продукты питания меди снижается токсическое действие молибдена.

Ртуть (Hg). В окружающей среде ртуть – малораспространенный элемент, однако наиболее опасный для живых организмов. Содержание ртути в породах невелико – $7 \cdot 10^{-6}\%$, в пахотном слое ее содержится в 1,5–2 раза больше, чем в подстилающих породах.

Антропогенное поступление ртути на порядок превышает ее поступление за счет естественных источников. Источники загрязнения окружающей среды ртутью: выбросы промышленных предприятий, сточные воды и осадки сточных вод химических предприятий. Содержание ртути в почве вблизи этих источников может достигать $2 \cdot 10^{-4}\%$, при этом загрязняется территория на расстоянии 5–6 км от

предприятий. В значительной степени почва и растения загрязняются при высеве семян, проправленных фунгицидами, которые содержат в своем составе ртуть (гранозон, меркурензол, меркургексан, мэме, мэмх, церезол).

В малых количествах ртуть оказывает положительное влияние: регулирует активность лейкоцитов и повышает иммунологическую устойчивость организмов. Продолжительность жизни ртути в атмосфере относительно невелика (10 дней), однако в почве и воде время ее жизни составляет сотни тысяч лет [Скрипченко, Золотарева, 1981]. Ртуть накапливается в почве, мигрирует по пищевым цепям, принимает участие в сложных биологических процессах, вызывая специфические отравления и заболевания у человека и животных. Особенно токсичными для живых организмов являются восстановленные и органические соединения ртути.

Свинец (Рb). Среднее содержание свинца в земной коре составляет $1,6 \cdot 10^{-3}\%$, его количество в почве колеблется от $0,37 \cdot 10^{-3}$ до $4,3 \cdot 10^{-3}\%$.

Источники поступления свинца: выбросы металлургических предприятий, автомобильный транспорт, осадки коммунальных и промышленных сточных вод, а также инсектициды, в состав которых он входит. За последние 30–40 лет кларк свинца в почве возрос почти на порядок вследствие мощного его поступления в окружающую среду.

Добыча, переработка и использование соединений и сплавов свинца сопровождаются значительным рассеиванием его в биосфере, зачастую в более активной форме, чем природные соединения. Основным источником поступления свинца на земную поверхность является сжигание жидкого и твердого топлива. Наибольшее количество свинца содержится в почве на расстоянии 1,2–2 м от дороги, и поступает в почву даже на расстоянии до 300 м от дороги.

Свинец в ландшафте мигрирует в

составе взвешенного вещества, в коллоидной фазе и в форме ионов. Последняя форма преобладает в водах верхнего горизонта, однако с глубиной содержание свинца в коллоидной взвеси возрастает. Основной формой миграции свинца в поверхностных речных водах является тонкая взвесь, что характерно особенно для рек гидрокарбонатного и сульфатного состава. Свинец техногенного происхождения накапливается в поймах и донных отложениях рек и озер. В донных отложениях он тесно связан с гидроксидами железа и органическим веществом, с фульвокислотами и в меньшей степени – с гуминовыми кислотами. Почва, являясь естественным барьером на пути миграции и поступления свинца в растения и грунтовые воды, обладает высокой способностью закреплять поступающий в нее элемент.

Фоновое содержание свинца в почвах европейской части России колеблется в пределах 15–47 мг/кг. Загрязнение почвы свинцом на уровне 50 мг/кг опасно для здоровья человека. Содержание свинца в почвах городов в 30–40 раз выше, чем в почвах сельских районов.

Поступление свинца из почвы в растение увеличивается не пропорционально росту его содержания в почве. Корни растений являются основным органом, накапливающим свинец. Так, у пшеницы наибольшее количество свинца находится в корнях, затем в стеблях, листьях и наименьшее – в зерне. По-видимому, в корнях растений существует механизм, препятствующий передвижению свинца в надземные органы растений. Как правило, содержание свинца в двудольных растениях на порядок выше, чем в однодольных.

Поступление свинца в организм человека по пищевым целям ведет к расстройству нервной системы. Содержание свинца в кормах, превышающее 15 мг/кг сухого вещества, может оказывать негативное действие на нежвачных животных, со-

держение 250 мг/кг вызывает отравление. Пороговое содержание свинца в кормах для крупного рогатого скота – 150 мг/кг.

Свыше 90% свинца попадает в организм человека с пищей и около 10% – респираторным путем, причем в городской местности в организм человека свинца поступает на 30% больше, чем в сельской. Более опасен свинец, поступающий в организм респираторным путем, т.к. он хуже выводится из организма, чем поступивший с пищей. Избыток свинца в крови человека подавляет центральную нервную систему, деятельность мозга, почек и мышц. Для человека токсичными считаются суточные дозы свинца свыше 0,35 мг.

Хром (Cr) – высокотоксичный элемент. В почвах его содержание составляет $1,9 \cdot 10^{-2}\%$. Хром – один из биогенных элементов, который постоянно находится в тканях растений и животных.

Источники загрязнения окружающей среды хромом и его соединениями: осадки сточных вод кожевенных заводов, коммунальные стоки и выбросы металлургических предприятий.

Фитотоксичность хрома зависит от его валентности, определяющей подвижность элемента в почве и его доступность растениям. Шестивалентный хром является анионом хромовой кислоты и в составе аниона практически не поглощается почвенными коллоидами, поскольку они несут преимущественно отрицательный заряд. Трехвалентный хром выступает в роли катиона и хорошо поглощается почвой, вследствие чего обладает малой токсичностью. Поэтому предельно допустимая концентрация (ПДК) трехвалентного хрома в почве равна 100 мг/кг, тогда как ПДК шестивалентного хрома – 0,05 мг/кг. В черноземах хром сосредоточен в верхних горизонтах, в серых лесных почвах, наоборот, его больше в нижних иллювиальных горизонтах.

По токсичности хром уступает

только ртути. Верхний критический уровень, при котором происходит снижение урожая растений на 10%, составляет 10 мг/кг. В растениях содержание хрома колеблется в пределах 0,02–0,20 мг/кг. Однако культуры семейства бобовых (горох, клевер, люцерна) содержат повышенное его количество – 22–100 мг/кг сухого вещества.

Снижение содержания хрома в продуктах питания ведет к уменьшению его содержания в крови, затормаживает рост, повышает содержание холестерина в крови; повышение содержания приводит к сухости и боли в носу, затруднению дыхания и недомоганию.

Цинк (Zn). Содержание цинка в почвах составляет $5 \cdot 10^{-3}\%$. Цинк и кадмий являются сопутствующими элементами: чем больше в почве цинка, тем больше и кадмия.

Источники поступления цинка: выбросы и отходы цветной и черной металлургии, сжигание топлива, осадки промышленных и коммунальных сточных вод.

Цинк – один из главных микроэлементов: он входит в состав ферментов, обуславливающих и регулирующих многие жизненные процессы, принимает участие в биосинтезе РНК и хлорофилла, участвует в углеводном и фосфатном обмене.

Цинк повышает жаро- и морозоустойчивость растений. При его недостатке в почве замедляется превращение неорганических фосфатов в органические соединения растений. При внесении в почву цинка нормализуется использование фосфора растениями. Цинк входит в состав более 30 ферментов. При цинковом голодании в растениях накапливаются небелковые растворимые азотистые соединения (аминокислоты, амиды) и редуцирующие сахара, уменьшается содержание сахарозы и крахмала, увеличивается накопление органических кислот, снижается содержание ауксина. Для всех растений при недостатке цинка характерна задержка

роста. Чувствительны к недостатку цинка яблоки, абрикосы, персики, айва, вишня, кукуруза и томаты. Наиболее низкое содержание цинка в дерново-подзолистых почвах.

Существенное увеличение содержания цинка в компонентах окружающей среды и продуктах питания негативно отражается на живых организмах, сопротивляясь ухудшению здоровья человека. Влияние высоких концентраций цинка проявляется в синергическом действии, усиливая эффект других загрязнителей.

ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Основное количество свинца, кадмия и мышьяка поступает в атмосферу с аэрозолями природного и антропогенного происхождения (табл. 2). Главными природными источниками аэрозолей являются ветровая эрозия горных пород и почв, вулканическая пыль, частицы морской соли, дым лесных пожаров, частицы растительного происхождения. Основное количество ртути в атмосферу поступает в виде паров из почвы и с поверхности растений.

Свинец и кадмий присутствуют в атмосфере в виде аэрозолей естествен-

ных загрязнений организма цинком, изучены недостаточно, хотя имеются сведения о поражении органов дыхания, печени и почек.

Растения обладают неодинаковой способностью поглощать цинк из почвы. Больше всего цинка содержится в семенах растений, причем у дикорастущих растений его содержится больше, чем у культурных. Богаты цинком зерно, лук, свекла, томаты, яйца, икра; мало его в молоке.

венного и антропогенного происхождения, ртуть, главным образом, — в газовой фазе.

Около 18% антропогенного свинца и около 7% антропогенного кадмия, выбрасываемых в воздух, поступает в Мировой океан. В то же время 70–90% этих примесей из атмосферы вымывается с атмосферными осадками. Минимальное и максимальное содержание свинца и кадмия в осадках имеет место в районах с соответственно минимальным и максимальным количеством в атмосферном воздухе.

Таблица 2

Поступление тяжелых металлов в атмосферу, % от суммы*

Источник	Тяжелый металл			
	Cd	Zn	Pb	Hg
Ветровая эрозия	1,4	3,7	1,6	0,2
Извержение вулканов	1,7	1,6	1,2	0,2
Лесные пожары	3,7	20,7	0,7	0,2
Испарение с поверхности почв и растений	2,0	3,0	0,4	72,5
Поступление с поверхности почвы	17,8	26,0	3,5	8,5
Общий природный источник	26,3	29,0	4,5	81,0
Антропогенный источник	73,7	71,0	95,5	19,0

*Расчет по данным [Остромогильский и др., 1987].

Загрязнение окружающей среды ТМ происходит в основном от металлургических предприятий. Из множества путей техногенного поступления ТМ важнейшим является выброс их в атмосферу в виде паров с исходной температурой 1500°С. При взаимодействии ТМ с кислородом воздуха образуются оксиды, на долю которых приходится 70–80% всех техногенных выбросов этих элементов.

Ежегодно в атмосферу выбрасывается свыше 25 тыс. т кадмия. С атмосферными осадками и пылью на поверхность почвы в России ежегодно выпадает 1,9–5,4 г/га кадмия. Из-за несовершенства технологий производства минеральных удобрений выбросы ТМ в окружающую среду превышают проектные величины в 2–3 раза. В то же время при внесении органических удобрений в дозе 50 т/га в почву поступает: свинца – 38, кадмия – 2,3 и никеля – 75 г/га.

Увеличение содержания цинка в почве снижает поступление кадмия в растения.

Поступление большого количества ТМ в почву с осадками сточных вод (ОСВ) имеет свои специфические особенности. Высокое содержание органического вещества способствует образованию металлогорганических соединений различной природы, что изменяет растворимость ТМ в почве и их доступность растениям. Кроме того, металлогорганические соединения

ТМ легче включаются в пищевые цепи, чем их неорганические соединения, и потому являются наиболее опасными формами ТМ. Образование растворимых органических комплексных соединений ТМ ведет к снижению их адсорбции в почве.

Ненормированное использование ОСВ в сельском хозяйстве может привести к опасному загрязнению почв и сельскохозяйственной продукции. Поэтому для использования ОСВ в сельском хозяйстве необходима разработка специальных нормативов, гарантирующих высокое качество продукции и чистоту окружающей среды (табл. 3, 4).

Вокруг промышленных предприятий накапливается большое количество отходов различной природы, которые занимают не только значительные площади, выводя их из хозяйственного использования, но и загрязняют окружающую среду вредными веществами, в том числе ТМ. Для сохранения нормального функционирования экосистем и получения экологически безопасной продукции необходима утилизация этих отходов. Одно из направлений утилизации – использование отходов в качестве нетрадиционных органических удобрений (НОУ), к которым относят: твердые бытовые отходы (ТБО), осадок сточных вод (ОСВ), активный ил, кору и опилки, лигнин, сапропели, вермикомпост, гуматы. Наличие ТМ в составе НОУ при отсутствии контроля за их

Таблица 3

Предельно допустимые уровни (ПДУ) внесения тяжелых металлов с осадками сточных вод в почву

Тяжелый металл	ПДУ, кг/га
Марганец	13
Медь	2
Никель	1
Свинец	0,5
Цинк	9
Хром	5

Таблица 4

Предельно допустимые уровни содержания тяжелых металлов в сточных водах

Тяжелый металл	ПДУ, мг/л
Кадмий	0,01
Медь	0,20
Никель	0,20
Свинец	5,0
Хром	0,10
Цинк	2,0

содержанием и при избыточном внесении в почву может привести к ее загрязнению. Основное достоинство НОУ – наличие в их составе большого количества органического вещества, которое, в свою очередь, является активным сорбентом ТМ. Связывая их, органическое вещество препятствует миграции ТМ с почвенно-грунтовыми водами, снижает уровень их биологического поглощения и тем самым способствует улучшению экологической обстановки и получению продукции высокого качества. Это необходимо учитывать при разработке экологических нормативов на производство и применение НОУ. Для использования отходов в качестве удобрений, кроме прочих ограничений, они не должны содержать ТМ больше, чем: кадмия – 20, хрома – 750, ртути – 16, никеля – 300, свинца – 750, цинка – 2500, меди – 1000 мг/кг.

Негативное воздействие ТМ, входящих в состав НОУ, на почву и биоту практически не зависит от вида удобрения, поэтому мероприятия, направленные на контроль и предотвращение загрязнения ТМ, должны быть едиными. В качестве НОУ широко используется активный ил, образующийся в результате биологической очистки ОСВ и представленный микробной биомассой, смешанной с различными веществами, состав которых определяется видом производства. После добавления к микробной биомассе известкового молока выпадает осадок, который

обезвоживают и складируют. Несмотря на то, что разработаны ограничения на содержание ТМ в НОУ, необходим постоянный контроль за их содержанием в почве, в которую вносят эти удобрения.

Широко используются на территории России сапропели. Содержание ТМ в сапропелях колеблется в широких пределах. Необменный характер взаимодействия ионов ТМ, находящихся в воде, с органическим веществом сапропеля приводит к накоплению большого их количества в донных отложениях даже тогда, когда исходное содержание ТМ в воде незначительно (эффект концентрирования). Поэтому при использовании сапропелей в качестве удобрения необходим постоянный контроль за содержанием ТМ в них.

Наряду с традиционными источниками загрязнения ТМ, пойменные почвы испытывают дополнительный прессинг паводковых вод. Пойма р. Оки достигла такой стадии зрелости, когда полное затопление ее паводковыми водами происходит лишь один раз в восемь лет. Аллювиальные насысы, с которыми поступает определенное количество ТМ, составляют 8–48 т/га. Несмотря на то, что аллювиальные насысы на порядок богаче пойменных почв как валовыми, так и подвижными формами ТМ, содержание их в насыщах не превышает ПДК, за исключением цинка и марганца. Однако это не оказывает негативного

влияния на качество урожая овощных культур.

При сжигании органического топлива (уголь, мазут, природный газ) на территории России в атмосферу поступает около 400 т свинца. Выбросы в атмосферу соединений свинца предприятиями лакокрасочной промышленности составляют примерно 20 т. Выбросы свинца стекольными предприятиями в целом по России оцениваются величиной в 100–200 т/год. В производство консервных банок вовлечено также 100–200 т свинца. Существенные источники загрязнения окружающей среды свинцом – предприятия оборонной промышленности, полигоны твердых бытовых отходов. К собственно бытовым отходам следует отнести отработанные свинцовые аккумуляторы, провода и кабели, изделия из хрустали и свинцовых стекол, керамику, резиновые изделия. В настоящее время на свалках находится до 1 млн. т свинца в отработанных аккумуляторах.

Поступление свинца в атмосферу

от автотранспорта на территории России оценивается величиной около 4 тыс. т, от ракетно-космической техники – 250–500 т/год. К нестационарным источникам поступления свинца в окружающую среду следует отнести также охотничий промысел и любительскую охоту: ежегодно в водно-болотные угодья поступает до 1400 т свинца.

Промышленные источники и автотранспорт обуславливают загрязнение обширных территорий за счет трансграничного атмосферного переноса свинца. Выпадение свинца на европейской части территории России составляет около 16 тыс. т, из которых за 10 тыс. т ответственна собственно сама Россия. Вследствие преимущественно западного и юго-западного направления ветров поступление свинца в Россию происходит почти из всех европейских стран. Суммарное количество поступления свинца вследствие трансграничного атмосферного переноса составляет 5–6 тыс. т в год.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ВОДЕ

Транспорт ТМ через атмосферу играет важную роль в их распространении в окружающей среде. ТМ относятся к большой группе гидрогенических элементов природных вод. В отличие от атмосферы, где время пребывания ТМ не велико, поверхностные воды суши являются более консервативным компонентом окружающей среды. Содержание ТМ в природных водах обусловлено геохимическим фоном и влиянием антропогенных источников, проявляющихся в региональном или глобальном транспорте их по цепям: атмосфера–поверхностные воды и атмосфера–почва–поверхностные воды.

Состав атмосферных осадков в отношении ТМ – фактор, определяющий направленность функционирования и устойчивости экосистем и отдельных их компонентов. Повыше-

ние содержания ТМ в атмосферных осадках и увеличение потоков цинка и кадмия из атмосферы приводят к ряду негативных экологических последствий: увеличению содержания этих элементов в почве и растениях вблизи промышленных предприятий в радиусе их локального воздействия (4–8 км), изменению pH почв и снижению их биологической активности.

В большинстве фоновых районов среднее содержание свинца в осадках не превышает 13 мкг/л, ртути – 0,5, кадмия – 1,2 мкг/л.

Источником поступления цинка и кадмия в атмосферу являются природные процессы и антропогенные факторы. Причем доля антропогенных источников поступления цинка составляет 70% от суммарного потока в атмосферу, а кадмия – 54–95%. Максимальное содержание цинка и кад-

мия характерно для наиболее развитых в промышленном отношении районов Европы.

Содержание ТМ в верхних слоях снежного покрова и льда в несколько раз превышает их количество в нижних слоях, обусловленное антропогенным фактором. Региональный трансграничный атмосферный перенос из промышленных районов Центральной Европы оказывает незначительное влияние на накопление цинка и кадмия в осадках стран Балтийского побережья по сравнению с локальным антропогенным воздействием центральных промышленных районов, в значительно большей степени определяющим состав атмосферных осадков.

Существенно возрастает содержание ТМ в осадках под пологом сельскохозяйственных культур [Алексеенко и др., 1992]. Наибольшее концентрирующее воздействие на содержание цинка в дождевых водах под растениями оказывает клевер, наименьшее — кукуруза, поскольку ее листья покрыты более плотной и жесткой кутикулой, препятствующей вымыванию цинка из растительной ткани. Среди древесных растений аналогичным свойством обладает дуб. Увеличение содержания цинка и кадмия в атмосферных осадках происходит и в холодный период в процессе инеообразования. Содержание ТМ в малых водах инея, собранного с различных деревьев, в 1,5–2 раза выше их количества в снежном покрове и в 2,5–5 раз выше по сравнению со свежим снегом.

Поступление цинка в почву с жидкими атмосферными осадками в техногенных районах в 2–6 раз, а кадмия — в 2,5–5,5 раза выше фоновых и определяется в основном их содержанием в осадках. Поступление ТМ с техногенной пылью определяется количеством поступающей пыли в ландшафт.

Содержание свинца в атмосферных осадках на территории России изменяется от 0,05 до 7,3 мкг/л. Максимальное количество свинца в осадках содержится зимой, что определяется более высоким уровнем загрязнения воздуха вследствие сжигания топлива. Фоновое содержание этого элемента в атмосферных осадках составляет 0,3–4,4 мкг/л. Фоновые природные источники ответственны за поступление примерно 17 тыс. т свинца на всю территорию России.

В формировании химического состава природных вод ведущая роль отводится их динамике. Химизм речных вод обусловлен влиянием атмосферных осадков, поверхностно-склоновых, подземных и грунтовых вод и взаимодействием этих вод с почвами, породами и живым веществом. Важнейшей характеристикой эрозионных, аккумулятивных и антропогенных процессов, происходящих в ландшафте, служит речной сток ТМ.

Содержание цинка в поверхностных водах суши на 1–2 порядка выше, чем кадмия (табл. 5). Накопление цинка и кадмия в поверхностных водах суши выше, чем в океане. Примерно 90% цинка и 65% кадмия в

Содержание тяжелых металлов

Вода	Тяжелый		
	Cr	Pb	Cd
Атмосферные осадки	0,1–5,5	0,03–51	0,02–18
Поверхностные воды	0,2–40	0,7–36	0,11–10
Грунтовые воды	0,5–10	0,1–11	0,05–10

речном стоке находится в составе взвеси.

Накопление цинка и кадмия в донных отложениях прежде всего связано с их осаждением и с осаждением на щелочных барьерах с гидроокисями железа и марганца и последующей хемосорбцией. Избирательность сорбции ТМ свежесажденными гидроокисями убывает в следующей последовательности:



В то же время часть цинка и кадмия переходит в донные отложения с осаждающейся взвесью в результате хемосорбции, интенсивность которой определяется минералогическим составом донных отложений и содержанием в них органических веществ.

В поверхностных водах кадмий способен образовывать различные растворимые комплексы – карбонат, сульфат, хлорид, гидроксиоз, комплексы с синтетическими хелатными агентами. Значительная доля кадмия в воде связана с органическим веществом, в частности с гуминовыми кислотами. Оксиды свинца и кадмия устойчивы в воде с нейтральной и близкой к нейтральной реакцией среды, оксид же цинка в таких условиях может растворяться.

Содержание ТМ в грунтовых водах отражает степень трансформации химического состава атмосферных осадков под действием физико-химических процессов, происходящих при радиальной и латеральной их миграции по почвенно-грунтовой толще.

Существуют значительные различия по содержанию ТМ в грунтовых водах даже в пределах фоновых территорий [Учватов, 1994], которые определяются масштабами трансформации атмосферных осадков, мощностью зоны аэрации, положением элементарного ландшафта в пределах геохимического.

Характерной особенностью распределения ТМ в грунтовых водах в пределах геохимического ландшафта является увеличение их содержания в области разгрузки, т.е. от геохимически автономных (аллювиальных) ландшафтов к подчиненным (супераквальным). Повышение содержания ТМ в грунтовых водах автономных и трансаллювиальных ландшафтов может быть связано с интенсивным загрязнением почв, из которых вымываются подвижные формы ТМ в горизонт грунтовых вод. Установлено, что на содержание ТМ в грунтовых водах значительное воздействие оказывает антропогенный (техногенный и агрогенный) фактор, который для промышленных районов и подчиненных супераквальных ландшафтов в десятки раз превышает воздействие естественных природных условий формирования грунтовых вод [Учватов, 1994].

Для грунтовых вод характерно повышенное содержание никеля и кобальта (в 2–10 раз) и пониженное содержание хрома, свинца, меди, ртути и цинка (в 4–11 раз) по сравнению с их количеством в поверхностных водах, что свидетельствует о значительной роли почво-

Таблица 5

в природных водах, мкг/л

металл					
Zn	Cu	Ni	Co	Hg	As
1–370	0,1–3,6	0,11–33	0,1–5,0	0,01–1,8	0,1–6,9
0,1–610	0,1–150	0,3–46	0,1–6,0	0,04–6,5	0,02–6,3
5–49	0,1–24	2–89	4–60	0,01–0,9	0,01–2,1

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях

Страна	Тяжелый			
	Pb		As	Cd
Россия	0,9–66	0,01–0,75	3–11	0,03–0,5
США	21–70	0,1–0,95	1,4–2,4	0,2–12,5
Германия	35–46	0,4–4,9	1,2–2,8	0,3–2,9
Англия	37–100	0,01–6,0	1,6–3,0	0,4–5,7

грунтов в регуляции их химического состава.

Грунтовые воды отличаются более высоким содержанием ТМ, чем поверхностные воды. Поступление ТМ в грунтовые воды тесно связано с физико-географическими и геологогидрологическими факторами. Поступление ТМ в грунтовые воды происходит в виде свободных ионов и комплексов с органическими и неорганическими соединениями.

Содержание цинка и кадмия в грунтовых водах находится в прямой зависимости от содержания их в породах и концентрации органических кислот. В грунтовых водах, приуроченных к осадочным породам, увеличивается их содержание в направлении от карбонатных пород к водоносным суглинкам.

Вследствие седиментации взвешенных частиц в поверхностных водах значительная часть ТМ поступает вместе с ними в донные отложения. Содержание ТМ в донных отложениях служит важной характеристикой степени загрязнения природных вод в регионе (табл. 6). Наиболее высокое содержание ТМ в донных отложениях рек и озер характерно для США, Германии и Англии. Пространственная изменчивость содержания ТМ в донных отложениях пресноводных водоемов довольно высока, причем для большинства из них максимальные значения концентраций наблюдаются в США, Англии и Германии.

Наименьшее содержание ТМ характерно для донных отложений прудов и озер ландшафтов, сложенных легкими аллювиально-флювиоглици-

Таблица 7

Предельно допустимые концентрации (ПДК) тяжелых металлов в воде, мг/л

Тяжелый металл	Вид водопользования	
	питьевой	рыбохозяйственный
Кадмий	0,01	0,005
Свинец	0,1	0,03
Ртуть	0,001	
Кобальт		0,01
Медь	10	0,001
Цинк	10	0,01
Хром (Cr^{3+})		0,001
Никель		0,01

пресноводных водоемов, мг/кг

металл	Co	Cr	Cu	Ni	Zn
4–16	2–280	0,4–110	1–31	10–140	
2–24	4–100	2–101	6,4–52	16–1200	
1–19	3,7–40	4–250	1–118	7–1300	
2–27	5–82	44–270	2–140	9–1600	

альными песками, и донных отложений малых рек, не подверженных техногенному воздействию. Высокое содержание ТМ характерно для донных отложений рек, подверженных промышленному и городскому воздействию. Так, содержание свинца, кадмия, никеля в донных отложениях р.Оки в 1,5–2,5 раза превышало уровень их содержания в донных отложениях озер и малых рек [Моцик, Пинский, 1991]. В донных отложениях

кадмий адсорбируется частицами более 8 мкм, в осадке сточных вод 38% кадмия входит в состав силикатного материала.

В зависимости от вида водопользования меняется и уровень предельно-допустимых концентраций ТМ в воде (табл. 7). В целом в воде для рыбохозяйственных целей ПДК ТМ на порядок (свинец), на 3 порядка (цинк) и на 4 порядка (медь) ниже, чем ПДК для питьевой воды.

ТАЖЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВЕ

Все основные циклы миграции ТМ в биосфере (водные, атмосферные, биологические) начинаются в почве, потому что именно в ней происходит мобилизация металлов и образование различных миграционных форм. Значительная реакционная поверхность минерального вещества, наличие почвенных растворов и органического вещества, в котором избирательно сосредоточены значительные их количества, насыщенность микроорганизмами, мезофагной и корнями высших растений создают сложнейшую систему трансформации соединений ТМ в почве.

Почва (ее тонкодисперсные частицы и органическое вещество) – важнейший фактор, регулирующий поступление ТМ в растения. Взаимодействие ТМ с органическим веществом идет по пути образования солей гумусовых кислот и вовлечения ме-

таллов в комплексные соединения. Например, в результате взаимодействия ртути с органическим веществом почв происходит образование малоподвижных комплексных соединений малодоступных растениям, т.е. происходит инактивация поступающих в почву токсичных ТМ. Поэтому прочность связей ТМ – органическое вещество существенно влияет на самоочищающую способность почв, на последствия загрязнения отдельных компонентов экосистем. Наземные экосистемы поставляют человеческому обществу свыше 90% продуктов питания, большую часть сырья для промышленности и бытовых нужд. Основной базой и средством производства для них служит почва. Продукция и продукты питания должны не только отвечать требованиям по биохимическому составу, но и не содержать ТМ в токсических концентрациях.

Такую продукцию можно получить на почвах с нормальным содержанием этих элементов.

Оценка уровней безопасного загрязнения почв ТМ проводится, исходя из недопустимости превышения порога адаптационной возможности наиболее чувствительных групп населения (детей) и экологической адаптационной способности почвы. ТМ, поступающие в организм человека из почвы, не должны вызывать функциональных, биохимических и структурных изменений в организме, опасных для здоровья человека и его потомства. Допустимые уровни загрязнения почвы ТМ не должны приводить к нарушению времени и скорости самоочищающей способности почвы.

Ряд элементов, таких как ртуть, свинец, кадмий, никель, хром, не имея определенного функционального значения для растений и животных, оказывают токсическое действие на экосистему в целом. Почва служит естественным барьером на пути ТМ и сдерживает их поступление в растения и сопредельные среды.

Изменения содержания ТМ в почве характеризуют устойчивые изменения в свойствах почв и являются не-

обходимым контролируемым параметром. Сохранить почву в нативном состоянии в современных условиях практически невозможно, т.к. вся поверхность земного шара в той или иной мере подвержена техногенному воздействию.

Почва имеет ведущее значение в производстве сырья для многих видов промышленности, продуктов питания и кормов для сельскохозяйственных животных. В основу нормирования таких загрязняющих веществ, какими являются ТМ, положен принцип, допускающий возможность их поступления в количествах, безопасных для человека и окружающей среды. Почвы, в которых содержание ТМ превышает фоновое, но не является опасным для здоровья человека, следует считать слабозагрязненными [Ильин, 1986]. Фоновое содержание ТМ в почвах можно считать исходным их количеством, естественным уровнем загрязнения. Особенность загрязнения почв ТМ состоит в том, что они не подвергаются процессам естественного разрушения и, попадая в почву, становятся определяющим фактором ее плодородия.

Под предельно допустимыми ко-

Таблица 8

Предельно допустимая концентрация тяжелых металлов в почвах

Тяжелый металл	Концентрация, мг/кг
Ванадий	150
Кадмий	5,0
Медь	23,0
Марганец	1500
Марганец+ванадий	1000+100
Мышьяк	2,0
Никель	35,0
Ртуть	2,1
Свинец	Фон* + 20
Цинк	110
Хром ⁽⁶⁺⁾	0,05

*Фон принят равным 12 мг/кг.

личествами ТМ в почве следует понимать такую их концентрацию, которая при длительном воздействии на почву и произрастающие на ней растения не вызывает патологических изменений или аномалий в ходе биологических процессов и не приводит к накоплению токсичных элементов в возделываемых культурах, а следовательно, и в продукции.

При разработке предельно допустимой концентрации (ПДК) тяжелых металлов в почвах используют транслокационный или общесанитарный показатели вредности. Иногда используют фитоаккумуляционный показатель. В России приняты ПДК ТМ в почве с учетом комплекса показателей поведения ТМ в окружающей среде (табл. 8). В зависимости от элемента величина ПДК колеблется от 0,05 мг/кг (для хрома) до 1500 мг/кг (для марганца). Учтено значение ПДК при совместном действии марганца и ванадия. ПДК для свинца определяется с учетом его фонового содержания в почве.

ТМ поступают в почву в форме различных соединений (карбонатов, оксидов) с ограниченной растворимостью. Поэтому только часть из них может быть усвоена растениями. Для растений представляет опасность так называемая доступная форма элемента, которая может быть усвоена непосредственно через корневую систему. Доступными считаются те формы соединений ТМ, которые переходят в вытяжку 2 М азотной кислоты или 1 н. раствор соляной кислоты. Именно эти формы ТМ поступают из почвы в растения и оказывают на них токсическое действие. Поступление ТМ в растения и микроорганизмы осуществляется в основном через почвенный раствор. Поэтому жидкая фаза почв является непосредственным источником ТМ для почвенной биоты и высших растений.

Выпадающие на поверхность почвы ТМ аккумулируются в слое 2–5 см и подразделяются на: фиксируемую и мигрирующую части. Миграционные

формы ТМ частично или полностью трансформируются. Исходные формы меди и свинца переходят в менее подвижные формы, а кадмия и цинка – в более подвижные. Миграция ТМ по почвенному профилю приводит к тому, что с глубиной содержание их снижается, а на глубине 30–40 см выходит на фоновый уровень. Содержание в почвенном растворе водорастворимых органических соединений ведет к повышению миграционной способности ТМ благодаря образованию устойчивых органоминеральных комплексов. Усиливают миграцию кадмия свинец и цинк. Содержание в почве доступных форм кадмия, хрома, никеля и цинка в большей степени зависит от значений pH, чем от ее механического состава. Кадмий подвижен в кислых почвах с pH<5,5. Известкование кислых почв способствует его иммобилизации вследствие образования гидроокисей и карбонатов.

Валовое содержание цинка в пахотном слое почв России колеблется в пределах 5–80 мг/кг, содержание кадмия – 0,01–2,5 мг/кг (табл. 9). В незагрязненных районах распределение цинка и кадмия по профилю почв равномерное. Существенное увеличение их количества в верхнем горизонте почвы свидетельствует об избыточном поступлении ТМ из атмосферы. Содержание ртути колеблется в пределах 0,01–0,8, свинца 3–38, хрома 3–390, кобальта 1–15, никеля 2–70 и меди 1–140 мг/кг. Минимальные значения содержания ТМ в различных типах почв характерны для их фонового состояния. Максимальные указывают на существенное загрязнение почв, о чем свидетельствует содержание хрома, в 10–30 раз превышающее минимальное значение.

Растения на торфяных почвах зачастую испытывают недостаток меди, молибдена, цинка и кобальта. Наиболее остро на этих почвах ощущается недостаток меди, приводящий к "болезни обработки" [Ефимов и др., 1987]. Подзолистые и торфянистые

Таблица 9

Содержание тяжелых металлов в почвах России, мг/кг

Тип почвы	Тяжелый металл							
	Hg	Pb	Cd	Cr	Co	Zn	Ni	Cu
Дерново-подзолистые	0,01–0,75	3–17	0,01–2,5	10–181	3–13	5–62	6–25	4–16
Серые лесные	0,03–0,80	10–25	0,1–0,7	25–250	2–12	20–63	11–30	1–48
Черноземы	0,03–0,40	13–30	0,4–1,7	20–287	9–13	29–63	20–70	5–40
Каштановые	0,01–0,47	10–27	0,07–0,4	71–330	5–15	42–52	20–45	13–40
Красноземы	0,03–0,08	10–38	0,12–0,2	80–200	1–2	47–70	25–65	15–140
Торфяные	0,01–0,03	3–24	0,17–0,2	3–90	1–10	7–62	2–65	1–5

почвы имеют в своем составе меньше никеля, чем черноземы

Решение проблемы получения экологически безопасной продукции на загрязненных территориях невозможно без учета миграции и аккумуляции ТМ в почвенном профиле. Анализ содержания ТМ в почвах указы-

вает на характерную пространственную и вертикальную неоднородность почв

Валовое содержание цинка в се-рых лесных почвах значительно мень-ше, чем в пойменных, особенно су-щественными являются различия по его содержанию в верхнем 20-санти-

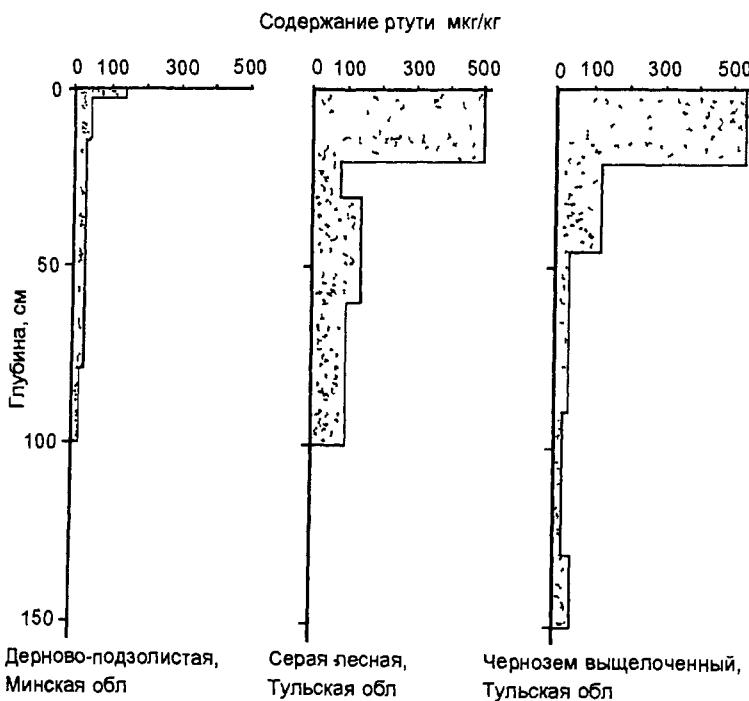


Рис. 1 Распределение ртути по профилю различных типов почв [Скрипниченко, Золотарева, 1981]

метровом слое почвы [Кузнецов и др., 1995]. Подвижность цинка почти в 2 раза больше в верхних слоях почвы (0–60 см), чем в нижних.

Содержание никеля в почвах Подмосковья колеблется в пределах 28–33 мг/кг [Учватов, 1988], тогда как в серых лесных почвах Рязанской области в пределах 33–137 мг/кг. Содержание никеля по профилю серых лесных почв убывает до глубины 80 см, а затем несколько возрастает на глубине 80–100 см.

Содержание меди в серых лесных почвах убывает по глубине профиля, а ее подвижность в верхних слоях почвы (0–40 см) в 2 раза выше, чем в нижних.

Количество хрома в серых лесных почвах повышается на глубине 20–80 см, а затем в слое 80–100 см выходит на уровень верхнего 20-сантиметрового слоя почвы. Подвижность хрома в серых лесных почвах невысока, в пределах 1,6–2 мг/кг.

Для большинства почв характерно

наибольшее обогащение ртутью верхней части почвенного профиля [Скрипниченко, Золотарева, 1981] (рис. 1). Так, в каштановых почвах накопление ртути наблюдается во второй (иллювиальной) полуметровой части профиля. Миграция ртути за пределы почвенного профиля практически не происходит. Скорее происходит аккумуляция ее в верхних горизонтах почв при незначительном содержании в почвообразующих породах, на что необходимо обратить особое внимание. Наибольшее количество ртути накапливается в илистый и мелкопылеватой фракциях почв, что связано с прочным закреплением ее основными компонентами этих фракций: гумусовыми веществами и вторичными глинистыми минералами.

Распределение кадмия по профилю почв хорошо согласуется с особенностями почвообразовательного процесса (рис. 2). В дерново-подзолистых почвах содержание кадмия всегда выше, чем в почвообразующих

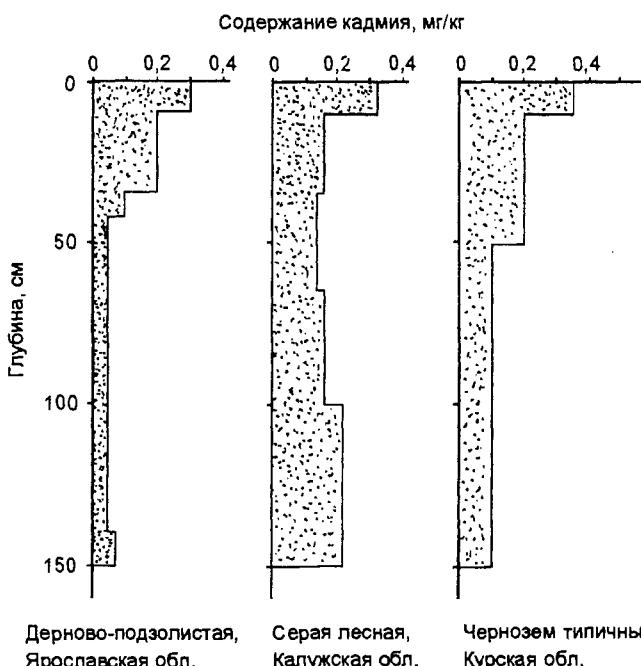


Рис. 2. Распределение кадмия по профилю различных типов почв [Алексеенко и др., 1992]

породах Наиболее беден кадмием подзолистый горизонт этих почв, тогда как в гумусовом горизонте отчетливо проявляется его аккумуляция В горизонтах более тяжелых по механическому составу содержание кадмия выше, чем в почвообразующих породах Почвы дерново-подзолистой зоны более дифференцированы по профильному распределению кадмия, что связано с образованием ассоциаций с водными оксидами железа и алюминия

Характер распределения мышьяка в почвенном профиле в определенной степени зависит от типа почвы В тяжелосуглинистом черноземе он распределяется равномерно по всему профилю аналогично распределению железа и иллистой фракции В подзолистых и бурьих горно-лесных почвах распределение мышьяка носит элювиально-иллювиальный характер, максимальное его содержание находится в иллювиальных горизонтах Для дерново-подзолистых почв характерно

элювиальное его распределение В большинстве почв накопление мышьяка в гумусовом горизонте не наблюдается, т е аккумуляция мышьяка не связана с большим содержанием гумуса

Характер распределения свинца по профилю почвы аналогичен распределению органического вещества Наибольшее количество свинца находится в верхнем 15-сантиметровом слое почвы (рис 3) В кислых дерново-подзолистых почвах происходит транзитный перенос свинца из верхних в нижние горизонты В дерново-подзолистых почвах иллювиальный горизонт содержит свинца в 1,5 раза больше, чем почвообразующие породы или верхние горизонты

Максимальное содержание подвижных форм свинца в серых лесных почвах отмечается в верхнем 20-сантиметровом слое, что составляет 39% его валовых запасов

В дерново-глеевых почвах основным барьером на пути передвижения

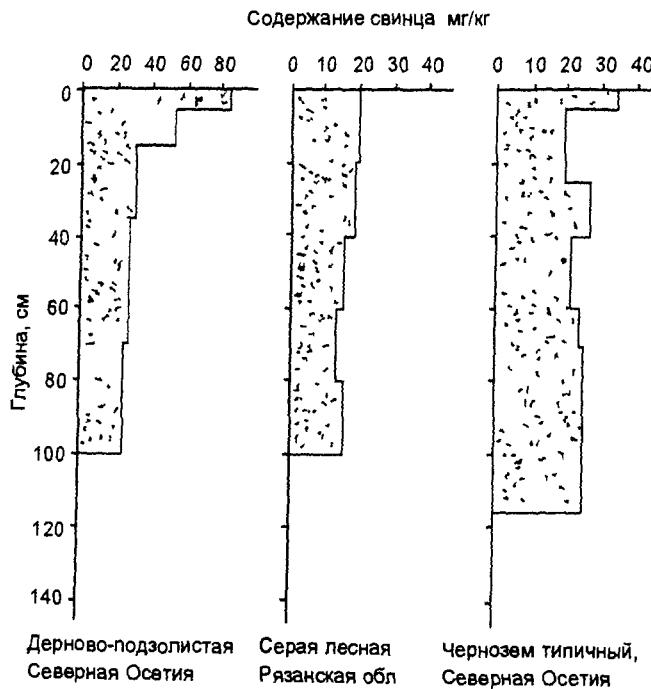


Рис 3 Распределение свинца по профилю различных типов почв [Сердюкова, 1981]

свинца в условиях кислой реакции среды является глеевый горизонт, что связано с высоким содержанием в нем ила [Сердюкова, 1981]. Свинец в этом горизонте имеет малую подвижность, кроме того, при сильном оглеении возможно образование сульфидов.

