**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение

Усвоение тяжелых металлов растениями

Токсичность тяжелых металлов в организме человека и животных

Отдаленные влияния тяжелых металлов на организм

Заключение

**ВВЕДЕНИЕ**

**Антропогенное загрязнение почвенного покрова**

По оценкам исследователей, в биосферу поступает ежегодно около 20 - 30 млрд. т. твёрдых отходов, из них 50 - 60 % органических соединений, а в виде кислотных агентов газового или аэрозольного характера - около 1 млрд. т.

Охрана почв от загрязнений является важной задачей, так как любые вредные соединения, находящиеся в почве, рано или поздно попадают в организм человека.

Во-первых, происходит постоянное вымывание загрязнений в открытые водоёмы и грунтовые воды, которые могут использоваться человеком для питья и других нужд.

Во-вторых, эти загрязнения из почвенной влаги, грунтовых вод и открытых водоёмов попадают в организмы животных и растений, употребляющих эту воду, а затем по пищевым цепочкам опять-таки попадают в организм человека.

В-третьих, многие вредные для человеческого организма соединения имеют способность кумулироваться в тканях, и, прежде всего, в костях.

Пути попадания загрязнений в почву:

1) С атмосферными осадками. Многие химические соединения, попадающие в атмосферу в результате работы предприятий, затем растворяются в капельках атмосферной влаги и с осадками выпадают в почву. Это, в основном, газы - оксиды серы, азота и др. Большинство из них не просто растворяются, а образуют химические соединения с водой, имеющие кислотный характер. Таким образом, и образуются кислотные дожди.

2) Осаждающиеся в виде пыли и аэрозолей. Твёрдые и жидкие соединения при сухой погоде обычно оседают непосредственно в виде пыли и аэрозолей. Такие загрязнения можно наблюдать визуально, например, вокруг котельных зимой снег чернеет, покрываясь частицами сажи. Автомобили, особенно в городах и около дорог, вносят значительную лепту в пополнение почвенных загрязнений.

3) При непосредственном поглощении почвой газообразных соединений. В сухую погоду газы могут непосредственно поглощаться почвой, особенно влажной.

4) С растительным опадом. Различные вредные соединения, в любом агрегатном состоянии, поглощаются листьями через устьица или оседают на поверхности. Затем, когда листья опадают, все эти соединения поступают опять-таки в почву.

Загрязнения почвы трудно классифицируются, в разных источниках их деление даётся по-разному. Если обобщить и выделить главное, то наблюдается следующая картина по загрязнению почвы:

1) Мусором, выбросами, отвалами, отстойными породами. Вещества, не слишком вредные для организма человека, но засоряющие поверхность почвы, затрудняющие рост растений на этой площади.

2) Тяжёлыми металлами.

3) Пестицидами.

4) Радиоактивными веществами.

Среди перечисленных загрязнений тяжелые металлы и их соединения образуют значительную группу токсикантов, во многом определяющую антропогенное воздействие на экологическую структуру окружающей среды и на самого человека. Учитывая все возрастающие масштабы производства и применения тяжелых металлов, высокую токсичность, способность накапливаться в организме человека, оказывать вредное влияние даже в сравнительно низких концентрациях, или дозах, эти химические загрязнители должны быть отнесены к числу приоритетных.

 С экологических и токсиколого-гигиенических позиций не все тяжелые металлы могут быть восприняты однозначно. Прежде всего, представляют интерес те металлы, которые наиболее широко и в значительных объемах используют в производственной деятельности человека и в результате накопления во внешней среде представляют серьезную опасность с точки зрения их биологической активности и токсических свойств. К ним относят свинец, ртуть, кадмий, цинк, висмут, кобальт, никель, медь, олово, сурьму, ванадий, марганец, хром, молибден и мышьяк.

**УСВОЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТЕНИЯМИ**

В настоящее время мало известно о механизмах накопления растениями тяжелых металлов, потому что до сих пор основное внимание уделялось усвоению соединений азота, фосфора и других элементов питания из почвы.

Кроме того, сравнение полевых и модельных исследований показало, что загрязнение почвы и окружающей среды (смачивание листовых пластинок солями тяжелых металлов) в полевых условиях оказывает менее значительное изменение в росте и развитии растений, чем в лабораторных модельных опытах. В некоторых опытах высокое содержание металлов в почве стимулировало рост и развитие растений. Это связано с тем, что более низкая влажность почвы в полевых условиях снижает мобильность металлов, и это не позволяет их токсическому эффекту проявиться в полной мере. С другой стороны, это может быть связано с уменьшением токсичности почвы, обусловленной деятельностью почвенных микроорганизмов в результате снижения их численности при загрязнении почвы металлами. Кроме того, это явление можно объяснить косвенным влиянием тяжелых металлов, например, через воздействие их на некоторые биохимические процессы в почве, в результате чего возможно улучшение питательного режима растений.

Таким образом, действие металлов на растительный организм зависит от природы элемента, содержания его в окружающей среде, характера почвы, формы химического соединения, срока от момента загрязнения. Формирование химического состава растительного организма определяется биохимическими особенностями различных видов организмов, их возрастом и биохимическими закономерностями связи между элементами в организме. Содержание одних и тех же химических элементов в различных частях растений может изменяться в широких пределах.

Растения слабо усваивают многие тяжелые металлы – например, свинец – даже при их высоком содержании в почве из-за того, что они находятся в виде малорастворимых соединений. Поэтому концентрация свинца в растениях обычно не превышает 50 мг/кг, и даже индийская горчица, генетически предрасположенная к поглощению тяжелых металлов, накапливает свинец в концентрации всего 200 мг/кг, даже если растет на почве, сильно загрязненной этим элементом.

Было обнаружено, что поступление тяжелых металлов в растения стимулируют некоторые вещества (например, этилендиаминтетрауксусная кислота), образующие с металлами в почвенном растворе устойчивые, но растворимые комплексные соединения. Так, стоило внести подобное вещество в почву, содержащую свинец в концентрации 1200 мг/кг, как концентрация тяжелого металла в побегах индийской горчицы возрастала до 1600 мг/кг.

Успешные эксперименты с этилендиаминтетрауксусной кислотой позволяют предположить, что растения усваивают малорастворимые соединения тяжелых металлов в результате того, что их корни выделяют в почву какие-то природные вещества-комплексообразователи. Например, известно, что при недостатке в растениях железа их корни выделяют в почву так называемые фитосидерофоры, которые переводят в растворимое состояние содержащиеся в почве железосодержащие минералы. Однако было замечено, что фитосидерофоры способствуют и накоплению в растениях меди, цинка, марганца.

