

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА
В ЭКОЛОГИИ: ВОЗДЕЙСТВИЕ
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ БАЛАНС
ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

*А. В. Горбунов¹, С. М. Ляпунов¹, О. И. Окينا¹,
М. В. Фронтасьева^{2*}, С. С. Павлов²*

¹Геологический институт РАН, Москва

²Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

ВВЕДЕНИЕ	1514
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	1516
Объекты исследования	1516
Проведение опыта сортовой селекции на искусственно загрязненной почве	1517
Накопление тяжелых и токсичных металлов грибами	1517
Отбор образцов	1518
Анализ образцов	1521
ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА	1523
Воздействие техногенных факторов	1523
Накопление токсичных металлов сельскохозяйственной растительностью в условиях искусственно созданного загрязнения почвы	1530
Расчет коэффициентов биологического поглощения металлов	1532
Особенности накопления тяжелых и токсичных металлов грибами	1537

*E-mail: marina@nf.jinr.ru

ПОСТУПЛЕНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА С РАЗЛИЧНЫМИ РАЦИОНАМИ ПИТАНИЯ	1548
Характеристика основных рационов питания	1548
Поступление макроэлементов Na, Cl, K, Ca в организм человека с рационами питания	1549
Поступление эссенциальных элементов в организм человека с продуктами питания	1554
Поступление условно-эссенциальных микроэлементов — Ni, Br, Ag — в организм человека с рационами питания	1565
Поступление токсичных микроэлементов в организм человека с продуктами питания	1568
ПОСТУПЛЕНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА С ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ	1575
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	1584
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	1586

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА
В ЭКОЛОГИИ: ВОЗДЕЙСТВИЕ
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ БАЛАНС
ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

*А. В. Горбунов¹, С. М. Ляпунов¹, О. И. Окина¹,
М. В. Фронтасьева^{2*}, С. С. Павлов²*

¹Геологический институт РАН, Москва

²Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Современные возможности ядерно-физических аналитических методов — нейтронного активационного анализа, рентгеновского флуоресцентного анализа и атомной адсорбционной спектрометрии — использованы для многоэлементного анализа состава широкого спектра продуктов питания и питьевой воды различных регионов России. В работе представлены результаты более чем двадцатилетнего сотрудничества Геологического института РАН и сектора нейтронного активационного анализа и прикладных исследований ЛНФ ОИЯИ в этой области. Показана зависимость микроэлементного состава сельскохозяйственной продукции от эколого-геохимической обстановки конкретных регионов. В процессе проведения опыта с искусственно созданным загрязнением почвы показана возможность сортовой детерминации салата и шпината по отношению к загрязнению почвы Cd и Pb. Определены возможные принципы накопления тяжелых и токсичных металлов базидиальными грибами. Из множества используемых рационов питания человека выделены шесть наиболее типичных, и проведена оценка поступления макро- и микроэлементов в организм человека при использовании этих рационов. Обсуждается влияние на организм человека основных элементов, поступающих с продуктами питания, и возможная степень риска. На примере трех регионов России исследована зависимость микроэлементного состава питьевой воды от эколого-геохимической обстановки в регионе. Показана критическая зависимость качества питьевой воды от состояния распределительных водопроводных сетей.

Current capabilities of the nuclear and related analytical techniques: neutron activation analysis, X-ray fluorescent analysis, and atomic adsorption spectrometry — are used to carry out multielement analysis of a wide range of foodstuffs and drinking water in various regions of Russia. The results of a more than 20 years long collaboration of the Geological Institute, Russian Academy of Sciences, and the Neutron Activation Analysis and Applied Research Sector, Frank Laboratory of Neutron Physics, Joint Institute for Nuclear Research, in this field are presented. It is shown that the trace element content of agricultural products depends on the ecological and geochemical conditions in a particular region. A possibility of lettuce and spinach variety determination with respect to Cd and Pb contamination of the soil is demonstrated in the experiment with artificially produced soil

*E-mail: marina@nf.jinr.ru

contamination. Principles that may underlie accumulation of heavy metals and toxic elements by basidiomycetes are determined. Out of a great deal of human diets in use, the six most typical ones are selected and the intake of macro and micronutrients from these diets by a human is evaluated. The effect produced on the human organism by the basic elements intake with the food and possible risks are discussed. Dependence of the trace element content of the drinking water on the ecological and geochemical conditions is investigated in three regions of Russia. It is shown that the quality of drinking water critically depends on the condition of the water supply system.

PACS: 28.50.Ky; 82.80.Jp

ВВЕДЕНИЕ

На Земле нет идеальных мест обитания, где все эколого-геохимические факторы сочетаются оптимально. Существуют лишь местности, где в той или иной степени благоприятно сочетаются ведущие факторы: климат, рельеф, геохимический состав объектов окружающей среды, интенсивность стихийных бедствий, плотность населения, степень антропогенных нагрузок, социально-экономические условия, — каждый из которых в той или иной степени влияет на физиологический оптимум. За время эволюции у людей, проживающих на данной территории, анатомия и физиология адаптировались к существующим условиям жизни. Однако сельскохозяйственные и технологические революции XX в. привели к радикальному изменению естественных биогеохимических пищевых цепей, обусловленных географическими особенностями мест проживания человека и, соответственно, к изменению эволюционно сложившегося состава пищи. В настоящее время все меньше сельскохозяйственных площадей, которые можно назвать экологически чистыми. Современные сельскохозяйственные технологии невозможны без применения минеральных удобрений, пестицидов, гербицидов, систем предварительной обработки посадочного материала. Применение этих технологий уже само по себе является мощным фактором, приводящим к изменениям состояния почвы данного региона. Радикальные изменения произошли также и в технологии производства продуктов питания: одни продукты рафинируются и обезжириваются, другие обогащаются витаминами, микроэлементами, биологически активными добавками. Все эти процессы самым непосредственным образом сказываются на составе потребляемых продуктов питания и, в конечном итоге, на изменении макро- и микроэлементного баланса в организме человека [1, 2].