Повышенное содержание ТМ в почве нарушает процессы поглощения и передвижения элементов, изменяя характер взаимоотношений в

зависимости от отношения, например кадмия и цинка, в среде обитания растений. Свинец может снижать подвижность в почве молибдена, железа, хрома, фосфора, сульфатов и карбонатов. Высокое его содержание вызывает хлороз у растений. Содержание цинка в гумусовом горизонте выше. Он, так же как и кадмий, мало подвижен в щелочных почвах и высоко подвижен в кислых.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В МИКРООРГАНИЗМАХ

Почва является таким компонентом экосистем, где наиболее интенсивно протекает взаимодействие живой и неживой материи, где замыкаются важнейшие процессы обмена веществ, среди которых особое место занимают микроорганизмы. ТМ, попадая в почву, оказывают влияние на структуру (видовой состав, численность) и функциональное состояние микробоценоза. При высоком содержании в почве ТМ ингибируют активность ряда ферментов: каталазы, уреазы, дегидрогеназы, амилазы и инвертазы. Токсичность ТМ в неодинаковой степени проявляется по отношению к различным ферментам. В дерново-подзолистой почве наиболее чувствительны фермент каталаза [Левин и др., 1989]. В то же время в этих условиях активность уреазы не менялась. По действию на активность ферментов ТМ располагаются в следующем порядке:



ТМ вызывают изменения общей численности микроорганизмов. Под действием ТМ снижается численность олигонитрофильных, аммонифицирующих и корнеподобных бактерий, антипомицетов, тогда как количество микроскопических грибов может возрастать. Относительной устойчивостью обладают целлюлозолитические бактерии. Следует отметить, однако, что изменения численности отдельных групп микроорганизмов являются дос-

товорными в тех случаях, когда содержание ТМ на два порядка превышает фоновое.

ТМ вызывают определенные изменения в видовом составе микробоценоза. При загрязнении почв ТМ происходит сокращение видового разнообразия микробного сообщества. В то же время в грибном сообществе появляются устойчивые к ТМ виды микромицетов. Наиболее чувствительными к загрязнению ТМ являются виды рода *Bacillus*, более устойчивы псевдомонады, стрептомицеты и многие виды целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Поэтому изменения видового состава микробоценоза рекомендуется использовать в качестве критерия оценки загрязняющего действия ТМ. В загрязненной ТМ почве сокращается число видов, микроорганизмов, а абсолютным доминантом среди микромицетов становится *Penicillium rugulosum*, обладающий сильными фитотоксическими свойствами. При загрязнении почвы ТМ резко снижается доля типичных почвенных дрожжей. Повышенной толерантностью к ТМ отличаются пигментированные микроорганизмы.

При малых концентрациях ТМ происходит некоторая стимуляция развития инициированного сообщества микроорганизмов, затем их частичное ингибирование и, наконец, полное подавление. Почвенные микроорганизмы обладают разной устойчивостью к ТМ и находятся в постоян-

ном взаимодействии между собой и почвой. Поэтому реакция микробоценоза на ТМ определяется их взаимодействием с почвой, действием на микроорганизмы и на конкурентные взаимоотношения микроорганизмов

Для оценки степени воздействия ТМ на микробоценоз почвы выделяют четыре зоны устойчивости [Гузев, Левин, 1991]. **Первая зона устойчивости** (адаптивная зона), характеризующая самый низкий уровень нагрузки, является зоной гомеостаза. Эта зона включает диапазон концентрации кадмия от 0 до 7 мг/кг почвы, в которой изменяется только общая биомасса микроорганизмов, тогда как состав и организация сообщества остаются неизменными. По величине зоны гомеостаза можно расположить почвы в определенный ряд. Максимальной устойчивостью отличаются черноземы, тогда как минимальной – подзолистые почвы.

Вторая зона устойчивости, характеризующая средний уровень нагрузки, – зона стресса микробоценоза почвы. Концентрация агента в этой зоне вызывает перераспределение популяций макроорганизмов по степени доминирования. При значительных изменениях организации микробоценоза его состав остается неизменным. В этой зоне происходит преимущественное развитие токсикообразующих микроорганизмов. Они ингибируют прорастание семян растений, развитие проростков. В то же время биомасса этих микроорганизмов не потребляется почвенными беспозвоночными животными, клещами и нематодами. Между степенью микробной токсичности и продуктивностью возделываемых культур существует тесная связь. Явление токсикоза следует считать отрицательным и расценивать как загрязняющее действие ТМ на почву.

Третья зона устойчивости микробоценоза характеризует высокий уровень нагрузки и проявляется при высоких дозах ТМ – зона резистентности. В этой зоне видовое разнооб-

разие резко сокращается и преимущественное развитие получают устойчивые популяции микроорганизмов ТМ в этой зоне оказывают прямое токсическое действие на почвенные микроорганизмы, вызывая гибель большинства из них.

Четвертая зона устойчивости, характеризующая самый высокий уровень нагрузки, приводящий к полному элиминированию роста и развития микроорганизмов в почве – зона репрессии. Полное подавление активности почвенных микроорганизмов является диагностическим признаком сильного (катастрофического) загрязнения ее ТМ.

Таким образом, величину зоны гомеостаза следует рассматривать как объективный критерий, по которому следует оценивать действие ТМ на микробоценозы различных почв и определять потенциальную устойчивость микроорганизмов к загрязнению.

Накопление ТМ в плазме микроорганизмов зависит от сезонных колебаний их биомассы и от содержания элемента в почве. В биогеохимических провинциях с избыточным содержанием ТМ почвенная микрофлора накапливает в 3–150 раз больше металлов, чем микрофлора провинций с фоновым их содержанием. Загрязнение ТМ вызывает снижение нитрифицирующей способности почвы. Повышение содержания меди в кислых подзолистых почвах сопровождалось уменьшением количества минерального азота. Однако в почвах с высоким содержанием гумуса кадмий и свинец способствовали увеличению количества минерального азота. Высокие дозы кадмия и цинка подавляли уреазную и дегидрогеназную активность почв.

С увеличением содержания ТМ снижается пространственная вариабельность активности азотфиксации. В почвах, содержащих ТМ в концентрациях, более чем в 10 раз превышающих фон, вариабельность азотфиксацией активности существенно ниже.

При загрязнении почвы кадмием снижается выделение CO_2 почвой в 2–3,5 раза, при загрязнении хромом – в 2–6 раз. По силе действия на количество нитрифицирующих бактерий в почве ТМ можно расположить в следующем порядке:



Повышенное содержание ТМ в почве ингибирует процессы трансформации азота и ведет к снижению активности и количества нитрификаторов, вследствие чего затормаживаются процессы деградации азотсодержащих веществ, снижается использование минеральных форм азота.

Микробоценоз почвы приспособливается к загрязнению почвы ТМ в зависимости от их концентрации. При определенных концентрациях механизм адаптации не срабатывает и микробное сообщество претерпевает существенное изменение. Под действием возрастающих концентраций кадмия и хрома снижается количество нитрификаторов в черноземе и падает активность целлюлозоразлагающих бактерий, тогда как под действием никеля активность последних не меняется.

Таким образом, характерным признаком почв, не загрязненных ТМ, является широкая пространственная и временная вариабельность изменений всех параметров функционирования микробоценоза. При загрязнении почв, в несколько раз превышающем фоновое, изменяются отдельные показатели ферментативной активности. При этом несколько возрастает биомасса амиломитического микробного сообщества. При загрязнении почв ТМ, на порядок превышающем фоновое, происходит достоверное снижение биохимической активности почвенных микроорганизмов, происходит перераспределение степени доминирования членов активно функционирующего в почве

амиломитического микробного сообщества. При загрязнении почвы ТМ, на один-два порядка превышающем фоновое, происходит достоверное снижение целой группы показателей. Происходит абсолютное доминирование одного вида микромицетов, резко возрастает доля эпифитных дрожжей. При загрязнении почв ТМ, на три порядка превышающем фоновое, происходит резкое изменение всех микробиологических процессов, а также гибель нормальной для незагрязненных почв микрофлоры. В то же время усиливается доминирование микромицетов. При содержании ТМ в почвах, превышающем фоновое в четыре и более раз, происходит резкое снижение микробиологической активности почв, граничащее с полной гибелю микроорганизмов.

В настоящее время установлена мутагенная активность у целого ряда ТМ: кадмия, меди, ртути, свинца, хрома, никеля, марганца. Мутации микроорганизмов, вызываемые ТМ, проявляются в возникновении устойчивости к этим элементам. Так, возникновение устойчивости у ризобиев к кадмию обусловлено мутагенным действием этого металла. Однако кадмий при концентрации меньше 10 мг/л вызывает стимуляцию роста ризобиев. Почвы, содержащие наибольшее количество кадмия, несмотря на высокую адсорбционную способность, проявляли наибольший мутагенный эффект по сравнению с менее загрязненными почвами. И тем не менее почвы способны противостоять мутагенной нагрузке ТМ.

Таким образом, наиболее токсичными элементами для почвенных микроорганизмов являются ртуть и кадмий, а никель, свинец и медь – менее токсичны. Наименьшие значения ПДК тяжелых металлов приняты для пищевых продуктов, поскольку ТМ проявляют высокую токсичность в тканях растений.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В РАСТЕНИЯХ

Проблема загрязнения растений ТМ, вследствие интенсивного развития промышленности и автотранспорта обостряется еще и в связи с тем, что почва является не единственным источником поступления их в растения. ТМ могут поступать в растения непосредственно из атмосферы. Загрязнение растений атмосферным кадмием составляет 20–60% от всего содержания кадмия в растении. Поступивший атмосферный кадмий может передвигаться по всему растению. Свинец в растениях в основном поступает через корни, тем не менее он способен поглощаться и через листья. Накопление атмосферного свинца у растений вблизи автомобильных дорог может достигать 40% от его количества в растениях. Основное количество свинца сосредоточено в вегетативных органах, тогда как в репродуктивных органах накапливается 4–7% от его количества в растениях.

Кинетика поглощения ТМ растениями определяется двумя последовательными процессами: проникновением ионов в свободное пространство (СП) инопласта и поступление их внутрь клетки. Соотношение между количеством ионов в СП и внутри клеток, в цитоплазме и вакуоли зависит как от продолжительности поглощения, так и от вида иона. Наибольшее количество ионов свинца локализовано в СП корней [Моцик, Пинский, 1991]. Свинец также сорбируется стенками клеток.

Поглощение ТМ растениями – энергетически независимый процесс, в то время как их транспорт в растительной клетке – энергетически зависимый. Скорость передвижения ионов ТМ в растениях томатов составляет 0,35–0,60 м/ч [Petit, Van de Gein, 1978]. Основным механизмом движения кадмия является ионный обмен на стенах проводящих сосудов ксилемы.

Наблюдающееся при исключении

марганца снижение поступления в растения ионов марганца и кальция может привести к увеличению проницаемости поверхностных клеточных мембран и, следовательно, к нарушению механизмов активного поступления ионов.

Поглощение ТМ корнями растений включает следующие этапы: преодоление пектоцеллюлозной мембранны клеточной оболочки, затем прохождение через плазматемму, цитоплазму и тонопласт (вакуолярная мембрана). Этот путь связан с прохождением ионов ТМ через поры мембранны по градиенту концентрации, прохождением через поры мембранны с потоком растворителя, липоидной диффузией, поступлением с участием переносчиков, обменной диффузией, активным метаболическим переносом ТМ и никоцитозом. Мембранны, обладая биокаталитической активностью, осуществляют направленный перенос ТМ. Пассивная диффузия составляет только 2–3% от всего количества усвоенных элементов.

Основные пути поступления ТМ в растения – апоплазматический и симплазматический. Апоплазматический путь осуществляется по свободному пространству клеточных оболочек и межклетников по принципу диффузии и потока воды с растворенными в ней ТМ. Поступление ТМ в растения по этому пути возрастает с повышением их содержания в почвенном растворе. Симплазматический путь поступления ТМ между клетками по плазмодесмам носит избирательный характер.

В живых организмах ТМ играют двоякую роль. В малых количествах они входят в состав биологически активных веществ, регулирующих нормальный ход жизнедеятельности организмов. Нарушение этих концентраций в результате техногенного загрязнения окружающей среды ТМ приводит к отрицательным и катастрофическим последствиям для живых орга-

низмов. ТМ условно можно разделить на фитотоксичные (токсичность для растений выше, чем для человека и животных) и токсичные для человека и животных. К фитотоксичным ТМ относятся: медь, никель, цинк. Одни и те же металлы оказывают неодинаковое действие на различные виды растений.

По способности аккумуляции ТМ различными культурами установлены следующие ряды:

овес	Ni>Cu>Co>Cr>Zn>Mn
пшеница	Cd>Ni>Cu>Zn
ржь	Zn>Cd>Pb>Cu
сахарная	
свекла	Cd>Cu>Zn>Cr>Ni>Mn
кукуруза	Cd>Ni>Pb или Cd>Pb>Zn
подсолнечник	Cd>Zn>Ni>Co.
фасоль	

Установлен также ряд и для теплокровных: As, Hg, Cd>Cu, Pb, Co, Sn>Mn, Zn, Ni, Cr.

Поступление и накопление ТМ в растениях определяется целым рядом закономерностей:

- различные виды растений обладают неодинаковой способностью поглощать и накапливать ТМ;
- растения имеют физиолого-биохимические защитные механизмы, препятствующие поступлению ТМ;
- отсутствует прямая связь между уровнем загрязнения и интенсивностью поступления ТМ в растения.

В растениях ячменя количество свинца возрастает с увеличением содержания его в почве. Однако растения используют только часть свинца, находящегося в почве. В этом проявляется как способность почвы переводить соединения свинца в недоступную для растений форму, так и способность самих растений регулировать поступление этого элемента. При высоком уровне свинца в почве он накапливается в больших количествах в вегетативных органах и на порядок меньше – в репродуктивных. Большая токсичность свинца проявляется на кислых почвах и заметно снижается при их известковании, при-

менении органических и минеральных удобрений.

Наибольшее количество меди поглощают картофель, гречиха и морковь.

Доступность кадмия растениям выше на кислых почвах, чем на нейтральных. Потребление этого элемента зависит от вида растения: томаты и свекла потребляли кадмия в 2–3 раза больше, чем кукуруза при выращивании культур на кислой почве. Наибольшая часть кадмия в зерновых культурах сосредоточена в корнях, наименьшая – в зерне. Повышенное содержание элемента в растениях сопровождается покраснением и хлорозом листьев.

Содержание хрома в растениях невелико и составляет 0,0005%. Считается, что основное количество (92–95%) его сосредоточено в корневой системе.

Многолетние растения природных экосистем содержат ртути значительно больше, чем однолетние культуры агроэкосистем; исключение составляют надземные органы картофеля и подсолнечника, содержащие в 2–3 раза ртути больше, чем зерновые культуры. Растения из семейства злаковых и бобовых накапливают наименьшее количество ртути, в то время как наибольшее ее количество содержится в растениях семейства молочайных и пионовых [Скрипниченко, Золотарева, 1981]. Содержание ртути в растениях постепенно повышается к концу периода вегетации, к моменту полного морфогенетического формирования растений.

Наибольшее количество свинца в растениях содержится в конце июля – начале августа, т.е. в период массового цветения трав природных экосистем, с постепенным понижением к осени.

Кислотно-основные свойства и содержание гумуса – главные показатели, определяющие устойчивость почв, загрязненных ТМ, характер поведения ТМ в почве и их доступность растениям [Моцик, Пинский, 1991]. Токсичные

Таблица 10

Критические уровни содержания тяжелых металлов в растениях и растительных кормах, мг/кг сухого вещества

Тяжелый металл	Критические уровни содержания ТМ	
	для растений	для кормов
Хром	2–20	50–300
Ртуть	0,5–1	0,1–1
Свинец	10–20	10–30
Медь	15–40	10–300
Никель	20–100	50–250
Кадмий	5–10	0,5–1
Цинк	150–500	300–1000
Кобальт	10–100	10–50

для растений концентрации ТМ в зависимости от свойств почв могут варьировать в значительной степени (табл. 10). Эти уровни колеблются в 2–5 раз для различных ТМ при выращивании сельскохозяйственных культур и до 30 раз – при производстве кормов.

Широкое варьирование значений ПДК ТМ характерно для растений ячменя (табл. 11). Причем нормальные уровни содержания ТМ существенно ниже значений ПДК этих элементов. Уровни нормального содержания в растениях определяются видом ТМ и колеблются от 0,02 мг (ртуть) до 60 мг (цинк).

Уровень содержания ТМ в почве, при котором происходит снижение продуктивности растений в 5–(6) раз, называется токсичным. Например, токсичным уровнем содержания цинка (мг/кг) в почве является: овес – 435–725, клевер – 210–290, свекла – 240–275. Токсичный уровень кадмия в почве для пшеницы и сои составляет 2,5 мг/кг. Шпинат, салат, соя снижали продуктивность при содержании кадмия в пределах 4–13 мг/кг, томаты и капуста выдерживали до 170 мг/кг, рис оказался наиболее устойчивым и угнетался при содержании кадмия в почве, равном 640 мг/кг.

ТМ нарушают нормальный ход

Таблица 11

Нормальные и предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в молодом ячмене, мг/кг сухого вещества

Тяжелый металл	Нормальная концентрация	ПДК
Медь	11	14–35
Никель	2	11–13
Цинк	60	120–220
Кадмий	0,5	4–10
Кобальт	0,5	3–9
Хром	0,3	5–20
Ртуть	0,02	2–5
Свинец	2	20–25

биохимических процессов, влияют на синтез и функции многих активных соединений: ферментов, витаминов, пигментов. При высоких концентрациях ТМ (cadmий, свинец, медь, цинк) происходит снижение количества хлорофилла, вследствие ингибирования синтеза магний-порфирина. ТМ также снижают поступление железа у ряда растений (клевер, салат, ячмень). Под действием ТМ снижается содержание фосфора, кальция, магния в растениях, при этом ТМ тормозят синтез фосфорогранических соединений клетки. Под действием ТМ происходит изменение мембран, что приводит к нарушению ближнего и дальнего транспорта [Wallace, 1979]. Повышенное количество цинка, свинца и кадмия снижает поступление в растения кальция и фосфора. По отношению к этим элементам ТМ присущи взаимодействия внешнего характера [Черных, 1991], которые проявляются в антагонистических отношениях ионов ТМ с ионами кальция и образовании труднорастворимых соединений с фосфатом на первых этапах поступления их в корневую систему, что приводит к дефициту фосфора и кальция.

Под действием возрастающих доз ТМ усиливается поступление азота в растения клевера. Усиление синтеза белка в растениях, по-видимому, связано с существованием защитного механизма, направленного на инактивацию ТМ благодаря синтезу низкомолекулярных белков с образованием комплексов металлопротеинов. Так, низкомолекулярные серусодержащие белки способны прочно связывать ТМ. ТМ снижают количество растворимых сахаров, сырого жира и клетчатки в листьях клевера.

Действие ТМ на образование и рост клеток чехлика корня неодинаково [Нестерова, 1989]. Так, свинец, цинк и кадмий изменяют как процессы пролиферации клеток в меристеме, так и процессы роста клеток растяжения. Изменение роста корней в присутствии ТМ в большей степени определяется изменением числа клеток и

роста, чем изменением длины клеток, заканчивающих рост. Торможение роста корней в присутствии свинца обусловлено снижением запаса делящихся клеток в меристеме, в присутствии кадмия – торможением перехода клеток к растяжению и снижению скорости растяжения.

Недостаток цинка вызывает, с одной стороны, ослабление процессов биосинтеза активаторов роста индольной природы, с другой – накопление ингибиторов роста, что приводит к нарушению правильного соотношения активаторы:ингибиторы, в результате чего наблюдается задержка ростовых процессов, связанных с нарушением в обмене нуклеиновых кислот.

При резком увеличении содержания свинца и кадмия в листьях люцерны и кукурузы подавляется фотосинтетическая активность мезофильных клеток (на 10–30%), а это, в свою очередь, вызывает снижение продуктивности растений [Стрнад, Золотарева, Лисовский, 1991]. В этих условиях в мезофильных листьях картофеля подавляется только гетеротрофная компонента энергобеспечения. Падение продуктивности картофеля происходит, по-видимому, вследствие нарушения транспортной функции листьев и стеблей, митохондрии которых частично или полностью парализуются, что ведет к угнетению роста и развития растений. Наряду с физиологическими системами, ограничивающими поступление ТМ, растения располагают мощным аппаратом, выводящим их при выделении метаболитов. От избыточного количества ТМ растения могут освобождаться с корневыми выделениями, в процессе транспирации и дыхания. Растения транспортируют вместе с влагой значительное количество ТМ, составляющее целые проценты от их содержания в растительном организме.

По уровню аккумуляции ТМ овощными культурами можно судить о складывающейся санитарно-гигиенической обстановке вокруг промыш-

ленных предприятий. При этом необходимо придавать большее значение минеральному составу растений, нежели величине урожая.

Проявление токсичности ТМ неоднозначно. Медь, ртуть при токсичных концентрациях подавляют активность ферментов. Эти металлы с органическими веществами образуют комплексные соединения, способные проникать через клеточные мембранны. Кадмий, свинец, ртуть и медь в основном подавляют активность фосфатазы, катализы, оксидазы и рибонуклеазы.

Некоторые ТМ (кадмий, медь) взаимодействуют с клеточными мембранными, изменяя их проницаемость, вызывают разрыв клеточных мембран. Ряд ТМ конкурируют с необходимыми растению элементами и нарушают их важнейшие функции: кадмий замещает цинк, литий конкурирует с натрием.

Кадмий, благодаря близости их химических свойств, может выступать в роли цинка во многих биохимических процессах, подавляя активность ряда ферментов (карбоингидразы, фосфатазы, дегидрогеназы), связанных с дыханием и другими физиологическими процессами. Кроме того, кадмий подавляет активность протеиназ и пептидаз, участвующих в белковом обмене. Замещение цинка на кадмий в растениях приводит к цинковой недостаточности и, как следствие, к их угнетению и гибели.

Устойчивость растений к ТМ определяется комплексом факторов, одним из которых является содержание ТМ в почвенном растворе. Существует целый ряд растений, способных накапливать отдельные ТМ без видимых признаков угнетения. Например, салат и шпинат могут содержать до 100 мг/кг кадмия без видимых проявлений отравления. Эти же растения могут содержать до 300–400 мг/кг кадмия. По чувствительности к кадмию растения можно расположить в следующий ряд: томаты < совес < салат < луговые травы < морковь < редька < фасоль < горох < шпинат [Алексеев, 1987].

Однако механизмы устойчивости различных видов растений к повышенному содержанию ТМ изучены недостаточно. Устойчивость растений к одному металлу не распространяется на другой, т.е. сугубо специфична. По-видимому, эта устойчивость является генетически закрепленным признаком, который можно использовать при выведении новых сортов, способных формировать экологически безопасный урожай в условиях техногенного загрязнения почв.

Кислотность почвенного раствора влияет на подвижность ТМ и усвоение их корневыми системами растений. Фитотоксичность марганца тесно связана с pH. В почвах с pH ниже 5,5 марганец находится в растворимой форме, а при pH 5,7 и 7,5 его подвижность снижается в связи с переходом Mn^{2+} в Mn^{4+} и образованием нерастворимых соединений.

Различные виды растений проявляют неодинаковую устойчивость к повышенному содержанию ТМ в почве. Устойчивые виды растений могут быть использованы на землях с высоким содержанием ТМ. Наиболее устойчивые растения к высокому содержанию ТМ в почве выявлены в основном среди дикорастущих видов, однако и среди культурных растений также встречаются довольно устойчивые виды (хлопчатник, свекла, бобовые и лекарственные культуры). Эти виды переносят без каких-либо признаков токсикоза содержание в тканях большого количества ТМ, в десятки и сотни раз превышающего их содержание в других видах.

Высокой способностью аккумулировать ТМ обладает салат, тогда как картофель и морковь проявляют устойчивость к их повышенному содержанию. Устойчивы к повышенному содержанию кадмия и цинка растения из семейства злаковых, благодаря избирательной способности их корней. Отдельные сорта пшеницы и кукурузы обладают повышенной устойчивостью к фтору. Перец сладкий, бобы, кукуруза и пшеница оказались устойчивыми к высокой концентрации

марганца благодаря способности их корней выделять избыточное количество марганца в окружающую среду. Сорта риса, устойчивые к марганцу, накапливали больше железа, чем сорта, менее устойчивые. Устойчивость к цинку гибридных форм оказывается выше, чем у исходных. Генетически закрепленным признаком является устойчивость растений и к свинцу, но известны случаи, когда устойчивость растений к высоким концентрациям никеля не наследовалась.

ТМ, поступая в растения, способны оказывать влияние на многие физиолого-биохимические процессы, связанные с защитными функциями растений против возбудителей болезней. Недостаток некоторых ТМ приводит к физиологической депрессии и потере естественной устойчивости. В результате в тканях растения создается благоприятная среда для развития возбудителя.

Применение ТМ (меди, кобальта, молибдена) снижает поражение растений подсолнечника белой гнилью в результате того, что под их действием резко возрастает активность ортодифенолоксидазы, которая подавляет возбудителя данной болезни [Лунгу, Кауш, Тома, 1994].

Современная фармакология в последние десятилетия достигла огромных успехов в синтезе новых быстродействующих лекарственных препаратов. Погоня за высокоэффективными средствами оттеснила на задний план весь исторический опыт лечения различных болезней с использованием сокровищ природы. Но все химические препараты с мощным фармакологическим действием, воздействуя положительно на больной орган или нарушенный процесс в организме человека, параллельно могут оказывать столь же мощное отрицательное действие на другие органы и процессы, вызывая порой необратимые сдвиги. Пытаясь отойти от химических лекарственных препаратов в последние годы, мы все пристальнееглядываемся в веками накопленную ин-

формацию по использованию природных средств для оздоровления людей, не исключая в то же время в ряде случаев и применение химических препаратов, а также разумное их сочетание с лекарственными растениями.

Хронические заболевания требуют длительного лечения. Использование синтетических лекарств в этих случаях неизбежно приводит к побочным эффектам. Применение же растительных препаратов, более близких природе человека, благодаря широкому их ассортименту и возможности замены одного на другой, оказывает более мягкое воздействие и позволяет более длительное их использование. Физиологически активные вещества, входящие в состав растений, способны нормализовать функции различных органов в период болезни, а будучи использованы в профилактических целях, не допустить возникновения и развития болезни.

Эффективность лекарственных растительных средств значительно выше синтетических по той причине, что в организм вводятся не искусственные химические соединения, а вещества биогенного характера. Активность и доступность любого элемента, находящегося в органическом комплексе в "биологических концентрациях", во много раз превосходит активность его неорганических солей.

Поистине "кладовой здоровья" является растительный мир, повсюду окружающий нас. Дикорастущие лекарственные растения, плоды, ягоды, грибы, орехи очень широко распространены в нашей стране и имеют исключительное разнообразие. Живя среди растений, питаясь и лечась ими, человек в значительной степени зависит от той среды, которую создают растения, а также от их количества и качества. Поэтому необходимо не только развивать и совершенствовать сельскохозяйственное производство лекарственных растений, но и улучшать использование природных растительных богатств. Насчитывается

более 1000 видов лекарственных растений, используемых в виде порошков, отваров, настоев и экстрактов. Но только 200 видов изучены научной медициной. Они используются как непосредственно в лечебных и пищевых целях, так и для наработки и выделения биологически активных компонентов, используемых в фармакологии. Это гликозиды, флавоноиды, алкалоиды, кумарины, органические кислоты, фурокумарины, эфирные и жирные масла, витамины, терпеновые соединения, слизи, пигменты, камеди, ферменты, антибиотики, минеральные соли. Научной медициной исследуется в основном биохимический состав растений в целях выявления биологически активных компонентов. В то же время практически отсутствует оценка лекарственного сырья по присутствию в нем других экологически опасных компонентов, способных оказать негативное воздействие на организм человека.

В своей книге "Таинство сил исцеляющих" В.С.Городинская (1990), опираясь на труды В.И.Вернадского, пишет, что растения и человек связаны единой целостностью происхождения, развития и существования в природе. Живые организмы совершенно по-иному организуют структуру косных минералов, преобразуя их химические и физические свойства до такого состояния, в которых они в неорганической природе находиться не могут. Именно растения выполняют роль преобразования косного вещества в биогенное, которое только может усваиваться человеческим организмом. Исходя из философии единства всего сущего, имеет место единство болезнестворных организмов, поражающих растения, животных и человека. И те биохимические соединения, которые синтезируют растения для собственной защиты от болезней, с наибольшей эффективностью могут применяться для борьбы с болезнями человека и животных.

Учитывая все выше сказанное и острый дефицит лекарственных пре-

паратов в нашей стране, проблемам производства, сбора и заготовки лекарственных растений должно уделяться большое внимание. Общая экологическая загрязненность ландшафтов ставит открытым вопрос о качестве лекарственного сырья, как дикорастущих растений, так и возделываемых в культуре.

Нами предприняты первые шаги по исследованию содержания в лекарственных растениях приоритетных загрязнителей – ТМ и нитратов. Полученные данные приведены в таблицах.

Все растительные образцы собирались с экологически чистых территорий вдали от сельскохозяйственных угодий, промышленных предприятий и автотрасс (пригородные леса и луга г.Пущино Московской обл.) в сроки, благоприятные для сбора сырья. (Исключение составляли образцы, помеченные в таблице звездочкой, данные образцы приобретены в аптеках, место и сроки сбора не зафиксированы.)

Наибольшее количество кадмия содержали черноголовка, сушеница топяная, сельдерей, ромашка, лист ландыша, зверобой, мятя перечная, тимьян огородный и семена укропа (от 0,75 до 0,300 мг/кг сухого вещества). Меньше всего кадмия было в доннике, плодах шиповника, ежевики, аронии черноплодной, клевере луговом, спорыше, листьях земляники, в плодах облепихи, листьях ежевики, вынке, синяке (менее 0,002 мг/кг).

Наибольшее количество свинца обнаружено в мяте перечной, ромашке аптечной, листьях любистока, листьях ландыша, пустырнике, сушенице топяной, гречихе, доннике, копытне, кипре, лопухе, мат-и-мачехе и репешке (от 6,0 до 2,5 мг/кг). Минимальные количества этого элемента обнаружены в физалисе, плодах шиповника, щавеле конском, календуле, спорыше, подмареннике, шалфее, корне цикория, в тысячелистнике, листьях облепихи, малины, в плодах ежевики, полуха, кориандра, в клевете

ре, иссопе, горце перечном и гвоздике (не более 0,5 мг/кг).

Больше всего хрома обнаружено в грушанке, зверобое, сельдерее, в корнях лопуха и одуванчика, в душице, листьях любистока, мать-и-мачехе, подмареннике, подорожнике, чистотеле (от 4,0 до 2,0 мг/кг). Следовые количества хрома обнаружены в доннике, горце перечном, календуле, репешке, синеголовнике и физалисе.

Наибольшее количество кобальта содержат черноголовка, корень лопуха, листья любистока, ландыша, чернокорень (трава), грушанка, трава чистотела, копытня, плоды калины (50–20 мг/кг). Не обнаружен кобальт в базилике, выонке, гвоздике, герани, горце перечном, доннике, ежевике, зверобое, землянике, иссопе, клевере, календуле, лопухе, малине, настурции, облепихе, одуванчике, петрушке, порее, спорыше, синяке, сныти, салате цикорном, тимьяне, шалфее и шиповнике.

Наиболее высокое содержание марганца (770–200 мг/кг) обнаружено в коре дуба, цветках липы, в листьях ежевики, малины, корне папоротника, в листьях ландыша и сныти. Не обнаружен марганец в семенах укропа, в репешке, доннике, цветках календулы.

Больше всего цинка обнаружено в настурции, в базилике, душице и ландыше (270–180 мг/кг), меньше всего – в грушанке, репешке, валериане, гречихе, коре дуба, мелиссе, побегах брусники (9,5–28 мг/кг).

Содержание никеля в растениях не отличается заметно и не превышает 28 мг/кг (трава чистотела), в следовых количествах этот элемент присутствует в горце перечном и листьях подорожника. По содержанию меди колебания для всех видов растений незначительные. Максимальное содержание ее в корне лопуха (50 мг/кг). В доннике, мелиссе лимонной, толокнянке и физалисе медь не обнаружена.

Анализируя данные по содержанию нитратов и металлов в различных органах растений, не представля-

ется возможным проследить какие-нибудь четкие закономерности. Так, нитраты накапливаются в больших количествах корнями чистотела, чернокорня, копытня, а в лопухе максимальное количество нитратов обнаружено в листьях. Марганец накапливается больше всего в листьях (за исключением лопуха и чистотела). Медь и цинк сконцентрированы преимущественно в плодах. Для остальных элементов нет никаких закономерностей в их накоплении растениями.

Установлен ряд закономерностей между содержанием ТМ и накоплением биологически активных соединений у дикорастущих лекарственных растений [Фетисов, Дмитриев, 1990]: прямо пропорциональная зависимость между накоплением меди, кадмия и содержанием суммы флавоноидов в траве зверобоя пронзенного; обратно пропорциональная зависимость между содержанием свинца в сырье и накоплением эфирного масла в траве душицы; прямо пропорциональная зависимость между накоплением алюминия, марганца и железа и содержанием сесквитерпеновых лактонов в траве полыни горькой; прямо пропорциональная зависимость между содержанием алюминия, марганца и обратно пропорциональная зависимость между содержанием цинка, никеля и меди и накоплением флавоноидов в цветках пижмы; прямо пропорциональная связь между накоплением марганца, меди, кадмия и урожайностью сырья тысячелистника обыкновенного.

Каждое растение обладает своим генетически обоснованным набором элементов, и наиболее четко эти характеристики просматриваются в составе регенеративных органов. Содержание элементов в растении может меняться в зависимости от условий произрастания. При избыточном содержании какого-либо из элементов в почве или воде избыток этого элемента будет накапливаться в других органах растения, пытаясь сохранить ге-

нетический код в репродуктивных органах.

Повышенное содержание марганца, серебра и ванадия соответствует повышенному содержанию в зеленых частях растений витаминов С, Р и каротина; высокое содержание меди, хрома и титана бывает при наличии в растении витамина К. Повышенное содержание цинка, марганца, молибдена и хрома наблюдается у гликозидсодержащих растений; никель – у алкалоидоносных, а полисахариды накапливают хром и марганец. Кроме того, ряд элементов обладает непосредственно лечебным действием [Упитис, Губарь, 1986; Ноздрюхина, Гринкевич, 1980]. Так, железо и медь эффективны при малокровии, литий – при психических заболеваниях, хром – при диабете. Особенно важно, что нарушения в микрэлементном составе вызывают изменения в ферментной системе, а значит и нарушение жизненных функций организма.

Все это дает основание считать ТМ важной частью лекарственных растений и вызывает повышенный интерес к изучению элементов как действующих веществ лекарственных растений. Необходим строгий контроль за качеством лекарственного сырья в условиях повышенной антропогенной нагрузки во избежание его отрицательного действия на здоровье человека.

В современных условиях загрязнения окружающей среды ТМ вопрос стабильности качества урожая приобретает определенный смысл, который трактуется в возможности получения растениеводческой продукции, пригодной в пищу человека.

Повышенное количество ТМ в продукции растениеводства создает опасность для здоровья человека и животных. Знание особенностей распределения ТМ в органах и тканях культурных растений поможет решить проблему негативного воздействия ТМ на организм человека и животных.

Вопросы накопления ТМ отдельными органами и особенно тканями

требуют внимания, поскольку избыточные количества этих элементов могут вызывать не только разнообразные отравления живых организмов, но и быть ведущими факторами, способствующими развитию различных заболеваний.

Проблема избыточного накопления ТМ в растениях затрагивает широкий круг вопросов, касающихся механизмов поглощения, транспорта, метаболизма и распределения его в органах и тканях. Эти же вопросы тесным образом связаны с видовыми и сортовыми особенностями возделываемых культур, с ролью экологических и антропогенных факторов, с разработкой нормативов допустимых количеств ТМ в урожае и продуктах, с разработкой эффективных технологий и приемов по уменьшению их уровня в продуктах питания и кормах. Знание закономерностей распределения ТМ в тканях и органах растений является ключом к познанию механизмов перераспределения и аккумуляции ТМ в процессе развития растений, позволяет разработать достоверные методы оценки качества урожая.

Знание особенностей распределения ТМ в растениях необходимо для рационального использования продукции в процессе технологической переработки (консервирование, сушка, варка, квашение, соление, приготовление соков и пюре) и при употреблении ее в пищу в свежем виде.

Однако определение зон локализации ТМ, распределение по органам и тканям растений и других компонентов экосистем изучены недостаточно. В то же время получение таких сведений позволило бы подойти к решению задач прогноза аккумуляции ТМ биологическими объектами при различных уровнях загрязнения окружающей среды. Более того, получение этих данных дает возможность выбрать те звенья экосистем, которые необходимо контролировать при осуществлении экологического мониторинга окружающей среды.

Распределение ТМ в растениях

тесно связано с существованием ряда барьеров: почва—корень, корень—стебель, стебель—лист, стебель—репродуктивные органы, влияющие на характер поступления ионов в растение. Распределение ТМ в растениях зависит от вида самих растений и может меняться в зависимости от условий их выращивания. Различным содержанием ТМ отличаются не только разнообразные виды растений, но и части одного и того же растения, одного и того же органа.

По распределению по органам растений химические элементы делятся на две группы: базипетальные и акропетальные [Сабинин, 1955]. При акропетальном распределении наибольшее количество ТМ находится в корнях, меньшее — в стеблях и листьях, при базипетальном — наибольшее количество ТМ находится в листьях и меньшее — в стеблях и корнях.

Содержание ТМ как в отдельных органах, так и в растениях в целом не постоянно и изменяется в ходе вегетационного периода. Эти изменения

происходят по двум причинам: вследствие неодинакового потребления ТМ растением в разные периоды своего развития и вымыванием их из надземных органов осадками. Так, дождями вымывается 60–90% меди и 15–80% марганца от общего содержания их в надземных органах.

Наибольшее количество ТМ сосредоточено в мелких корнях мандаринового дерева, поскольку они выполняют функцию усвоения их из почвы [Зырин и др., 1979]. Наименьшее количество ТМ находится в стволе и ветвях (табл. 12). В листьях содержится достаточно большое количество цинка и марганца. Причем, значительная часть этих элементов возвращается в побеги дерева прежде, чем листья опадут.

ТМ в плодах мандарина распределены также неравномерно (табл. 13). В кожуре содержится больше марганца, а в мякоти — цинка и меди.

Распределение цинка в органах растений связывают с хлорофиллом. Содержание цинка в частях растений,

Таблица 12

Распределение тяжелых металлов в органах мандаринового дерева, мг/кг сухого вещества

Орган дерева	Тяжелый металл		
	Zn	Cu	Mn
Листья	20,3	5,2	68,1
Побеги	26,4	15,3	66,1
Ветви	5,3–8,7	5,1–6,0	24,4–30,8
Ствол	4,5	5,5	19,7
Корни	2,1–70,0	2,3–44,3	4,7–680,0

Таблица 13

Распределение тяжелых металлов в плодах мандарина, мг/кг сухого вещества

Часть плода	Тяжелый металл		
	Zn	Cu	Mn
Кожура	5,6	2,8	6,9
Мякоть	8,4	4,2	5,6

бедных хлорофиллом, находится в пределах 7–27 мг/кг, в частях, богатых хлорофиллом, – 40–95 мг/кг сухого вещества.

Содержание меди и цинка повышенено во флешах, меньше их в листьях чайного куста (табл. 14). Марганец в основном содержится в листьях, меньше его во флешах и в стеблях. Наименьшее количество марганца находится в семенах и корнях.

Ветви бересклета и листенница содержат цинка в 1,5–2 раза меньше, чем листья, ствол и кора [Алексеенко и др., 1992]. Зерновые культуры (яровая пшеница, овес, ячмень, сорго, просо) максимальное количество цинка содержат в зерне по сравнению с листьями и стеблем [Радин, 1970]. Неравномерность распределения цинка в различных органах одного и того же вида растения сохраняется при увеличении его содержания в почве. Содержание цинка в корнях губучника более чем в 3 раза превышает его количество в однолетних побегах и ветвях. В корнях рябинолистника его содержание в 6 раз выше, чем в однолетних побегах, и в 3 раза – чем в ветвях. При общем увеличении содержания цинка в растениях количество его в коре бересклета в 2,5 раза оказалось выше, чем в ветвях. Неравномерность распределения цинка в органах осины также сохраняется, однако ее направленность меняется, поэтому цинка оказалось больше в ветвях, чем в коре. В различных органах растений увеличение содержания

цинка идет непропорционально. Так, в хвою если оно возрастает более чем в 6 раз, тогда как в коре – в 1,6 раза.