Лучше всего изучены фитосидерофоры ячменя и кукурузы – мугеиновая и дезоксимугеиновая кислоты, а также выделяемая овсом авениковая кислота; роль фитосидерофоров, возможно, играют и некоторые белки, обладающие способностью связывать тяжелые металлы и делать их более доступными для растений.

Доступность для растений тяжелых металлов, связанных с частицами почвы, повышают и находящиеся в мембранах корневых клеток ферменты редуктазы. Так, установлено, что у гороха, испытывающего недостаток железа или меди, в присутствии таких ферментов повышается способность восстанавливать ионы этих элементов. Корни некоторых растений (например, фасоли и других двудольных) могут при недостатке железа повышать кислотность почвы, в результате чего его соединения переходят в растворимое состояние (доказано, что поступление тяжелых металлов из почвы в растения возрастает параллельно с увлечением кислотности почвы; это происходит потому, что их соединения лучше растворяются в кислой среде). В повышении биологической доступности тяжелых металлов немалую роль может играть и корневая микрофлора.

Почвенные микроорганизмы могут переводить нерастворимые формы солей тяжелых металлов в растворимые.

О механизме переноса тяжелых металлов из корней в надземные части растений известно еще меньше. Были проведены эксперименты, показавшие, что в корнях соединения тяжелых металлов частично обезвреживаются и переводятся в более мобильную химическую форму, после чего они уже накапливаются в молодых побегах. Исследователи выяснили, что важная роль в этих преобразованиях принадлежит ряду мембранных белков, отвечающих за характерные особенности транспорта ионов металлов в цитоплазме и клеточных органеллах. Возможно, обычно малорастворимые соли тяжелых металлов перемещаются по сосудистой системе в виде каких-то комплексных соединений – например, с органическими кислотами типа лимонной.

При увеличении содержания металлов в почве, снижается её общая биологическая активность, и это резко отражается на росте и развитии растений, причём разные растения реагируют на избыток металлов по-разному. Исследования показали, что металлы распределяются по органам растений неравномерно. Однако в одной и той же части растения концентрация химических элементов существенно изменялась в зависимости от фазы его развития и возраста. В наибольшей степени металлы накапливались в листьях. Это обусловлено многими причинами, одна из которых – локальное накопление металлов в результате перехода их в малоподвижную форму. Например, в случае медной интоксикации окраска некоторых листьев у исследуемых растений изменялась до красной и буро-коричневой, что свидетельствовало о разрушении хлорофилла.

Для отдельных видов растений и животных характерны определённые диапазоны концентрации химических элементов, в том числе и тяжелых металлов. Величина средних содержаний одного и того же элемента в различных видах растений, произрастающих в одинаковых условиях, часто колеблются в 2-5 раз. В условиях аномально высоких концентраций определённого элемента в среде обитания организмов разница содержания этого элемента в различных видах растений возрастает. Резкое увеличение содержания одного или нескольких элементов в среде приводит их в разряд токсикантов. Токсичность тяжелых металлов связана с их физико-химическими свойствами, со способностью к образованию прочных соединений с рядом функциональных группировок на поверхности и внутри клеток.

**Влияние на токсичность физико-химических свойств.**

Имеется тенденция к увеличению токсичности с увеличением атомного веса, хотя есть и явные исключения, например бериллий, медь. Медь для многих клеток много токсичнее, чем такие металлы, как барий, стронций и другие, несмотря на меньший атомный вес. Различна и сила действия железа в двух- и трехвалентном состоянии, несмотря на одинаковый в обоих случаях атомный вес элемента, что также говорит против преимущественного значения атомного веса для токсичности металлов. В.И.Вернадский (1940) и А.И. Войнар (1960) предположили, что связь действия металлов с их атомным весом в том, что по мере увеличения последнего в данной группе элементов уменьшается их содержание в животном организме и увеличивается токсичность. Действительно, токсичность металлов с большим атомным весом, таких, как свинец, ртуть, золото, серебро и других, велика, а наличие их в животном организме либо оспаривается, либо очень невысоко.

Одним из первых Mathews (1904) сделал попытку связать токсичность металлов с физическими свойствами, иными, чем их атомный вес. Он предположил, что физиологическая активность металла определяется легкостью, с которой он отдает свой электрон, степенью сродства последнего к заряду элемента. Более прочная связь обуславливает малую активность элемента. В качестве физического показателя этой связи Mathews избрал нормальный потенциал. Этот параметр характеризует способность металла переходить в раствор в виде ионов. Чем отрицательнее нормальный потенциал металла, тем легче этот металл растворяется. Связь нормального потенциала металлов с силой их действия Mathews проверял в опытах по изучению влияния растворов хлоридов разных металлов на изолированный нерв и яйца морского ежа. В результате изучения действия 27 металлов автор пришел к заключению, что их токсичность меняется обратно значению нормального потенциала.

Malstrom и Rosenberg (1959) считали такие показатели, как электроотрицательность и ионный радиус, наиболее надежными параметрами в характеристике элементов в смысле влияния на биологическую активность металлов, в частности при образовании ими комплексов в биосредах (стабильность комплексов, в свою очередь, является функцией электронных свойств металлов).

Соли металлов в растворах могут образовывать ионы, гидраты, комплексы. В свою очередь последние могут вновь диссоциировать, образуя ионы. Поэтому токсичность, прежде всего, может быть связана с действием ионов и со свойствами атомов и ионов металлов, характеризующими их активность, способность вступать в связь с протоплазмой, с отдельными ее компонентами. Современные данные говорят, что в токсическом действии солей металлов основное значение принадлежит самому металлу – катиону. Кислотный радикал может изменять этот эффект в незначительной степени (в силу изменения растворимости или степени диссоциации соли). Например, это существенно, когда речь идет о карбонатах. Эти соли менее токсичны в силу слабой растворимости и такой же слабой диссоциации.

Не только общая токсичность, но и другие, часто специфические, эффекты солей металлов связаны с действием и дозой именно металла. Это показано на примере специфического эпилирующего действия таллия, которое одинаково при равных дозах металла, введенного в виде разнообразных солей (Vuillaum, 1953). Установлено, что специфическое действие редкоземельных элементов на свертываемость крови определяется только ионом металла и не зависит от аниона.