Повышенное количество меди находится в листьях калины, липы, дуба и ивы; цинка – в листьях ивы и бересклета; свинца – в коре дуба и ивы; кадмия – в ветвях ивы и бересклета; ртути – в хвою сосны (табл. 15). Высокое количество кадмия находится в листьях ивы и в хвою сосны [Золотарева, 1984], цинка – в ветвях бересклета и ивы.

В органах растений хром распределяется неравномерно [Власюк, 1979]. Небольшое количество хрома находится в плодах смородины, однолетних побегах сливы, семенах яблони и совсем незначительное – в усиках клубники и плодах яблони.

Больше всего кобальта находится в корнях растений, т.е. в основном в несъедобных его частях, а никеля – в метелке и репродуктивных органах овса, наименьшее его содержание – в зерне кукурузы и ржи.

Семена плодов яблони содержат больше свинца, чем мякоть, тогда как у персика, наоборот, большее количество его находится в мякоти. В плодах сливы мякоть и семена содержат одинаковое количество свинца.

Растения-эдификаторы определяют физиономичность растительного покрова в пределах отдельных растительных зон. Они играют основную геохимическую роль в биосфере в целом. По способности накапливать ТМ (ртуть, свинец, кадмий), обладающих кумулятивным эффектом, выделяются

Таблица 14

Распределение тяжелых металлов в органах чайного куста, мг/кг сухого вещества

Орган куста	Тяжелый металл		
	Zn	Cu	Mn
Флеша	25,0	11,6	488
Листья	13,5	8,8	915
Стебли	7,5	7,5	302
Семена	5,0	4,4	159
Корни	13,5	7,4	157

несколько видов концентраторов [Скрипниченко и др., 1988]. В больших количествах свинец и кадмий накапливают: головчатка (*Cephalaria uralensis*) и сочевичник (*Lathyrus vernus*). Видовая принадлежность растений играет немаловажную роль в накоплении элементов не только растениями, но и его отдельными органами. В растениях, принадлежащих к семейству злаковых, накопление ТМ подчиняется закономерности: корни > листья > стебли, тогда как для растений семейства сложноцветных закономерность имеет другой вид: листья > корни > стебли.

Цинк, медь, кадмий и марганец накапливаются в верхней части листьев *H-splendes* вследствие их поступления из атмосферных выпадений и из нижерасположенных частей побегов [Парібок и др., 1985]. У мхов рода

Sphagnum содержание ТМ увеличивалось по длине побега сверху вниз. По-видимому, концентрационный градиент ТМ в побегах мхов зависит от ряда факторов: особенностей климата, свойств почв, влияния источника загрязнения, вымывания ТМ из крон деревьев, т.е. зависит от особенностей снабжения мха ТМ из окружающей среды и субстрата.

Знание неравномерности распределения ТМ в растениях позволяет разрабатывать систему мероприятий, обеспечивающих получение экологически безопасной продукции при различном уровне загрязнения экосистем. Так, при возделывании на приграничных полосах по обе стороны от дороги необходимо подбирать такие растения, которые не накапливают ТМ в хозяйственно ценной части урожая. Такой особенностью обладает гречий

Таблица 15

Распределение тяжелых металлов в древесных растениях и кустарнике, мг/кг
[Золотарева, 1984]

Вид растения	Орган	Тяжелый металл				
		Cu	Zn	Pb	Cd	Hg
Сосна	Хвоя	3,8	45	0,8	0,4	0,04
	Ветви	5,6	51	1,8	0,13	0,02
	Кора	2,9	17	1,5	0,3	0,03
Ива	Листья	7,9	165	2,35	0,45	0,02
	Ветви	5,6	121	2,13	0,74	0,02
	Кора	4,8	107	3,17	—	0,01
Береза	Листья	5,1	134	2,0	0,35	0,02
	Ветви	5,5	135	3,1	0,37	0,02
	Кора	4,4	65	1,6	0,25	0,01
Дуб	Листья	8,8	38	2,4	0,35	0,02
	Ветви	8,0	42	2,2	0,20	0,02
	Кора	6,9	20	5,1	0,36	0,02
Липа	Листья	9,5	33	3,3	0,34	0,02
	Ветви	7,8	54	4,1	0,26	0,02
	Кора	3,2	23	2,1	0,23	0,01
Калина	Листья	16	48	2,0	0,19	0,03
	Ветви	6	69	2,9	0,33	0,01

орех, зачастую возделываемый вдоль дорог южных регионов России. Вблизи дорог основное количество ТМ накапливается в оболочках ореха (экзо- и эндокарпий), примерно в 2–3 раза выше, чем в семени [Глуховский и др., 1994]. Исключение составляет цинк, содержание которого в семенах в 15–16 раз выше, чем в оболочках. Причиной тому, по-видимому, является то, что цинк принимает активное участие в биосинтезе белков и углеводов, которыми богато семя. Кроме того, цинк крайне необходим при биосинтезе РНК во время прорастания семени.

Наибольшее количество никеля находится в корнях молочая и василька [Ягодин и др., 1994], а также в цветках молочая (табл. 16). Минимальное его содержание характерно для стеблей обоих видов. Листья и цветки василька содержат примерно одинаковое количество этого элемента.

Наибольшее количество никеля находится в метелке и репродуктивных органах овса, наименьшее – в зерне кукурузы и ржи.

В ряде случаев содержание ТМ в корнеплодах сопоставимо с их количеством в листьях и стеблях. Это связано с тем, что на корнеплодах имеются корни с проводящей системой, пронизывающей их толщу. По ксилеме ТМ с транспирационным током апоплазматическим путем могут проникать в корнеплоды, поэтому содержание в них ТМ будет зависеть от объема проводящих сосудов ксилемы

и концентрации ТМ в почвенном растворе. Клубни в меньшей степени загрязняются ТМ, так как они не имеют проводящих пучков ксилемы. Загрязнение клубней обусловлено диффузией ТМ через кожуру, контактирующую с почвой. Поэтому почти весь свинец накапливается в кожуре клубней. Значительные различия по количеству ТМ отмечены для ксилемы и флоэмы корнеплодов моркови. По данным Г.А.Гармаш (1982), в центральной части корнеплода содержалось 5,33 мг/кг, а во флоэме только 0,77 мг/кг, тогда как в целом корнеплоде находилось 1,4 мг/кг сухого вещества кадмия. Подобная закономерность наблюдалась и по распределению свинца: в ксилеме – 50,9 мг/кг, во флоэме – 5,13 мг/кг, в целом корнеплоде – 11,1 мг/кг.

Поступая в растения, ТМ распределяются в их органах и тканях неравномерно. Познание неравномерности аккумуляции ТМ в растениях может помочь в значительной степени ограничить их поступление в организм человека, снизив тем самым их негативные последствия (специфические расстройства и заболевания).

Зачастую корневые системы растений содержат большее количество цинка по сравнению с надземными органами [Кабата-Пендис, 1989]. В надземных органах цинк большей частью концентрируется в старых листьях. Корни пшеницы отличаются более высоким содержанием свинца и кадмия по сравнению с листьями [Ильин, Степанова, 1980]. По данным

Таблица 16

Распределение никеля в органах растений, мг/кг сухого вещества

Орган растения	Вид растения	
	Молочай	Василек
Корни	4,4	7,3
Цветки	4,6	2,7
Листья	1,7	3,0
Стебель	1,3	2,1

Г.А.Гармаш (1987), уровень накопления ТМ в репродуктивных органах растений значительно ниже, чем в вегетативных, и определяется биологическими особенностями культуры (табл. 17), физиологической ролью элемента, его содержанием в почве и доступностью растениям. Органы накопления ассимилятов (корнеплоды, клубни, плоды) содержат значительно меньше ТМ, чем вегетативная масса растений [Гармаш, 1987]. Это можно считать положительным фактором, поскольку именно они составляют хозяйственное ценную часть основных овощных культур.

Накопление и распределение ТМ в органах растения определяется прежде всего его видом, физиологической специализацией и морфологическими признаками отдельных органов (типов листьев, размером черешков и жилок, величиной центрального цилиндра в корнеплодах). Особую остроту приобретает знание распределения ТМ в овощных культурах, поскольку возрастает их доля в дневном рационе человека.

В корнеплодах моркови содержание ТМ (кроме железа) убывает от кончика к его головке. Для железа характерно высокое содержание в головке и равномерное распределение в остальной части корнеплода. В центральной части корнеплода содержится повышенное количество

цинка и свинца, тогда как в коровой части – меди, марганца, кадмия и железа. Для нижней части корнеплода столовой свеклы характерно повышенное содержание всех элементов, кроме меди. Наименьшее содержание меди и железа отмечено в средней части корнеплода. В центральном цилиндре находится повышенное количество цинка и свинца, тогда как в коровой части – меди, марганца, кадмия и железа.

Минимальное количество кадмия, цинка и свинца находится в мякоти клубней картофеля, а повышенное количество железа характерно для периферийной части. Медь распределена равномерно во всех частях клубня. Повышенное содержание марганца находится в мякоти клубня.

Практически содержание всех элементов возрастает (примерно в 3–5 раз) от внешних листьев кочана к его кочерыге. Все зоны кочана капусты отличаются повышенным содержанием цинка и пониженным количеством кадмия по сравнению с другими овощными культурами и картофелем.

У плодов кабачков ТМ рассредоточены примерно одинаково по всей их длине, кроме зоны, примыкающей к плодоножке (примерно третья-четвертая часть плода). В этой зоне содержание ТМ повышается в 1,5–3,0 раза по сравнению с их количеством в остальной части плода. Наи-

Таблица 17

Распределение тяжелых металлов в органах растений, мг/кг сухого вещества,
[Гармаш, Гармаш, 1987]

Вид растения	Орган	Тяжелый металл	
		Pb	Cd
Озимая пшеница	зерно	0,5–0,6	0,1–1,1
	солома	2,0–4,8	0,3–3,8
	корни	1,5–210,5	1,0–27,6
Ячмень	зерно	0,62–1,1	0,09–0,19
	солома	2,0–6,5	0,12–0,57
	корни		

большее количество ТМ находится в коровой части плода. Довольно высока концентрация ТМ в сердцевине плода, тогда как в мякоти их содержится наименьшее количество.

Для плодов тыквы характерно повышенное содержание ТМ в верхней части, примыкающей к плодоножке. Наименьшее их количество находится в нижней части плодов. По сравнению

с нижней частью плодов концентрация ТМ в их верхней части повышается примерно в 1,5–4 раза.

Выявлена генотипическая специфичность в распределении свинца у капусты белокочанной (табл. 18). Несмотря на то, что оба сорта (Июньская и Номер первый) ранние, тем не менее у сорта Номер первый выявлена пониженная способность к аккуму-

Таблица 18

Распределение свинца в кочане различных сортов капусты белокочанной, мг/кг сухого вещества

Часть кочана	Сорт	
	Июньская	Номер первый
Кочерыга	1,50	0,64
Сердцевина	0,93	0,40
Мякоть	0,60	0,40
Верхние листья	0,30	0,33

Таблица 19

Распределение свинца в органах растений, мг/кг сухого вещества

Вид растения	Орган	Pb	Вид растения	Орган	Pb
Ячмень (зерновка)	оболочка	1,35	Салат	черешок	19,7
	эндосперм	0,50		лист	28,4
	зародыш	8,90		корень	37,4
Пшеница (зерновка)	оболочки	0,74	Щавель	черешок	37,5
	эндосперм	1,22		лист	28,0
	зародыш	7,69	Эстрагон	черешок	18,4
Овес (зерновка)	оболочка	3,85	Лук	лист	7,0
	эндосперм	8,33		луковица	13,8
	зародыш	63,33	Укроп	лист	5,0
Гречиха (плод)	оболочка	0,94		стебель	41,7
	эндосперм	1,28		лист	24,8
	зародыш	5,56	Чеснок	луковица	10,0
Подсолнечник (семя)	оболочка	0,06	Хрен	лист	30,0
	эндосперм	0,06		черешок	0,25
	зародыш	0,09		корень	0,75
Кинза	черешок	3,5	Сельдерей	лист	0,25
	лист	1,7		черешок	2,0
Петрушка	черешок	2,5		корнеплод	4,0
	лист	1,0		корень	3,5
	корень	0,5			

ляции во всех частях кочана, кроме верхних листьев.

Наибольшее количество свинца в репродуктивных органах зерновых культур, гречихи и подсолнечника сосредоточено в зародыше зерновки, плода и семени (табл. 19). У пшеницы, гречихи и овса в эндосперме содержится большее количество этого элемента, чем в оболочке, тогда как у ячменя – наоборот. Для зеленных культур характерным является повышенное содержание свинца в черешках по сравнению с листовой пластинкой. Растения салата отличаются наиболее высоким содержанием свинца в корнях, тогда как растения петрушки и хрена – наименьшим. Среди зеленных культур наибольшее количество свинца во всех органах растения ха-

рактерно для укропа, щавеля, салата и чеснока.

Таким образом, зная распределение ТМ в отдельных зонах и тканях различных органов растений, можно оценить их потенциальную и реальную опасность в зависимости от объема, который они занимают в данном органе. Это позволяет проводить чисто механическое удаление опасной части органа.

В настоящее время уже известен целый ряд мер для снижения уровня содержания ТМ в продукции, получаемой в процессе выращивания сельскохозяйственных культур. Тем не менее одним из важнейших звеньев получения экологически безопасной продукции является нормирование ТМ.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ГРИБАХ

О химическом составе грибов известно немного. Грибы богаты железом, калием, фосфором, кальцием, серой, натрием и магнием [Сержанина, Яшкин, 1986]. Из микроэлементов они содержат: медь, цинк, йод, фтор, хлор, марганец и мышьяк.

Грибы отличаются от продуктов растительного происхождения: в них отсутствует растительный крахмал, а из группы углеводов содержится гликоген (животный крахмал) и сахара, которые придают им сладковатый вкус [Федоров, 1990]. Достаточно много сахаров содержится в трубчатых грибах (белом, подберезовике, масленке). В ножках грибов сахаров больше, чем в шляпках. Белковых веществ, наоборот, больше в шляпке, чем в ножке. Наибольшее количество жиров содержится в плодоносном слое шляпки, в ножке их меньше.

Тяжелые металлы в грибах, так же как и в растениях, распределены неравномерно. Среди пластинчатых грибов наибольшее количество ТМ сосредоточено в особых тканях шляпки плодового тела – пластинках. Больше всего меди накапливается в пластинках навозника и шампиньонов,

марганца – в пластинках вешенки и сыройки, цинка – в пластинках волнушки и рыжика, никеля – в пластинках рядовки, волнушки и сыройки, кобальта – в пластинках навозника, свинца – в пластинках волнушки и рядовки, кадмия – в пластинках навозника и рыжика (табл. 20). Несколько меньшее количество ТМ содержится в шляпке плодового тела, еще меньше – в ножке. Пластинчатые грибы содержат в больших количествах цинк, медь и марганец и в незначительных количествах – никель, свинец и кадмий.

Среди трубчатых грибов наибольшее количество меди и марганца находится в трубчатке моховика; цинка – в трубчатке масленка; никеля и кобальта – в трубчатке моховика; свинца и кадмия – в трубчатке масленка (табл. 21). Высоким содержанием свинца отличается трубчатка у моховика и масленка. Таким образом, основное количество ТМ находится в трубчатке, т.е. в ткани, участвующей непосредственно в спорообразовании, и расположенной вблизи поверхности почвы. Трубчатые грибы, так же как и пластинчатые, накапливают повышен-

Распределение тяжелых металлов в пластинчатых грибах, мг/кг сухого вещества

Вид гриба	Орган, ткань	Тяжелый металл					
		Cu	Mn	Zn	Ni	Сe	Pb
Рядовка желтая	ножка	15,0	10,0	75,0	2,0	6,7	2,0
	шляпка	20,0	10,0	95,0	2,0	12,0	2,5
	пластинки	55,6	27,8	172,4	2,2	15,0	3,9
Вешенка	ножка	5,0	10,0	7,5	0,1	0,8	1,0
	шляпка	10,0	20,0	10,0	0,3	1,2	1,5
	пластинки	12,5	45,0	13,0	0,6	1,6	2,0
Навозник	ножка	28,6	14,3	64,3	0,7	11,4	2,0
	шляпка	83,4	27,8	127,9	1,1	14,3	2,2
	пластинки	114,2	28,6	142,6	1,4	17,1	2,9
Шампиньон	ножка	30,8	12,5	84,6	1,4	7,7	1,5
	шляпка	71,4	14,3	142,6	1,5	10,0	1,4
	пластинки	87,5	23,1	182,5	2,5	11,4	2,5
Волнушка	ножка	10,0	10,0	80,0	0,5	0,1	2,5
	шляпка	9,1	15,0	108,7	1,5	0,5	3,0
	пластинки	10,9	21,7	490,0	3,0	1,1	3,3
Рыжик	ножка	10,0	11,1	110,0	0,1	0,1	1,7
	шляпка	16,7	10,0	133,3	0,1	0,2	3,0
	пластинки	20,0	20,0	240,0	0,2	0,4	4,0
Сыроежка	ножка	10,0	15,0	95,0	0,8	0,1	3,1
	шляпка	23,1	23,1	100,0	2,0	0,2	5,4
	пластинки	69,2	46,1	146,1	2,7	0,3	6,0
Свинушка	ножка	20,0	15,0	95,0	0,5	0,1	2,5
	шляпка	35,0	25,0	105,0	2,0	1,0	3,0
	пластинки	55,0	40,0	180,0	2,5	1,5	4,0

Таблица 21

Распределение тяжелых металлов в трубчатых грибах, мг/кг сухого вещества

Вид гриба	Орган, ткань	Тяжелый металл					
		Cu	Mn	Zn	Ni	Pb	Cd
Подберезовик	ножка	10,0	20,0	85,0	0,1	1,5	0,1
	шляпка	10,0	20,0	83,0	0,6	4,1	0,6
	трубчатка	12,8	51,3	125,0	0,8	5,0	0,7
Моховик	ножка	10,0	15,0	55,0	0,1	0,2	0,1
	шляпка	10,0	30,0	100,0	1,0	6,0	0,2
	трубчатка	50,0	60,0	135,0	0,5	6,0	0,2
Масленок	ножка	10,7	8,9	96,6		2,0	0,4
	шляпка	24,0	12,0	107,9		4,5	0,7
	трубчатка	26,8	21,5	151,8		9,7	2,1

ное количество цинка, меди и марганца. Однако трубчатые грибы содержат большее количество свинца, кадмия, чем пластинчатые.

Таким образом, большинство ТМ в

грибах аккумулируется в специфических тканях плодовых тел: пластинках и трубчатке; несколько меньше – в шляпке, и еще меньше – в ножке.

ТАЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПРОДУКЦИИ

В России насчитывается более 130 биогеохимических провинций, что накладывает свой отпечаток на элементный состав сельскохозяйственной продукции, получаемой в их пределах. Не меньшее воздействие на ее качество оказывает техногенное поступление химических элементов в окружающую среду.

Для предотвращения заболевания человека необходимо устраниТЬ его причины, среди которых могут быть и загрязненные ТМ продукты питания, т.е. необходима экологически безопасная продукция.

В настоящее время в районах, где расположены крупные промышленные предприятия, а также интенсивного использования осадков сточных вод в сельскохозяйственном производстве в почвах накапливаются избыточные количества ТМ. Однако эти территории широко используются для производства продукции как растениеводчес-

кой, так и животноводческой. При этом сельскохозяйственные культуры на загрязненных ТМ почвах могут развиваться внешне нормально, а полученная продукция иметь товарный вид. Однако ввиду чрезмерной аккумуляции ТМ использование такой продукции вызывает серьезные опасения для человека.

Анализ овощеводческой продукции, продаваемой на рынках г. Серпухова (Московской обл.), показал, что в зеленых культурах, редисе, картофеле, свекле столовой и моркови содержание свинца и кадмия превышает их ПДК в 18–25 раз. Это является следствием того, что жители г. Серпухова при выращивании овощных культур и картофеля используют осадки коммунальных стоков города.

Санитарно-гигиенические нормы содержания избыточных элементов в продуктах питания и кормах усиленно разрабатываются. Они учитывают не

только содержание ТМ в растениеводческой продукции, но и ее долю в суточном рационе.

Верхняя пороговая концентрация ТМ в сухом веществе корма характеризуется следующими величинами [Ковальский и др., 1971]:

Тяжелые металлы	Верхняя пороговая концентрация, мг/кг
Кобальт	1,0 и выше
Молибден	2,0–3,0 и выше
Медь	20–40 и выше
Цинк	60–100 и выше
Марганец	60–70 и выше

Еще меньше предельно допустимое содержание ртути: не более 0,05 мг/кг.

Нормирование ТМ в компонентах окружающей среды сводится к разработке ПДК, при которой гарантируется получение экологически безопасной продукции. Нормирование токсических ингредиентов в компонентах окружающей среды, и в первую очередь продукции, является важным шагом на пути снижения их поступления в организм человека и животных. Поэтому успешное его осуществление имеет важное социальное значение. Вместе с тем было бы ошибочным преувеличивать полученные значения ПДК и допустимые остаточные количества (ДОК), поскольку они являются лишь опорными точками сравнительных

оценок. Разработанные ПДК загрязнителей позволяют проводить сравнительную оценку состояния загрязненности продукции, осуществлять прогноз, выполнять необходимые охранные мероприятия.

Во многих странах мира разработаны национальные нормативы ДОК. Сопоставление этих норм (табл. 22) свидетельствует о том, что у них есть сходство и различие. Например, в Германии ДОК кадмия в овощах в 3 раза выше, чем в России. В то же время ДОК кадмия в овощах, принятые в России и равные 0,03 мг/кг сырой массы, достигается при техногенном загрязнении почв очень быстро. Пределы колебаний содержания ТМ в продукции достигают существенных величин (табл. 23). Так, содержание ртути в сахаре меняется в 3 раза, тогда как в рыбе в 1300 раз. Колебания содержания свинца составляют 2–165 раз, кадмия – 2–450 раз, хрома – 3–16 раз, меди – 3–121 раз, цинка – 3–30 раз и никеля – 2–30 раз. Столь широкий размах изменений содержания ТМ в продукции вызван целым комплексом факторов: видом самой продукции, условиями ее производства (технология процесса получения продукции), внешними факторами состояния окружающей среды, степенью чистоты исходных компонентов для ее производства.

Таблица 22

Допустимые остаточные количества тяжелых металлов в пищевых продуктах, мг/кг
[Найчитайн и др., 1987]

Продукция	Тяжелый металл						
	Hg	Cd	Pb	Zn	Ni	Cr	As
Рыбопродукты	5,0	0,1	1,0	40,0	0,5	0,3	1,0
Мясопродукты	0,03	0,05	0,5	40,0	0,5	0,2	0,5
Молочные продукты	0,005	0,01	0,05	5,0	0,1	0,1	0,05
Хлебопродукты	0,01	0,02	0,2	25,0	0,5	0,2	0,2
Овощи	0,02	0,03	0,5	10,0	0,5	0,2	0,2
Фрукты	0,01	0,03	0,4	10,0	0,5	0,1	0,2
Соки, напитки	0,005	0,02	0,4	10,0	0,3	0,1	0,2

Таблица 23

Пределы колебаний содержания тяжелых металлов в продукции, мг/кг

Продукция	Тяжелый металл						
	Hg	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	Ni
Грибы	-	0,21-6,0	0,1-3,0	0,1-1,66	5,0-55,0	7,5-490,0	0,1-3,0
Зерно	0,002-0,117	0,02-7,49	0,01-5,5	0,16-0,71	1,34-5,0	8,3-25,0	0,12-0,50
Картофель	0,001-0,032	0,14-15,0	0,03-0,62	0,002-1,00	0,32-1,21	5,4-32,2	1,5-5,6
Мед	-	0,11-7,0	0,1-1,1	0,005-0,002	5,2-33,0	7,5-20,0	0,01-0,09
Молоко	0,004-0,027	0,11-1,10	0,034-0,06				
Мясо	0,001-0,067	0,07-2,10	0,009-0,60	0,21-0,97	0,49-3,97	55,0-65,0	0,05-0,58
Овощи	0,002-0,110	0,14-19,0	0,003-7,7	0,040-0,169	0,36-1,93	5,3-9,2	2,8-6,5
Орехи	-	0,19-0,41	0,05-0,20	0,01-0,1	2,4-7,1	25,1-37,1	0,20-0,60
Пиво	0,00007-0,004	0,005-0,02	0,045-0,080	0,01-0,04	0,05-0,15	0,08-0,27	0,02-0,05
Сахар	0,003-0,010	0,001-0,011	0,001-0,009	0,01-0,03	0,01-0,07	0,01-0,08	0,01-0,08
Соки, напитки	0,0001-0,007	0,03-0,40	0,010-0,055	0,005-0,010	0,09-0,91	0,73-2,15	0,01-0,08
Рыба	0,001-1,300	0,23-38,0	0,004-1,8	0,10-0,87	6,6-55,4	8,0-250,0	0,4-1,5
Фрукты	0,004-0,160	0,10-0,38	0,0088-0,005	0,065-0,103	0,31-37,5	1,93-43,8	0,071-0,117
Ягоды	-	0,10-7,30	0,01-0,20	0,01-0,2	1,8-25,0	2,0-60,0	0,10-0,50
Яйца куриные	0,002-0,020	0,27-0,70					

Наиболее существенное изменение содержания ртути отмечается в рыбе и в рыбных продуктах, что связано с загрязнением Мирового океана этим элементом. То же самое наблюдается и в отношении свинца, кадмия и хрома. Широкий диапазон колебаний содержания свинца характерен для меда (в 64 раза). Незначительные колебания содержания ТМ характерны для целого ряда продуктов: сахар, пиво и орехи. Малые колебания содержания ТМ в орехах скорее всего связаны с физиологией формирования репродуктивных органов у растений ореха и с меньшим загрязнением лесных экосистем. Высокое содержание свинца, кадмия, хрома и никеля в продукции связано в первую очередь с ее производством вблизи промышленных предприятий и автомобильных дорог.

В условиях супесчаных почв Брянской области содержание ТМ (свинец, кадмий) в сельскохозяйственной продукции существенно превышало установленные значения ПДК [Бокова, Ратников, 1995]. Наибольшей аккумуляцией элементов отличались столовая свекла и картофель. Сорта картофеля имеют существенные различия в аккумуляции кадмия и в особенности свинца. Минимальным накоплением кадмия в клубнях характеризуются сорта: Брянский ранний и Бронницкий, а максимальным – Невский-1. Минимальное количество свинца накапливали сорта: Брянский ранний, Бронницкий, Резерв-2, Пригожий, Институтский, максимальное – Скайдра, Невский-1, Посвят-2, Свитанок-3.

В ряде районов Армении почвы содержат повышенное количество свинца [Борисова, 1969], что ведет к обогащению свинцом фруктов и овощей. Количество свинца в этой продукции превышает обычное его содержание в 2–10 раз. В этих районах Армении количество свинца, поступающего в организм человека с пищей, в 2–3 раза выше и составляет в среднем 0,83 мг, что приобретает негативное значение при определении воз-

можных причин возникновения у человека различных хронических заболеваний. Так, у населения этих районов наблюдается большое количество первичных заболеваний.

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), фруктовые соки (виноградный, земляничный, вишневый, мандариновый и апельсиновый).

Больше всего меди содержится в растениях лука, петрушки, редьки и кабачков. Значительно меньше содержится меди в продукции растений кукурузы и картофеля. Высоким содержанием меди отличаются соки: томатный, абрикосовый и морковный.

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.

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

Овощные и фруктовые соки также отличаются по содержанию ТМ (табл. 24). Так, из обследованных соков в томатном содержание свинца оказалось на уровне ПДК, а содер-

Таблица 24

Содержание тяжелых металлов в овощных и фруктовых соках, мг/л

Сок	Тяжелый металл					
	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Zn
Томатный	0,08	0,850	0,005	0,40	0,055	2,15
Нектар из тропических фруктов	0,01	0,005	0,005	0,12	0,012	0,85
Яблочный	0,01	0,010	0,010	0,03	0,015	1,91
Апельсиновый	0,08	0,090	0,010	0,10	0,015	1,71
Мандариновый	0,02	0,010	0,008	0,08	0,010	0,73
Лимонный	0,01	0,011	0,009	0,09	0,011	1,85

жение кадмия превышало ее в 2,5 раза. Кроме того, томатный сок содержал значительное количество кобальта, но поскольку на него ПДК отсутствует, то затруднительно дать оценку степени его загрязнения ТМ. Повышенным содержанием кобальта и никеля отличается также апельсиновый сок. Яблочный сок отличается пониженным содержанием ТМ.

Различные марки пива (как отечественные, так и зарубежные) содержат неодинаковое количество ТМ (табл. 25). Содержание всех ТМ, кроме кадмия, находится в пределах допустимого уровня. Содержание же кадмия превышает ПДК: в 2 раза в пиве марки "Балтика №1", в 3 раза — марки "Holsten, Bavaria" и в 4 раза — марки "Московское". Причиной высокого содержания кадмия в пиве явля-

ется, по-видимому, использование зерна ячменя с высоким содержанием этого элемента. Пиво марки "Московское" содержит более высокое количество кобальта, никеля и хрома. Низкое количество свинца отмечено у пива марки "Ячменный колос".

Аккумуляция ТМ тканями рыб создает угрозу отравления человека через рыбные продукты, употребляемые в пищу. Прослеживается неравномерное накопление ТМ как различными органами одного вида рыб, так и особями разных видов, относящихся к различным уровням трофической цепи.

В печени густеры содержание меди превышало ДОК в 1,3 раза, а в печени леща, чекони и белоглазки — в 3,1, 5,5, 1,3 раза, соответственно. Икра густеры и белоглазки также содержит

Таблица 25

Содержание тяжелых металлов в различных марках пива, мг/л

Марка пива	Тяжелый металл				
	Ni	Co	Cr	Pb	Cd
Балтика №1	0,02	0,06	0,01	0,010	0,045
Ячменный колос	0,05	0,09	0,01	0,005	0,065
Московское	0,05	0,11	0,02	0,015	0,080
Holsten (б)	0,04	0,08	0,01	0,020	0,060
Bavaria (б)	0,05	0,08	0,01	0,015	0,060

жала значительные количества меди. Наибольшее количество цинка обнаружено в икре густеры, плотвы и белоглазки (превышение ДОК в 2–3,5 раза), а в пределах нормы – в печени всех видов рыб, отловленных весной в р.Оке в районе г.Серпухова Московской обл. Однако летом в печени содержание цинка превышало ДОК. Повышенным уровнем железа отличалась печень всех видов рыбы, особенно отловленных в летнее время. Весной количество железа в икре рыб находилось в пределах нормы, тогда как летом наблюдалось заметное превышение ДОК – в 1,5–11,1 раза. Содержание свинца в мышцах рыб весной не превышало ДОК, тогда как летом оно увеличивалось в 1,2–9,5 раза по сравнению с ДОК. В печени рыбы, отловленной весной, количество свинца превышало ДОК только у плотвы, однако летом оно было довольно высоким, особенно у плотвы, чекони и окуня. В органах воспроизведения также наблюдалось превышение ДОК, особенно в летнее время у плотвы, белоглазки и окуня. В мышцах густеры, плотвы и окуня содержание кадмия находилось на уровне ниже ДОК. В мышцах чекони, леща и белоглазки превышение ДОК наблюдалось в 3,0, 6,0 и 6,7 раза, соответственно. Значительное превышение уровня ДОК наблюдалось в печени леща, чекони и в головах окуня.

Содержание ртути в рыбе природных водоемов колеблется в пределах 10–27 мг/кг. Высокое количество ртути характерно для хищных пород рыб: окунь, щука, судак. ПДК ртути для рыб равна 0,5 мг/кг. В настоящее время более 80% рыб содержат ртуть от 0,5 до 2 мг/кг и 20% – от 0,1 до 0,5 мг/кг.

Наибольшее количество свинца содержится в табаке сигарет "Прима" и "Пегас" (табл. 26), а минимальное – в табаке "Marlboro". Сигареты "Пегас" содержат наибольшее количество кадмия, хрома и кобальта и минимальное количество марганца. Минимальное содержание кадмия и хрома характерно для табака сигарет "Ява золотая". Наименьшее количество кобальта находится в табаке сигарет "Salem". Наименьшее содержание марганца характерно для табака сигарет "Пегас", а максимальное – для "Marlboro".

Как для продуктов питания, так и для кормов сельскохозяйственных животных установлены нормативы содержания ТМ (табл. 27). Предельно допустимая величина ТМ в различных кормах одна и та же, кроме никеля; в грубых и сочных кормах она выше в 3 раза, чем в зерне и зернофураже.

Источниками загрязнения кормов могут служить: промышленные выбросы, отвалы и отходы промышленных предприятий, осадки сточных вод городов. Например, источником ртути в

Таблица 26

Содержание тяжелых металлов в табаке сигарет отечественного и зарубежного производства, мг/кг сухого вещества

Сорт сигарет	Тяжелый металл				
	Pb	Cd	Cr	Co	Mn
Прима	10,0	0,5	2,0	16,0	110,0
Пегас	10,0	0,6	2,5	17,5	80,0
Ява золотая	6,0	0,4	1,0	15,0	170,0
Salem	4,5	0,4	2,5	10,0	150,0
Marlboro	3,5	0,5	1,5	15,0	190,0
Camel	5,0	0,5	2,0	15,0	180,0

Таблица 27

Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в кормах, мг/кг

Корм	Тяжелый металл					
	Cu	Zn	Co	Pb	Cd	Ni
Зерно и зернофураж	30	50	1,0	5,0	0,3	1,0
Грубые и сочные корма	30	50	1,0	5,0	0,3	3,0

кормах могут служить выхлопные газы сельскохозяйственной техники, которую используют при их уборке и заготовке.

ТМ неодинаково накапливаются в различных органах животных: так, в мышцах сельскохозяйственных животных содержание ТМ выше (0,8), чем в молоке (0,2) [Васильков и др., 1995], что, по-видимому, отражает кумулятивные свойства различных органов и тканей организма.

Недостаток цинка у животных проявляется при содержании его в кормах ниже 25–30 мг/кг сухого вещества. Содержание меди и цинка в зерне злаковых культур расценивается как недостаточное.

По зоотехническим нормам в 1 кг сухого вещества рациона лактирующих коров должно содержаться (мг):

меди – 5–10, цинка – 30–60, кобальта – 0,5–1,0, марганца – 40–60 [Минеев, 1990].

Содержание ТМ в кормах колеблется в широких пределах (табл. 28). Наибольшее количество меди и цинка характерно для шрота; кобальта – для кукурузного силоса; никеля – для кормовой свеклы; марганца – для жома; свинца – для кукурузного силоса и сена; кадмия – для кормовой свеклы и хрома – для сена. Содержание ТМ в кормах меняется в пределах 1,5–54 раза, что значительно меньше, чем в продуктах питания. При этом содержание меди в кормах меняется в пределах 1,2–1,8 раза, кобальта – 2–4,8 раза, никеля – 9–22 раза, цинка – 2–15 раз, марганца – 1,4–4 раза, свинца – 3–23 раза, кадмия – 5–15 раз и хрома – 20–104 раза. Столь

Таблица 28

Пределы колебаний содержания тяжелых металлов в кормах, мг/кг абс. сухого вещества

Корм	Тяжелый металл							
	Cu	Co	Ni	Zn	Mn	Pb	Cd	Cr
Сено	4,90–8,40	0,22–0,58	0,15–2,80	2,07–33,0	17,1–31,0	0,41–4,15	0,25–1,28	0,10–10,4
Силос кукурузный	6,0–9,5	0,42–0,99	0,22–1,90	17,2–34,0	41,1–60,0	0,26–5,00	0,02–0,30	0,11–5,41
Дерть ячменная	3,5–5,9	0,42–0,67	0,20–1,80	16,6–38,7	17,7–32,0	0,41–1,41	0,43–1,80	0,10–3,00
Шрот	7,7–14,1	0,19–0,52	0,10–1,70	38,0–61,8	4,11–17,0	0,33–1,33	0,15–1,11	0,15–3,11
Свекла кормовая	8,7–10,1	0,06–0,29	0,25–5,60	5,41–37,4	31,1–42,2	0,14–17,4	0,18–6,9	0,10–2,60
Жом	5,1–7,3	0,09–0,15	0,17–1,76	4,8–29,1	41,4–70,0	0,10–2,31	0,05–0,71	0,10–0,91

широкий интервал изменений содержания ТМ в кормах вызван как видом корма, так и условиями его производства (технология производства и степень загрязнения агрозоосистем). Широкий диапазон концентраций ТМ свидетельствует также о том, что для

предупреждения поступления больших количеств их в организм животных необходим постоянный контроль качества кормов, наряду с другими соединениями (нитраты, остатки пестицидов).

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И ТЕПЛОКРОВНЫЕ

Тяжелые металлы относятся к числу наиболее опасных для природной среды химических загрязнителей (экотоксикантов). Это обусловлено, с одной стороны, технократическим направлением развития общества и физиолого-биохимическими особенностями ТМ. Действие ТМ зачастую скрыто, но они передаются по трофическим цепям с выраженным кумулятивным эффектом, поэтому проявления токсичности могут возникать неожиданно на отдельных уровнях трофических цепей. С другой стороны, развитие промышленности приводит к нарастанию выбросов ТМ, их поступлению в экосистемы и в ряде сред их концентрация достигает опасных величин.

Необходимо обеспечение строгого контроля за процессами антропогенной миграции ТМ в биосфере прежде всего для сохранения здоровья людей. Необходим контроль содержания ТМ в окружающей среде и организме человека, коррекция их уровня в биогеохимической цепочке почва–вода–продукты питания–человек.

В основе токсического действия ТМ лежит их денатурирующее действие на метаболически важные белки. Такие элементы, как свинец, кадмий и цинк генактивируют большинство ферментов уже при концентрации 10^{-8} – 10^{-9} М. Поступление кадмия в период прорастания семян вызывает нарушение деления ядра, чем объясняется торможение роста проростков. Ингибирующее действие кадмия, по-видимому, вызвано снижением содержания кальция, связанного с мембранными веретепа. Одним из первичных рецепторов, воспринимающих поступ-

ления в клетку кадмия, являются ферменты биосинтеза полиаминов, в частности путресцина. Поэтому действие кадмия аналогично влиянию дефицита калия или магния, избытка аммония, низкого pH, осмотического стресса и увядания.

Индукция ТМ синтеза низкомолекулярных белков, содержащих SH-группы (металлотионеины), является одним из показателей нарушения состояния растительной и животной клетки. Связывание белками ТМ, по-видимому, снижает токсическое действие металла на клетку. Недостаток кадмия также может привести к снижению роста и нарушению воспроизведения животных.

Реализация метаболической активности ТМ осуществляется главным образом их взаимоотношением с белками путем специфической и неспецифической активизации ферментов. Белки сыворотки крови осуществляют транспорт биометаллов в клетки тканей, где они включаются в определенные биохимические процессы (трансферрин–железо, хром; трансмангандин–марганец; церулоплазмин–медь). Особое значение в обмене ТМ принадлежит тканевому белку *металлотионеину*, обладающему способностью связывать токсические металлы – кадмий, свинец, ртуть, цинк. Причиной мутагенной активности ионов ТМ является их способность образовывать комплексы с белками.

В человеческом организме накапливается примерно 30 мг кадмия, из которых 33% находится в почвах, 14% – в печени, 2% – в мышцах, 0,3% – в поджелудочной железе [Ягодин и др., 1989]. При загрязнении ТМ

пищи содержание кадмия в различных органах меняется неодинаково: в почках – от 32 до 42 мг/кг, в легких – от 0,32 до 0,80 мг/кг, в мозге – от 0,8 до 1,0 мг/кг. Кадмий, накопленный в организме теплокровных, выводится очень плохо и так же, как ртуть и свинец, обладает кумулятивными свойствами. Более быстрому выводу его из организма способствуют белки и аминокислоты, содержащие серу, а также кальций. Таким образом, разнообразное полноценное питание повышает устойчивость организма к воздействию ТМ.

Допустимое количество ТМ, которое человек может потреблять с продуктами питания без риска заболевания, колеблется в зависимости от вида металла: свинец – 3, кадмий – 0,4–0,5, ртуть – 0,3 мг в неделю. И хотя эти уровни условны, тем не менее они служат основой для контроля содержания ТМ в продуктах питания.

Поступившие в организм человека ТМ выводятся крайне медленно, они способны к накоплению, главным образом в почках и печени. В связи с этим продукция растениеводства даже на слабо загрязненных ТМ почвах способна вызвать кумулятивный эффект – постепенное увеличение содержания ТМ в организме теплокровных (человек, животные). Голубика, благодаря высокому содержанию пектиновых веществ, способствует выводу радионуклидов и ТМ из организма человека.

В средних широтах Земного шара примерно 80% кадмия поступает в организм человека с овощами, в странах Юго-Восточной Азии наибольшее количество его поступает с рисом, удельный вес которого в пищевом рационе составляет 70%. Кадмий при поступлении в организм человека в течение длительного времени накапливается в основном в печени и почках, нарушая их нормальное функционирование. Период его полувыведения из организма составляет около 20–30 лет.

Примерно 85–87% свинца в организм взрослого человека поступает с продуктами питания. В организм детей дошкольного возраста в городах России поступает 23–67 мкг/сутки свинца. Минимальное количество свинца в крови человека составляет 0,2 мкг/100 мл, что в тысячу раз больше, чем его содержание в крови первобытного человека.

Курение как постоянно действующий фактор вносит свою лепту в общее загрязнение организма чужеродными веществами, которые играют важную экологическую роль в развитии патологии сердечно-сосудистой системы человека.

Табак потребляет и аккумулирует в себе значительные количества кадмия и ртути. Содержание ртути в сухих листьях табака на порядок, а кадмия на три порядка выше средних значений их величины для биомассы наземной растительности. Поэтому каждая затяжка дымом содержит, помимо других веществ (никотин, нитраты, окись углерода), также и кадмий. В одной сигарете его содержится от 1,2 до 2,5 мкг и до 0,25 мкг свинца. Из этого количества в легкие курильщика попадает 0,1–0,2 мкг кадмия, а остальное рассеивается вместе с дымом и пеплом, попадая в чужие легкие.

Мировое производство табака составляет 5,7 млн. т в год. Одна сигарета – это 1 г табака. При выкуривании всех сигарет мира выделяется от 5,7 до 11,4 т кадмия, т.е. такое же количество, как при 3–4 средней силы вулканических извержениях. Но "коэффициент вредного действия" табачного кадмия намного выше – ведь он идет в легкие человека по кратчайшему пути.

В организме человека больше всего хрома находится в легких, печени, селезенке и мышцах. Он входит в состав фермента пепсина. Недостаток хрома вызывает заболевание глаз, нарушает углеводный обмен. При заболевании женщин-рожениц преотоксикозом содержание хрома в

крови уменьшается, тогда как количество марганца и меди возрастает.

Значительное количество кобальта сосредоточено в таких органах, как язык, почки и селезенка. Кобальт участвует в кроветворных процессах, стимулируя работу костного мозга и синтез гемоглобина. В наибольшем количестве этот элемент накапливается в печени и почках, и в несколько меньшем — в поджелудочной железе. По-видимому, в печени жвачных животных кобальт находится в составе витамина B_{12} . Обычно печень животных содержит кобальт в количестве 0,08–0,03 мг/кг. Кобальт, в отличие от железа и меди, не накапливается в больших количествах в тканях развивающегося плода. Содержание кобальта в молоке коров колеблется в пределах 0,02–1,2 мкг/л, в сыворотке крови — 0,04–0,06 мг/л.

Суточная доза кобальта для животных 1–2 мг на 50 кг массы тела, для человека — 2–5 мг. Под действием кобальта в организме накапливаются витамины А, В, С, К, усиливается синтез никотиновой кислоты и рибофлавина. Кобальт повышает защитные функции организма при инфекционных заболеваниях, а у человека, страдающего спазмами желудочно-кишечного тракта, улучшает моторную деятельность, способствует лучшему кровеснабжению сердечной мышцы, незаменим при детских лейкоэзах (малокровие и белокровие). При недостатке кобальта организм испытывает дефицит фосфора, кальция и йода. Кобальт эффективен при лечении отравлений цианистыми солями.

В организме человека никель сосредоточен в печени, коже и эндокринных железах. Чрезмерное поступление никеля в организм животных вызывает ухудшение зрения вследствие его накопления в роговице глаза. Никель в небольших количествах повышает активность фермента пепсина и улучшает процесс кроветворения. При различных анемиях количество никеля в крови уменьшается. При инфекционных заболеваниях никель норма-

лизует содержание гемоглобина в крови, улучшает регенерацию белков плазмы, усиливает синтез аминокислот. У людей, работающих с соединениями никеля, возникает профессиональное отравление — "никелевая экзема" кожи.

В живых организмах больше всего ртути содержится в щитовидной железе, затем в печени, гипофизе, легких. В малых количествах она помогает белым кровяным тельцам бороться с болезнестворными бактериями. При избыточном поступлении ртути (отравлении) у человека распухают губы, воспаляются десны и слизистая рта, нарушается работа кишечника и ослабляется сердечная деятельность.

Люди, постоянно работающие в пыльной атмосфере, испытывают хроническое отравление (сатурнизм). Это отравление происходит через дыхательные пути и проявляется в виде малокровия, общей слабости, перерождения тканей печени и почек.

В организме человека существует биологический антагонизм между кобальтом, витамином B_{12} , фолиевой кислотой, с одной стороны, и свинцом — с другой, что необходимо учитывать, поскольку лекарственных средств для лечения свинцового отравления не имеется. Поэтому в подобных случаях необходимо применять в пищу овощи, фрукты, мясо говядье и коровье молоко. Костная система является органом-депо свинца. Наиболее выраженное накопление свинца выявлено при неспецифическом аортартерите.

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. Медь способствует синтезу витаминов В₁, С, Р, РР и Е. При недостатке меди нарушаются процессы образования костей вследствие ненормального усвоения кальция и фосфора. От недостатка меди

страдает кроветворная функция организма. Потребность детского организма в меди в 2 раза превышает потребность взрослого. Дневная потребность меди для взрослого человека составляет 0,04 мг/кг массы тела.

Избыток меди оказывает вредное воздействие на организм теплокровных. При заболевании острым панкреатитом, при язве 12-перстной кишки, тареотоксикозе, бронхиальной астме и воспалении яичников происходит накопление меди в крови.

Недостаток цинка вызывает замедление роста и истощение животных, выпадение волос, развитие анемии, понижение жирности молока, снижается плодовитость самок. В организме взрослого человека содержится около 3 г цинка, который распределется в органах неравномерно. Преобладает цинк в железах внутренней секреции, в крови содержится в среднем 700 мкг%. Цинк обладает регулирующим действием в процессах кроветворения, обмене углеводов, белков, жиров, энергетическом обмене, в окислительно-восстановительных процессах и функции половых желез. Цинк усиливает действие инсулина, снижающего уровень сахара в крови больных диабетом.

Соли цинка задерживают свертывание молока, замедляют рост дифтерийных микробов и бацилл тифа, повышают активность витамина В, снижают возбудимость и проводимость нервных волокон. Большие дозы цинка (до 1 г) способны вызвать отравление организма.

Содержание цинка в грудном молоке во все периоды лактации во много раз превышает уровни других микроэлементов, что подчеркивает особую значимость цинка для обеспечения нормального развития новорожденных и грудных детей. Содержание цинка в грудном молоке колеблется в пределах 16,9–31,0 мкг/100 мл, тогда как в питательных смесях – 5,4–13,5 мкг/100 мл.

Среднесуточная потребность в марганце у взрослого человека сос-

тавляет 0,1 мг/кг массы, а у животных – 0,3 мг/кг. Марганец стимулирует рост и развитие животных, усиливает окисление жиров, выделение азотистых соединений из организма, способствует усвоению витаминов А, В и С.

При недостатке марганца задерживается рост и окостенение скелета, связанное с нарушением фосфато-кальциевого обмена. Марганец входит в состав фосфатазы крови, пептидазы сыворотки крови и декарбоксилаз некоторых кислот и активирует работу этих ферментов. Марганец образует комплексы с ДНК, способствуя стабилизации ее вторичной структуры. Он способствует синтезу витамина В₁ и никотиновой кислоты, входит в состав эритроцитов и оказывает положительное влияние на кроветворный процесс. Марганец способствует накоплению тиамина в печени, мозге, сердце и принимает активное участие и выработке защитных свойств организма. При инфекционном гепатите, туберкулезе легких, травме спинного мозга, бронхиальной астме резко возрастает количество марганца в крови.

Избыток марганца вызывает нарушения в половой сфере. При хроническом отравлении марганцем поражается центральная нервная система, возникает "марганцевая пневмония", цирроз печени, что приводит к росту пищевода и желудка.

В шкурках мелких млекопитающих лесных экосистем накапливаются цинк и ртуть. Свинец преимущественно накапливается в почках и печени [Золотарева, 1984]. По содержанию ТМ грызуны образуют следующий убывающий ряд: насекомоядные—травоядные—семеноядные. В щетине кабанов и шерсти оленей в основном накапливаются: медь, цинк и ртуть. Наиболее "загрязнена" ртутью шерсть оленей.

Особенности аккумуляции ТМ в органах и тканях диких кабанов состоят в следующем: цинк преимущественно накапливается в мышцах и печени; медь – в печени, сердце и поч-

Содержание тяжелых металлов в органах и тканях диких кабанов*, мг/кг сухого вещества

Орган, ткань	Тяжелый металл				
	Cd	Pb	Cr	Co	Cu
Мышцы	0,03–0,60	0,02–1,21		0,05–0,96	1,51–4,85
Сердце	0,02–0,59				
Легкие	0,001–0,87				
Печень	0,02–2,16	0,03–6,13		0,04–0,77	3,41–6,03
Селезенка	0,20–1,42		0,35–1,55		
Почки	0,03–23,01	0,03–0,95	0,59–1,90	0,08–0,91	3,42–6,95

*Таблица составлена на основании данных Т.Г.Дерябиной (1996).

ках; кадмий – в почках и шерсти; свинец – в легких и печени; хром и никель – в легких [Дерябина, 1996] (табл. 29).

Кабаны, обитающие на территории Беларуси, отличаются низким содержанием меди и кобальта в органах и тканях, а по уровню загрязненности основными токсикантами (Pb, Cd) близки к кабанам из Испании и промышленно-развитых районов Германии. Пониженное содержание меди и кобальта у кабанов Беларуси обусловлено геохимическими особенностями территории.

Количество железа в рационе человека достигает 10–15 мг в день, из которого усваивается 0,6–1,5 мг. Железо участвует в биосинтезе гемоглобина и эритроцитов, а также ряда жизненно важных ферментов. Около 25% всего железа находится в организме в запасной форме в различных органах. Дефицит железа у человека может возникать лишь при недостаточности белка в пище и вызывать анемию.

Цинк в нормальном рационе составляет 10–15 мг в день, усваивается около 50%. Цинк нейтрализует повышенный уровень кальция и хрома в диете. Недостаточность цинка проявляется в повреждениях кожи, ненормальности скелета, дефекте репродуктивных органов, карликовос-

ти, потере аппетита и снижении скорости роста. Цинк входит в состав ряда ферментов, расщепляющих пептиды, фосфорные эфиры, а также катализирующих окислительное дезаминирование глутаминовой и яблочной кислот. Недостаток цинка может вызывать бесплодие, плохой рост животных, низкое качество шерсти, а у человека – эндемический зоб.

Цинк в живых организмах входит в состав многих ферментов, гормонов, эритроцитов, а по своей физиологической роли может быть приравнен к железу. Он способствует удалению из организма диоксида углерода, влияет на развитие и функцию половых желез и поджелудочной железы.

При дефиците в тканях организма цинка, марганца, активирующих ДНК-полимеразы, снижается образование нуклеиновых кислот, уменьшается включение в структуру постоянно присутствующего в ДНК цинка, генетическую функцию которого связывают с регуляцией скорости транскрипции генетической информации.

Цинк и кобальт участвуют в образовании инсулина – гормона поджелудочной железы. В эритроцитах находится цинкодержащий фермент карбоангидраза, регулирующий в организме обмен углекислоты. В печени и почках находится фермент аргиназы,

регулирующий образование мочевины.

Одним из принципов модуляции действия инсулина ионами цинка является ингибирование распада и стимулирование синтеза сиалополимеров мембран, соединений, участвующих в приеме и передаче сигнала инсулина внутрь клетки. Цинк также участвует в модификации действия Ca^{2+} -зависимых регуляторов, сопряженного с переносом одновалентных катионов.

Наибольшую опасность для человека и животных представляют парогазовые и аэрозольные формы свинца, обусловленные антропогенным загрязнением атмосферы. В биогеохимических очагах с антропогенным свинцовым загрязнением содержание свинца в воздухе, воде и продуктах питания превышает его ПДК в десятки и сотни раз. Антропогенные биогеохимические очаги с избытком свинца зачастую сопровождаются избытком кадмия, ртути, мышьяка и других элементов первой категории токсичности.

Повышенное содержание свинца в организме детей сопровождается понижением содержания цинка. По-видимому, с этим явлением связано снижение резистентности иммунного статуса, тесно связанного с метаболизмом цинка.

Почти у 44% детей в городах России могут возникать проблемы в поведении и обучении, обусловленные воздействием свинца. Около 9% детей нуждаются в лечении, здоровье 0,2% детей находится в опасности, и примерно 0,01% детей нуждаются в неотложном медицинском вмешательстве.

Повышенное содержание свинца вызывает поражение центральной нервной системы, печени, почек, мозга, половых органов животных и человека.

Основной показатель воздействия свинца на здоровье детей – уровень его содержания в крови. Так, при увеличении содержания свинца в крови ребенка с 10 до 20 мкг/дл происходит снижение коэффициента умственного

развития (Iq). У детей, проживающих вблизи металлургических заводов, при содержании свинца в крови 9,9 мкг/дл показатель тревожности встречается чаще, чем у детей, проживающих вдали от них. В зоне действия металлургических предприятий болезни нервной системы у детей первого года жизни представлены преимущественно энцефалопатиями и судорожным синдромом; у детей старшего возраста – неврозами, энурезами, эпизиодом. При содержании свинца в крови на уровне 13,1 мкг/дл у 76% детей отмечается задержка психического развития.

Нефрологическое действие свинца проявляется при длительном его поступлении в организм человека. У детей, проживающих вблизи электролампового завода, являющегося источником загрязнения окружающей среды свинцом и ртутью, заболевание мочевой системы в 3 раза выше, чем у остального населения. Свинец также вызывает определенные изменения в сердечно-сосудистой системе. Патологические изменения сердца связаны с поражением митохондрий, в частности с ингибированием поглощения ионов кальция.

В организме животных ртуть содержится в ультрамикроскопических количествах 1·10⁻⁷%, однако, накапливаясь в организме, способна вызывать эмбриотоксические и тератогенные эффекты.

В Японии возникла новая болезнь, вызванная загрязнением водоема в г. Минимата. У заболевших рыбаков нарушилась речь, резко ухудшалось зрение, паралич сковывал мышцы ног и рук. Оказалось, что заболевание было вызвано ртутным отравлением. Причиной явился завод компании "Тиско", который долгие годы сливал в залив Минимата отходы химического производства.

Увеличение производства и применения кадмия ведет к загрязнению окружающей среды и к возникновению опасности повышенного поступления его соединений в организм человека.

При поступлении в организм теплокровных кадмий обладает эмбриотропным действием. Он способен замещать цинк в энзиматических системах, необходимых для формирования костной ткани, что сопровождается тяжелыми заболеваниями.

Кадмий снижает способность организма человека противостоять болезням, обладает мутагенными и канцерогенными свойствами, отрицательно действует на наследственность. Он также разрушает эритроциты крови, способствует развитию заболеваний почек и семенных желез, а также гастрита и анемии. Для взрослого человека допустимая доза кадмия составляет 70 мкг в неделю, в США и Канаде в организме человека поступает от 50 до 100 мкг. Причем с зерновыми культурами поступает 25,6% от недельной нормы, с овощами – 26% и фруктами – 10%.

Содержание кадмия в продуктах питания выше 0,1 мкг/кг способно вызывать пищевые отравления. При длительном поступлении кадмия в организм животных снижается потребление корма и прирост массы тела, уменьшается молочная продуктивность. Выявлено эмбриотоксическое и тератогенное действие кадмия, а также способность вызывать злокачественные образования, перерождение костного мозга и костной ткани.

Суточная норма поступления в организм хрома – 30–140 мг. Он повышает устойчивость к глюкозе, способствуя максимальному проявлению активности инсулина. Наибольшая концентрация хрома отмечена в головном мозге. Хром входит в состав металлоэнзимов, активирует их, заменяет магний при его недостатке в организме.

При сахарном диабете имеет место недостаточная обеспеченность организма зромом, который обладает специфическим свойством повышать утилизацию углеводов, способствуя взаимодействию инсулина с инсулин-зависимыми рецепторами клеток. У больных сахарным диабетом средней

тяжести выведение хрома превышает его поступление на 10%, а при тяжелой форме – до 17%. У здоровых людей обеспеченность хромом составляет около 400 мкг в сутки. В комплексном лечении больных сахарным диабетом рекомендуется включение в рацион питания продуктов, богатых хромом: яичный желток, салат, укроп, грибы, земляника, черная смородина, шиповник, пивные дрожжи.

Избыток в организме человека цинка снижает усвоение меди и усиливает ее недостаточность, в то же время медь снижает токсичность избытка цинка. В суточной диете взрослого человека содержится 2–5 мг меди, из которых усваивается около 30%. 95% усвоенной медиочно связывается с церулоплазмином. Роль транспорта меди играют аминокислоты. Общее содержание меди у взрослого человека составляет около 80 мг. Дефицит меди проявляется в анемии, дискоординации движения, дефекте соединительной ткани. Есть предположение, что медь необходима для мобилизации железа из резерва.

Большие количества молибдена в организме человека (200–500 мг/кг), вызывают молибденовый токсикоз, сопровождающийся значительными нарушениями как в печени, так и в почках [Григорян, 1990]. В печени повышается активность аспартат- и аланинаминотрансфераз, увеличивается количество билирубина крови, происходит снижение уровня белка в крови, креатинфосфорной и АТФ в печени. Нарушаются фильтрационная, азот- и хлорвыделяющая функция почек у животных.

Избыток марганца затрудняет образование гемоглобина, недостаток приводит к затруднению репродукции, дефектам в развитии скелета, затруднению образования межклеточного вещества. Этот элемент входит в состав ряда ферментов, участвующих в цикле Кребса.

Таким образом, роль ТМ в биологической форме очень велика в

жизнедеятельности человека. Любые отклонения в содержании какого-либо из элементов в организме вызывают

нарушение определенных процессов, что приводит к различным заболеваниям.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРОДУКЦИИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

В современных условиях основой деятельности человека становится принцип экологической рациональности, включающей разработку и практическое использование систем, технологий и способов, обеспечивающих получение экологически безопасной продукции растениеводства и животноводства. К числу приоритетных загрязнителей объектов окружающей среды относятся и ТМ. Размеры их распространения и интенсивность миграции в окружающей среде приобрели опасный характер для нормального функционирования экосистем и здоровья человека. В связи с этим возникает реальная необходимость разработки стратегии регуляции уровня ТМ в системе почва–атмосфера–вода–растения–животные–человек, базирующейся на взаимосвязанных и взаимообусловленных процессах их круговорота.

Мероприятия, с помощью которых реализуется стратегия снижения отрицательных последствий распространения ТМ в окружающей среде, включают широкий спектр человеческой деятельности и должны быть направлены прежде всего на предупреждение загрязнения объектов окружающей среды, разработку новых приемов экологически безопасного воздействия на окружающую среду, в том числе на продукцию, потребляемую человеком и сельскохозяйственными животными.

Основным мероприятием, кардинально решающим проблему и предупреждающим загрязнение почв ТМ, является совершенствование технологии производства с тем, чтобы отходы его не выбрасывались в окружающую среду.

К примеру, перевод медной промышленности на гидрометаллургию

устраняет большие потери меди и других металлов при плавке. В производстве хлора и щелочи предстоит сокращение и полное исключение из производственного цикла ртути. Для очистки сточных вод горнодобывающей промышленности используют известняк, ионообменные смолы, обратный осмос, вымораживание, электролиз, пенную очистку. При добыче золота применяются биологические методы очистки концентратов от мышьяка. С помощью этого метода удается удалить 80–90% токсиканта. Разработаны микробиологические методы очистки почвы от соединений ртути.

Необходимые мероприятия по снижению влияния выбросов промышленных предприятий сводятся к следующему: выращивать многолетние культуры (плодовые, виноград) с целью снижения негативного влияния выбросов с постоянным контролем качества продукции; зерновые культуры не должны занимать более 50% площади севаоборота, при этом предпочтение отдается озимой пшенице, а полученное зерно необходимо использовать в качестве семенного материала; выращивать сидераты и использовать их на зеленое удобрение. Нецелесообразно выращивать зеленые культуры на почвах с повышенным содержанием ТМ.

При выращивании сельскохозяйственных культур на почвах, подверженных воздействию выбросов, необходимо проводить постоянный контроль за содержанием ТМ в продукции. В случае специфических выбросов основной мерой предотвращения поступления ТМ в пищевые цепи является перевод этих почв на выращивание технических культур. На легких почвах следует применять доломито-

вую муку, регулирующую pH и способствующую осаждению ТМ.

Исключить минимальную обработку почвы, поскольку вспашка позволяет снизить содержание ТМ за счет перемешивания слоев почвы.

Достаточно действенным мероприятием является внесение в почву различных веществ, способствующих переходу ТМ в соединения, недоступные или труднодоступные для растений. Широко распространено известкование кислых почв. В нейтральной среде медь, никель и кобальт становятся безвредными. При снижении кислотности почвенного раствора снижается растворимость и подвижность кадмия и свинца, уменьшается потребление их растениями. То же самое относится к цинку и мышьяку.

Высока роль органического вещества почвы в доступности ТМ растениям. Повышение содержания органического вещества в почве обеспечивает образование комплексов ТМ хелатного типа, что обеспечивает, например, доступность кадмия растениям. Аналогичное явление наблюдалось и в отношении никеля. Снижалась также доступность меди растениям риса при внесении в почву зеленого удобрения. Доступность кадмия растениям риса снижалась при внесении в почву птичьего помета, компоста или муки из рисовой соломы, а токсичность хрома — при внесении в почву торфа; однако этого не происходит в отношении ртути.

Минеральные удобрения также оказывают определенное влияние на токсичность ТМ в почве. Минеральный фосфор снижает вредное воздействи-

ствие свинца на растения. При внесении повышенных доз фосфора снижается содержание меди, никеля и цинка в листьях растений. Внесение в почву солей магния снижает токсическое действие никеля. Сера обеспечивает устойчивое снижение доступности растениям ртути.

К агротехническим приемам, обеспечивающим существенное снижение уровня ТМ в растениеводческой продукции, относятся: известкование, применение минеральных и органических удобрений, биологические методы.

В условиях серых лесных почв внесение навоза в почву способствовало снижению количества свинца и кадмия в надземных органах амаранта примерно на 12% по сравнению с контролем (табл. 30).

Применение навоза основано на способности его образовывать комплексные соединения с ТМ. Образующиеся металлорганические комплексы являются малоподвижными или неспособными к преодолению клеточных мембран на границе почва-корень.

Внесение полного минерального удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ обеспечивало существенное снижение содержания свинца в клубнях картофеля при возделывании его по естественному фону и по фону сидератов.

Сорняки, обладающие избирательной способностью, интенсивно поглощают ТМ и могут выполнять роль фитопротекторов. При этом происходит перераспределение ТМ между возделываемой культурой и

Таблица 30

Содержание свинца и кадмия в надземной части амаранта, мг/кг сухого вещества

Элемент	Варианты опыта	
	без органических удобрений	с внесением органических удобрений
Свинец	13,0	11,5
Кадмий	31,2	27,5

сорняками [Алексеев, Осипов, 1997]. Концентраторами ТМ являются: горец забайкальский, горец почечуйный, лебеда, амарант и мальва. Несмотря на то, что содержание кадмия в почве возрастало почти в 3 раза, его количество в горохе и овсе не менялось вследствие избирательного поглощения элемента сорняками. Таким образом, на почвах, загрязненных кадмием, можно получать экологически безопасную продукцию, если один или несколько видов растений обладает ярко выраженными свойствами активно и избирательно поглощать ТМ.

В связи с этим, чтобы уменьшить токсичность ТМ для растений, необходимо применение тех агрономических мероприятий, которые повышают содержание гумуса в почве (внесение органических удобрений, сидератов, запашки соломы). Токсичность соединений хрома снижается при внесении в почву торфа.

При выращивании сельскохозяйственных культур на загрязненных почвах необходимо выполнить ряд профилактических мероприятий. На слабоокультуренных полях необходимо: повысить содержание гумуса, нейтрализовать почвенную кислотность, обогатить почву фосфатами. Для снижения подвижности ТМ необходимо провести глинование легких почв. Окультуривание необходимо проводить на паровом поле в течение года. За это время проводят известкование, фосфоритование и вносят органические удобрения. В дальнейшем на этих полях можно выращивать культуры, у которых в пищу используют те органы (части), которые слабо накапливают ТМ (картофель, томаты, бахчевые культуры). На сильно загрязненных полях следует выращивать технические культуры: лен, коноплю, клещевину, картофель (для получения крахмала или спирта), сахарную свеклу (для получения сахара), эфиромасличные культуры (для получения растительных масел и сырья для парфюмерной промышленности). В ряде случаев эти поля мож-

но отводить под семенники овощных и кормовых культур.

На загрязненных ТМ полях нельзя выращивать кормовые и овощные культуры, используемые на корм скоту и для производства продуктов питания.

При известковании кислых почв поступление ТМ в растения снижается. Это обусловлено целым рядом причин: известкование способствует образованию комплексных соединений органических веществ почвы с ТМ; при повышении pH ТМ выпадают из почвенного раствора в осадок (кроме As, Cd, Cr, Sr) в виде карбонатов гидроксидов и фосфатов, при повышении pH и увеличении содержания кальция в почве снижается активность корневых систем растений поглощения ряда ТМ.

Тем не менее известкование как прием снижения фитотоксичности ТМ не универсален. Такие элементы, как хром и молибден, в нейтральных и слабощелочных почвах более подвижны, чем в кислых. Поэтому известкование почв, содержащих повышенное количество этих металлов, может сделать их непригодными для выращивания ряда культур. При известковании уменьшается подвижность цинка, меди, кадмия и свинца (исключение составляет хром). При известковании идет процесс аккумуляции хрома растениями. Однако фитотоксичность хрома при известковании может и не проявляться, если велика емкость катионного и анионного обмена на фоне высокого содержания органического вещества в почве.

Локальное внесение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ снижает содержание кадмия и свинца в 1,3–1,8 раза в урожае овса и гороха (табл. 31). Снижение количества ТМ в урожае растений при локализации минеральных удобрений объясняется тем, что подкисляющее действие удобрений проявляется только в очаге расположения их в почве, а не во всем объеме пахотного слоя. Известно, что при подкислении повышается

Влияние способа внесения минеральных удобрений на содержание тяжелых металлов в урожае сельскохозяйственных культур, мг/кг сырого вещества*

Культура	Способ внесения удобрений			
	NPK, разброс	NPK, локально	NPK, разброс	NPK, локально
	Кадмий		Свинец	
Овес	1,05	0,56	10,5	7,8
Горох	2,2	1,2	46	34

*Данные Фатеева А.И. (1996).

подвижность ТМ в почве и усиливается их поступление в растения. Необходимо отметить также, что продуктивность овса и гороха при локальном применении удобрений возрастает в 1,3–1,5 раза по сравнению с разбросным применением тех же доз удобрений.

Положительным действием по снижению детоксикации ТМ обладают фосфорные удобрения. Фосфаты цинка и свинца представляют собой труднорастворимые соединения, поэтому они малодоступны растениям. По эффекту детоксикации однозамещенный фосфат кальция, внесенный в почву в дозе 3 т/га, равен 1–4 т/га извести. На кислых почвах целесообразно вместо суперфосфата применять фосфоритную муку.

В качестве удобрения незагрязненных почв ОСВ можно применять в кормовых севооборотах в дозах 5–10 т/га сухого вещества с периодичностью в 5–10 лет. При этом необходим систематический контроль за состоянием почв и производимой продукции в рамках агроэкологического мониторинга.

Использование отходов в чистом виде в качестве удобрения недопустимо. Лучшей формой их применения являются компости. При их компостировании необходимо дополнительно внести 2–3 кг азота на 1 т компоста. Для приготовления компоста отходы измельчают до частиц размером 5–

10 мм, добавляют минеральные удобрения, стимулирующие их разложение. Смесь формируют в штабель и компостируют до полного созревания компоста (не менее 3 месяцев). Соотношение компостируемых материалов и навоза обычно составляет 1:1, 2:1 или 3:2. Компосты оказывают мелиорирующее действие на почву, увеличивая ее влагоемкость, водопроницаемость, уменьшая плотность сложения и улучшая условия аэрации почвы. В каждом случае при использовании компостов необходимо определять уровень содержания ТМ в них.

Существенному снижению поступления ТМ (Sr, Cd, Pb, Cu, Zn) способствует применение цеолитов (клиноптиолит), которые, будучи емкими ионообменниками, поглощают подвижные формы элементов и тем самым снижают поступление их в растения. Благодаря применению цеолитов удается снизить уровень загрязнения продукции до 30%. Дозы применения цеолита колеблются в пределах 40–75 т/га.

Среди биологических приемов следует выделить выращивание толерантных сортов и культур, используемых в пищу или в качестве корма, выращивание культур только на семена, возделывание технических и лесных культур, разведение цветов.

Содержание ТМ существенно снижается в овощах и картофеле за счет их кулинарной обработки. В резуль-

Снижение содержания тяжелых металлов в клубнях картофеля в процессе кулинарной предобработки [Алексеев, 1987]

Элемент	Тяжелый металл, мг/кг сухого вещества		Снижение, раз
	в клубнях с кожурой	в очищенных клубнях	
Цинк	3,5–34,7	2,3–33,7	1,02–1,5
Свинец	1,2–25,5	0,6–4,0	2,0–6,4
Кадмий	0,7–2,9	0,2–1,4	1,4–3,5

тате очистки, промывки, снятия кожуры, протирки и бланшировки содержание свинца и ртути снижается на 50% в овоцах и на 80–85% в картофеле, а кадмия – на 20%. Снижение содержания свинца при однократной промывке салата может достигать 30–40%.

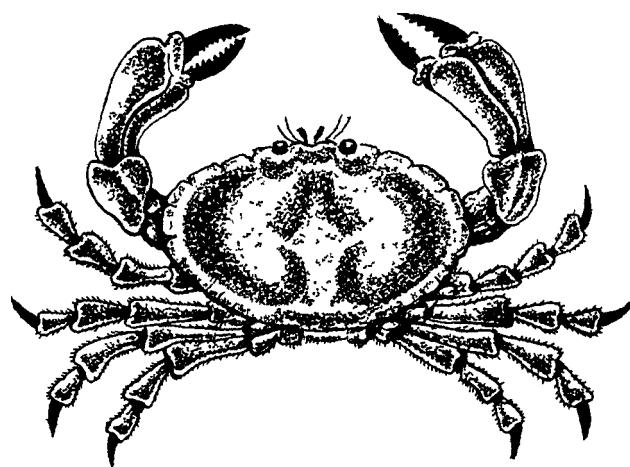
Однако при удалении кожуры с клубней в них остается еще значительная часть ТМ. Так, независимо от способа очистки клубня содержание кадмия и цинка снижалось на 20%, никеля – на 40–50%, а свинца – на

80–90% [Bruggemann et al., 1983]. Это свидетельствует о том, что кадмий и цинк поступают в клубень симплазматическим путем через флоэму вместе с органическими веществами, поступающими из надземных органов. В какой-то степени это касается и никеля. Очистка клубней картофеля от кожуры приводила к неодинаковому снижению ТМ (табл. 32). Содержание цинка в очищенных клубнях снижалось до 1,5 раза, свинца – 2–6 раз, кадмия – 1,4–3,5 раза.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНИЗМЕ ГИДРОБИОНТОВ

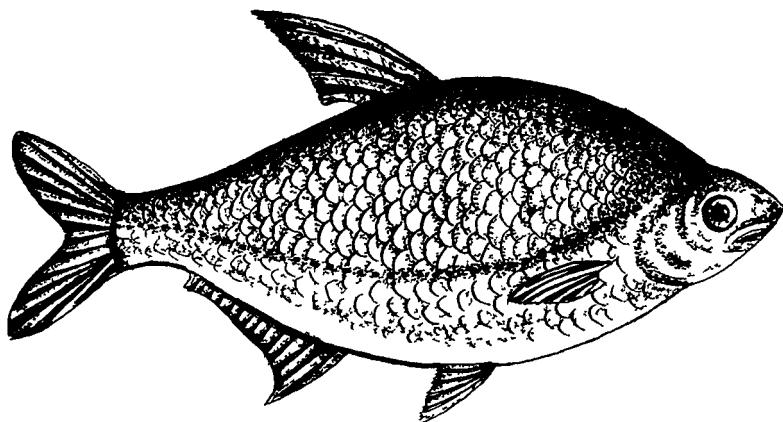
Caecinus



Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырой массы								
	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd
Мышцы	23,2	0,37	119,6	4,2	1,5	0,14	0,87	1,47	0,28
Панцирь	715,0	6,37	115,5	16,5	15,4	3,85	13,2	31,9	3,3

* Цит. по: Пятин С.А. и др., 1981.

Abramis brama

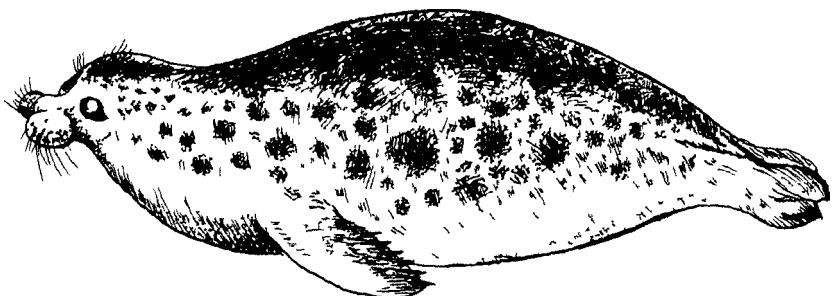


Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырой массы						
	Cu	Hg	Pb	Cd	Zn	Ni	Cr
Мышцы	0,3	0,04	0,41	0,06	7,8	0,2	0,08
Печень	6,4	0,01	0,58	0,10	29,9	0,4	0,10
Чешуя	0,8	0,001	2,76	0,33	133,4	1,3	1,60

* Цит. по: Галеева М.В. и др., 1995.

*Черпа байкальская**

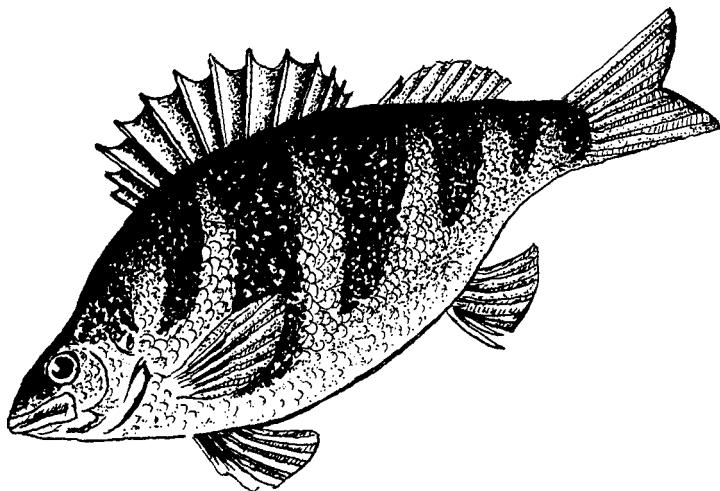
Phoca sibirica



Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырой массы							
	Zn	Pb	Ni	Cr	Cu	V	Tl	Mn
Жир	9,0	0,4	0,5	1,3	0,6	0,5	3,5	5,5
Печень	8,0	—	0,2	0,7	1,0	0,3	1,0	5,5
Мышцы	5,5	—	0,3	1,3	0,7	0,2	1,0	1,0
Кровь	4,6	0,1	0,1	0,5	0,8	0,2	0,2	0,1

*Цит. по: Руднева Н.А., Пронин Н.П., 1996.

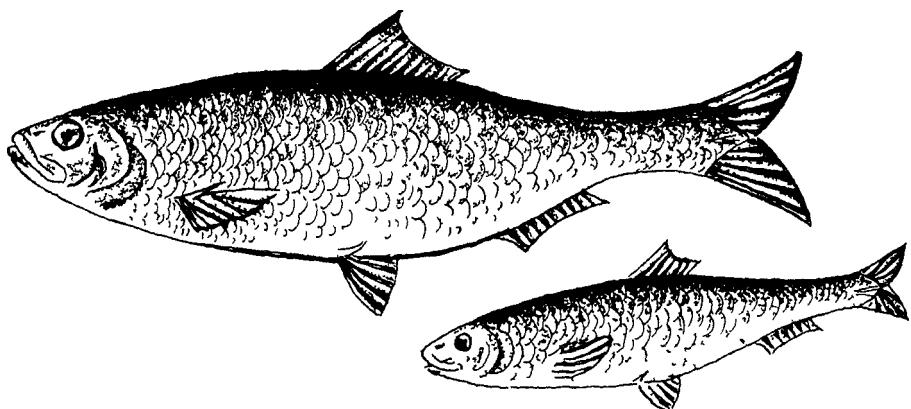
Судак обыкновенный
Percsa fluviatilis



Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырого вещества				
	Cu	Zn	Fe	Pb	Cd
Мышцы	0,1–0,12	8,3–17,7	0,1–98,6	1,0–3,7	0,003–0,1
Печень	0,1–0,2	45,0–238,0	66,6–900,0	1,0–38,0	0,001–0,7
Гонады	0,1–0,15	11,6–58,1	26,4–232,6	0,7–16,8	0,003–1,8

* Цит. по: Сухопарова В.П. и др., 1994.

*Сельдь атлантическая**
Clupea harengus

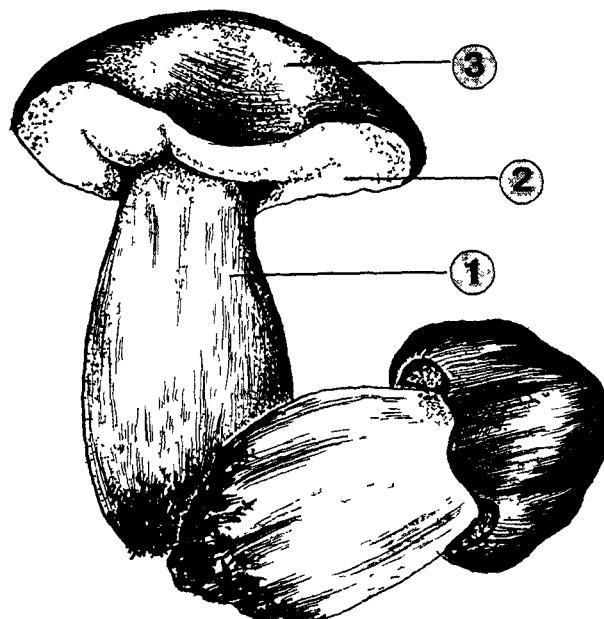


Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырой массы		
	Hg	Pb	Cd
Мышцы	0,077	0,4	0,085
Кости	0,067	3,94	0,440
Жабры	0,076	2,47	0,260
Плавники	0,064	4,38	0,510
Голова	0,063	4,13	0,370

* Цит. по: Патин С.А. и др., 1981.



**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ГРИБАХ**

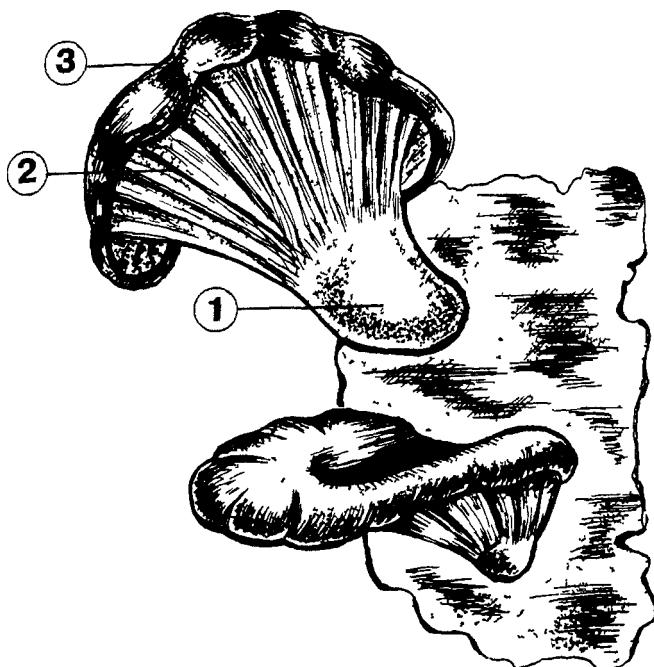
Boletus edulis

Часть гриба	Тяжелый металл, мг/кг					
	Cu	Mn	Zn	Ni	Pb	Cd
1	7,1	15,1	65,0	0,1	0,7	0,1
2	9,3	37,7	100,0	0,5	1,7	0,3
3	7,5	16,6	67,0	0,3	1,1	0,2

1 – ножка, 2 – пластинки, 3 – шляпка.

Вешенка осенняя

Pleurotus salignus

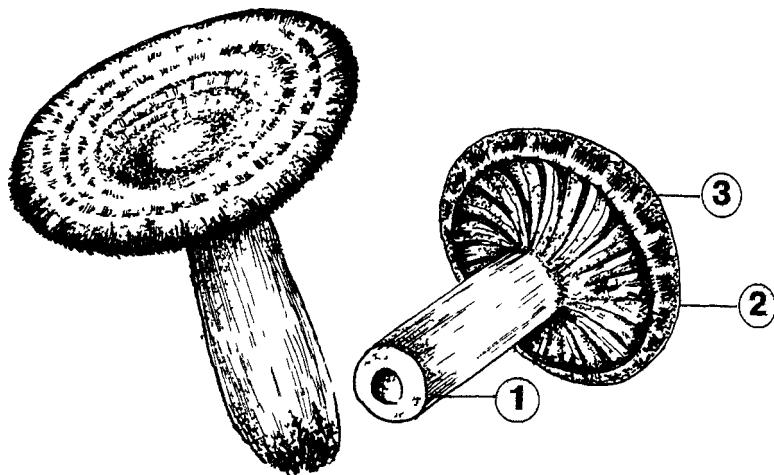


Часть гриба	Тяжелый металл, мг/кг						
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Pb	Cd
1	5,0	10,0	7,5	0,1	0,8	1,0	0,4
2	12,5	45,0	13,0	0,6	1,6	2,0	0,7
3	10,0	20,0	10,0	0,3	1,2	1,5	0,5

1 – ножка, 2 – пластинки, 3 – шляпка.

Волнистик розовый

Lactarius torminosus

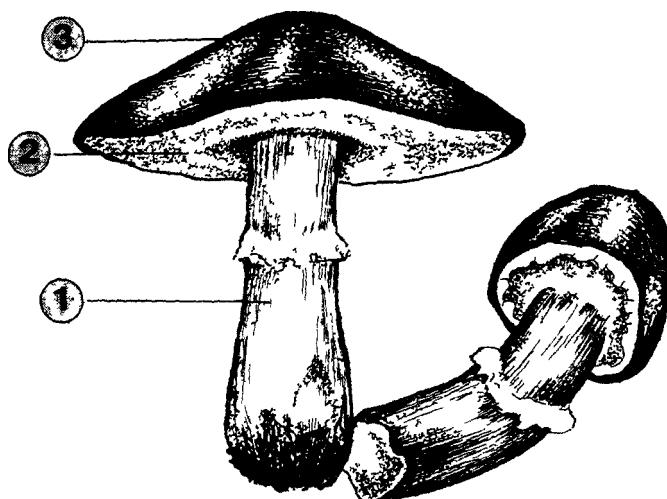


Часть гриба	Тяжелый металл, мг/кг						
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Pb	Cd
1	10,0	10,0	80,0	0,5	0,1	2,5	0,1
2	10,9	21,7	490,0	3,0	1,1	3,3	0,2
3	9,1	15,0	108,7	1,5	0,5	3,0	0,1

1 – ножка, 2 – пластинки, 3 – шляпка.