Однако имеются данные, указывающие, что степень окисления основного элемента аниона может влиять на токсичность солей. Так, токсичность анионов, содержащих галоиды, увеличивается с возрастанием степени окисления галоида, а ядовитость анионов, включающих элементы V-VI групп периодической системы элементов (азот, серу), наоборот, снижается при повышении валентности.

Для галоидных соединений металлов большое значение имеет степень диссоциации и главным образом гидролиза с образованием кислот. Такой гидролиз известен для галогенидов многих металлов: олова, титана, тантала, ниобия, германия и других. Их токсическое (а именно раздражающее) действие связано с гидролизом этих соединений как в водных растворах, во влажном воздухе, так и при соприкосновении с влажными средами организма, в первую очередь – на слизистых оболочках дыхательных путей (И.В.Саноцкий, 1961; Н.В.Мезенцева, 1963).

Биологический и токсический эффект солей, таким образом, может изменяться в силу специфичности действия анионов, например, галогенов, а также из-за гидролиза, сопровождающегося образованием свободных кислот или оснований. Ведущая же роль принадлежит катиону металла.

Не совсем одинаково действие простых и комплексных солей редкоземельных элементов. Первые действуют фазно: после депрессии происходит нормализация состояния животных, но затем наблюдается резкое его ухудшение; комплексные же соли сразу вызывают резкую депрессию и быструю гибель животных. Однако хелатные комплексы так же, как и цитратные комплексы редкоземельных металлов, менее токсичны, чем их соли (Kyker, Cress, 1957; Graga и соавт., 1958).

По мнению Seifritz, наиболее вероятным физическим фактором, с которым связана большая токсичность тяжелых металлов, является электроотрицательность: она может влиять на легкость взаимодействия металла с протоплазмой. В периодической системе элементов электроотрицательность, в общем, увеличивается слева направо в каждом периоде; таким образом, подтверждается общая тенденция к увеличению ядовитости с увеличением атомного веса. Но, по мнению Seifritz, нельзя выделить одно доминирующее свойство, не учитывая влияния других и их взаимную связь.

 Возможно, отдельные характеристики свойств металлов связаны с их токсическим действием разными путями. Например, с селективностью или большим сродством к отдельным химическим группам, таким, как способность многих металлов образовывать ковалентные связи с атомом серы. Это может определить механизм действия.

Однако при достаточной дозе введенного металла большое количество катионов поступает в циркуляцию и распределяется по всему организму, вступает в контакт со всеми тканями, нарушая их нормальную функцию, чем обуславливается токсический и летальный эффект. При этом большое значение может иметь как быстрота, так и прочность образующихся в биологических средах комплексов металлов с такими биологически важными образованиями, как белки, ферменты, субстраты клеточных оболочек. Токсичность тяжелых металлов связана, в частности, с тем, что они блокируют активные центры ферментов и выключают их из управления метаболизмом. Общетоксическое действие металлов может быть связано с неспецифическим торможением ряда ферментов в силу денатурации белков вообще. Но ряду металлов в то же время свойственно специфическое угнетение определенных ферментов уже в очень малых концентрациях. Поэтому особенности отравления отдельными металлами выявляются преимущественно при длительном контакте с ними.

В нашей стране разработаны ПДК некоторых тяжелых металлов в продукции растениеводства (институт питания РАН, 1986):

|  |  |
| --- | --- |
| **Продукт** | **Предельно допустимые концентрации в продуктах питания (мг/кг)** |
| **Хром** | **Ни-кель** | **Медь** | **Цинк** | **Кад-мий** | **Оло-во** | **Ртуть** | **Сви-нец** | **Сурь-ма** |
| **Зерно** | 0,2 | 0,5 | 10,0 | 50,0 | 0,03 | - | 0,03 | 0,3 | 0,1 |
| **Крупа** | 0,2 | 0,5 | 10,0 | 50,0 | 0,10 | - | 0,03 | 0,3 | 0,1 |
| **Мука** | 0,2 | 0,5 | 10,0 | 50,0 | 0,10 | - | 0,02 | 0,3 | 0,1 |
| **Крахмал** | 0,2 | 0,5 | - | 30,0 | - | - | 0,02 | - | 0,1 |
| **Овощи свежие** | 0,2 | 0,5 | 5,0 | 10,0 | 0,03 | - | 0,02 | 0,5 | 0,3 |
| **Овощи консерв.** | 0,2 | 0,5 | 5,0 | 10,0 | 0,03 | 200 | 0,02 | 0,5 | 0,3 |
| **Фрукты свежие** | 0,2 | 0,5 | 5,0 | 10,0 | 0,03 | - | 0,02 | 0,4 | 0,3 |
| **Фрукты консерв.** | 0,2 | 0,5 | 5,0 | 10,0 | 0,03 | 200 | 0,02 | 0,4 | 0,3 |
| **Ягоды свежие** | - | 0,5 | 5,0 | 10,0 | 0,03 | - | 0,02 | 0,4 | 0,3 |
| **Ягоды консерв.** | - | 0,5 | 5,0 | 10,0 | 0,03 | 200 | 0,02 | 0,4 | 0,3 |
| **Грибы свежие** | - | 0,5 | - | - | - | - | 0,05 | 0,5 | - |
| **хлеб** | 0,2 | - | 10,0 | 50,0 | - | - | 0,02 | 0,3 | 0,1 |

**ТОКСИЧНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ**

Токсичность – это мера несовместимости вредного вещества с жизнью. Степень токсического эффекта зависит от биологических особенностей пола, возраста и индивидуальной чувствительности организма; строения и физико-химических свойств яда; количества попавшего в организм вещества; факторов внешней среды (температура, атмосферное давление).

**Понятие об экологической патологии.**

Возросшая нагрузка на организм, обусловленная широким производством вредных для человека химических продуктов, попадающих в окружающую среду, изменила иммунобиологическую реактивность жителей городов, включая детское население. Это приводит к расстройствам основных регуляторных систем организма, способствуя массовому росту заболеваемости, генетическим нарушениям и другим изменениям, объединенных понятием - экологическая патология.

В условиях экологического неблагополучия раньше других систем реагируют иммунная, эндокринная и центральная нервная системы, вызывая широкий спектр функциональных расстройств. Затем появляются нарушения обмена веществ и запускаются механизмы формирования экозависимого патологического процесса.

Среди ксенобиотиков важное место занимают тяжелые металлы и их соли, которые в больших количествах выбрасываются в окружающую среду. К ним относятся известные токсичные микроэлементы (свинец, кадмий, хром, ртуть, алюминий и др.) и эссенциальные микроэлементы (железо, цинк, медь, марганец и др.), также имеющие свой токсический диапазон.

Основным путем поступления тяжелых металлов в организм является желудочно-кишечный тракт, который наиболее уязвим к действию техногенных экотоксикантов.

Спектр экологических воздействий на молекулярном, тканевом, клеточном и системном уровнях во многом зависит от концентрации и длительности экспозиции токсического вещества, комбинации его с другими факторами, предшествующего состояния здоровья человека и его иммунологической реактивности. Большое значение имеет генетически обусловленная чувствительность к влиянию тех или иных ксенобиотиков. Несмотря на разнообразие вредных веществ, существуют единые механизмы их воздействия на организм, как у взрослого человека, так и у ребенка.

 Отравления соединениями тяжелых металлов известны с древних времен. Упоминание об отравлениях «живым серебром» (сулема) встречается в IV веке. В середине века сулема и мышьяк были наиболее распространенными неорганическими ядами, которые использовались с криминальной целью в политической борьбе и в быту. Отравления соединениями тяжелых металлов часто встречались в нашей стране: в 1924-1925 гг. Было зарегистрировано 963 смертельных исхода от отравлений сулемой. Отравления соединениями меди преобладают в районах садоводства и виноделия, где для борьбы с вредителями используется медный купорос. В последние годы наиболее распространены отравления ртутью. Нередки случаи массовых отравлений, например, гранозаном после употребления семян подсолнечника, обработанного этим средством.

**Всасывание, транспорт и распределение металлов.**

Для токсического действия необходим контакт яда с биологическим субстратом – объектом этого действия. Контакт может осуществляться при циркуляции яда во всех жидких средах организма (крови, ликворе, межтканевой жидкости и т.п.), а также при непосредственном соприкосновении с оболочками клеток, цитоплазмой и её составными элементами.

В силу этого в токсическом действии металлов, как и других ядов, большое значение имеют их транспорт, распределение, концентрация в месте действия, метаболизм, скорость и пути выделения. Вопросы метаболизма ядов, имеющие большое значение для понимания действия органических веществ, мало изучены в отношении металлов. Однако некоторые данные о превращении металлов в живом организме все же имеются. Известны происходящие в организме восстановительные процессы, при которых металлы и неметаллы из состояния высшей валентности переходят в состояние низшей валентности. Это установлено для железа, марганца, молибдена, ванадия, хрома, мышьяка.

Концентрация металлов в месте действия, как и вообще любых ядов или фармакологических средств, является результатом динамических процессов всасывания из места поступления, проникания в жидкие среды, транспорта, распределения в органах и тканях, химических превращений в последних и процессов выведения из организма.

Резорбция и распределение, а также выделение металлов, как и вообще экзогенных ядов, в конечном итоге схематически представляют как ряд процессов распределения между внешней средой и биосредами. В свою очередь в биосредах - организмах - происходит перераспределение между фазами: кровью и тканевыми и межклеточными жидкостями, между последними и клетками, между внутриклеточными структурами.

Для осуществления непосредственного контакта любого яда с тканями, клетками, рецепторами и т.д. ему приходится проникать через множество пограничных поверхностей – биологических мембран. Роль последних играет кожа, слизистая желудочно-кишечного тракта, эндотелии сосудов, альвеолярный эпителий, вообще гистогематические барьеры, оболочка клеток, внутриклеточных структур и т.д. По современным представлениям биологические мембраны имеют белково-липидную структуру. Клеточные мембраны представляют самостоятельный структурный элемент, активно участвующий в процессах обмена веществ. Мембраны рассматриваются как биологические, динамические структуры, содержащие ряд важных энзимных систем. Повреждения, вызываемые ядами, нарушающими функции энзимов, приводят к изменению проницаемости транспорта через эти оболочки.

Поверхность клеточных оболочек несет отрицательный заряд, что показано на примере эритроцитов, сперматозоидов, многих бактерий; но в тоже время на отдельных участках заряд может меняться. Ионы, достигнув поверхности клетки, либо фиксируются на ней, либо отталкиваются в силу одноименности заряда. Например, полагают, что анионы проходят эритроциты через положительно заряженные поры; положительно заряженные ионы не могут проникнуть через них, с чем связана плохая проницаемость эритроцитов (и других клеток) для катионов. Одни анионы (хлор, бром) проникают в эритроциты почти мгновенно, но ряд других более сложных (например, JO3, селеновая кислота) накапливаются в эритроцитах очень медленно.

Схематически транспорт веществ через пограничные поверхности можно разделить на:

а) поступление веществ в клетки путем диффузии через водные и липидные барьеры;

б) вода и растворенные в ней вещества как бы фильтруются в клетки (вступают в силу гидродинамические и осмотические законы);

в) перенос липоидонерастворимых веществ объясняется образованием их соединений с компонентами мембраны. Например, полагают, что двухвалентные металлы проникают через пограничные мембраны в виде фосфатных комплексов.

Клеточные оболочки могут играть и защитную роль в отношении вредного действия ядов, в частности металлов. Последние в первую очередь фиксируются на поверхности и лишь медленно проникают вглубь клетки. Это продемонстрировали Passow и сотр. (1961), а также Rothstein и Clarkson (1959) на примере солей ртути и меди. При действии последних первоначально нарушается сорбция глюкозы у мышей, позже – дыхание.

Соли металлов как хорошо растворимые и диссоциирующие соединения, попадая в организм, распадаются на ионы. Скорость и полнота резорбции зависят от соотношения между ионизированной и неионизированной частью молекулы.

Металлы высшей валентности и так называемые тяжелые металлы, склонные к образованию очень трудно растворимых гидроокислов, фосфатов, альбуминатов или весьма стойких комплексов, плохо всасываются из желудочно-кишечного тракта или при любых других путях введения.

Таким образом, упомянутые свойства металлов и их соединений, способность к диссоциации, образование свободных ионов, гидроокисей, образование прочных альбуминатов, гидратов, фосфатов определяют количество и состояние металла в организме, в первую очередь в крови. Свободные ионы металлов быстро удаляются из крови; по данным Д.И.Семенова и И.П.Трегубенко (1958), - в течение 5 минут. Они также быстро выделяются из организма или накапливаются в скелете. Последнее, так же как и быстрое выделение с мочой, обычно указывает на то, что металл в организме циркулирует в ионизированном или молекулярно-дисперсном состоянии.