Масленок поздний

Suillus luteus

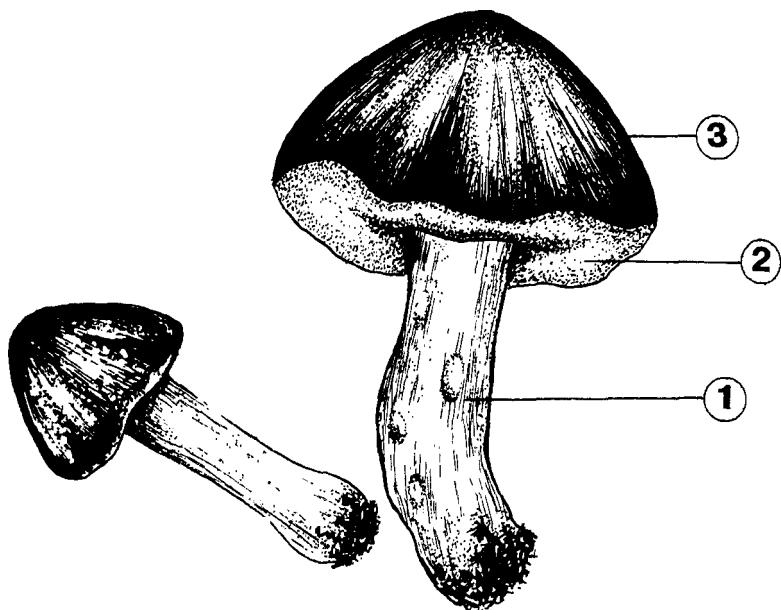


Часть гриба	Тяжелый металл, мг/кг				
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd
1	10,7	8,9	96,6	2,0	0,4
2	26,8	21,5	151,8	9,7	2,1
3	24,0	12,0	107,9	4,5	0,7

1 – ножка, 2 – пластинки, 3 – шляпка.

Моховик желтый

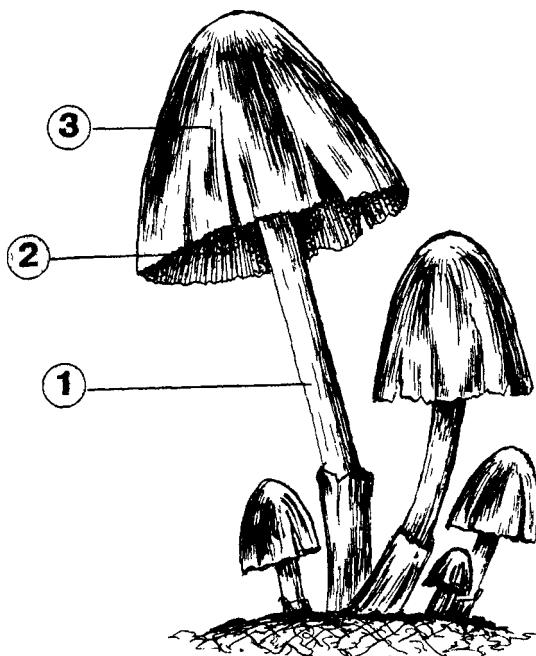
Hydnellum gerardum



Часть гриба	Тяжелый металл, мг/кг						
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Pb	Cd
1	10,0	15,0	55,0	0,1	0,2	0,2	0,1
2	50,0	60,0	135,0	1,5	0,5	6,0	0,2
3	10,0	30,0	100,0	1,0	0,5	6,0	0,2

1 – ножка, 2 – пластинки, 3 – шляпка.

Навозник серый
Coprinus cinereus

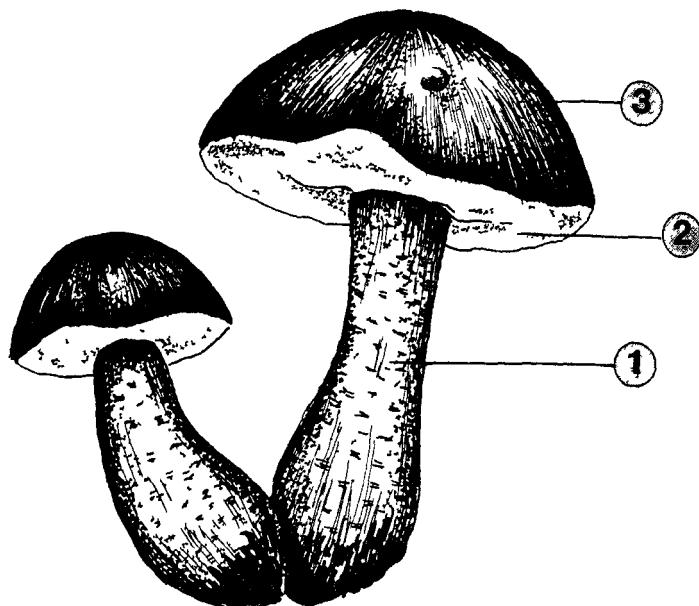


Часть гриба	Тяжелый металл, мг/кг						
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Pb	Cd
1	28,6	14,3	64,3	0,7	14,3	2,0	1,1
2	114,2	28,6	142,8	1,4	17,1	2,9	3,0
3	83,4	27,8	127,9	1,1	11,4	2,2	2,5

1 – ножка, 2 – пластинки, 3 – шляпка.

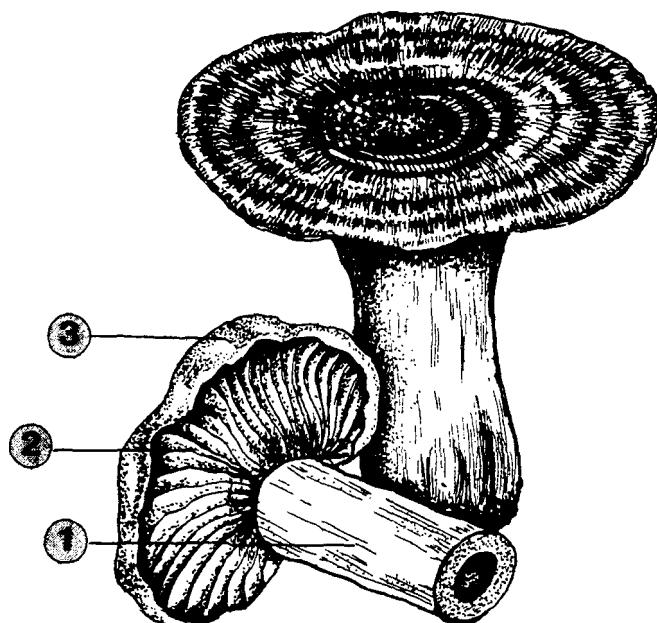
Лесные грибы

Leccinum scabrum



Часть гриба	Тяжелый металл, мг/кг					
	Cu	Mn	Zn	Ni	Pb	Cd
1	10,0	20,0	85,0	0,1	1,5	0,1
2	12,8	51,3	125,0	0,7	5,0	0,7
3	10,0	20,0	83,0	0,6	4,1	0,6

1 – ножка, 2 – пластинки, 3 – шляпка.

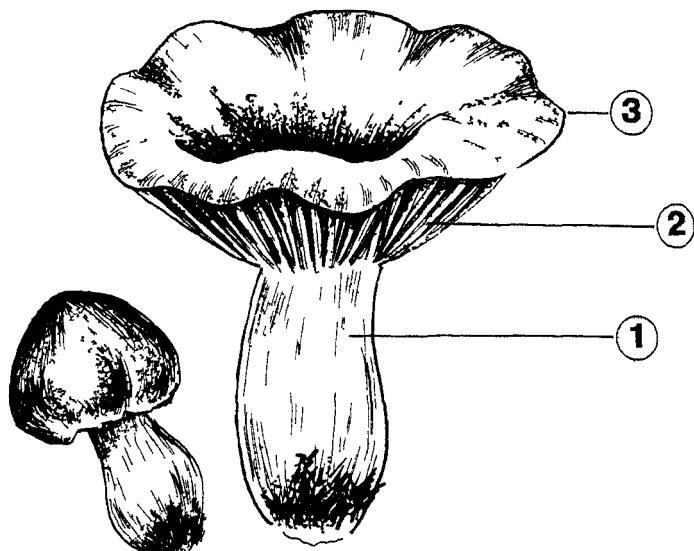


Часть гриба	Тяжелый металл, мг/кг						
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Pb	Cd
1	10,0	11,0	110,0	0,1	0,1	1,7	0,7
2	20,0	20,0	240,0	0,2	0,4	4,0	2,2
3	16,7	15,0	133,3	0,1	0,2	3,0	0,9

1 – ножка, 2 – пластинки, 3 – шляпка.

Сыроежка

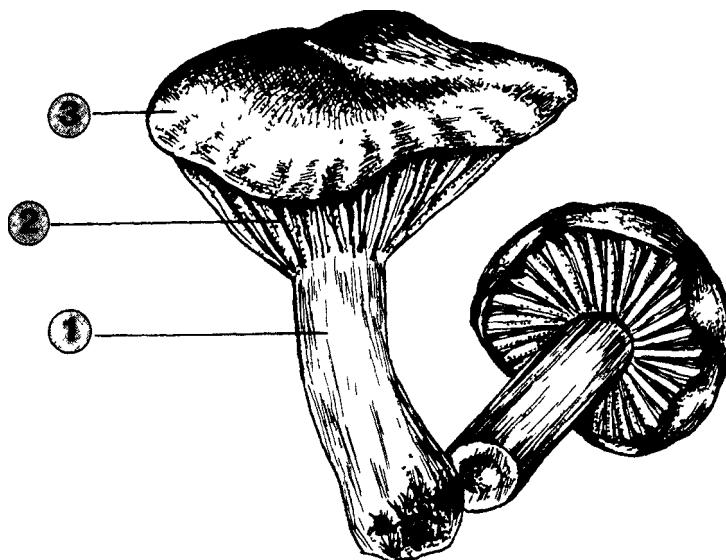
Russula obscura



Часть гриба	Тяжелый металл, мг/кг						
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Pb	Cd
1	10,0	15,0	95,0	0,8	0,1	3,1	0,1
2	69,2	46,1	146,1	2,7	0,3	6,0	0,6
3	23,1	25,1	100,0	2,0	0,2	5,4	0,2

1 – ножка, 2 – пластинки, 3 – шляпка.

Рядовка красно-бурая
Tricholoma flavobrunneum

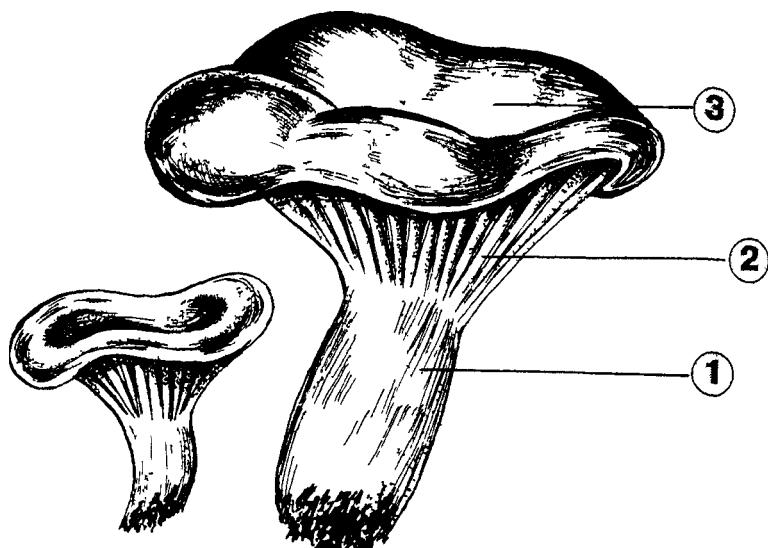


Часть гриба	Тяжелый металл, мг/кг						
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Pb	Cd
1	15,0	10,0	75,0	2,0	6,7	2,0	0,5
2	55,6	27,8	172,4	5,0	15,0	3,9	2,5
3	20,0	10,0	95,0	2,2	12,0	2,5	2,0

1 – ножка, 2 – пластинки, 3 – шляпка.

Свиночка тонкая

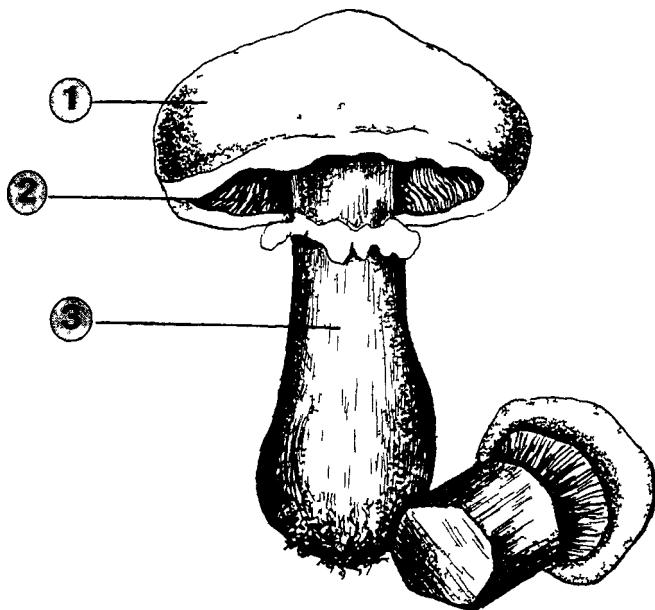
Paxillus involutus



Часть гриба	Тяжелый металл, мг/кг						
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Pb	Cd
1	20,0	15,0	95,0	0,5	0,1	2,5	0,1
2	55,0	40,0	180,0	2,5	1,5	4,0	0,3
3	35,0	25,0	105,0	2,0	1,0	3,0	0,2

1 – ножка, 2 – пластинки, 3 – шляпка.

Шляпиньон
Agaricus campestris



Часть гриба	Тяжелый металл, мг/кг							
	As	Mn	Zn	Ni	Co	Pb	Cd	
1	71,4	14,3	142,8	2,5	10,0	1,4	0,4	
2	87,5	23,1	162,5	1,4	11,4	2,5	0,3	
3	30,8	12,5	84,6	1,5	7,7	1,5	0,1	

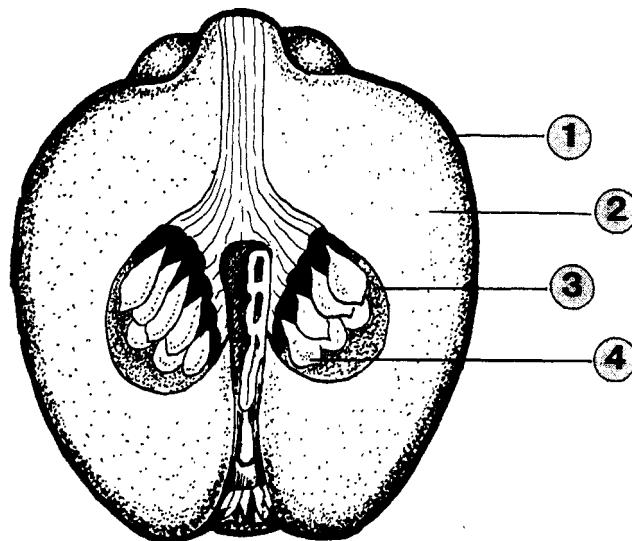
1 – шляпка, 2 – пластинки, 3 – ножка.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯХ

Айва

Cydonia oblonga



Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг			
	Pb	Cd	Zn	Fe
1	0,25	0,15	30,0	60,0
2	0,05	0,02	27,5	50,0
3	0,03	0,04	25,0	60,0
4	0,01	0,05	65,0	280,0

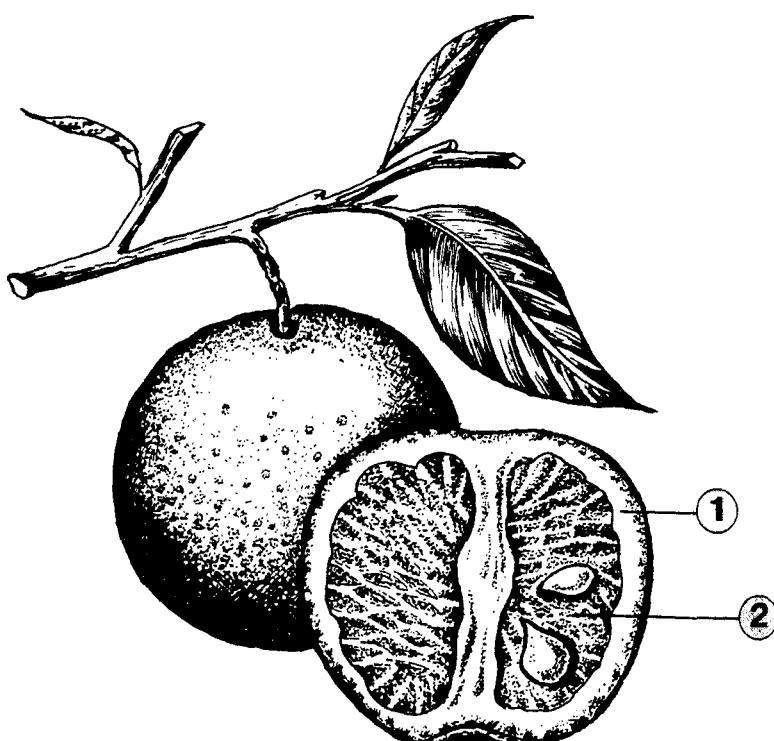
1 – кожица, 2 – мякоть, 3 – семенная камера, 4 – семена.

Амарант

Amaranthus gangeticus

Зона растения	Тяжелый металл, мг/кг				
	Fe	Zn	Mn	Pb	Cd
1	60– 1950	60– 175	10– 80	1,5– 9,0	0,025– 0,075
2	80– 1000	90– 540	5– 60	5,0– 14,0	0,025– 0,2
3	150– 700	160– 660	2,5– 50	8,0 – 13,0	0,0123– 0,175
4	130– 660	70– 270	5– 45	4,0– 10,0	0,023– 0,2
5	40– 380	35– 105	0– 20	0,5– 14,0	0– 0,2



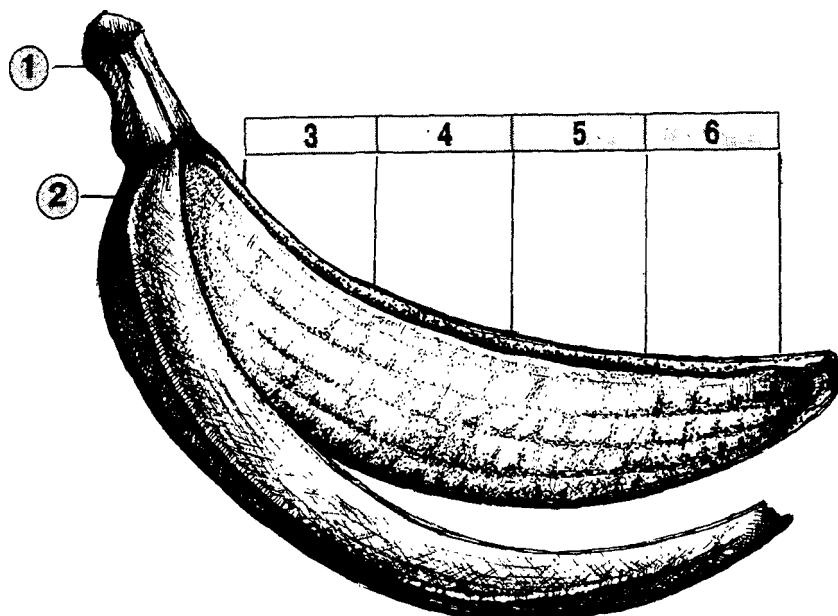


Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Zn	Cr	Co	Ni	Pb	Cd
1	100,0	0,7	2,5	1,0	3,5	0,05
2	135,0	1,0	0,5	1,5	4,0	0,10

1 – кожура, 2 – мякоть.

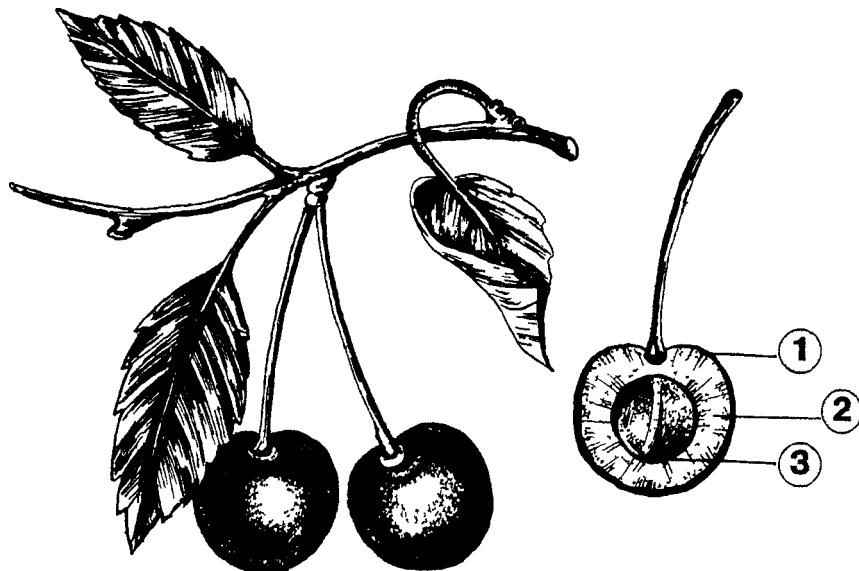
Банан

Musa bajoo



Зона плода	Тяжелый металл, мг/кг				
	Zn	Mn	Pb	Cd	Fe
1	66,0	40,0	2,1	0,3	100,0
2	43,3	26,6	1,7	0,2	53,3
3	16,6	6,6	0,7	0,07	33,3
4	11,6	6,3	0,7	0,07	26,6
5	15,0	6,2	0,6	0,05	20,0
6	15,0	6,1	0,5	0,05	19,9

1 - плодоножка, 2 - створки, 3-6 плод.

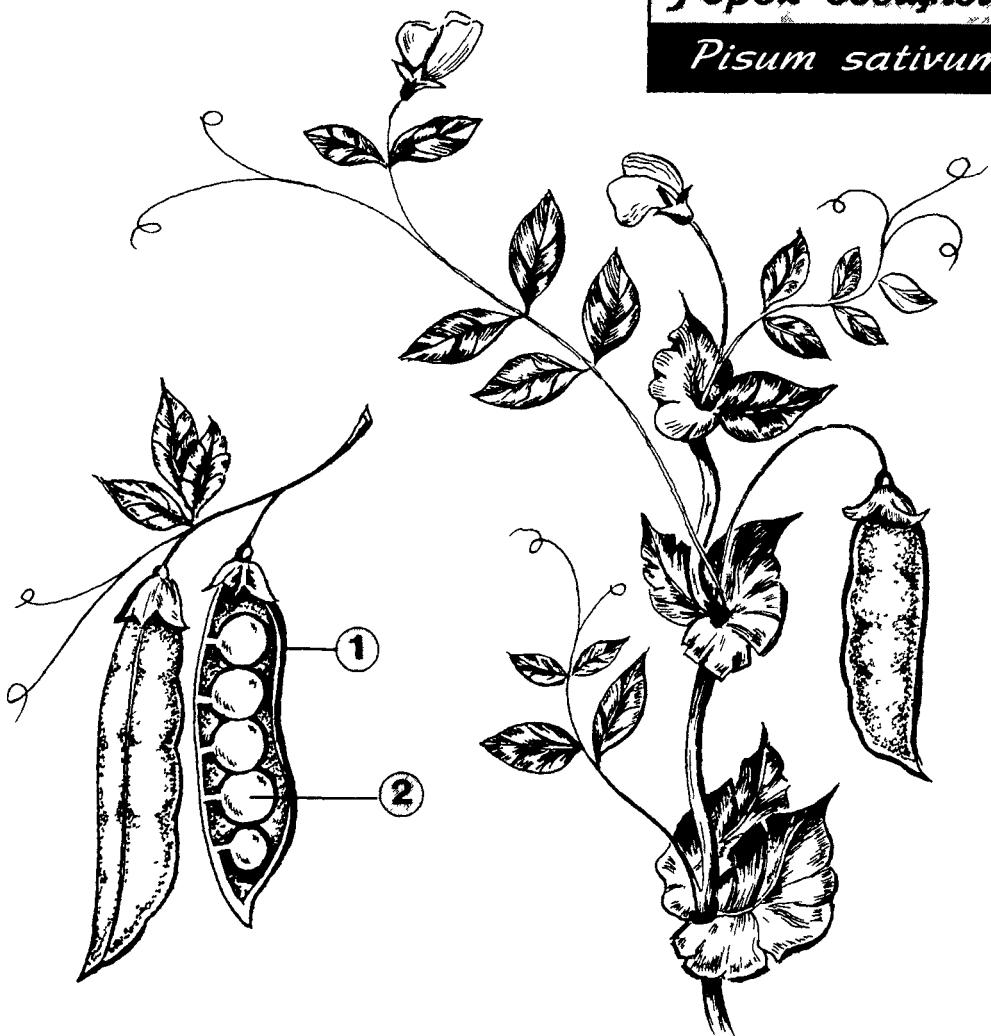


Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг						
	Cu	Mn	Co	Cr	Pb	Cd	Fe
1	25,0	9,4	2,5	0,1	1,0	0,02	37,5
2	22,5	5,0	4,0	0,01	0,6	0,01	4,0
3	18,6	11,2	0,8	0,01	0,4	0,005	44,1

1 – кожица, 2 – мякоть, 3 – семя.

Горох овощной

Pisum sativum



Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг								
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Fe
1	15,0	7,5	0,5	0,1	1,5	0,1	0,5	0,01	30,0
2	27,5	17,5	1,0	0,5	2,5	0,1	1,0	0,01	50,0

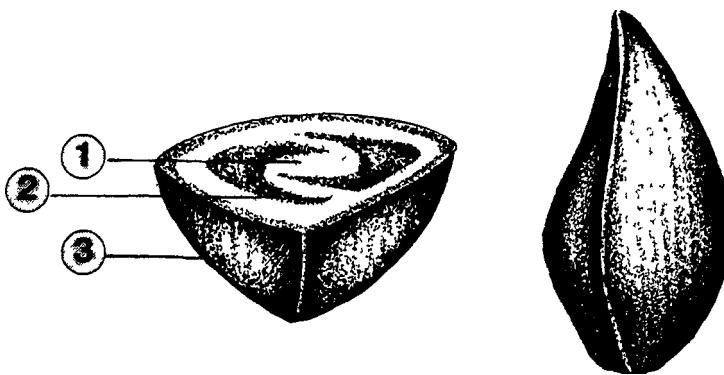
1 – створки, 2 – семя.

Горчичник

Fagopyrum esculentum



Зона растения	Тяжелый металл, мг/кг				
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd
1	13,3	11,9	50,0	1,0	0,05
2	4,0	4,0	20,0	0,6	0,02
3	13,3	13,3	60,0	2,7	0,16

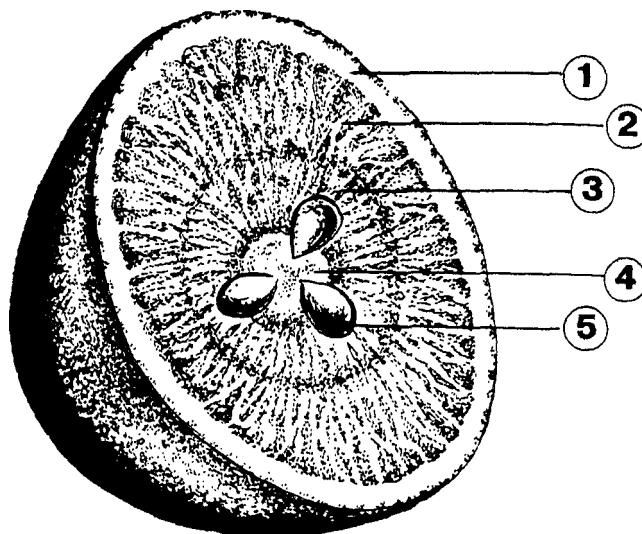


Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Fe
1	37,0	25,6	115,4	5,6	0,02	89,7
2	18,7	5,6	94,3	0,9	0,01	28,3
3	25,6	8,1	55,6	1,3	0,03	55,9

1 – зародыш, 2 – эндосперм,
3 – оболочка.

Citrus paradisi

Citrus paradisi



Часть плода

1

2

3

4

5

Эл., мг/кг

6,0

1,7

2,3

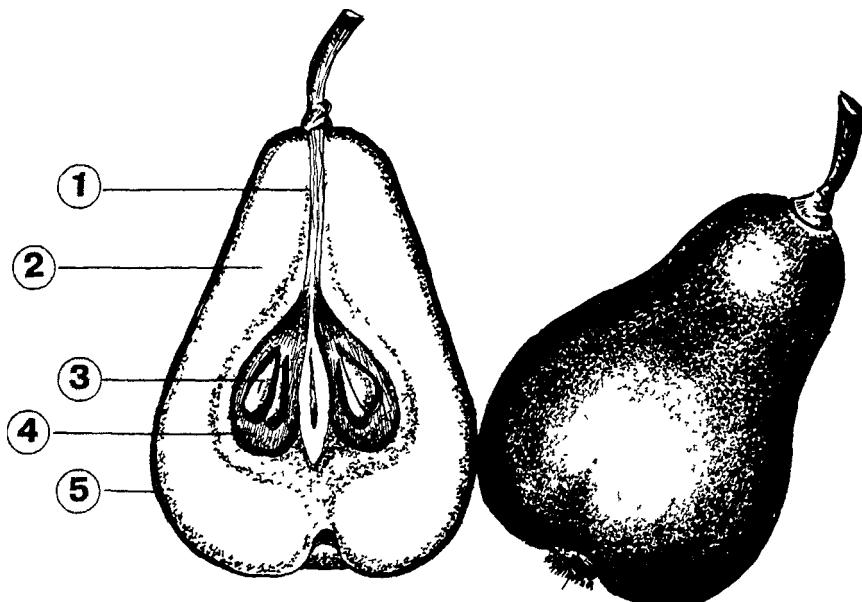
6,2

53,6

1 – кожура, 2, 3 – мякоть, 4 – центральная часть, 5 – семена.

Груша

Pirus communis

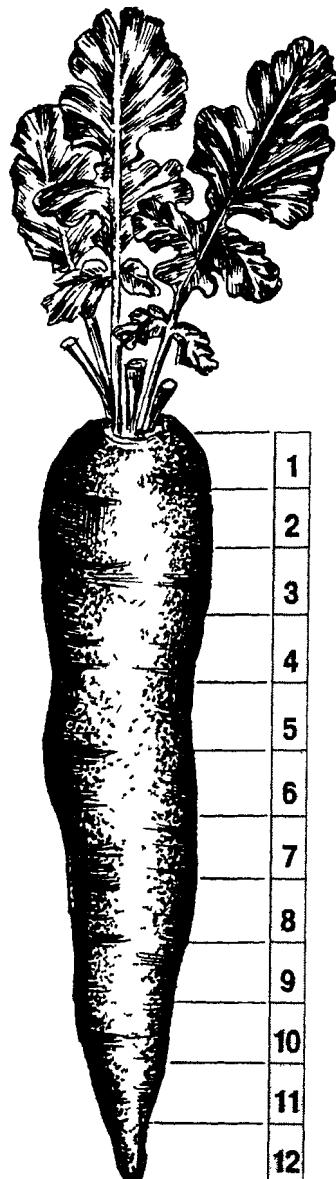


Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг								
	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Fe
1	0,6	28,1	10,1	1,1	0,8	1,1	0,6	0,005	33,7
2	0,9	80,0	23,1	0,5	1,0	2,0	2,5	0,01	50,0
3	0,3	39,3	5,9	2,1	0,3	0,2	2,2	0,003	78,6
4	0,4	216,0	12,3	3,1	0,4	0,3	4,0	0,004	493,8
5	5,0	30,0	50,0	1,0	0,5	2,5	6,5	0,02	20,0

1 – плодоножка, 2 – мякоть, 3 – семена, 4 – семенная камера,
5 – кожица.

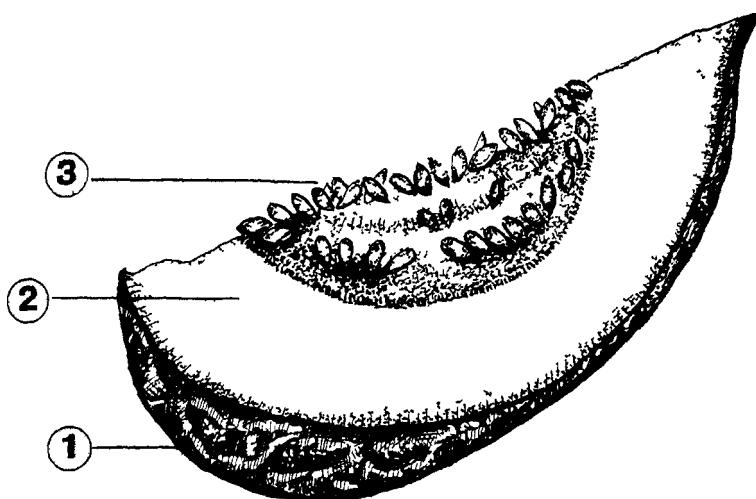
Дайкон

Raphanus sativus



Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг						
	Mn	Zn	Ni	Co	Pb	Cd	Fe
1	29,9	102,7	0,3	12,0	14,0	0,30	171,2
2	50,0	127,0	0,5	10,2	12,7	0,40	304,5
3	49,8	124,5	0,3	8,2	12,4	0,23	299,0
4	40,6	131,3	0,3	7,5	10,2	0,20	284,5
5	39,9	149,1	0,3	7,2	9,8	0,21	213,0
6	28,2	169,2	0,2	7,6	9,3	0,20	169,2
7	10,0	165,9	0,2	7,1	9,8	0,20	94,7
8	20,1	189,0	0,2	4,8	9,6	0,21	64,4
9	20,1	274,4	0,3	3,5	8,2	0,21	82,4
10	20,1	117,8	0,4	3,4	8,4	0,23	100,9
11	39,1	96,2	1,2	9,4	11,0	0,25	282,6
12	17,3	94,2	0,5	5,8	8,1	0,19	207,3

Дыня
Cucumis melo

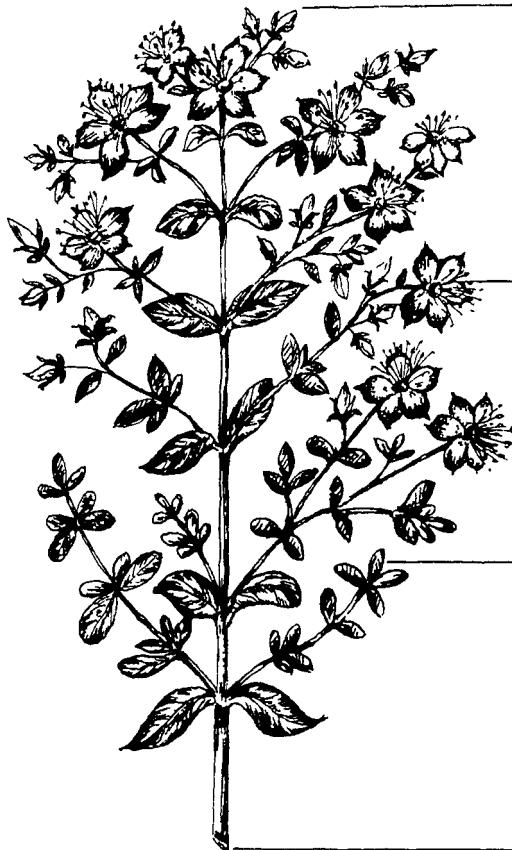


Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Mn	Cr ⁺	Pb	Cd	Zn	Fe
1	10,0	1,0	2,0	0,5	97,5	150,0
2	30,0	0,3	0,5	0,02	125,0	19,1
3	15,0	0,1	0,5	0,01	20,0	9,3

1 – кожица, 2 – мякоть, 3 – сердцевина.

Зверобой обыкновенный

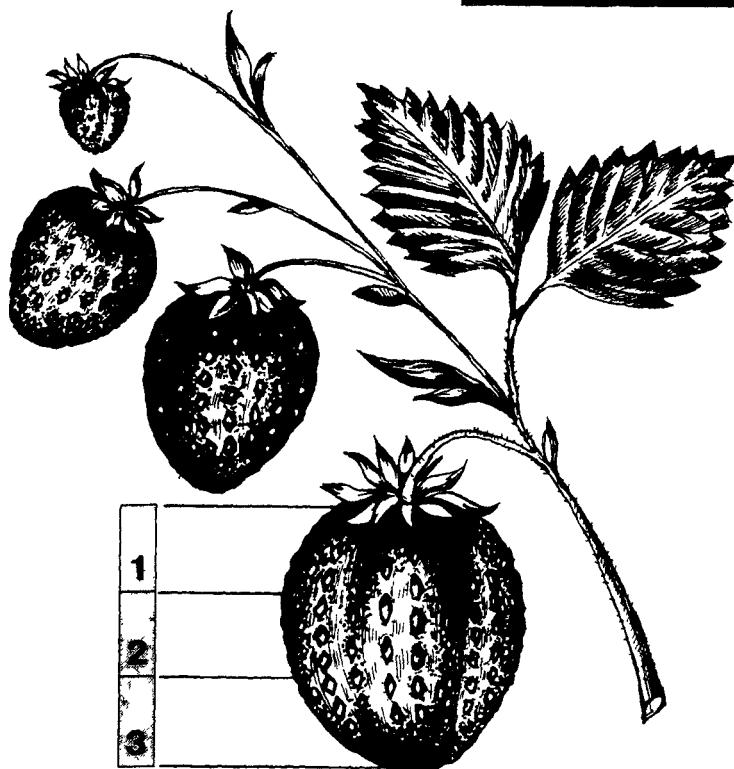
Hypericum perforatum



Зона расте- ния	Тяжелый металл, мг/кг							
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Ni	Co	Cr
1	5,5	40,0	95,0	0,25	0,004	7,5	1,3	0,5
2	8,0	64,0	72,0	0,60	0,080	8,1	9,0	4,0
3	15,0	100,0	150,0	1,00	0,450	10,5	9,7	5,1

Земляника садовая

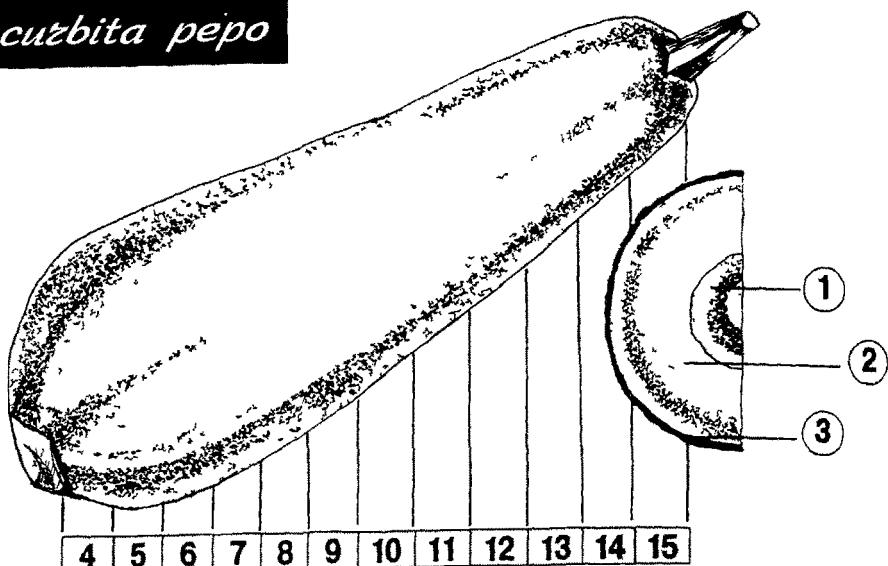
Fragaria elatior



Зона плода	Тяжелый металл, мг/кг				
	Zn	Mn	Pb	Cd	Fe
1	27,0	30,0	6,0	0,10	90,0
2	60,0	50,0	6,5	0,10	270,0
3	27,5	45,0	5,0	0,07	80,0

Кабачок

Cucurbita pepo

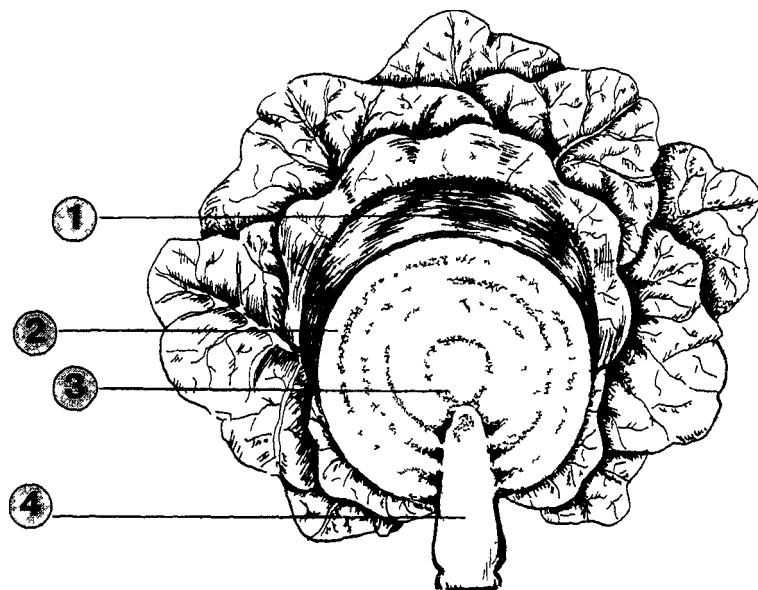


Зона плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Mn	Cr	Pb	Cd	Zn	Fe
1	20,0	0,3	2,0	0,05	51,2	69,4
2	10,0	0,3	1,7	0,04	33,3	46,2
3	25,0	1,0	2,5	0,07	55,0	100,0
4	7,0	0,3	1,0	0,03	23,1	39,0
5	10,0	0,7	1,3	0,03	24,8	52,8
6	20,0	1,0	3,0	0,10	70,0	100,0
7	20,0	0,7	2,0	0,02	45,0	80,0
8	20,0	0,5	1,0	0,04	45,0	60,0
9	13,3	0,3	1,0	0,03	31,4	46,2
10	13,3	0,3	1,3	0,03	36,3	52,8
11	15,0	0,5	1,5	0,04	32,5	60,0
12	15,0	0,5	1,5	0,04	42,5	50,0
13	15,0	3,0	1,5	0,04	52,5	80,0
14	10,0	2,5	1,5	0,04	40,0	50,0
15	10,0	0,5	1,5	0,04	30,0	50,0

1 – сердцевина, 2 – мякоть, 3 – кожица, 4–15 – зоны плода.