Благодаря способности к комплексообразованию металлы в тканях откладываются в виде комплексных соединений с белками, аминокислотами. Однако распределение их по большей части неравномерно, а в ряде случаев избирательно. Например, высокое содержание в почках ртути, таллия, урана, кадмия или бария; рубидия, лития в мышцах; преимущественное накопление в эритроцитах калия, рубидия, свинца, шестивалентного хрома, мышьяка, селена и некоторых других.

Прочность связей, степень сродства катионов металлов к функциональным химическим группировкам в организме, также может определять не только общую токсичность, но избирательность или специфичность действия. Это можно проследить на примере такой распространенной во всех тканях и вместе с тем такой биологически важной функциональной группе – сульфгидрильной. Так, специфическое повреждение почек такими металлами как, как ртуть или кадмий, объясняют высоким сродством их к SH-группам ткани почек.

Приведенные примеры указывают, что возможны закономерности специального влияния металлов, однако для их выявления нужно изучать механизмы влияния отдельных металлов на отдельные ферментные системы, отдельные звенья обменных процессов, деятельность желез внутренней секреции и т.д.

**Токсичность тяжелых металлов для животных.**

Тяжелые металлы (свинец, медь, цинк, мышьяк, ртуть, кадмий, хром, алюминий и др.) в микроколичествах необходимы организму и в основном они находятся в активных центрах коферментов.

Количество биологически активных химических элементов в организмах животных и тканях в основном зависит от их места обитания и особенностей потребления кормов. В большинстве случаях сельскохозяйственные животные страдают от дефицита и несбалансированности микроэлементов.

При содержании тяжелых металлов в почве выше допустимых норм отмечают повышение поступления указанных металлов в рационы и соответственно в продукцию животноводства, ухудшение качества сельскохозяйственной продукции. Например, в пригородных хозяйствах при содержании в рационе тяжелых металлов - свинца, никеля, хрома в 2-7 раз выше ПДК содержание их в молоке оказалось в 1,25-2 раза выше допустимых норм. В Вологодской области из-за нехватки селена при избытке железа, марганца, кадмия отмечено поступление молока на молокозаводы с низкой титруемой кислотностью. Наличие тяжелых металлов влияет на качество сыра, при этом нарушается технология производства. В частности, ухудшается его вкус, запах становится нечистым, сыр легко крошится, творог становится мажущим. У овец, разводимых в промышленной зоне Ирака, отмечается депонирование в организме ртути, кадмия и свинца. У пятилетних овец содержание ртути и кадмия в мускулатуре выше МДУ (максимально допустимого уровня). На ингаляционное поступление этих тяжелых металлов указывали повышенные содержания кадмия и свинца в легких. У овец, разводимых в сельскохозяйственных районах Ирака, содержание тяжелых металлов в тканях и органах оказались в 2-7 раз меньше, чем у животных, разводимых в промышленной зоне.

Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) в рамках Международной программы химической безопасности опубликованы «Гигиенические критерии состояния окружающей среды» для Hg, Be, Pb, Sn, Mn, Ti и других металлов. В таблице приведены предельно допустимые концентрации в продуктах питания для некоторых тяжелых металлов:

|  |  |
| --- | --- |
| **Элементы** | **ПДК в продуктах, мг/кг в сутки** |
| **Рыбных** | **Мясных** | **Молочных** |
| **Pb** | 30-300 | 1 | 0.5 |
| **Be** | 10-50 | - | - |
| **Ag** | 5-10 | - | - |
| **Hg** | 1-3 | 0.3-0.6 | 0.03 |

**Токсичность тяжелых металлов в организме человека.**

В таблице показана зависимость здоровья человека от уровня загрязнения тяжелыми металлами:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Уровень | В почве | Влияние на здоровье человека. (медицинская статистика) |
| Допустимый | Меньше 16 у.е. |  -  |
| Умеренно опасный | 16-32 у.е. | Увеличение общей заболеваемости |
| Опасный | 32-128 у.е. | Увеличение хронической заболеваемости (ССС) |
| Чрезвычайно опасный | > 128 у.е. | Увеличение детской заболеваемости, токсикозы беременности, недоношенности, выкидыши, уродства |

По опасности для здоровья человека тяжелые металлы делятся на следующие классы:

1 класс (самый опасный): Cd, Hg, Se, Pb, Zn

2 класс: Co, Ni, Cu, Mo, Sb, Cr (цветная металлургия – город Никель Кольский п-ов)

3 класс: Ba, V, W, Mn, Sr

Тяжелые металлы и их соединения могут поступать в организм человека через легкие, слизистые оболочки, кожу и желудочно-кишечный тракт. Механизмы и скорость проникновения их через разные биологические барьеры и среды зависят от физико-химических свойств указанных веществ, химического состава и условий внутренней среды организма. В результате взаимопревращений между поступившими в организм металлами или их соединениями и химическими веществами различных тканей и органов могут образоваться новые соединения металлов, обладающие иными свойствами и по-другому ведущие себя в организме. При этом в разных органах, вследствие особенностей обмена, состава и условий среды, пути превращения исходных соединений металлов могут быть различными. Отдельные металлы могут избирательно накапливаться в определенных органах и длительно задерживаться в них. В результате накопление металла в том или ином органе может быть или первичным, или вторичным.

На примере отдельных металлов рассмотрим пути их поступления в организм через желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) с продуктами питания (животного и растительного происхождения), а также токсическое действие.

Два d-элемента - **кобальт и никель**, широко используют в современных промышленных технологиях. При высоком содержании их в окружающей среде эти элементы могут поступать в повышенных количествах в организм человека, вызывая отравления с тяжелыми последствиями.

Кобальт является биоэлементом, который принимает активное участие в ряде биохимических процессов. Однако избыточное его поступление вызывает токсический эффект с разными повреждениями в системах окислительных превращений. Данный эффект обусловлен способностью кобальта вступать в связь с атомами кислорода, азота, серы, в конкурентные отношения с железом и цинком, входящими в состав активных центров многих ферментов. Соединения Cо(III) обладают сильной окислительной комплексообразовательной способностью.

В отношении скорости сорбции чистого кобальта, его оксидов и солей в ЖКТ сведения разноречивы. В одних исследованиях отмечено слабое всасывание (11…30%) даже хорошо растворимых солей кобальта, в других указано на высокую сорбцию солей кобальта в тонком кишечнике (до 97%) в связи с хорошей их растворимостью в нейтральной и щелочной средах. На уровень сорбции влияет также величина дозы, поступившей перорально: при малых дозах сорбция больше, чем при больших.