Капуста белокочанная

Brassica capitata

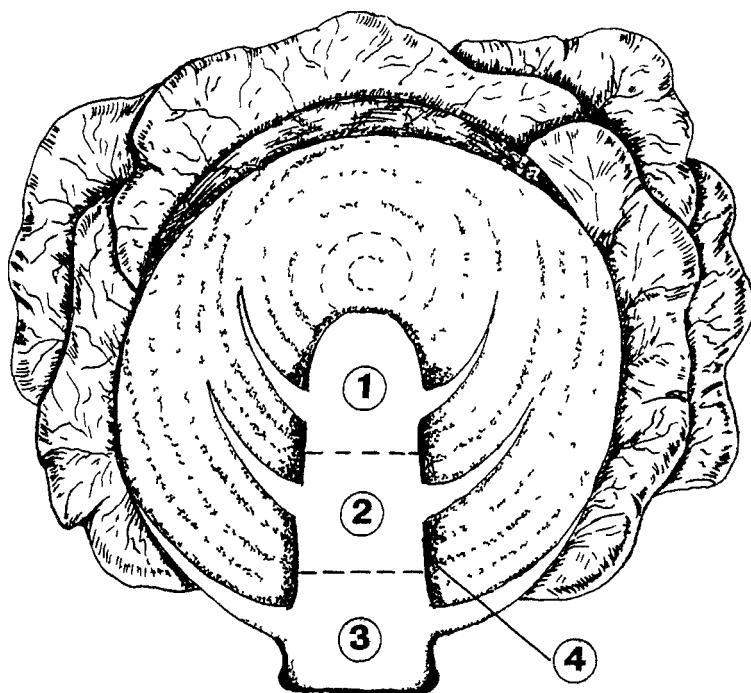


Часть кочана	Тяжелый металл, мг/кг						
	Си	Mn	Zn	Co	Ni	Pb	Cd
1	4,0	10,0	30,0	2,4	5,5	0,30	0,02
2	8,0	24,0	45,0	6,0	7,0	0,60	0,04
3	13,3	26,3	61,7	6,6	10,0	0,93	0,05
4	20,0	30,0	101,0	12,2	15,0	1,50	0,08

1 – верхние листья, 2 – средние листья, 3 – сердцевина, 4 – кочерыга.

Капуста белокочанная

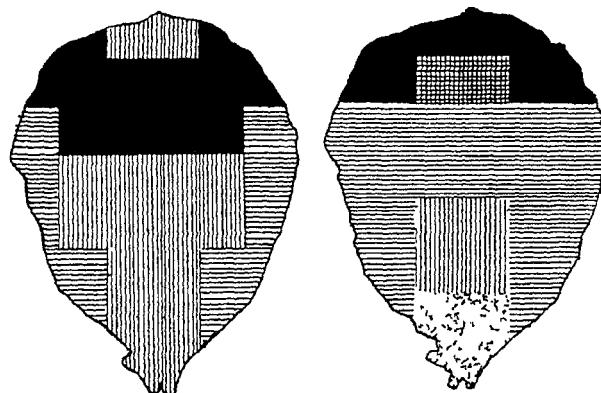
Brassica capitata



Зона кочерыги	Тяжелый металл, мг/кг				
	Mn	Cr	Co	Pb	Cd
1	6,9–8,3	5,5–5,8	13,7–15,6	12,4–15,8	0,2–0,3
2	8,3–8,6	5,0–6,9	24,9–29,2	14,9–15,4	0,3–0,4
3	8,7–9,4	3,5–3,8	26,3–29,7	14,9–16,0	0,4–0,6
4	13,1–15,0	2,50–2,81	28,0–29,1	10,5–12,1	0,2–0,3

1–3 – зоны кочерыги, 4 – коровая ткань.

**Распределение тяжелых металлов
в капустном листе**

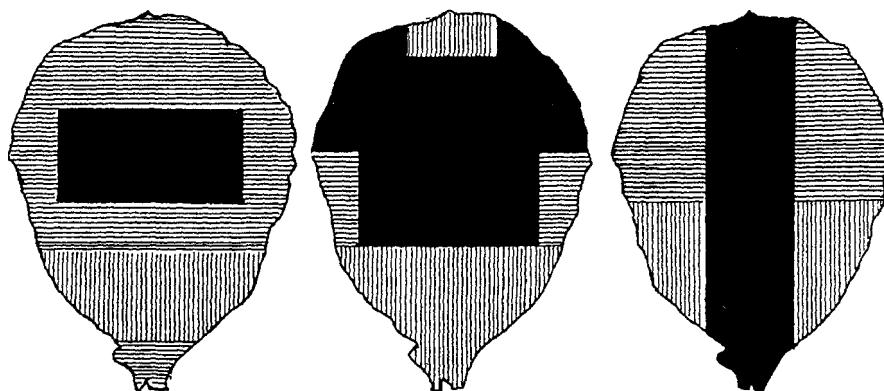


Cr

- - <2,0 мг/кг
- - 2,0-5,0
- - 5,0-7,0

Mn

- - <5,0 мг/кг
- - 5,0-10,0
- - 10,0-20,0
- - 20,0-30,0
- - 30,0-40,0



Pb

- - <10,0 мг/кг
- - 10,0-20,0
- - 20,0-30,0

Cd

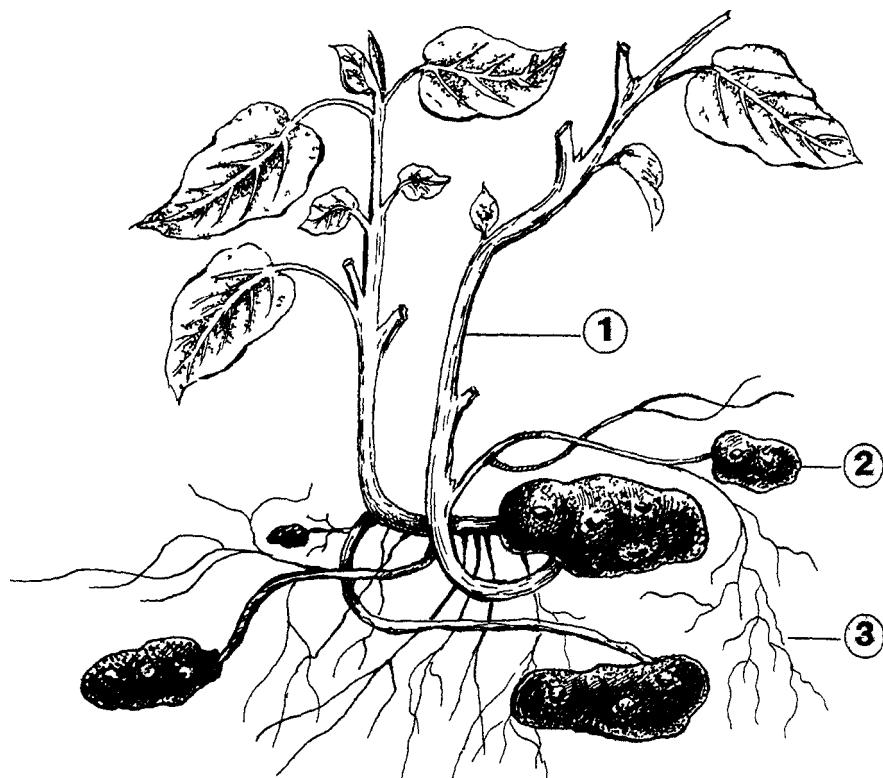
- - 0,10-0,20 мг/кг
- - 0,20-0,30
- - 0,30-0,40

Cu

- - <5,0 мг/кг
- - 5,0-10,0
- - 10,0-15,0

Картофель

Solanum tuberosum

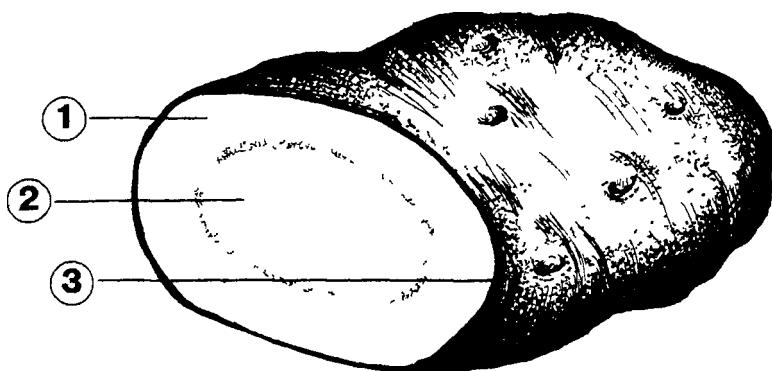


Зона рас- тения	Тяжелый металл, мг/кг					
	Hg	Pb	Cd	Cr	Zn	Cu
1	0,402	2,8	0,95	3,2	215,0	76,0
2	0,051	0,2	0,33	0,7	45,0	9,2
3	0,065	4,1	1,75	1,8	59,0	10,1

1 – ботва, 2 – клубни, 3 – корни.

Картофель

Solanum tuberosum

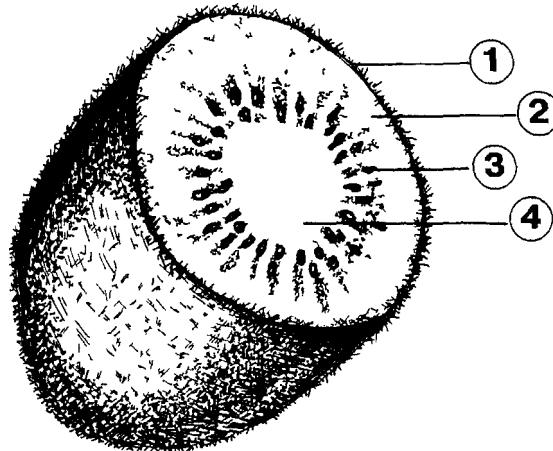


Часть клубня	Тяжелый металл, мг/кг					
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Fe
1	8,0	8,0	27,0	1,6	0,2	176,0
2	8,0	8,0	16,0	0,6	0,1	32,0
3	8,0	4,0	17,0	1,0	0,1	20,0

1 – периферийная зона, 2 – сердцевин, 3 – кожура.

Kivi

Actinidia chinensis

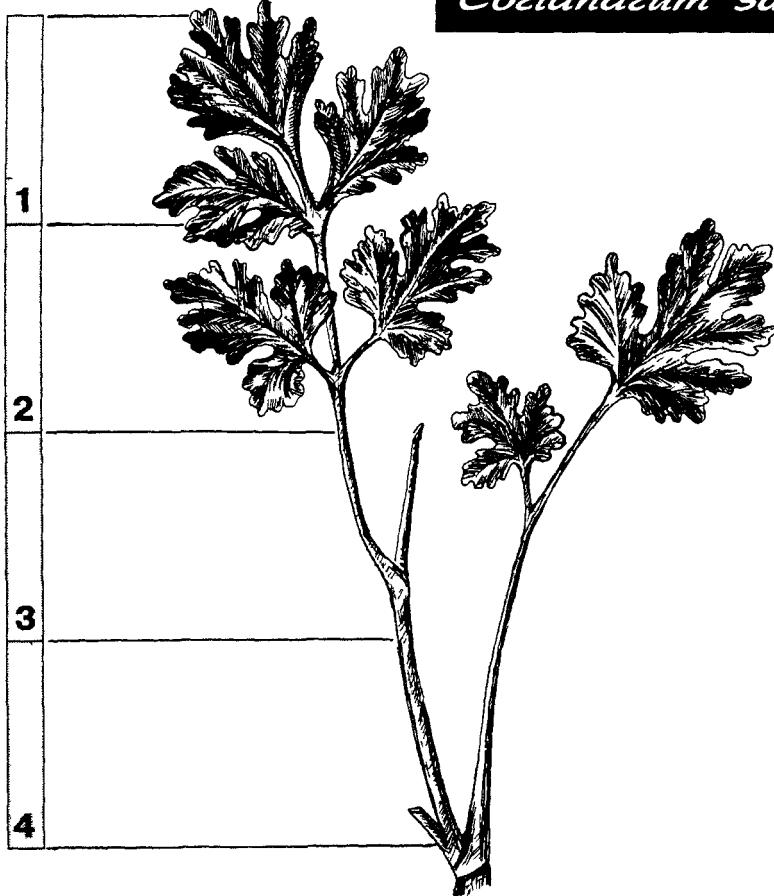


Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Zn	Cr	Co	Ni	Pb	Cd
1	185,0	0,8	1,5	0,5	5,0	0,15
2	200,0	1,5	4,0	0,5	5,0	0,08
3	225,0	0,5	2,0	1,5	3,0	0,12
4	200,0	0,5	4,5	0,5	3,5	0,08

1 – кожура, 2 – мякоть, 3 – семена, 4 – сердцевина.

Кориандр

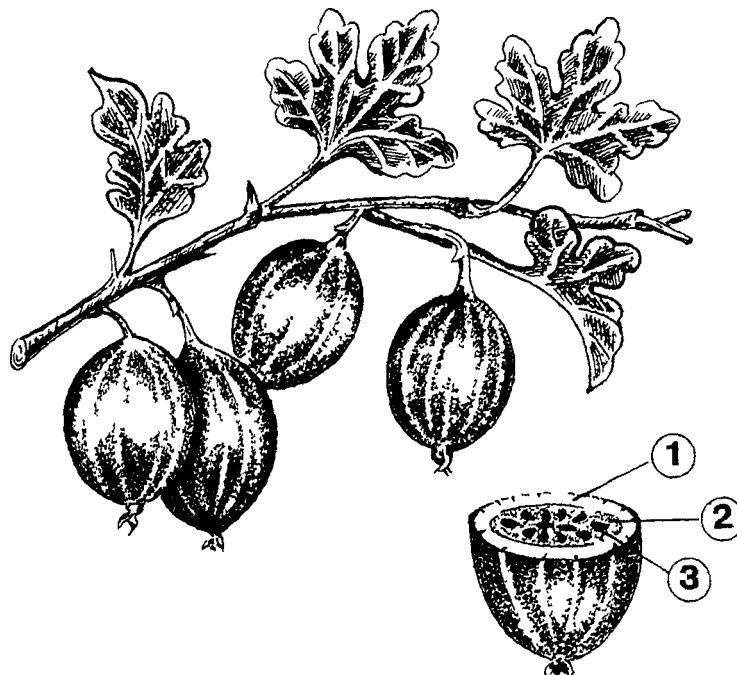
Coriandrum sativum



Зона расте- ния	Тяжелый металл, мг/кг									
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Fe	
1	10,1	66,0	13,8	2,0	15,2	1,0	2,0	0,2	180,0	
2	15,1	17,4	106,3	0,1	11,6	0,5	1,7	0,3	70,0	
3	25,8	2,3	72,0	0,1	7,6	0,5	3,5	0,2	50,0	
4	26,3	1,7	70,0	0,1	7,2	0,3	3,9	0,2	40,0	

Крыжовник

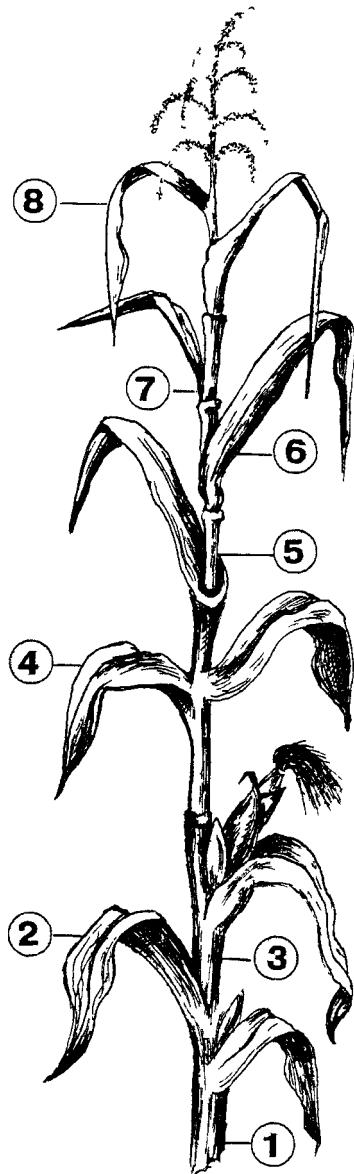
Grassulagia reclinata



Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг									
	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Fe	
1	10,0	45,0	10,0	0,1	1,5	0,2	1,0	0,02	50,0	
2	2,0	50,2	2,3	0,1	0,1-	0,4	2,5	0,04	67,0	
3	10,0	60,0	10,0	0,5	0,1	0,2	3,5	0,03	80,0	

1 – кожура, 2 – мякоть, 3 – семена.

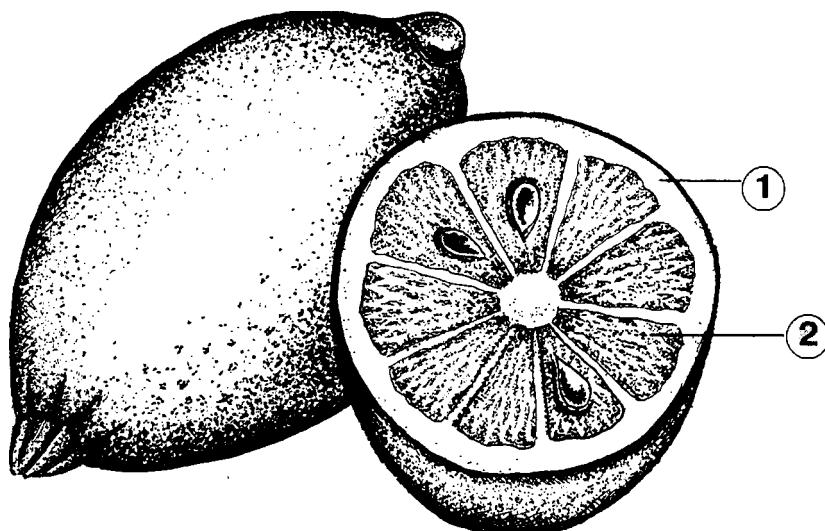
Кукуруза
Zea mays



Зона растения	Тяжелый металл, мг/кг					
	Mn	Cr	Pb	Cd	Zn	Fe
1	0,5	0,1	0,10	0,04	10,0	60,0
2	1,0	0,2	0,15	0,03	30,8	123,4
3	0,5	0,1	0,25	0,03	12,5	100,0
4	4,0	0,3	0,30	0,08	20,0	112,0
5	20,0	0,1	0,50	0,15	21,0	100,0
6	60,0	0,5	0,50	0,30	35,2	230,0
7	15,0	0,1	0,50	0,10	25,0	60,0
8	60,0	1,0	0,50	0,10	27,7	120,0

Лимон

Citrus lemon

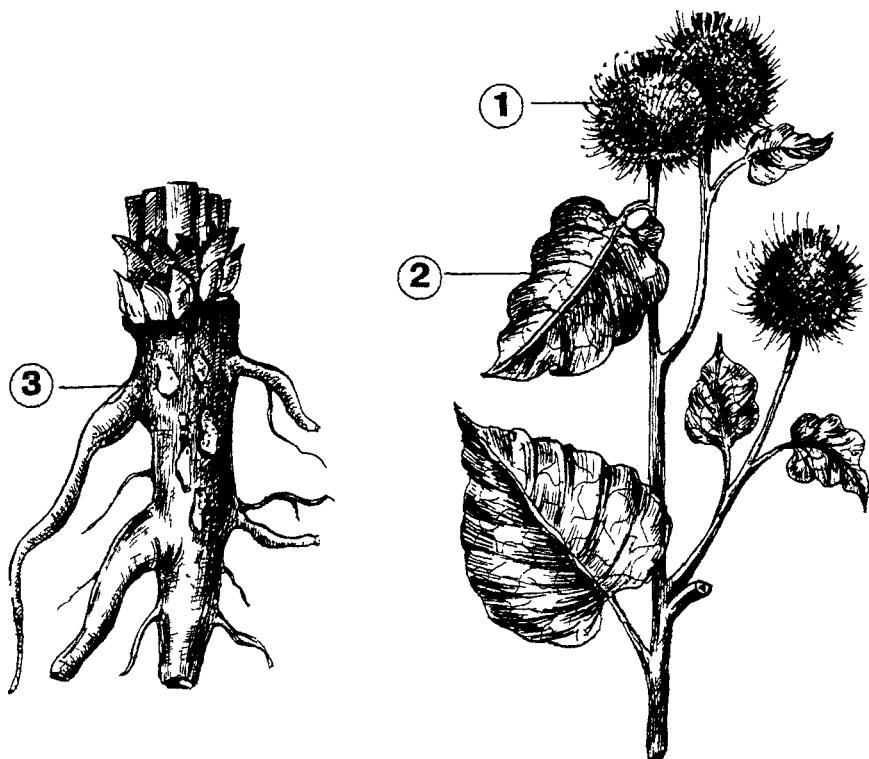


Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Zn	Cr	Co	Ni	Pb	Cd
1	120,0	0,8	4,0	1,0	3,8	0,08
2	225,0	1,0	2,0	1,5	4,0	0,10

1 – кожура, 2 – мякоть.

Лопух

Arcium tomentosum

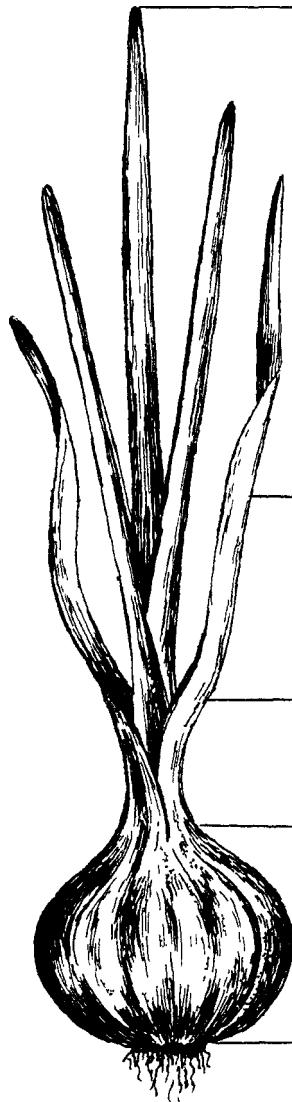


Зона расте- ния	Тяжелый металл, мг/кг							
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Ni	Co	Cr
1	15,0	30,0	85,0	0,5	0,08	0,01	3,0	0,5
2	3,0	3,0	35,0	1,0	0,08	5,0	0,1	0,5
3	50,0	40,0	70,0	2,5	0,01	7,5	50,0	3,0

1 – плоды, 2 – лист, 3 – корень.

Лук

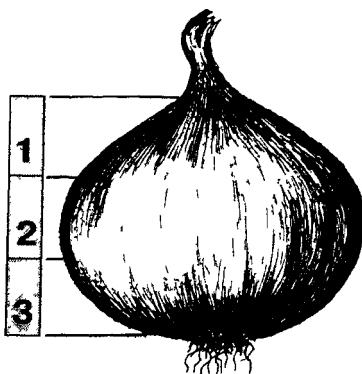
Allium cepa



Зона растения	Тяжелый металл, мг/кг				
	Zn	Mn	Pb	Cd	Fe
1	8,5	20,0	0,8	0,02	80,0
2	12,5	34,5	1,0	0,03	115,0
3	14,4	50,0	1,4	0,05	240,0
4	10,5	20,0	0,5	0,04	100,0

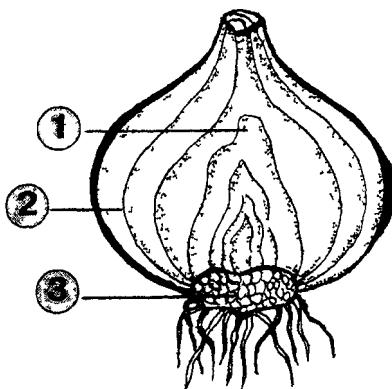
Лук
Allium cepa

Зона луковицы	Тяжелый металл, мг/кг					
	Mn	Cr	Pb	Cd	Zn	Fe
1	15,0	0,1	0,5	0,1	32,5	50,0
2	10,0	0,5	0,3	0,1	27,5	90,0
3	3,1	1,4	0,3	0,2	99,4	142,0



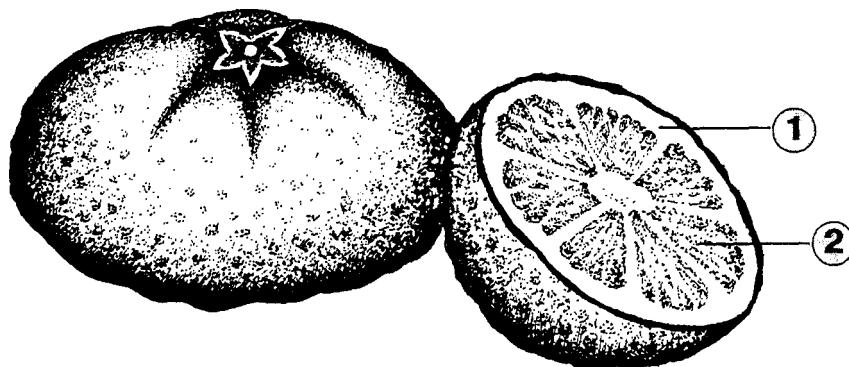
Часть луковицы	Тяжелый металл, мг/кг					
	Mn	Cr	Pb	Cd	Zn	Fe
1	15,0	0,1	0,2	0,1	30,0	60,0
2	15,0	0,5	0,5	0,2	35,0	60,0
3	97,1	1,9	1,6	0,3	209,3	644,0

1 – покровные чешуи, 2 – сочные чешуи, 3 – донце.



Мандарин

Citrus reticulata



Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг		
	Zn	Mn	Cu
1	4,7	7,3	3,9
2	9,1	5,2	6,1

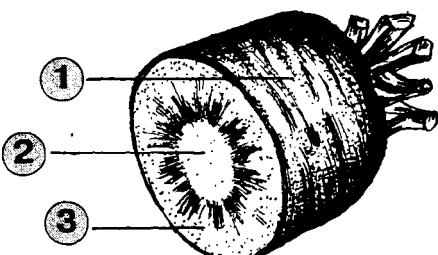
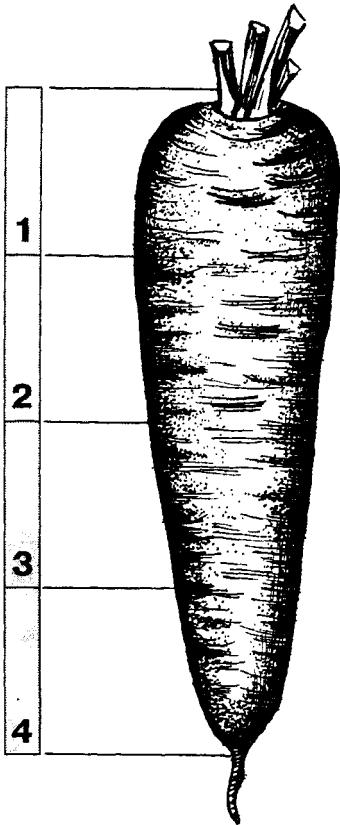
1 – кожура, 2 – мякоть.

Морковь
Daucus sativus

Зона корне-плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Fe
1	8,0	16,0	32,0	1,0	0,18	80,0
2	8,0	16,0	34,0	1,4	0,16	60,0
3	10,0	20,0	35,0	1,8	0,14	64,0
4	10,0	20,0	38,0	2,6	0,28	68,0

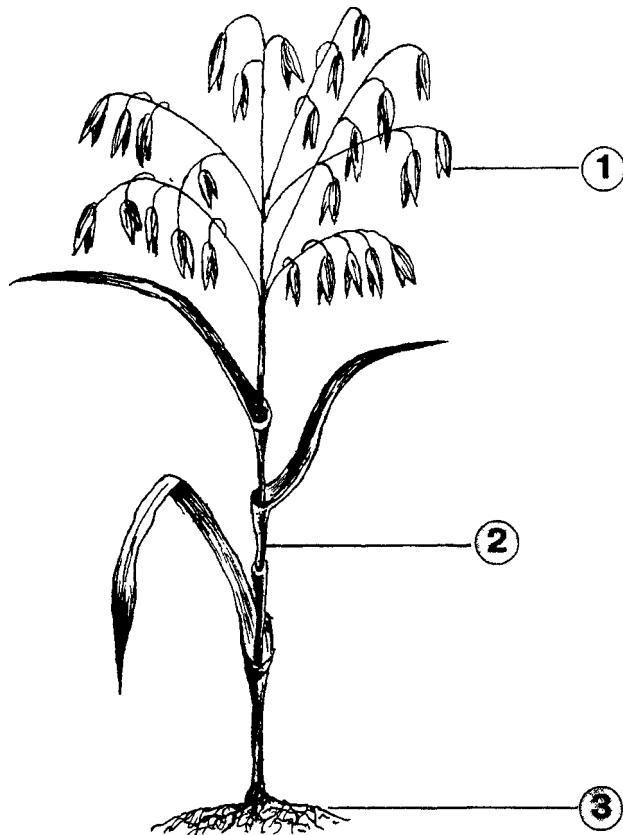
Часть корне-плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Fe
1	10,0	8,0	51,0	1,20	0,08	44,0
2	10,0	10,0	85,0	3,50	0,20	70,0
3	20,0	13,3	83,3	2,66	0,27	186,6

1 – кожура, 2 – сердцевинв,
3 – мякоть.



Овес

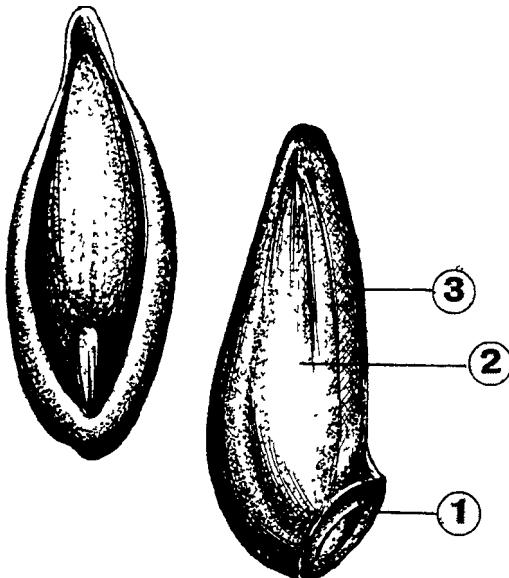
Avena sativa



Зона растения	Тяжелый металл, мг/кг							
	Hg	Pb	Cd	Cr	Zn	Ni	Cu	Co
1	0,138	0,5	0,4	2,5	63,0	0,4	3,5	0,76
2	0,220	4,4	3,6	3,6	190,0	22,0	5,1	0,82
3	0,260	6,7	11,1	4,1	67,0	12,1	4,3	0,79

1 – зерно, 2 – стебли, 3 – корни.

Овес
Avena sativa



Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Fe
1	33,3	16,6	35,3	8,3	0,08	333,0
2	8,3	5,1	16,6	0,8	0,05	83,3
3	3,8	3,9	21,5	0,4	0,06	57,7

1 – зародыш, 2 – эндосперм, 3 – оболочка.

Огурец

Cucumis sativus



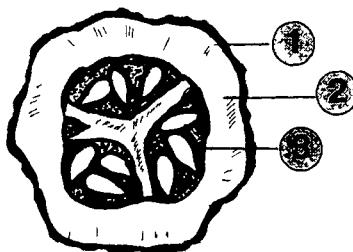
1

2

3

4

5

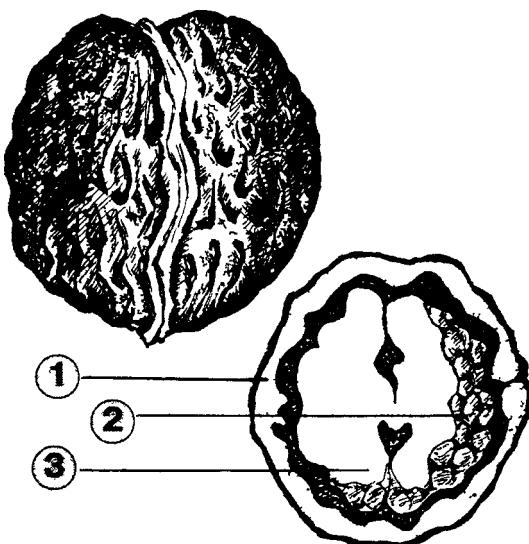


Зона плодо	Тяжелый металл, мг/кг				
	Zn	Mn	Pb	Cd	Fe
1	67,3	35,0	0,70	0,10	130,0
2	52,5	30,0	0,70	0,05	110,0
3	55,0	25,0	0,70	0,07	100,0
4	67,5	25,0	0,65	0,05	80,0
5	75,0	20,0	0,55	0,07	70,0

Часть плодо	Тяжелый металл, мг/кг				
	Zn	Mn	Pb	Cd	Fe
1	50,0	30,0	0,7	0,1	130,0
2	55,0	25,0	0,6	0,2	150,0
3	25,0	20,0	0,5	0,3	70,0

1 – кожура, 2 – мякоть, 3 – сердцевина.

Орех грецкий
Juglans regia

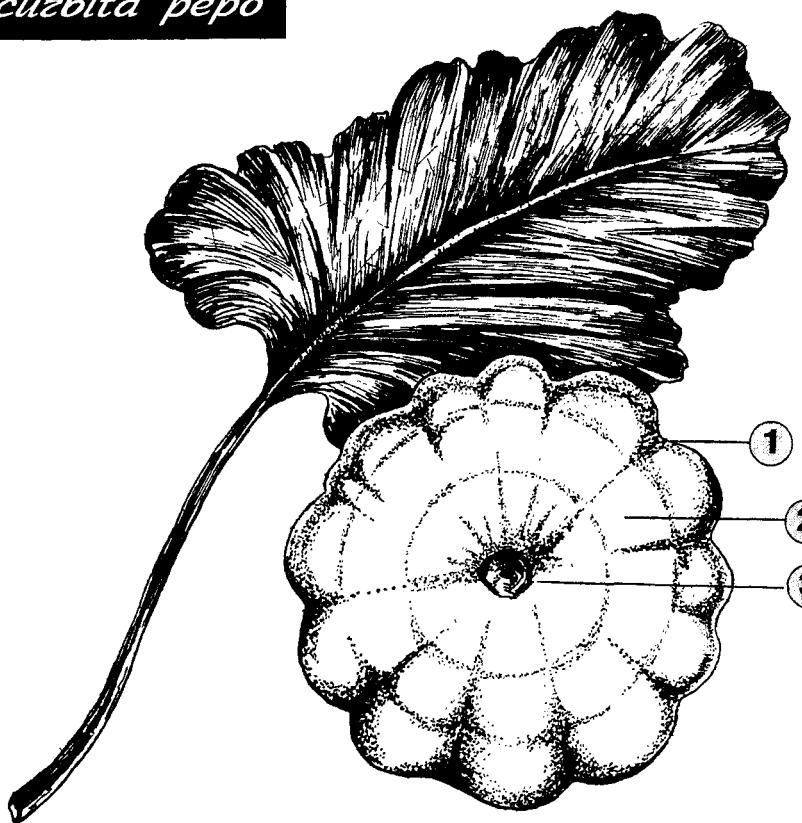


Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг				
	Cu	Pb	Ni	Zn	Cr
1	4,4	1,40	0,76	2,72	0,53
2	3,9	0,27	0,71	0,63	0,13
3	2,4	0,19	0,60	37,1	0,10

1 – экзокарпий, 2 – эндокарпий,
3 – семя.

Латиссон

Cucurbita pepo

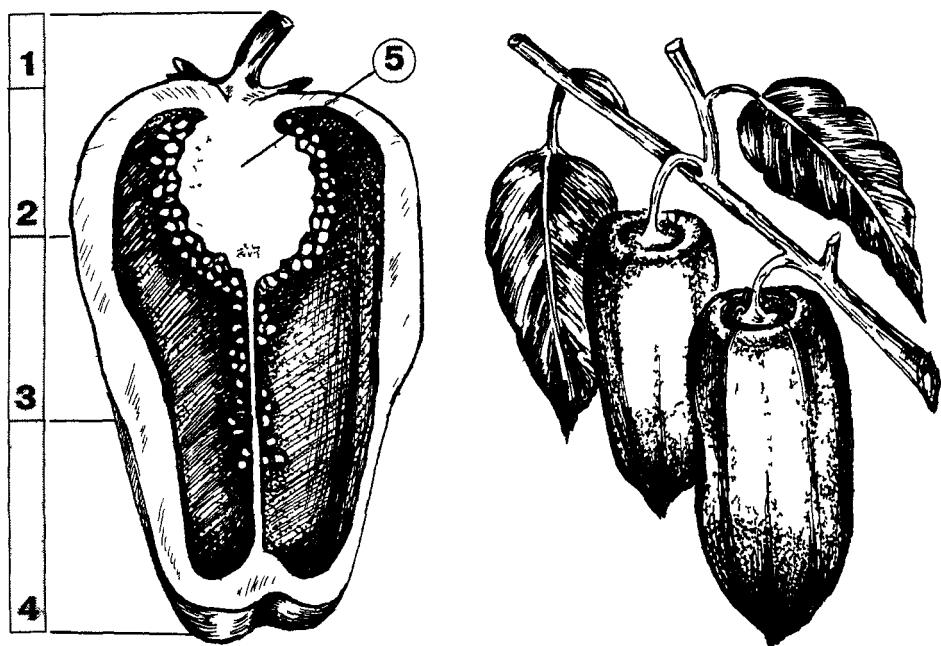


Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг				
	Cr	Zn	Ni	Pb	Cd
1	1,5	15,0	2,5	1,0	0,01
2	0,1	5,5	0,6	0,5	0,03
3	0,5	10,0	2,5	1,0	0,05

1 – кожура, 2 – мякоть, 3 – сердцевина.

Перец сладкий

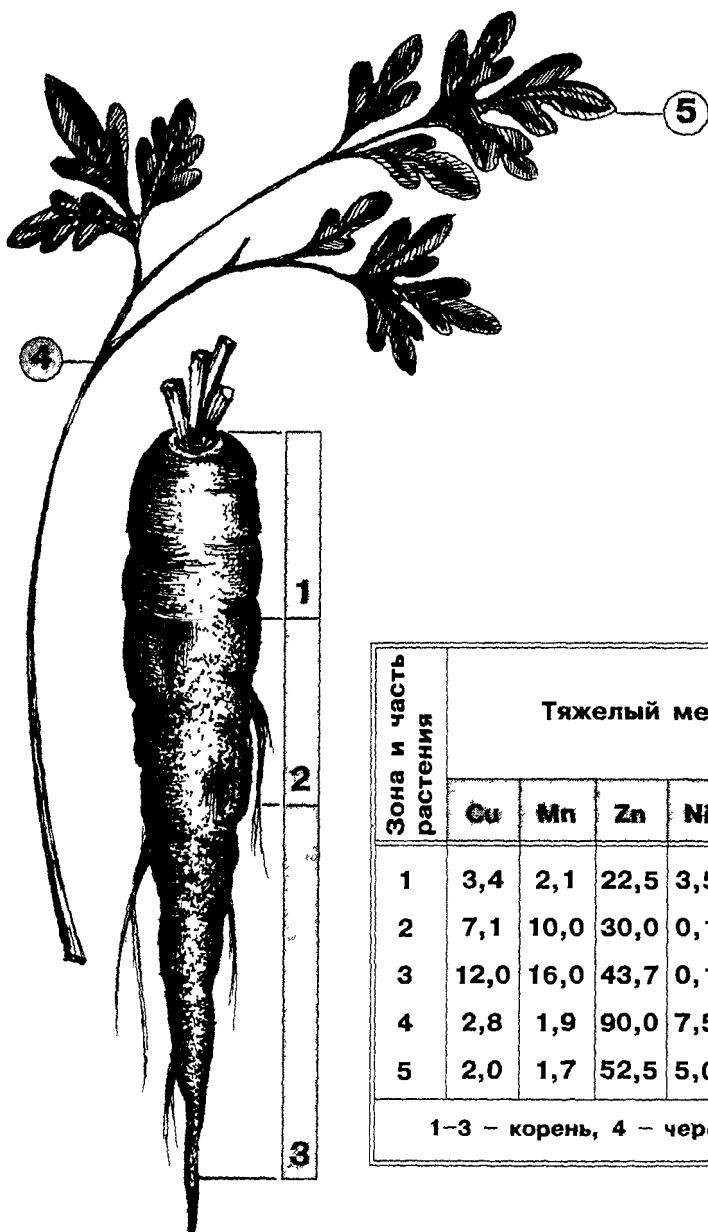
Capsicum mexicanum



Зона плодо-	Тяжелый металл, мг/кг								
	Си	Mn	Zn	Ni	Cr	Pb	Cd	Fe	Co
1	30,1	52,6	118,3	0,1	2,6	2,6	0,4	789,0	0,1
2	12,0	16,6	49,9	0,5	3,3	1,7	0,13	183,0	0,3
3	9,0	12,0	37,7	1,0	0,6	1,2	0,18	170,0	0,5
4	6,0	10,0	27,7	1,0	0,5	0,6	0,37	86,9	0,5
5	15,1	27,8	41,7	0,1	0,9	0,9	0,18	296,3	0,1

Петрушка

Petroselinum hortense



Тяжелый металл, мг/кг

Зона и часть растения	Cu	Mn	Zn	Ni	Pb	Cd	Fe
1	3,4	2,1	22,5	3,5	0,5	0,03	350,0
2	7,1	10,0	30,0	0,1	0,5	0,05	50,0
3	12,0	16,0	43,7	0,1	0,1	0,06	21,0
4	2,8	1,9	90,0	7,5	2,5	0,20	450,0
5	2,0	1,7	52,5	5,0	1,0	0,18	360,0

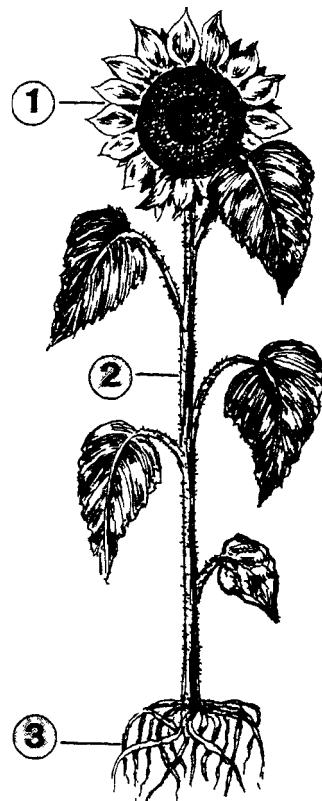
1–3 – корень, 4 – черешки, 5 – листья.

Подсолнечник

Helianthus sativus

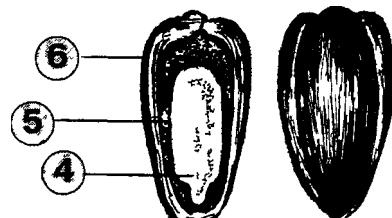
Зона растения	Тяжелый металл, мг/кг						
	Hg	Pb	Cd	Cr	Zn	Cu	Co
1	0,03	0,6	0,12	0,4	18,8	3,4	0,37
2	0,16	1,3	1,4	1,7	25,0	8,1	0,61
3	0,26	4,3	3,9	2,6	29,1	14,5	0,43

1 – семена, 2 – стебли, 3 – корни.



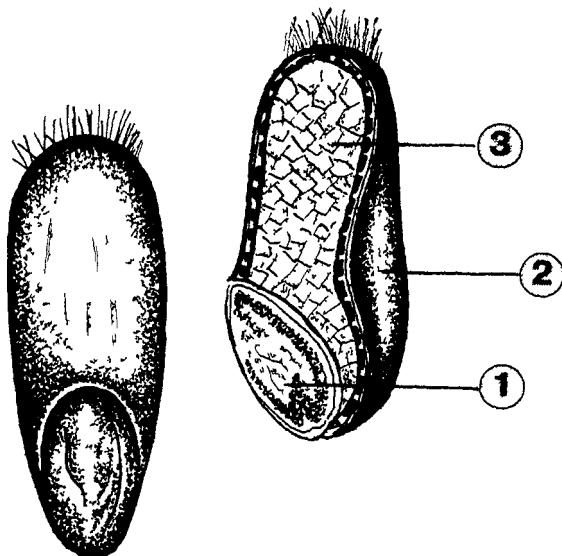
Часть семени	Тяжелый металл, мг/кг					
	Си	Mn	Zn	Pb	Cd	Fe
4	5,6	12,7	13,9	0,28	0,06	139,0
5	32,3	6,1	48,3	1,61	0,16	967,7
6	37,2	3,1	15,0	0,47	0,06	56,6

4 – ядро (семя), 5 – оболочка семени,
6 – кожура (лузга).



Пшеница

Triticum vulgare

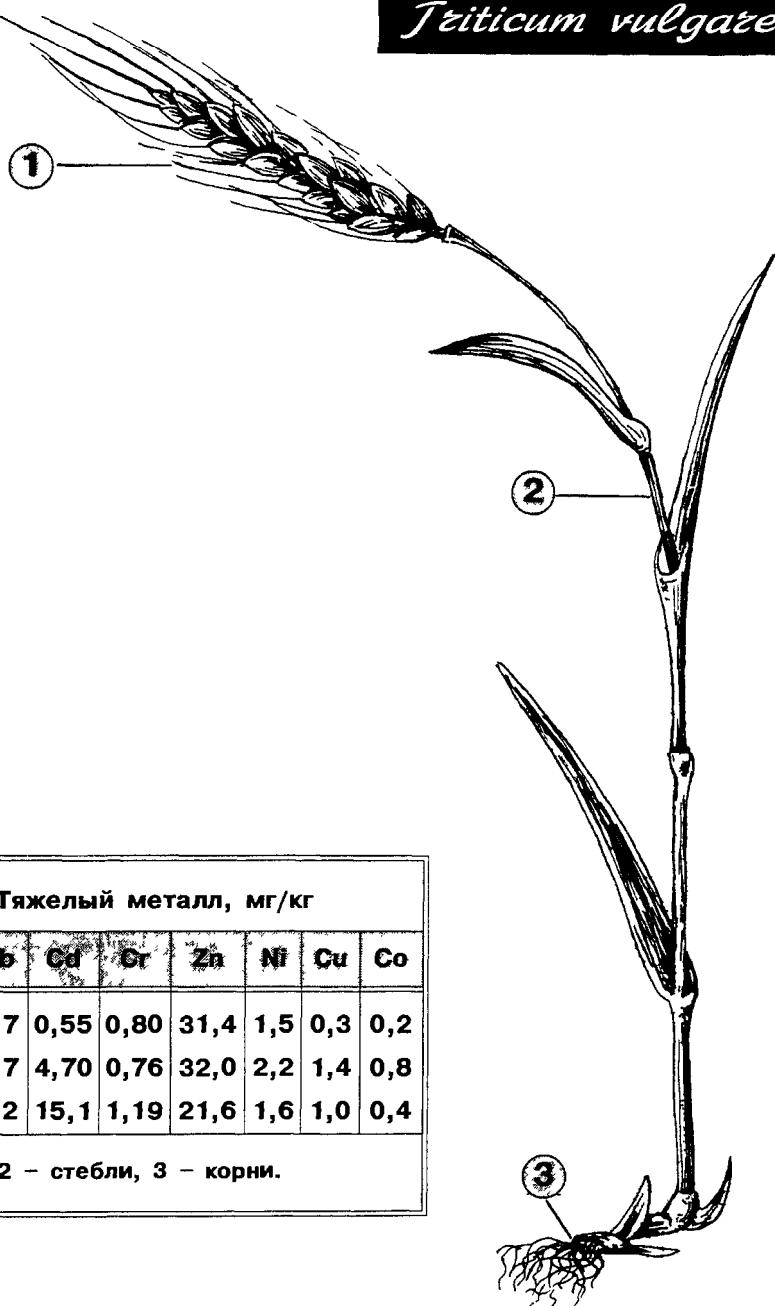


Часть зерна	Тяжелый металл, мг/кг					
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Fe
1	76,9	153,8	346,1	0,77	0,19	115,4
2	14,7	22,0	80,8	0,70	0,06	66,1
3	24,3	10,1	48,8	0,12	0,05	24,4

1 – зародыш, 2 – оболочки,
3 – эндосперм.

Пшеница

Triticum vulgare

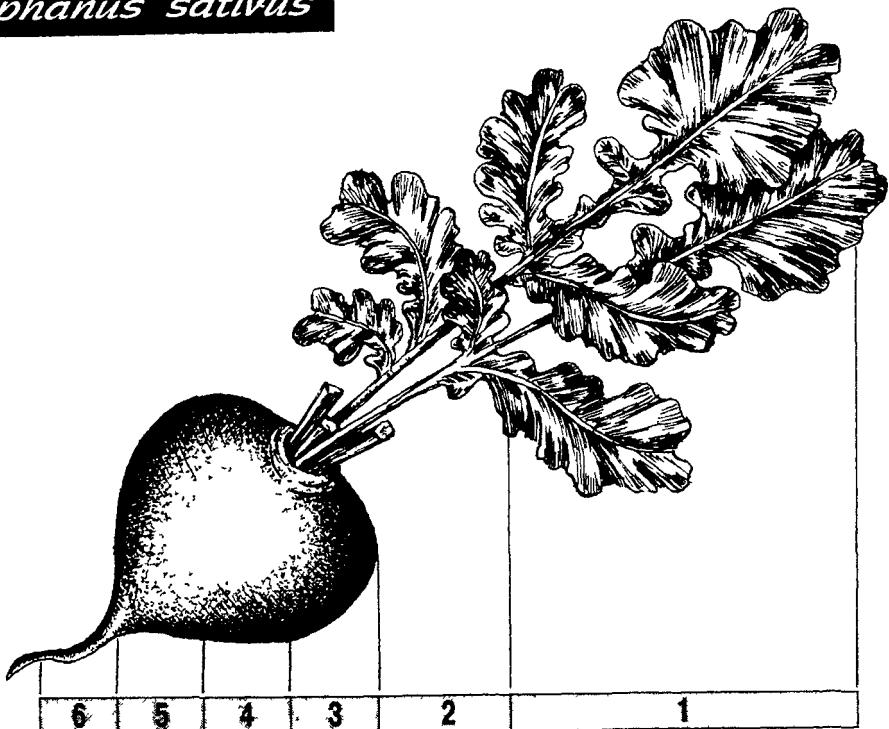


Зона рас- те- ния	Тяжелый металл, мг/кг							
	Ни	Pb	Cd	Сr	Zn	Ni	Cu	Co
1	0,060	0,7	0,55	0,80	31,4	1,5	0,3	0,2
2	0,105	3,7	4,70	0,76	32,0	2,2	1,4	0,8
3	0,169	9,2	15,1	1,19	21,6	1,6	1,0	0,4

1 – колос, 2 – стебли, 3 – корни.

Редька

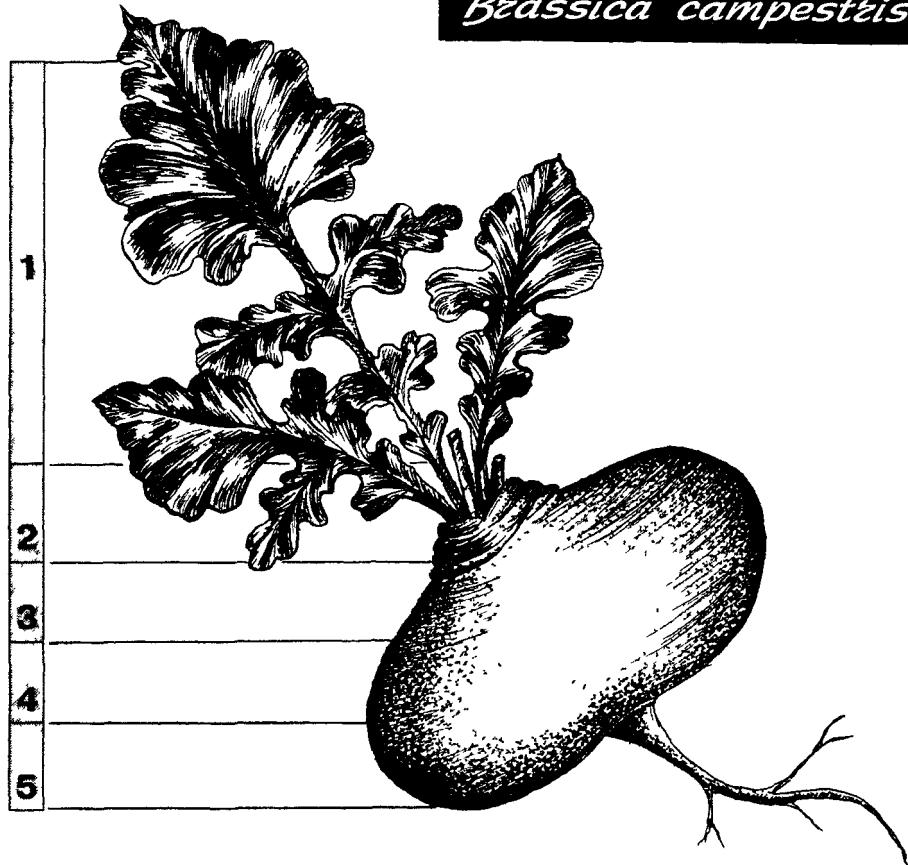
Raphanus sativus



Зона растения	Тяжелый металл, мг/кг						
	Mn	Cr	Pb	Cd	Zn	Ni	Fe
1	10,0	0,5	0,5	0,10	50,0	5,0	120,0
2	30,0	1,0	0,8	0,30	43,0	6,1	159,0
3	26,6	1,0	1,0	0,20	50,0	2,3	100,1
4	16,6	0,3	1,0	0,04	55,0	1,1	79,0
5	13,3	0,3	1,3	0,05	52,0	1,3	66,6
6	30,6	1,6	1,6	0,20	75,0	2,5	95,2

Pena

Brassica campestris

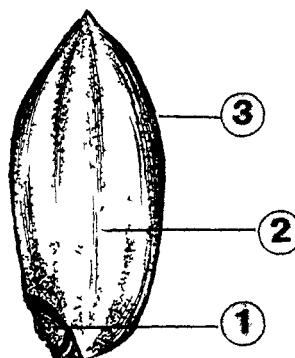


Зона расте- ния	Тяжелый металл, мг/кг								
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Fe
1	5,0	47,5	85,0	13,0	11,0	0,50	1,5	0,15	230,0
2	5,0	25,0	105,0	10,0	12,0	0,25	1,3	0,12	160,0
3	5,0	12,5	70,0	1,0	10,5	0,25	1,5	0,10	70,0
4	7,5	5,0	65,0	0,5	8,5	0,50	1,0	0,05	50,0
5	7,5	5,0	35,0	0,5	7,0	1,0	1,0	0,06	50,0

1 – листовые пластинки, 2 – черешки листьев, 3–5 – корнеплод.

Рис

Oryza sativa



Часть зерновки	Тяжелый металл, мг/кг					
	As	Mn	Zn	Pb	Cd	Fe
1	21,1	18,7	30,1	7,0	0,07	67,1
2	2,1	9,9	20,4	0,7	0,05	26,7
3	1,7	5,1	15,7	0,4	0,02	19,3

1 – зародыш, 2 – эндосперм, 3 – оболочка.

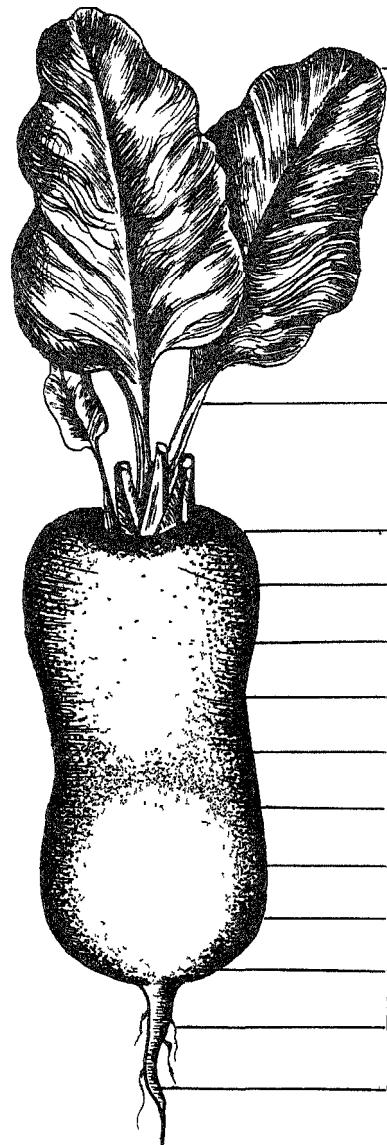
Салат
Lactuca sativa



Зона растения	Тяжелый металл, мг/кг				
	Zn	Mn	Pb	Cd	Fe
1	123,0	82,0	1,9	0,09	459,2
2	100,0	57,2	2,2	0,06	371,8
3	219,4	65,9	2,8	0,11	613,2
4	240,6	107,1	3,7	0,11	854,4
5	232,0	80,1	2,8	0,11	1713,6

Свекла кормовая

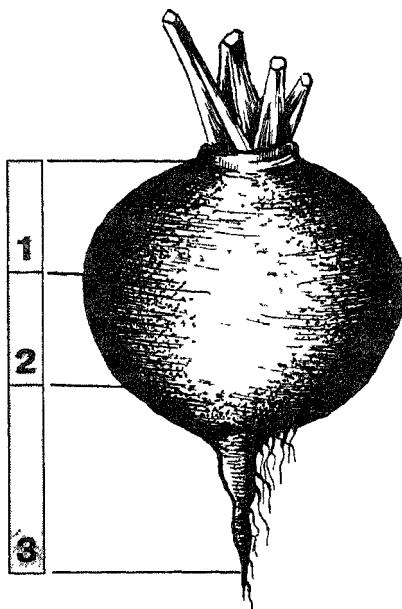
Beta vulgaris



Зона растения	Тяжелый металл, мг/кг						
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Fe	Cr
1	25,0	220,0	85,0	2,0	0,8	500,0	2,0
2	15,0	30,0	75,0	5,0	0,7	140,0	2,0
3	10,0	80,0	80,0	3,0	0,3	160,0	1,0
4	8,1	60,0	65,0	3,0	0,2	120,0	1,0
5	8,0	50,0	65,0	3,0	0,2	100,0	1,0
6	8,0	50,0	60,0	3,0	0,12	80,0	1,0
7	8,0	60,0	60,0	3,0	0,14	80,0	1,0
8	7,9	60,0	70,0	3,0	0,16	100,0	0,8
9	8,3	80,0	70,0	3,0	0,2	100,0	0,6
10	21,1	140,0	125,0	14,0	0,4	340,0	1,0
11	8,6	80,0	60,0	1,2	0,2	100,0	0,5
12	7,3	50,0	60,0	0,4	0,2	80,0	0,3

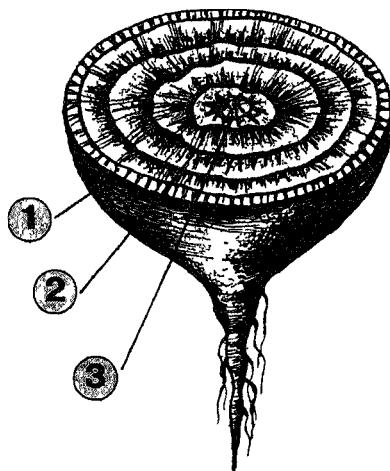
Свекла столовая
Beta vulgaris

Зона плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Fe
1	12,0	40,0	42,0	0,8	0,10	84,0
2	8,0	40,0	51,0	1,2	0,14	52,0
3	10,0	68,0	60,0	2,2	0,30	320,0



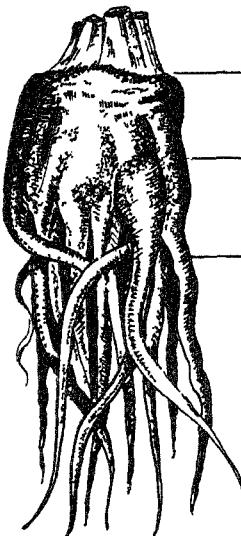
Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Fe
1	10,0	10,0	85,0	3,50	0,20	70,0
2	20,0	13,3	83,3	2,66	0,27	186,6
3	10,0	8,0	51,0	1,20	0,08	44,0

1 – кожура, 2 – мякоть, 3 – сердцевина.

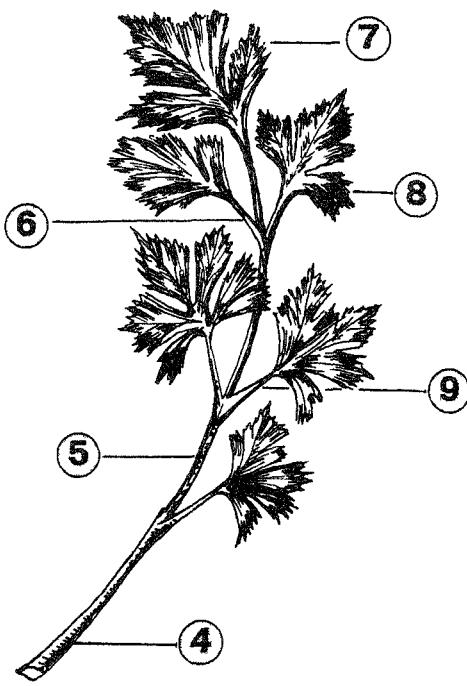


Сельдерей

Apium graveolens



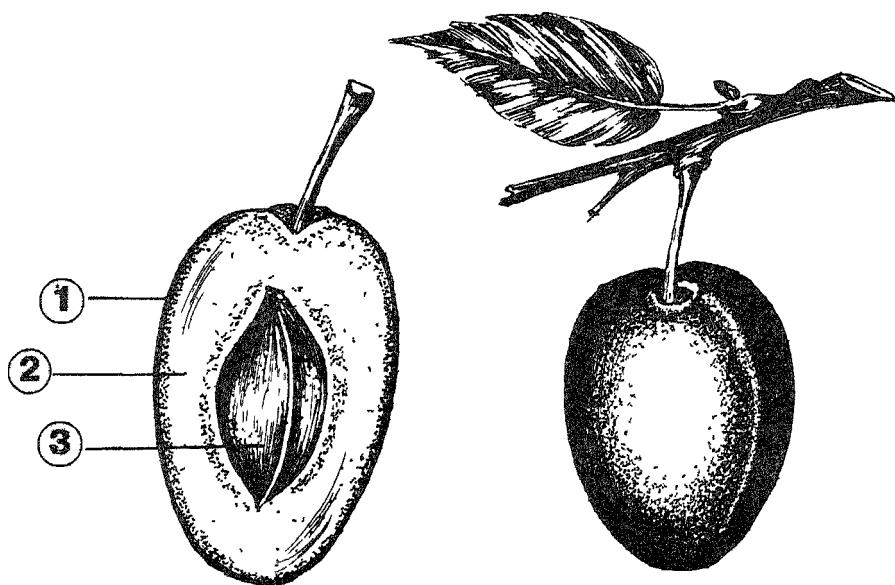
1	2	3
---	---	---



Зона, часть расте- ния	Тяжелый металл, мг/кг									
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Fe	
1	10,0	28,6	214,0	5,7	7,1	2,5	4,3	0,24	720,0	
2	10,0	160,0	195,0	4,0	5,0	7,5	3,0	0,2	800,0	
3	10,0	30,0	70,0	1,0	3,0	1,0	1,0	0,1	820,0	
4	10,0	25,0	190,0	3,0	1,2	0,7	4,0	0,2	420,0	
5	10,0	25,0	70,0	4,0	1,4	1,2	2,0	0,2	120,0	
6	10,0	20,0	95,0	3,0	0,9	1,4	1,5	0,2	60,0	
7	15,0	100,0	95,0	5,0	0,9	1,2	1,5	0,15	270,0	
8	15,0	90,0	160,0	6,0	0,8	1,6	2,0	0,15	210,0	
9	15,0	100,0	175,0	5,0	1,0	1,6	2,0	0,15	220,0	

Слива

Prunus domestica



Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг						
	Cu	Mn	Co	Cr	Pb	Cd	Fe
1	15,1	7,7	1,8	0,08	1,7	0,02	41,1
2	20,3	12,3	2,7	0,01	0,4	0,01	14,5
3	29,1	13,2	0,3	0,01	0,1	0,003	55,1

1 – кожица, 2 – мякоть, 3 – семя.

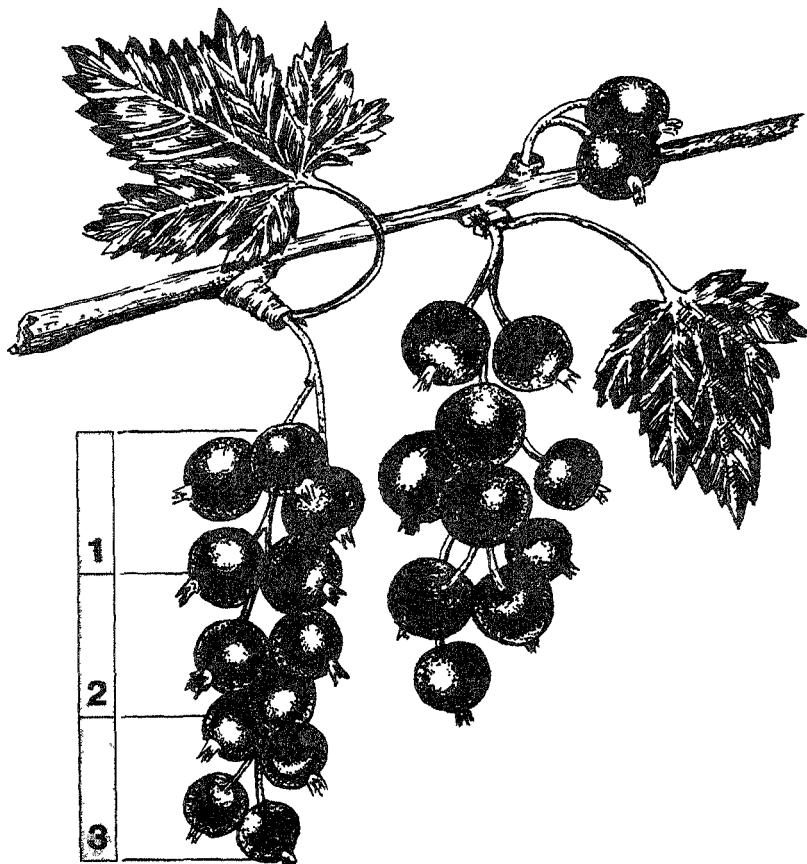
Смородина красная

Ribes rubra



Зона кисти смородины	Тяжелый металл, мг/кг				
	Zn	Mn	Pb	Cd	Fe
1	20,0	6,6	7,0	0,13	40,0
2	20,0	6,7	7,3	0,20	46,6
3	23,0	13,3	6,0	0,17	53,3

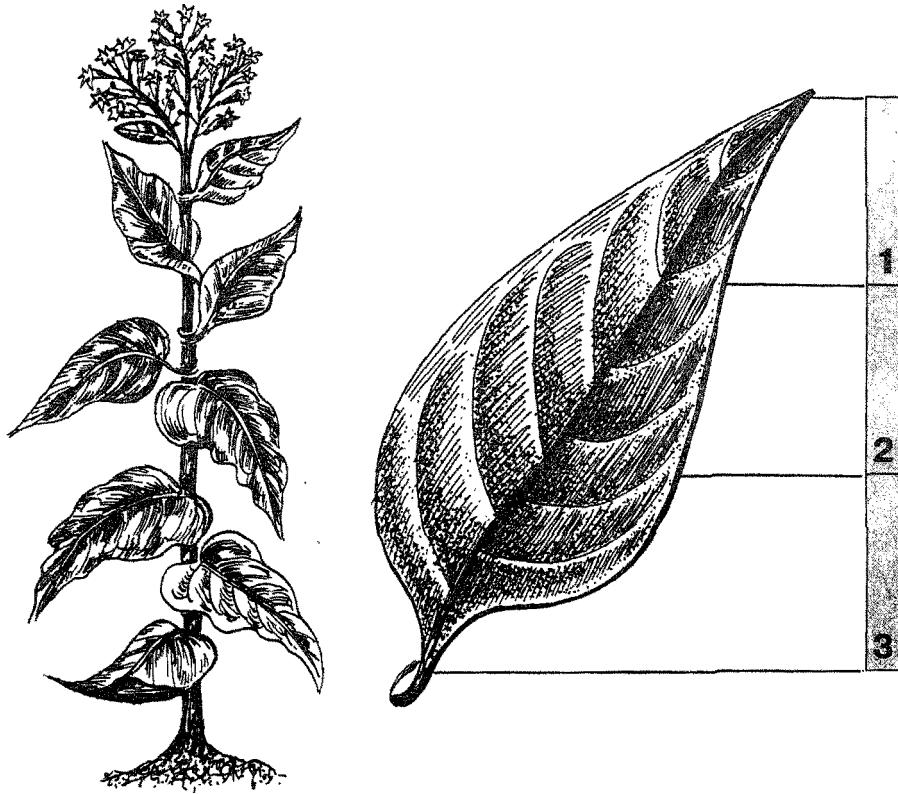
Смородина черная
Ribes nigrum



Зона кисти сморо- дины	Тяжелый металл, мг/кг								
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Fe
1	22,5	5,0	10,0	0,1	3,0	0,1	1,0	0,02	40,0
2	37,5	5,0	10,0	0,1	3,5	0,1	1,0	0,02	40,0
3	20,0	7,5	15,7	0,5	4,0	0,2	1,5	0,03	30,0

Табак

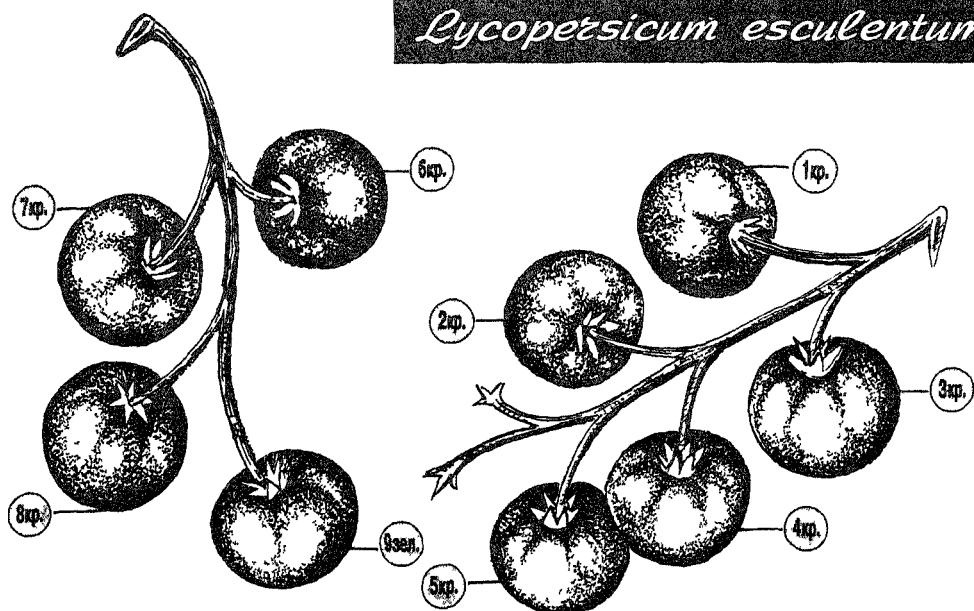
Nicotiana tabacum



Зона листа	Тяжелый металл, мг/кг					
	Zn	Сr	Co	Ni	Pb	Cd
1	1682,0	50,0	6,2	8,2	40,0	5,0
2	855,0	13,6	3,4	6,8	13,6	4,4
3	419,0	4,0	3,2	4,8	11,3	1,4

Помат

Lycopersicum esculentum

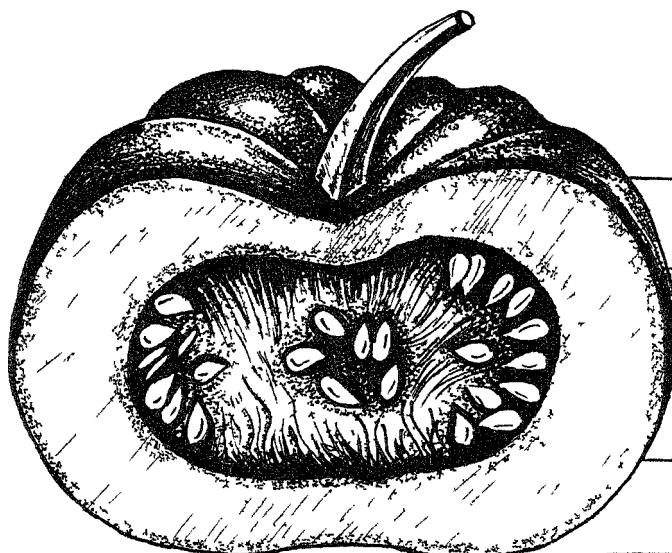


Ярус кисти	Тяжелый металл, мг/кг									
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Fe	
1	5,0	3,0	25,0	0,5	10,0	0,20	1,5	0,09	50,0	
2	5,0	5,0	45,0	1,0	13,0	0,20	1,5	0,09	50,0	
3	10,0	5,1	85,0	2,0	17,1	0,21	2,0	0,14	50,0	
4	10,0	5,3	80,0	2,0	17,3	0,23	2,2	0,15	60,0	
5	10,0	5,5	215,0	2,0	17,5	0,25	2,5	0,25	60,0	
6	5,0	5,0	30,0	0,5	10,0	0,25	1,5	0,07	40,0	
7	5,0	5,0	50,0	0,5	11,0	0,05	1,5	0,09	40,0	
8	5,0	5,0	50,0	1,0	13,0	0,23	1,5	0,09	40,0	
9	33,0	16,7	216,7	1,7	33,4	0,84	5,0	0,24	200,0	

Условные обозначения: кр. – красные плоды, зел. – зеленые плоды.

Тыква

Cucurbita pepo

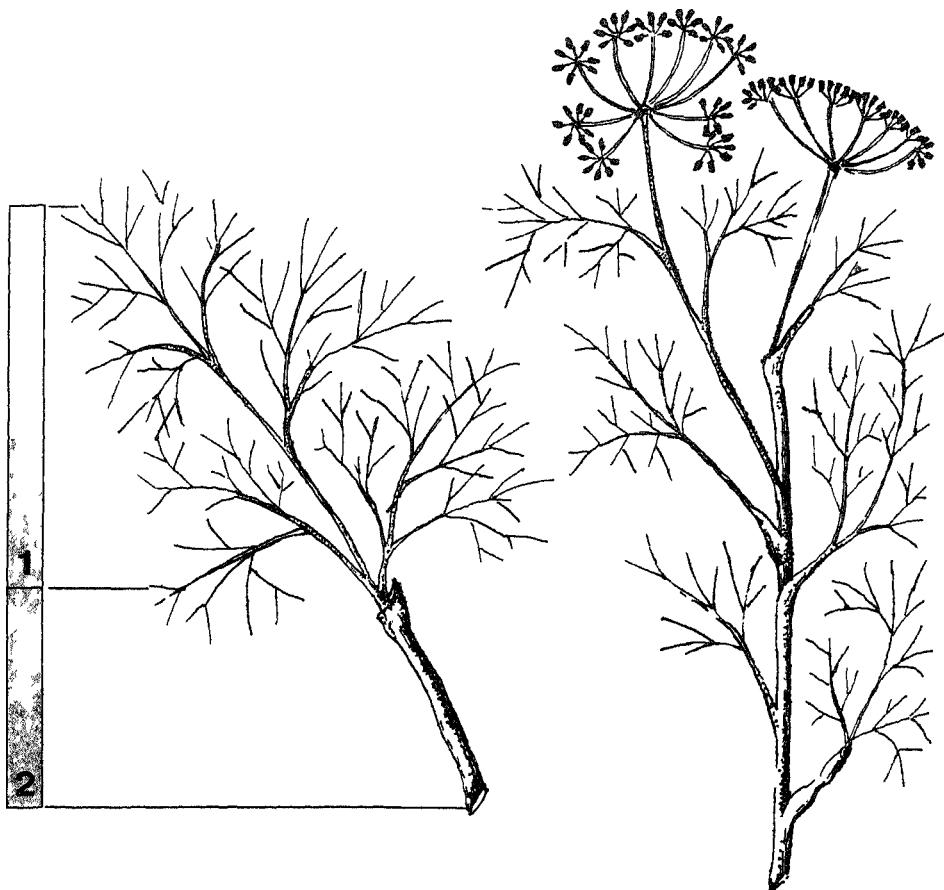


Тяжелый металл, мг/кг

Зона плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Mn	Cr	Pb	Cd	Zn	Fe
1	33,0	1,5	2,7	0,09	57,0	71,0
2	25,0	0,7	1,5	0,09	39,0	59,0
3	17,0	0,3	1,2	0,08	37,0	55,0
4	12,0	0,3	0,8	0,05	30,0	50,0

Укроп

Anethum segetum

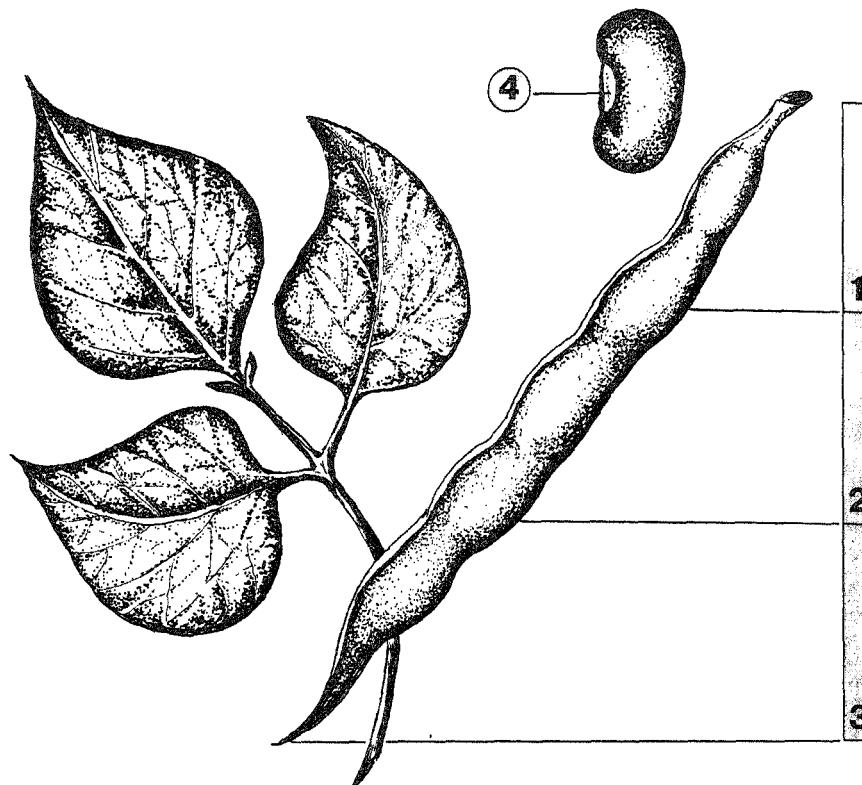


Зона растения	Тяжелый металл, мг/кг				
	Zn	Mn	Pb	Cd	Fe
1	27,1	8,3	0,42	0,08	75,4
2	118,8	4,7	0,24	0,06	21,2

1 – лист, 2 – черешок.

Фасоль

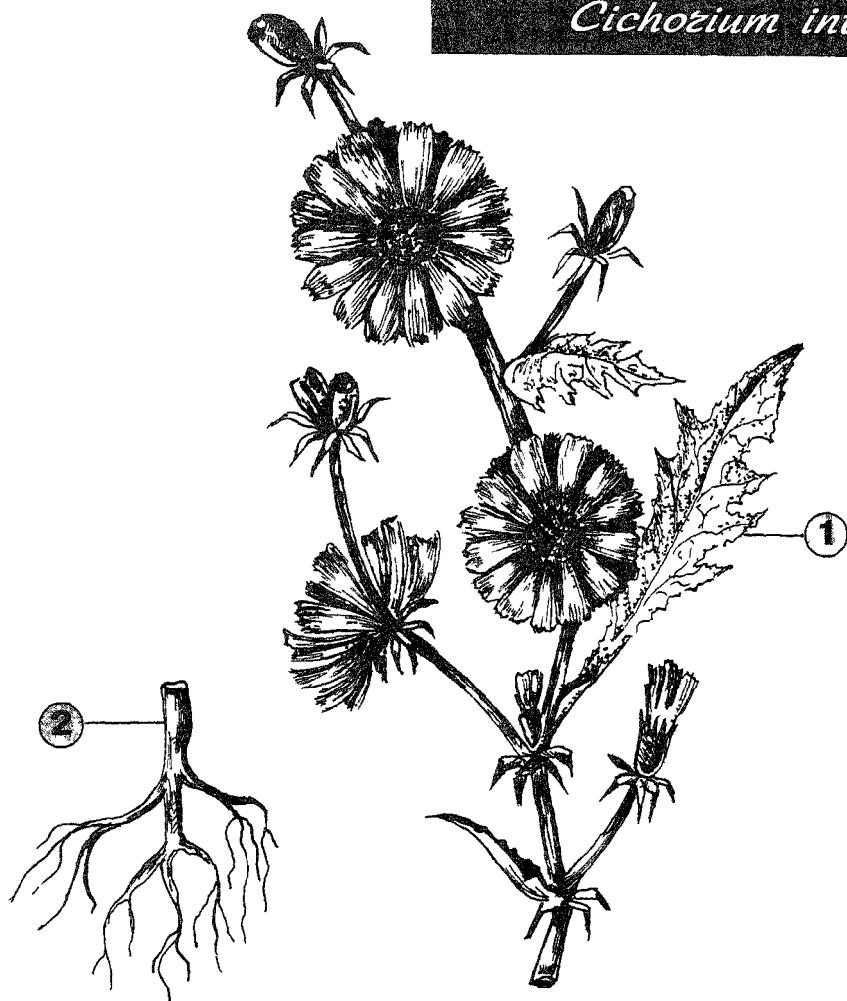
Phaseolus vulgaris



Зона плода	Тяжелый металл, мг/кг									
	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Fe	
1	20,0	50,0	20,0	0,5	1,5	0,25	2,5	0,01	90,0	
2	20,0	75,0	20,0	0,5	1,5	0,25	2,5	0,01	100,0	
3	30,0	55,0	30,0	1,0	1,5	1,0	2,5	0,01	300,0	
4	15,0	60,0	15,0	0,5	1,5	0,7	2,0	0,01	100,0	

Чикорий обыкновенный

Cichorium intybus

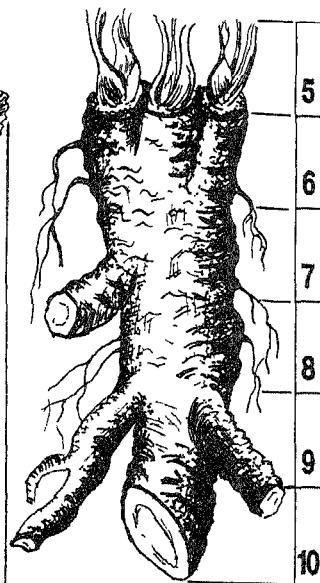
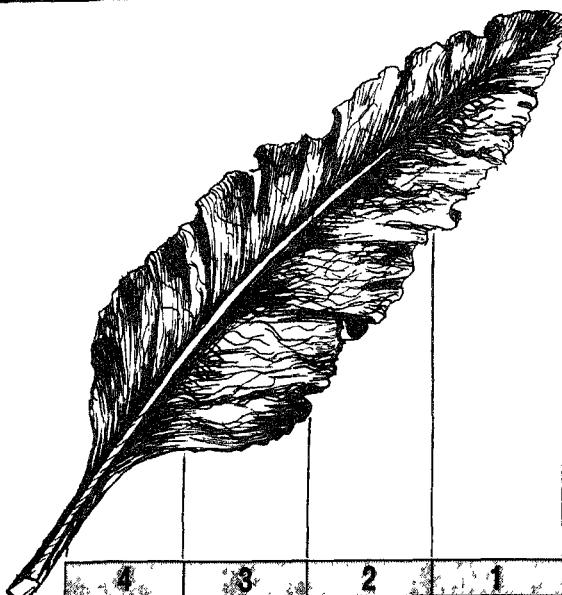


Часть растения	Тяжелый металл, мг/кг								
	Си	Mg	Zn	Pb	Cd	Ni	Co	Cr	
1	6,5	133,0	110,0	1,0	0,01	5,5	0,1	0,5	
2	15,0	40,0	30,0	0,5	0,28	5,0	2,0	0,5	

1 – лист, 2 – корень.