Ni(II) преобладает в биологических средах, образуя разные комплексы с химическими компонентами последних. Металлический никель и его оксиды из ЖКТ всасываются медленнее, чем его растворимые соли. Поступивший с водой никель абсорбируется легче, чем входящий в виде комплексов в состав пищи. В целом количество всосавшегося из ЖКТ никеля составляет 3…10%. В его транспорте участвуют те же белки, которые связывают железо и кобальт.

 **Цинк**, также относящийся к d-элементам и имеющий состояние окисления +2, является сильным восстановителем. Соли цинка хорошо растворимы в воде. При их поступлении наблюдается задержка на некоторое время с последующим постепенным попаданием в кровь и распределением в организме. Цинк может вызывать «цинковую» (литейную) лихорадку. Абсорбция цинка из ЖКТ достигает 50% от введенной дозы. На уровень абсорбции оказывает влияние количество цинка в пище и ее химический состав. Пониженный уровень цинка в пище способствует увеличению абсорбции этого металла до 80% от введенной дозы. Увеличению абсорбции цинка из ЖКТ способствуют белковая диета, пептиды и некоторые аминокислоты, которые, вероятно, образуют хелатные комплексы с металлом, а также этилендиаминтетраацетатом. Высокое содержание фосфора и меди в пище снижает абсорбцию цинка. Наиболее активно цинк всасывается в двенадцатиперстной кишке и верхней части тонкого кишечника.

**Ртуть** (d-элемент) – единственный металл, который находится в обычных условиях в виде жидкости и интенсивно выделяет пары. Может находиться в состояниях окисления +1 и +2 (в последнем встречается чаще) и в виде не только неорганических соединений, но и органических производных двухвалентной ртути, в частности таких, как метил-, этил- и пропилртуть, которые оказываются токсичнее и опаснее, чем неорганические соединения, благодаря своей более высокой проницаемости через биологические барьеры и тропности к тканевым субстратам и структурам. Из неорганических соединений ртути наиболее опасны металлическая ртуть, выделяющая пары, и хорошо растворимые соли Hg(II), образующие ионы ртути, действием которых и определяется токсичность. Соединения двухвалентной ртути токсичнее, чем одновалентной. Выраженная токсичность ртути и ее соединений, отсутствие данных о сколько-нибудь заметных положительных физиологических и биохимических эффектах указанного микроэлемента заставляли исследователей относить его не только к биологически ненужным, но и опасным даже в ничтожных количествах из-за его широкой распространенности в природе. В последние десятилетия, однако, появляется все больше свидетельств и мнений о жизненно важной роли ртути. Надо отметить, что ртуть – один из самых токсичных металлов, она постоянно присутствует в природной среде (почве, воде, растениях), может в избытке поступать в организм человека через ЖКТ вместе с пищей и водой. Неорганические соединения ртути слабо всасываются в ЖКТ, в то время как органические, например метилртуть, абсорбируются почти полностью.

**Таллий** (р-элемент), хотя и редкий элемент, но в связи с широким применением в электронной, химической промышленности и сельском хозяйстве в качестве функциональных и зооцидных препаратов может в значительной степени загрязнять окружающую среду. Попадая в ЖКТ, растворимые соли таллия очень быстро проникают в кровь и разносятся в органы и ткани, нерастворимые – практически не всасываются при пероральном пути поступления.

 **Олово** (р-элемент) может в заметных количествах поступать через ЖКТ при употреблении пищи, особенно соков, в случае хранения в посуде, содержащей олово в составе сплавов, из которых она изготовлена. Нерастворимые соединения олова почти не всасываются в ЖКТ, но и растворимые соединения абсорбируются очень слабо и преимущественно в виде соединений с белками. При этом соли двухвалентного олова всасываются легче и в больших количествах по сравнению с четырехвалентным оловом.

**Свинец**, относящийся, как и олово, к p-элементам и являющийся в современную эпоху одним из наиболее распространенных металлозагрязнителей окружающей среды и, прежде всего, воздуха, к сожалению, в значительных количествах может поступать в организм человека ингаляционным путем. Свинец в виде нерастворимых соединений (сульфидов, сульфатов, хроматов) плохо всасывается из ЖКТ. Растворимые соли (нитраты, ацетаты) всасываются в несколько больших количествах (до 10%). При дефиците кальция и железа в пищевом рационе абсорбция свинца увеличивается.

**Сурьма** – p-элемент, существующий в состояниях окисления –3, +3, +5. Образует в основном устойчивые катионные соединения. Способен образовывать комплексы. Трехвалентные соединения сурьмы оказываются более токсичными, чем пятивалентные. Сурьму относят к тяжелым металлам с очень низкой сорбцией из ЖКТ.

Приведенные выше примеры свидетельствуют о том, что тяжелые металлы в основном слабо всасываются в ЖКТ. Для большинства из них даже в случае хорошей растворимости их соединений величина всасывания составляет от 2…3 до 10…15%.

Поступая в организм человека, тяжелые металлы с током крови разносятся в разные органы и ткани. Характер их распределения и степень накопления зависят от сродства к различным структурам и биохимическим компонентам тканей и органов, прочности образуемых комплексов и скорости их элиминации.

 **Ванадий**, как один из наиболее легких среди тяжелых металлов, весьма активный в химическом отношении (сильный окислитель имеет сродство к фосфатам, жирам и т.д.) относительно быстро обменивается в организме. При любом пути поступления ванадий вскоре появляется в крови, где соединяется с трансферрином, транспортируется в разные органы и ткани, и в первые же часы его обнаруживают в моче. Скорость распространения и величина накопления металла зависит от пути поступления, растворимости и реакционоспособности его соединений. В первые же сутки ванадий вследствие быстрой абсорбции тканями почти полностью исчезает из крови, но через несколько суток вновь в очень малых количествах может появляться в крови, очевидно, из-за перераспределения между органами. Преимущественные места его накопления – костная ткань, почки, печень. Костная ткань, а также зубы и эмаль аккумулируют ванадий вследствие большого сродства последнего к фосфатам.

Из общего количества ванадия в организме 31% его сосредоточен в жировой ткани, что обусловлено, по-видимому, сродством ванадия к биогенным жирам, особенно к аминовой и линолевой кислотам, и 17% - в скелете. По содержанию ванадия органы и ткани располагаются в убывающем порядке: костная ткань, почки, печень, кровь, селезенка, костный мозг, надпочечники, легкие, кожа, мышцы.

**Никель** в крови находится в виде комплексов с низко молекулярными соединения, в частности с аминокислотами, в основном с гистидином, альбумином, а также со специфическим белком, названным никелеплазмином, относящимся к макроглобулиновой фракции. Из крови никель проникает в ткани при участии металлотионеинов. наиболее распространенным металлом в организме является Ni(II).

В организме человека никель входит в состав некоторых ферментов. Его обнаруживают постоянно в рибонуклеиновой кислоте (РНК), что может быть связано с онкогенностью никеля. Около 50% никеля откладывается во внутренних органах и крови, 30% - в мышцах и жировой ткани, 15% - в костях и соединительной ткани.

**Медь** в крови находится в связанном с белками состоянии. Основной формой меди в тканях является двухвалентная медь, которая создает наиболее прочные хелатные комплексы с белками. Медь может вступать в соединения с разными аминокислотами благодаря сродству к SH–группам, образует также комплексы с гиутатионом, снижая его концентрацию в клетках.

При избыточном поступлении меди в организм в связи с ее высокой биохимической активностью происходят серьезные нарушения в обмене веществ, проявляющиеся в токсических эффектах. Существуют конкуренция и негативное влияние цинка, марганца, никеля на обмен меди.

Неорганическая **ртуть** в крови приблизительно одинаково распределяется между эритроцитами и плазмой в крови, но органические соединения превалируют в эритроцитах. В частности, концентрация метилртути в эритроцитах в 10 раз превышает ее в плазме. Распределение ртути в органах и тканях зависит от пути поступления и формы соединения ртути, но в целом больше ртути накапливается в почках.

**Таллий** частично связывается альбумином и другими белками крови, но преимущественно находится в виде свободных ионов. Из крови он распределяется в различные органы и ткани. После перорального поступления таллий обнаруживают преимущественно в ЖКТ и печени, костном и головном мозге, легких, надпочечниках, селезенке, почках, мышцах и волосах. Длительность сохранения в тканях невелика, период полувыведения составляет 3…4 суток. С течением времени происходит перераспределение таллия в организме.

Из приведенных выше данных о распределении, накоплении и превращении ряда тяжелых металлов видно, что указанные процессы имеют много особенностей. Несмотря на различия в естественной биологической значимости разных металлов, все они при избыточном поступлении в организм вызывают токсические эффекты, сопряженные с нарушением нормального хода биохимических процессов и физиологических функций.

Следует особо отметить то, что избирательное накопление и длительность задержки металлов в ткани или органе в значительной степени определяют поражение того или иного органа. Например, эндемические заболевания щитовидной железы в отдельных биогеохимических провинциях связывают с избыточным поступлением некоторых металлов и высоким содержанием их в самой железе. К таким металлам относят кобальт, марганец, хром, цинк. Еще хорошо известно поражение центральной нервной системы при отравлениях ртутью, марганцем, свинцом и таллием.

Выведение металлов из организма в основном осуществляется через ЖКТ и почки. При этом следует иметь в виду, что небольшое количество металлов может выделяться с грудным молоком, потом и волосами. Скорость выведения и количество выделившегося металла за определенный промежуток времени зависит от пути поступления, дозы, свойства каждого конкретного соединения металла, прочности связи последнего с биолигандами и длительности его действия на организм.

Например, разные соединения хрома выделяются из организма через кишечник, почки, с грудным молоком. Так соединения Cr(VI) превосходят по скорости выделения Cr(III). Лучше растворимый хромат натрия выделяется преимущественно через почки, а слаборастворимый хлорид хрома – кишечным и почечным путями. К другим металлам, которые выводятся двумя основными путями (через ЖКТ и почки), относят никель, ртуть и др. Нерастворимые соединения никеля даже при разных путях поступления в большем количестве выделяются через кишечник.

Таким образом, выведение избыточных количеств разных металлов из организма человека является сложным биокинетическим процессом. Во многом он зависит от путей трансформации металлов в органах и тканях и скорости элиминации из них.

**Отдаленные последствия влияния тяжелых металлов на организм**

Вредные вещества могут оказывать на организм специфическое действие, которое проявляется не в период воздействия и не сразу по его окончании, а в периоды жизни, отделенные от химической экспозиции многими годами и даже десятилетиями. Проявление этих эффектов возможно и в последующих поколениях.

Под термином «отдаленный эффект» следует понимать развитие патологических процессов и состояний у индивидуумов, имевших контакт с химическими загрязнениями среды обитания в отдаленные сроки их жизни, а также в течение жизни их потомства. К нему относятся гонадотропное, эмбриотоксическое, канцерогенное, мутагенное действие.

**Гонадотропное действие металлов.**

По укоренившемуся мнению ответственность за бесплодие брака ранее возлагалась почти исключительно на женщину. Однако сейчас уже известно, что в значительном числе случаев «виновником» бесплодия брака может быть мужчина. Причиной этого является высокая чувствительность мужских половых желез к различным повреждающим факторам. Выявлена связь нарушения репродуктивной функции человека с действием факторов окружающей среды, производственными факторами, и в частности с химическими, воздействующими на человека в процессе его трудовой деятельности.

Так, доказаны нарушение функции гонад при воздействии хлорорганических соединений марганца, свинца. Имеются также данные о нарушении менструальной функции и функции яичников у женщин при работе с соединениями марганца.

Гонадотропное действие проявляется в нарушении сперматогенеза у мужчин и овогенеза у женщин.

Изучение сравнительной чувствительности репродуктивной функции самок и самцов в ряде случаев выявило одинаковую и даже большую чувствительность семенников при одних и тех же интенсивностях воздействия. Одинаковая чувствительность женских и мужских половых желез имеет место при воздействии соединений марганца.

**Эмбриотропное действие металлов.**

Влияние химических соединений во время беременности может вызвать в развитии плода различные нарушения, которые условно можно отнести к следующим типам эффектов: тератогенным (гистоморфологичские дефекты развития, биохимические, функциональные и другие нарушения функции органов и систем, проявляющиеся в постнатальном развитии); эмбриотоксическим (внутриутробная гибель, снижение массы и размеров эмбрионов при нормальной дифференцировке тканей).

При действии ряда химических соединений металлов, когда концентрации яда превышали ПДК, было установлено их тератогенное действие. Кроме того, выявлено увеличение частоты появления токсикозов беременности и нарушений родовой деятельности. Обнаружены также качественные изменения в плаценте.