Хрен

Cohlearia armozacia



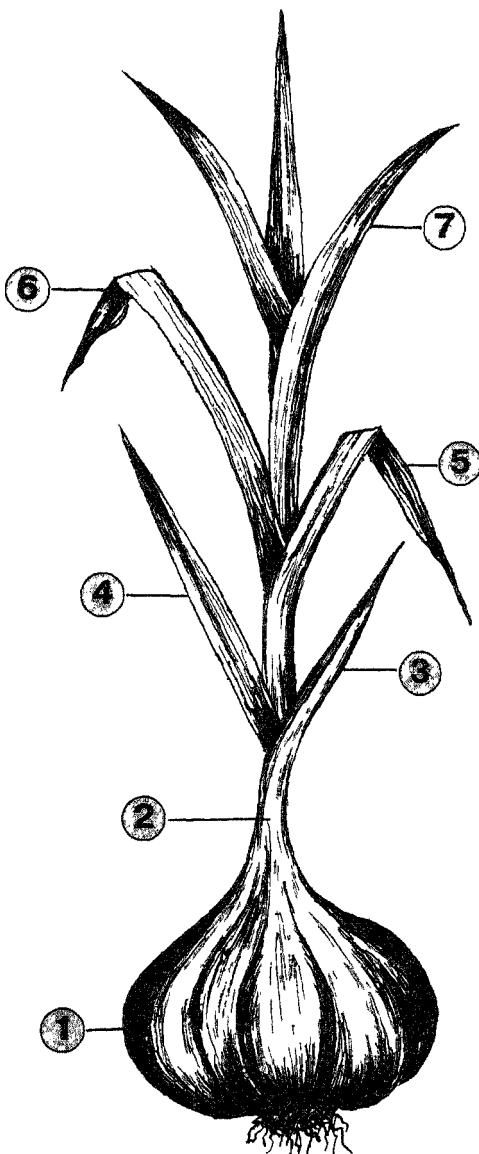
4 3 2 1

5
6
7
8
9
10

Зона растения	Тяжелый металл, мг/кг								
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Fe
1	10,0	55,0	60,0	3,0	4,5	0,5	0,05	0,15	70,0
2	10,0	65,0	90,0	6,0	5,0	0,5	0,25	0,40	100,0
3	10,0	45,0	220,0	4,0	5,0	0,5	0,75	0,30	100,0
4	10,0	15,0	55,0	3,0	4,5	0,2	0,25	0,20	70,0
5	5,0	15,0	55,0	6,0	5,0	1,0	0,25	0,13	60,0
6	5,0	15,0	75,0	0,5	4,5	0,25	0,25	0,15	80,0
7	5,0	15,0	90,0	0,5	4,5	0,25	0,25	0,15	90,0
8	5,0	15,0	90,0	0,5	4,0	0,25	0,25	0,16	70,0
9	10,0	15,0	105,0	0,5	3,0	0,25	0,25	0,25	60,0
10	10,0	10,0	140,0	1,0	2,5	0,25	0,25	0,32	120,0

Чеснок

Allium sativum

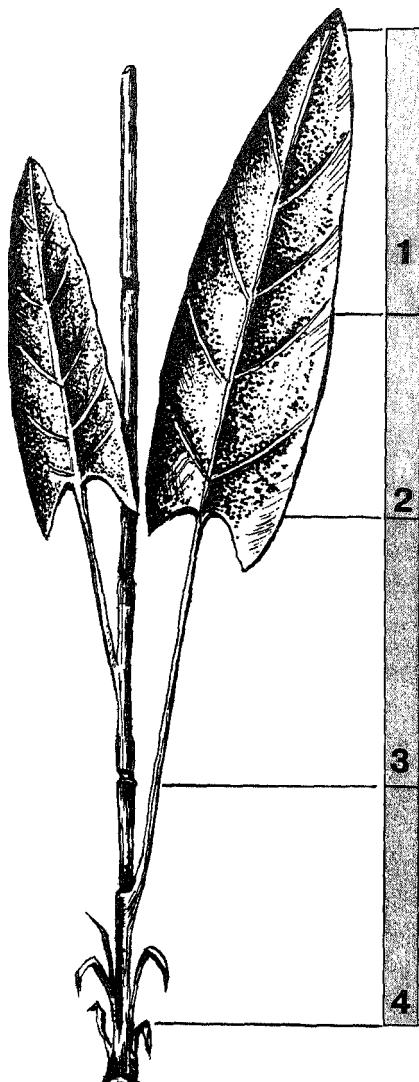


Часть рас- те- ния	Тяжелый металл, мг/кг				
	Zn	Mn	Pb	Cd	Fe
1	40,0	6,7	0,99	0,18	40,0
2	36,6	13,3	0,93	0,17	26,6
3	60,0	30,0	3,9	0,55	300,0
4	50,0	40,0	3,0	0,45	460,0
5	50,0	40,0	2,7	0,40	560,0
6	55,0	40,0	2,8	0,45	220,0
7	20,0	13,3	0,57	0,07	113,2

1 – луковица, 2 – шейка,
3–7 – листья.

Щавель

Rumex acetosa



Зона расте- ния	Тяжелый металл, мг/кг				
	Zn	Mn	Pb	Cd	Fe
1	14,0	4,0	3,7	0,23	100,0
2	13,5	8,0	2,8	0,20	220,0
3	14,0	10,0	2,8	0,20	240,0
4	15,0	18,0	3,2	0,50	260,0

Эстрагон

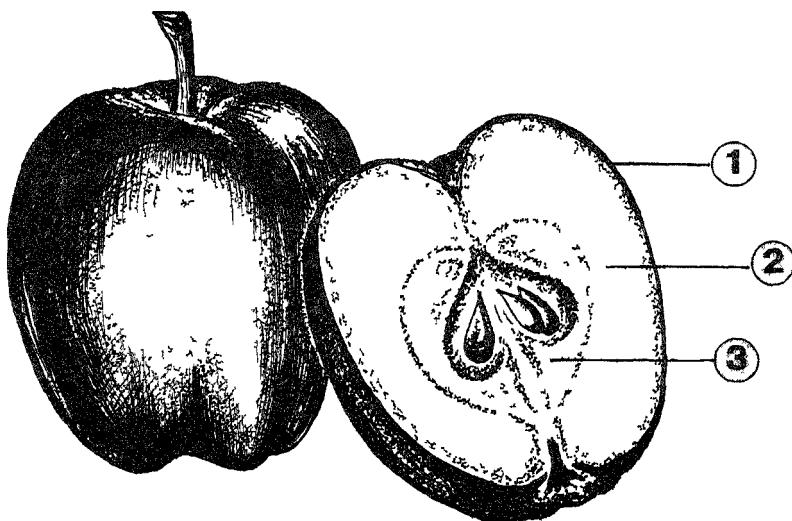
Artemisia dracunculus



Зона растения	Тяжелый металл, мг/кг									
	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Fe	
1	10,0	80,0	12,0	4,5	4,0	0,5	0,8	0,45	100,0	
2	10,0	110,0	60,0	5,0	5,0	0,8	1,0	0,55	150,0	
3	15,0	105,0	55,6	5,0	5,0	1,5	1,0	0,40	100,0	
4	15,1	112,9	72,6	5,3	5,6	3,2	1,6	0,43	160,0	

Яблона

Malus domestica

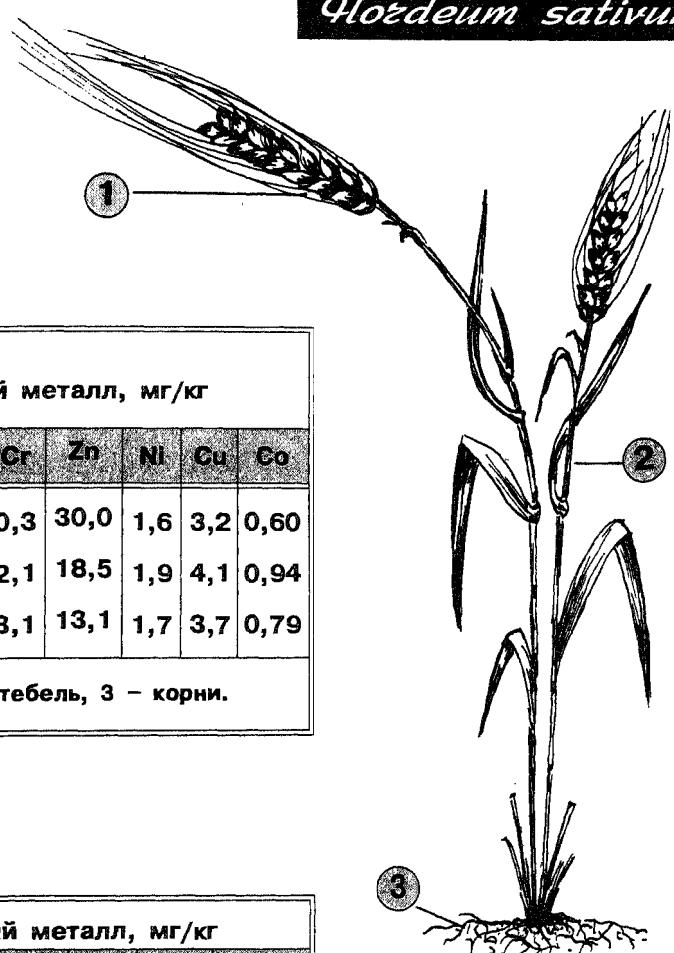


Часть плода	Тяжелый металл, мг/кг					
	Mn	Cu	Pb	Cd	Zn	Fe
1	10,0	0,5	0,50	0,03	52,5	60,0
2	10,0	0,5	0,25	0,02	50,0	70,0
3	10,0	0,5	0,25	0,01	65,0	80,0

1 – кожица, 2 – мякоть, 3 – семенная камера.

Ячмень

Hordeum sativum



Тяжелый металл, мг/кг

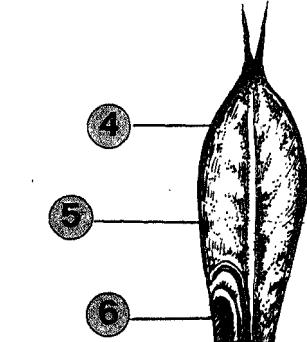
Зона растения	Hg	Pb	Cd	Cr	Zn	Ni	Cu	Co
1	0,01	0,5	0,8	0,3	30,0	1,6	3,2	0,60
2	0,09	6,4	0,9	2,1	18,5	1,9	4,1	0,94
3	0,16	7,0	2,3	3,1	13,1	1,7	3,7	0,79

1 – колос, 2 – стебель, 3 – корни.

Тяжелый металл, мг/кг

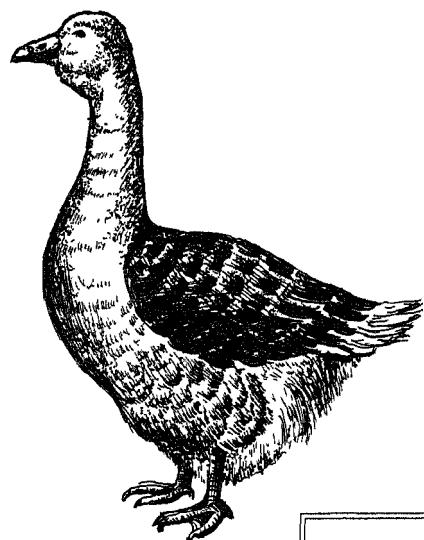
Часть зерна	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Fe
4	13,5	27,0	81,1	1,4	0,03	81,1
5	5,0	10,0	40,0	3,5	0,01	100,0
6	178,6	2,5	107,4	8,3	0,18	714,3

4 – оболочка, 5 – эндосперм, 6 – зародыш.





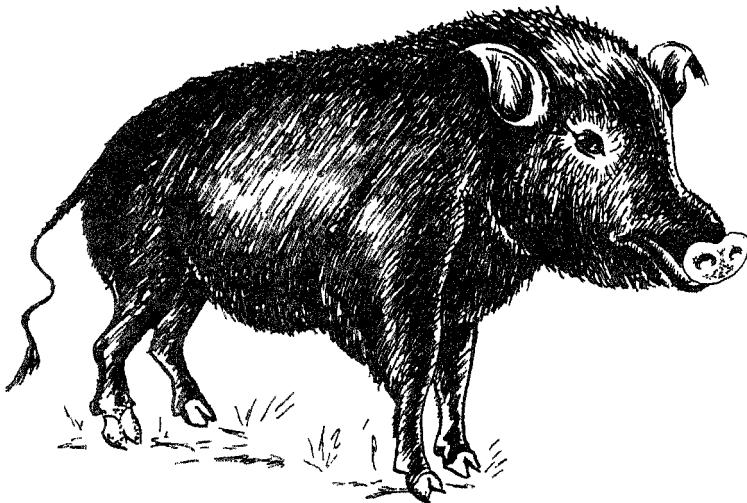
**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ОРГАНИЗМЕ ТЕПЛОКРОВНЫХ**



Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырого вещества		
	Cu	Zn	Pb
Кровь	0,13–0,44	9,8	—
Мышцы	—	2,15	0,005
Печень	10,1–149,1	66,1	—
Желудок	—	32,7	—
Легкие	—	24,1	—
Сердце	—	23,8	—
Почки	—	20,7	—

*Цит. по: Войнар А.О., 1953.

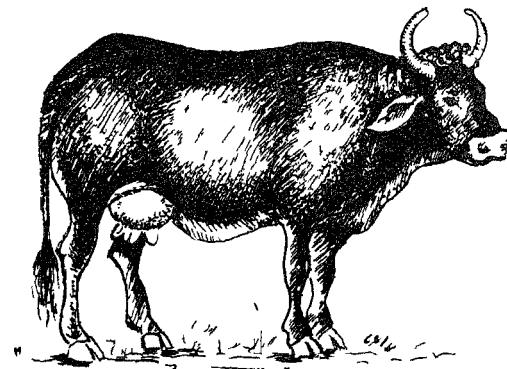
Кабан дикий
Sus scrofa



Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырой массы				
	Cd	Pb	Cr	Co	Cu
Мышцы	0,03–0,60	0,02–1,21	0,21–0,97	0,05–0,96	1,51–4,85
Сердце	0,02–0,59	0,03–0,71	0,15–0,47	0,03–0,41	1,02–3,97
Легкие	0,001–0,87	0,03–1,31	0,15–0,77	0,06–0,66	1,41–4,91
Печень	0,02–2,16	0,03–6,13	0,51–4,12	0,04–0,77	3,41–6,03
Селезенка	0,20–1,42	0,02–1,61	0,35–1,55	0,03–0,70	1,61–5,01
Почки	0,03–23,0	0,03–0,95	0,59–1,90	0,08–0,91	3,42–69,5

Корова

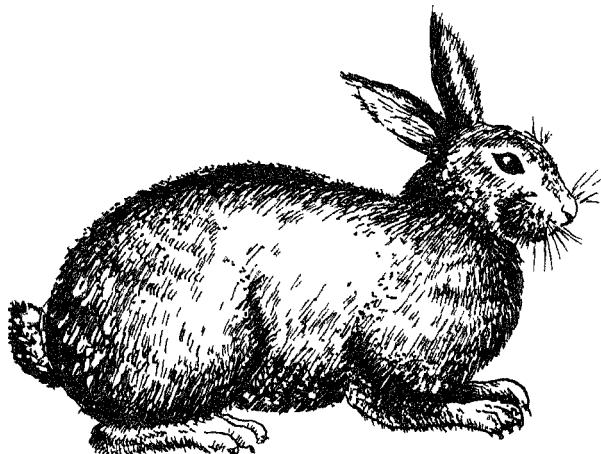
Bos primigenius



Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырого вещества		
	Co	Ni	Cu
Кожа	0,01–0,07	0,16–4,65	1,60–2,95
Шерсть	0,17–0,27	0,26–13,85	2,04–31,67
Рога	0,26–0,28	0,25–3,33	2,64–29,54
Язык	0,01–0,05	0,24–0,91	4,29–11,71
Подкожная клетчатка	0,11–0,15	0,01–0,43	0,80–2,76
Мышцы	0,07–0,09	0,05–0,58	0,49–3,62
Кости	0,04–0,10	0,18–0,54	0,88–4,08
Сердце	0,01–0,18	0,10–0,95	0,71–9,89
Легкие	0,04–0,20	0,01–1,33	0,61–9,37
Кишечник	0,08–0,31	0,20–1,55	0,41–7,85
Кровь	0,04–0,10	0,01–0,36	0,36–4,12
Печень	0,02–0,05	0,34–0,97	0,54–6,80
Желчь	0,01–0,08	0,35–0,83	0,71–22,95
Почки	0,27–0,47	0,08–1,91	1,57–10,41
Селезенка	0,05–0,13	0,01–0,04	0,39–2,31
Лимфатические узлы	0,06–0,09	0,06–0,16	0,32–22,26
Щитовидная железа	0,02–0,16	0,01–0,03	0,71–2,53
Слюнные железы	0,02–0,15	0,36–2,25	0,97–17,04

Кролик*

Oryctolagus cuniculus

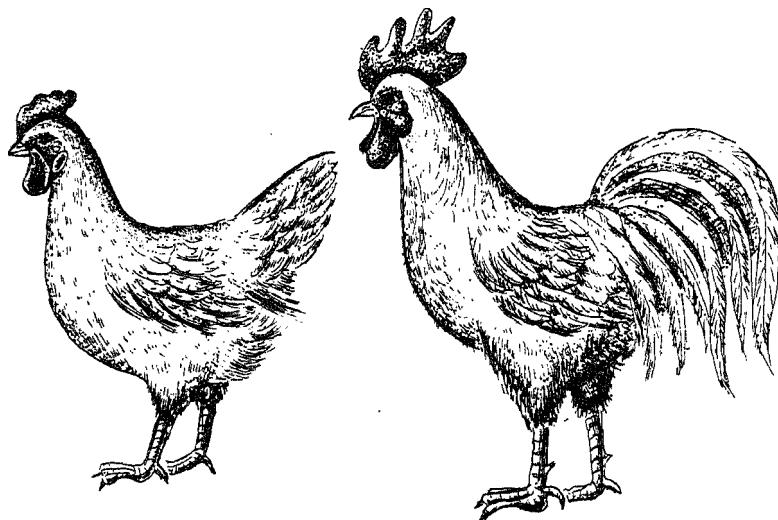


Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырой массы		
	Cu	Zn	Mn
Кровь	1,07	8,12	
Печень	5,9– 11,3	30,0– 135,0	0,80– 2,37
Сердце		45,5	0,28
Легкие	4,3	36,7	0,36
Мышцы	5,9	17,1	0,22–6,47
Почки	8,3	32,0	0,87–4,31
Мозг	4,9	31,0– 64,0	0,36

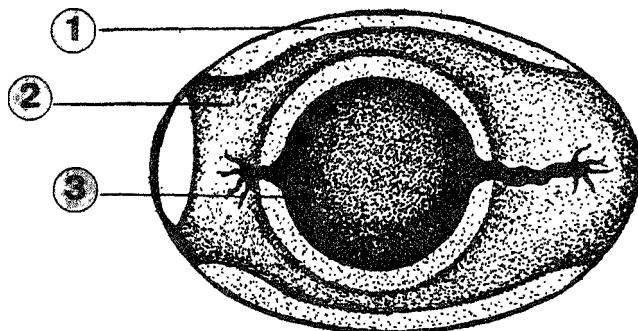
* Цит. по: Войнар А.О., 1953;
Беренштейн Ф.Я., 1966.

Куры

Gallus gallus



Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырого вещества				
	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni
Печень	0,34–0,94	0,20–0,30	8,5–51,1	123,3	0,21–0,71
Почки	0,50–2,10	0,27–0,41	—	—	0,10–0,91
Кожа	0,30–1,20	—	—	51,1	—
Мышцы	0,20–0,60	0,05–0,10	5,6–7,9	51,6	0,05–0,31
Желудок	—	—	—	130,7	—
Кровь	—	—	0,37	40,7	—
Сердце	—	—	37,1	131,1	—

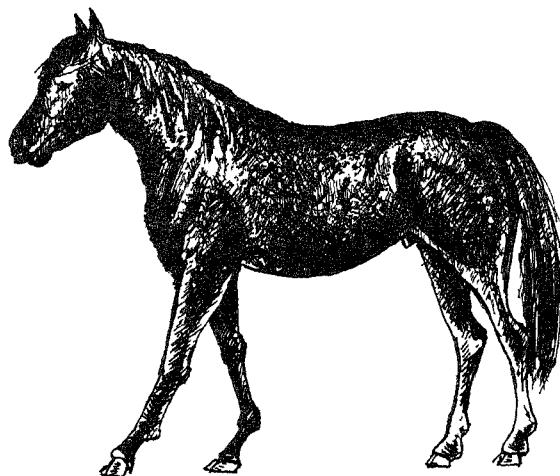


Часть яйца	Тяжелый металл, мг/кг					
	Hg	Pb	Zn	Cu	Cd	Ni
1	—	—	—	—	0,05	0,15
2	0,005	0,19	—	0,91–1,43	0,01	0,17
3	0,008	0,77	49,7	2,69	0,17	0,31

1 – скорлупа, 2 – белок, 3 – желток.

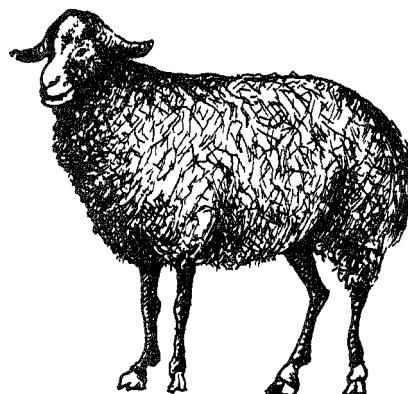
Лошадь*

Equinus caballus



Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырого вещества				
	Cu	Zn	Pb	Tl	Mn
Кровь	2,51	—	0,06	0,01	—
Печень	—	75,6	0,20	0,69	2,80
Легкие	—	10,9–45,2	—	0,37	0,06
Селезенка	—	33,0–45,5	—	—	—
Мышцы	—	55,0–65,0	—	0,01	—
Кости	—	312,1	—	—	—
Мозг	—	40,0–65,0	0,62	—	—
Сердце	—	49,0–71,0	0,05	0,21	—
Почки	—	30,0–39,0	0,39	0,39	0,77
Кожа	—	—	0,25	—	—

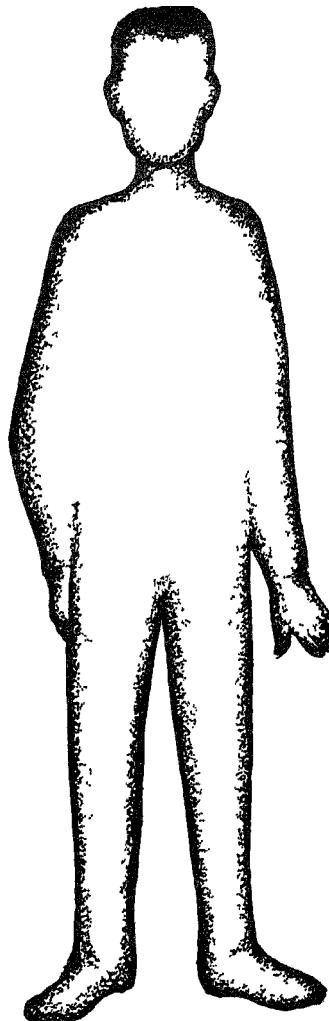
* Цит. по: Войнар А.О., 1953; Беренштейн Ф.Я., 1966.



Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырого вещества		
	Co	Ni	Cu
Шерсть	0,17–0,53	0,36–4,50	0,76–4,41
Кожа	0,25–0,29	0,18–5,17	0,30–6,28
Рога	0,17–0,41	0,28–3,97	0,31–2,01
Язык	0,19–0,47	0,10–1,54	0,23–1,09
Подкожная клетчатка	0,09–0,11	0,08–0,51	0,11–1,03
Мышцы	0,01–0,11	0,11–0,39	0,28–3,06
Сердце	0,10–0,30	0,12–0,94	1,77–6,59
Печень	0,13–0,23	0,20–0,22	0,63–3,21
Почки	0,06–0,13	0,01–0,71	1,12–1,33
Легкие	0,05–0,16	0,09–2,93	1,08–12,54
Кровь	0,16–0,22	0,06–0,54	1,04–3,40
Мозг продолговатый	0,16–0,31	0,29–1,51	0,23–2,15
Лимфатические узлы	0,19–0,29	0,32–2,55	1,31–5,79

Человек

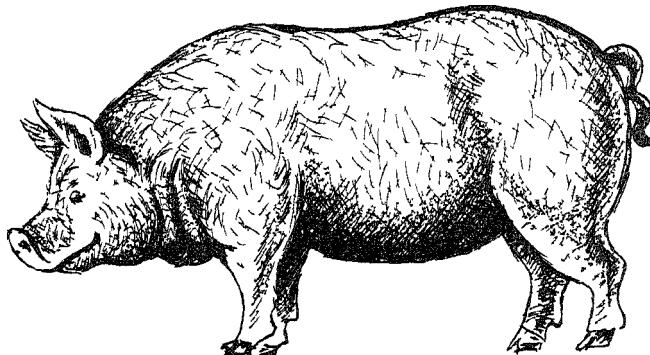
Homo sapiens



Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырого вещества									
	Mn	Cd	Pb**	Zn*	Hg	Co	Ni	Cu††	Cr	Tl
Волосы	—	0,15–1,56	2,0–30,0	157,4–258,1	—	—	0,36–1,33	15,4–40,0	2,0	—
Кости	1,7–3,0	2,4–3,8	4,1–36,0	100,9	—	0,04	—	1,9–13,1	0,8	0,05
Кровь	0,01–0,15	—	0,01–1,08	34,1–102,0	0,002–0,15	0,06–0,14	—	0,6–1,35	0,03–0,12	0,02
Печень	1,70–10,0	12,0–16,8	1,30–2,0	28,0–54,0	0,02	0,06–0,25	0,33–1,06	34,0–50,0	0,01–0,13	0,03
Почки	0,6	3,2–42,0	0,27	55,0	0,01–0,02	0,25	—	1,66–3,6	0,28	0,02
Мышцы	0,5	0,5–2,9	0,10–0,6	30,0–51,5	0,002	0,02	—	1,25	0,002	0,08
Моча	0,01–2,0	0,001–0,05	0,007–0,03	0,5–2,0	—	—	—	1,2–18,9	1,47–2,03	—
Легкие	0,22	0,32–0,80	0,26	0,65	—	0,02	—	1,10	0,007	0,5–19,0
Сердце	0,21–0,32	—	0,38	14,0	—	0,03	—	1,9	0,1	0,02
Мозг	0,20–0,30	0,8–1,0	0,13	8,0–15,0	0,01–0,02	0,04	—	2,2–4,6	0,02	0,02–0,04
Селезенка	0,22–0,32	—	0,30	11,0	—	0,05	0,15–2,0	0,70–0,85	0,005–0,1	0,11

* Цит. по: Власюк, 1964; Войнар, 1952,
** мг/кг сухого вещества.

1962; Бондарев, 1976.



Орган и ткань	Тяжелый металл, мг/кг сырого вещества			
	Cd	Pb	Tl	Cu
Шерсть	17,0–47,8	7,1	–	–
Кости	3,8–7,2	21,7	–	–
Печень	2,2–5,4	–	1,6	15,0–75,5
Почки	2,2–4,6	–	1,6	4,1–6,6
Мышцы	1,0–2,9	0,08	0,1	2,0–6,2
Кожа	–	–	–	–
Сердце	–	–	1,3	–
Легкие	–	–	1,3	1,0–1,5
Кровь	–	0,15	–	1,91

* Цит. по: Войнар А.О., 1952; 1962.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Ю В Тяжелые металлы в почвах и растениях Л Агропромиздат, 1987 142 с
- Алексеенко В А и др Цинк и кадмий в окружающей среде М Наука, 1992, 200 с
- Беренштейн Ф Я Микроэлементы в физиологии и патологии животных Минск Урожай 1966 177 с
- Большаков В А и др Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами М 1978
- Бондарев Л Г Ландшафты металлы и человек М Мысль 1976 72 с
- Бондарев Л Г Микроэлементы – благо и зло М Знание, 1984, 144 с
- Борисова Е Н Содержание свинца в почвах и пищевых продуктах//Тр биогеохим лаб М Изд-во АН СССР 1969 Т XI С 211–213
- Бугай С М Растениеводство Киев Выща школа 1975 376 с
- Васильков Б П Съедобные и ядовитые грибы средней полосы европейской части России С -Петербург Наука, 1995 189 с
- Власюк П А Микроэлементы в жизни растений, животных и человека Киев Наукова Думка, 1964 263 с
- Власюк П А Рост и устойчивость растений Наукова Думка, 1965 241 с
- Власюк П А Микроэлементы в обмене веществ растений Киев Наукова Думка, 1976 256 с
- Власюк П А Микроэлементы в окружающей среде Киев Наукова Думка 1980 247 с
- Войнар А О Роль цинка в организме животных и человека//Микроэлементы в жизни растений и животных М Изд-во АН СССР, 1952 491 с
- Войнар А О Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека М Сов наука, 1953 273 с
- Войнар А О Микроэлементы в живой природе М Высшая школа, 1962 94 с
- Войнар А О Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека М Высшая школа, 1960 271 с
- Галеева М В , Доебня И В , Законников В В , Широкова М А Эмпирические связи между содержанием металлов в растениях и донных осадках эвтрофного озера Неро//Экология 1995 № 3 С 217–221
- Гармаш Г А Содержание свинца и кадмия в различных частях картофеля и овощей, выращенных на загрязненных этими металлами почвах//Химические элементы в системе почва–растение Новосибирск, 1982 С 105–110
- Гармаш Г А , Гармаш Н Ю Распределение тяжелых металлов по органам культурных растений//Агрохимия 1987 № 5 С 40–46
- Гузев В С , Левин С В Перспективы эколого-микробиологической экспертизы состояния почв при антропогенных воздействиях//Почвоведение 1991 № 9 С 50–62
- Дерябина Т Г Дикий кабан – биоиндикатор загрязнения мест его обитания тяжелыми металлами//Экология 1996 № 6 С 474–475
- Добровольский В В Тяжелые металлы загрязнение окружающей среды и глобальная геохимия Тяжелые металлы в окружающей среде М Изд-во МГУ, 1980 С 3–11
- Добровольский В В География микроэлементов Глобальное рассеивание М Мысль, 1983 341 с
- Ефимов В Н и др Торф в сельском хозяйстве нечерноземной зоны Л Агропромиздат, 1987 303 с
- Золотарева Б Н Результаты измерения тяжелых металлов в природных средах Приокско-террасного биосферного заповедника Мониторинг фонового загрязнения природных сред Л Гидрометеоиздат, 1984 Вып 2 С 119–131
- Зырин Н Г , Чеботарева Н А К вопросу о формах соединений меди, цинка, свинца в почвах и доступности их для растений Содержание и формы соединений микроэлементов в почвах М Изд-во МГУ, 1979 С 350–378
- Загрязняющие вещества в окружающей среде/Под ред А Моцика, Д Л Пинского Пущино-Братислава, 1991 195 с
- Ильин В Б , Степанова М Д Распределение свинца и кадмия в растениях

- пшеницы, произрастающей на загрязненных этими металлами почвах//Агрохимия 1980 № 5 С 114–119
- Ильин В Б Элементный химический состав растений Новосибирск Наука, 1985 129 с
- Ильин В Б О нормировании тяжелых металлов в почве//Почковедение 1986 № 9 С 90–98
- Кабата-Пендас А , Пендас Х Микроэлементы в почвах и растениях М Мир, 1989 439 с
- Каталымов М В Микроэлементы и микроудобрения М -Л Химия, 1965 350 с
- Ковальский В В Микроэлементы в жизни растений и животных М 1952 228 с
- Ковальский В В Микроэлементы в животноводстве М 1962
- Ковальский В В Применение микроэлементов в кормлении сельскохозяйственных животных М Колос, 1964
- Ковальский В В , Раецкая Ю И , Гравеева Т И Микроэлементы в растениях и кормах М Колос, 1971 235 с
- Коломиццева М Г , Габович Р Д Микроэлементы в медицине М Медицина, 1970 275 с
- Левин С В и др Тяжелые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микрофлору//Микроорганизмы и охрана почв М Изд-во МГУ, 1989 С 5–46
- Лунгу В И , Кауш М В , Тома Р М Влияние тяжелых металлов на болезнеустойчивость сельскохозяйственных растений (на примере белой гнили подсолнечника)//Материалы научно-практической конференции "Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах" М 1994 С 140–143
- Майданюк А В , Хомчак А В Динамика поступления микроэлементов в органы сахарной свеклы в зависимости от применения нитроаммоfosок//Микроэлементы в окружающей среде Киев Наукова Думка, 1980 С 141–148
- Мерзляя Г А и др Агроэкологическая оценка использования осадка сточных вод//Агрохимия 1995 № 58 С 102–108
- Минеев В Г Химизация земледелия и природная среда М Агропромиздат, 1990 287 с
- Минеев В Г , Алексеев А А , Тришина Т А Тяжелые металлы и окружающая среда в условиях современной химизации Сообщение 2 Свинец//Агрохимия, 1982 № 9 С 126–140
- Найштейн С Я , Меренюк Г В , Чегринец Г Я Гигиена окружающей среды и применение удобрений Кишинев Штиница, 1967, 143 с
- Нестеров А Н Воздействие ионов свинца, кadmия и цинка на клеточную организацию меристемы и рост корней проростков кукурузы Автореферат канд дисс М Изд-во МГУ, 1989 26 с
- Обухов А И Доступность свинца растениям Свинец в окружающей среде М Наука, 1987 С 109–115
- Обухов А И , Бабьева И П , Гринь А В и др Научные основы разработки предельно допустимых концентраций тяжелых металлов в почвах//Тяжелые металлы в окружающей среде М Изд-во МГУ 1980 С 20–28
- Одынец Р Н Обмен и взаимоотношение минеральных веществ в организме животных//Минеральное питание сельскохозяйственных животных Фрунзе "Илим" 1973
- Остромогильский А Х , Петрухин В А , Кокорин А О и др Свинец, кadmий, мышьяк и ртуть в окружающей среде моделирование глобального круговорота//Мониторинг фонового загрязнения природных сред Л Гидрометеоиздат, 1987 Вып 4 С 122–147
- Парубок Т А , Сазыкина Н А , Золотарева Б Н , Топорский В Н Содержание химических элементов в разновозрастных частях побегов надпочвенных мхов//Ботан журн 1985 № 2 С 241–250
- Патин С А , Морозов Н П Микроэлементы в морских организмах и экосистемах М Пищев промышл , 1981, 153 с
- Потатуева Ю А , Залегина В А Агрохимическое значение мышьяка (содержание в удобрениях, почвах, растениях)//Агрохимия 1981 № 7
- Рашидова Д Ш , Дорофеев А А , Убайдуллаев Р У , Осетинский Г М Содержание ряда элементов в почвах и растите-

тельности фоновых районов Узбекистана//Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. Вып. 7. С. 312–321.

Руднева Н.А., Пронин Н.М. О микроэлементном составе органов нерпы//Экология. 1996. № 4. С. 313–315.

Сержанина Г.И., Яшкин И.Я. Грибы. Минск: Наука и техника, 1986. 232 с.

Синещеков А.Д. Биология питания сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 1965.

Скрипниченко И.И., Золотарева Б.Н. Поступление ртути в растения при возрастающей концентрации помотанта в питательной среде//Агрохимия. 1980. № 9. С. 127–131.

Скрипниченко И.И., Золотарева Б.Н. Биогеоценологические исследования ртути в ландшафтах Русской равнины//Почвенно-биогеоценологические исследования центра Русской равнины. Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1981. С. 82–103.

Скрипниченко И.И., Золотарева Б.Н., Быстрицкая Т.Л. Исследование растений степных и лесостепных фитоценозов в геохимическом аспекте//Изв. АН СССР. Сер. биол. 1988. № 4. С. 580–584.

Соколова В.Ю. Распределение некоторых элементов в продуктах питания, растениях, органах и тканях животных. Автореф. канд. дис. Киев, 1965. 19 с.

Стрнад В., Золотарева Б.Н., Лисовский А.Е. Влияние внесения водорасторимых солей свинца, кадмия и меди на их поступление в растения и урожайность некоторых сельскохозяйственных культур//Агрохимия. 1991. № 4. С. 76–83.

Сухоларова В.П., Соколов О.А., Тюрюканова Г.К. и др. Хлорорганические соединения и тяжелые металлы в рыбе Верхнеокского бассейна//Экология. 1994. № 1. С. 35–42.

Федоров Ф.В. Грибы. М.: Росагропромиздат, 1990. 366 с.

Чернавина И.А. Физиология и биохимия микроэлементов. М.: Высш. школа, 1970. 309 с.

Черных Н.А. Изменение содержания ряда химических элементов в растениях под действием различных количеств тяжелых металлов в почве//Агрохимия. 1991. № 3. С. 68–76.

Ягодин Б.А., Виноградова С.Б., Говорина В.В. Кадмий в системе почва-удобрение-растения-животные организмы и человек//Агрохимия. 1989. № 5. С. 118–130.

Ягодин Б.А. Агрогеохимия и мониторинг окружающей среды//Изв. ТСХА. 1990. Вып. № 5. С. 113–118.

Ягодин Б.А. и др. Аккумуляция кадмия в овощных культурах в зависимости от условий минерального питания//Изв. ТСХА. 1993. Вып. 2. С. 126–134.

Ягодин Б.А. и др. Накопление никеля пахотными сельскохозяйственными культурами в ухозе "Михайловское" Москов. обл./Изв. ТСХА. 1994. Вып. 2. С. 12–20.

Ягодин Б.А. и др. Накопление кобальта и хрома в основных сельскохозяйственных культурах в ухозе "Михайловское". Москов. обл./Изв. ТСХА. 1994. Вып. 3. С. 115–123.

Bruggemann I., Ocher H.D., Brghaffer W. Einflub des Schalvorgans auf den Schwermetallgehalt von Kartoffelerzeugnissen. Landwirt. Forsch. Sonderh. 1983. Bd. 39. S. 101–121.

Petit G.M., Van de Gein S.C. In vivo measurement of cadmium-transport and accumulation in the stems of intact tomato plants. Long distance transport and local accumulation//Plant. 1978. V. 138. № 2. P. 137–143.

Wallace A. Excess trace metal effects on calcium absorption in plants//Commun. Soil Sci. and Plant Anal. 1979. № 1–2. P. 473–477.

СОДЕРЖАНИЕ

Тяжелые металлы—окружающая среда—человек	3
Что такое тяжелые металлы?	4
Источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду	12
Тяжелые металлы в воде	15
Тяжелые металлы в почве	19
Тяжелые металлы в микроорганизмах	25
Тяжелые металлы в растениях	28
Тяжелые металлы в грибах	43
Тяжелые металлы в продукции	45
Тяжелые металлы и теплокровные	52
Мероприятия по снижению загрязнения продукции тяжелыми металлами	59
Распределение тяжелых металлов в организме гидробионтов	65
Распределение тяжелых металлов в грибах	71
Распределение тяжелых металлов в растениях	85
Распределение тяжелых металлов в организме теплокровных	149
Основная литература	161

Научное издание

**Олег Алексеевич Соколов,
Владимир Александрович Черников**

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Книга 1

**АТЛАС РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Отредактировано и подготовлено к печати
в Отделе научно-технической информации ПНЦ РАН

Лицензия ЛР №040829 от 11 июля 1997 г

Налоговая льгота – общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2,
953000 – книги и брошюры

Редактор С Я Гудкова Технический редактор С М Ткачук
Художник В М Рудакова Корректор В И Дубровина
Компьютерная верстка О И Костогрызова

Подписано в печать 11 10 99 г Формат 70x100/16 Гарнитура Arial Печать офсетная
Бумага офсетная Уч -изд л 10,6 Усл печ л 10,25 Усл кр -от 11,5
Тираж 1800 экз Заказ 8446Р Изд №60

Отпечатано в Отделе научно-технической информации Пущинского научного центра РАН
142292, г Пущино Московской обл , проспект Науки, 3 ОНТИ