При изучении эмбриототропного действия химических веществ в эксперименте большое значение имеет продолжительность воздействия ядов, срока беременности, на которые приходится это действие, уровни воздействия.

Чувствительность эмбриона особенно велика на ранних стадиях развития. Химические вещества в дозах, не вызывающий токсический эффект у матери, могут повредить плод. Установлены два критических периода развития эмбриона с очень высокой чувствительностью к внешним воздействиям – период, предшествующий имплантации, и период плацентации. Первый период приходится на первые три недели развития, второй – на четвертую - седьмую неделю, когда происходит формирование плаценты.

Изменения проницаемости плаценты зависит от общего состояния организма и от срока беременности, а также от химического строения и свойств, проникающих в организм матери химических соединений. Беременность как нагрузка может изменять устойчивость организма к воздействию различных факторов в сторону снижения его резистентности.

 **Мутагенное действие металлов.**

 Под мутагенным действием химических веществ следует понимать изменение наследственных свойств организма, проявляющихся у потомства.

Мутационный процесс под влиянием химических веществ можно разделить на две большие группы: мутагенез в зародышевых клетках и мутагенез в соматических клетках. Мутации под влиянием химических веществ могут возникать на всех трех уровнях организации наследственных структур: генном, хромосомном и геномном.

Следствием мутаций в зародышевых клетках в зависимости от их характера будет гибель зигот, эмбрионов, плодов, индивидов на разных стадиях развития или воспроизведение мутации из поколения в поколение. Мутации в соматических клетках приводят неизбежно к нарушению генетического гомеостаза.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Неконтролируемое загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) угрожает здоровью людей. Прием токсических веществ приводит к необратимым изменениям внутренних органов. В результате развиваются неизлечимые болезни: нарушения желудочно-кишечного тракта, печени, почечные и печеночные колики, параличи. Нередки смертельные случаи.

В связи с этим необходимо максимально снизить уровень поступления тяжелых металлов в организм человека. В частности, путем получения продукции растениеводства (пищи для человека и сельскохозяйственных животных, которые в свою очередь также являются источником продуктов питания для человека) свободной от загрязнения ТМ. Следовательно, необходимо проводить химический анализ почв на содержание каждого из наиболее опасных металлов.

В Нидерландах разработана нормативная база концентрации тяжелых металлов. Установлено три уровня содержания их в почве: А – фоновые концентрации; В – концентрации, указывающие на необходимость проведения дополнительных исследований и мероприятий; С – пороговые концентрации, свидетельствующие о необходимости проведения срочных мер по очистке почв. В таблице представлены уровни содержания тяжелых металлов в почве:

|  |  |
| --- | --- |
| **Металл** | **Концентрация (мг/кг)** |
| **Фоновая (А)** | **Повышенная (В)** | **Пороговая (С)** |
| **Хром** | 100 | 250 | 800 |
| **Кобальт** | 20 | 50 | 300 |
| **Никель** | 50 | 100 | 500 |
| **Медь** | 50 | 100 | 500 |
| **Цинк** | 200 | 500 | 3000 |
| **Молибден** | 10 | 40 | 500 |
| **Кадмий** | 1 | 5 | 20 |
| **Олово** | 20 | 50 | 300 |
| **Барий** | 200 | 400 | 2000 |
| **Ртуть** | 0,3 | 2 | 10 |
| **свинец** | 50 | 150 | 600 |

Для получения продукции растениеводства, свободной от тяжелых металлов, на почвах с повышенным их содержанием необходимо:

* провести агрохимическое обследование пашни, определить содержание тяжелых металлов в почве
* сопоставить содержание ТМ с содержанием калия и кальция
* произвестковать кислые почвы
* повысить содержание обменного калия в почве
* исключить применение минеральных удобрений, содержащих тяжелые металлы
* подобрать культуры, минимально потребляющие эти элементы; на сильно загрязненных полях можно выращивать культуры для технической переработки
* периодически проводить контроль продукции на содержание тяжелых металлов

Кроме того, снизить воздействие тяжелых металлов на здоровье населения можно путем решения следующих задач:

1. организация точного и оперативного контроля выбросов ТМ в атмосферу и воду;
2. прослеживание цепей миграции ТМ от источников до человека;
3. налаживание широкого и действенного контроля (на различных уровнях, вплоть до бытового) содержания ТМ в продуктах питания, воде и напитках.
4. проведение выборочных, а затем и массовых обследований населения на содержание ТМ в организме.

Подобные меры применяются в ряде развитых стран. В США реализуется национальная программа массовых обследования детей на содержание свинца в крови, государством финансируются разработки необходимых технических средств.

Сложности решения указанных задач состоят в том, что 1) миграция и токсичность элементов зависят от физико-физических форм, поэтому методы анализа должны обеспечивать speciation-analysis, т.е. давать возможность определять связанные и лабильные формы вещества, степень окисления элементов; 2) средства контроля должны обладать низким порогом обнаружения, высокой селективностью и низкой стоимостью.

Наиболее сложной и слабо изученной проблемой является медико-санитарное нормирование воздействия элементов на жизнедеятельность. ПДК и другие нормы выведены эмпирически, при отсутствии общей теории вопроса. Они не учитывают даже главные особенности химизма природных и техногенных систем, для которых предназначены, и не всегда привязаны к определенным соединениям или формам нахождения элементов.

Не решены вопросы суммарного влияния нескольких элементов – эффектов их антагонистического (снижающегося) или синергетического (увеличивающегося) взаимодействия. Эта проблема наиболее остра, так как обычно в экогеохимических системах присутствуют ассоциации большого числа элементов.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Добровольский Г. В., Гришина Л. А. Охрана почв - М.: МГУ, 1985.
2. Душенков В., Фоскин Н. Фиторемедиация: зеленая революция. – Доклад, Ратгерский университет, Нью-Джерси, США, 1999
3. Ильин В. Б. Тяжёлые металлы в системе почва – растение. - Новосибирск: Наука, 1991
4. Левина Э.Н., Общая токсикология металлов. – М., 1972
5. Лушников Е.К. Клиническая токсикология. – М: Медицина, 1990
6. Посыпанов Г.С., Долгодворов В.Е., Коренев Г.Е. и др. Растениеводство. - М.: ”Колос”, 1997
7. Рэуце Н., Кырста С. Борьба с загрязнением почвы. - М.: Агропромиздат, 1986