Известно, что из 92 встречающихся в природе химических элементов 81 элемент обнаружен в организме человека, 12 из них являются основными или «структурными» и составляют 99 % от всех имеющихся в организме элементов. К этим элементам относятся Н, О, N, P, S, Cl, Ca, K и др. На долю остальных элементов приходится 1 %, и именно они получили название «микроэлементы». По степени жизненной необходимости микроэлементы подразделяются [3, 4] на эссенциальные (Fe, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Se, Mn, Mg),

условно-эссенциальные (Br, B, F, Li, Ni, V, Si), токсичные (Al, As, Cd, Pb, Sb, Hg, Be, Bi, Tl) [5] и остальные, действие которых на организм человека в настоящее время достоверно не определено. Микроэлементы не участвуют в энергетическом обмене организма, но именно они управляют процессами обмена веществ, поддерживают физическую и химическую целостность клеток и тканей путем сохранения характерных биоэлектрических потенциалов. Именно микроэлементам принадлежит основная роль в активности ферментных процессов, необходимых для жизни. Вот почему их недостаток, так же как и избыток, незамедлительно сказывается на здоровье человека.

Сложность проблемы классификации микроэлементов (МЭ) состоит в том, что эссенциальные МЭ при определенных условиях могут вызывать токсические реакции, а отдельные токсичные МЭ при определенной дозировке и экспозиции могут обнаруживать полезные свойства и даже оказаться незаменимыми [6, 7]. В организме осуществляется подвижный баланс элементов, который достигается с помощью взаимосвязанных процессов — избирательного поглощения, избирательного депонирования в органах и клетках, избирательной утилизации. Нарушение этого баланса может быть обусловлено внутренними (генетическими) и внешними (экология, питание) причинами и приводит к различным патологиям. При патологиях, связанных с первой группой (эссенциальные МЭ), человек сталкивается, как правило, с заболеваниями, вызванными недостаточностью их поступления. При нарушениях, связанных с третьей группой (токсичные МЭ), патологии обычно обусловлены избыточностью поступления. Основным путем проникновения микроэлементов в организм человека является желудочно-кишечный тракт — тонкий кишечник, 12-перстная кишка [8–11]. Поэтому как недостаточность, так и избыточность поступления МЭ в организм человека в основном (за исключением специфических профессиональных воздействий) связана с особенностями питания. Очевидно, что воздействие на организм человека практически никогда не бывает моноэлементным. Известно, что МЭ обладают широким спектром синергических и антагонистических взаимодействий. Известны сотни двухсторонних и трехсторонних взаимодействий между эссенциальными и токсичными МЭ. Это многообразие взаимодействий создает базу, на основе которой развивается дисбаланс микроэлементного гомеостаза. Все это показывает необходимость определения концентраций как можно более широкого спектра микроэлементов в потребляемых продуктах питания и питьевой воде. Такими возможностями обладают ядерно-физические аналитические методы, хорошо зарекомендовавшие себя в проведении многоэлементного анализа экологических и биологических образцов (нейтронный активационный анализ, масс-спектрометрия со связанной плазмой, атомная абсорбционная спектрометрия, рентгеновские методы анализа и др.).

Целью данной работы является оценка влияния геолого-экологических факторов на микроэлементный состав продукции сельского хозяйства, опре-

деление макро- и микроэлементного состава основных продуктов питания и оценка необходимого и реального поступления этих элементов в организм человека с различными рационами питания.

Для достижения этой цели в процессе данной работы решались следующие задачи:

— оценка современного состояния загрязнения почвы и поверхностных вод тяжелыми и токсичными металлами конкретных промышленных узлов с учетом специфики производства;

— определение степени воздействия эколого-геохимических факторов на микроэлементный состав сельскохозяйственной продукции;

— количественная и качественная оценка основных рационов питания населения;

— определение макро- и микроэлементного состава основных продуктов питания, потребляемых населением;

— оценка поступления макро- и микроэлементов в организм человека при использовании различных рационов питания;

— определение элементного состава питьевой воды в системе водоснабжения;

— оценка поступления макро- и микроэлементов в организм человека с питьевой водой.

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1.1. Объекты исследования. В соответствии с поставленными задачами исследования проводились на трех различных территориях с принципиально разными типами техногенного воздействия. К первому типу территорий относится Астраханский регион, где ведется поливное растениеводство. Водозабор для полива осуществляется непосредственно из р. Волги, поэтому все техногенные загрязнители, «обогатившие» реку при прохождении через промышленную агломерацию центрального региона России, могли быть обнаружены в поливной воде и, соответственно, в продукции растениеводства. При этом следует учитывать, что загрязненность воды р. Волги тяжелыми и токсичными металлами по предварительным данным носит достаточно умеренный характер [12].

Ко второму типу территорий относится регион интенсивного сельскохозяйственного земледелия Хелуан (Helwan) в дельте р. Нила (Египет), расположенный в непосредственной близости от промышленного и транспортного мегаполиса Каира. В этом случае полив осуществлялся сточными водами сталелитейных, металлообрабатывающих, строительных, текстильных и др. промышленных предприятий, т. е. полив ведется фактически неочищенными сточными водами этих предприятий.

К третьему типу относятся сильно загрязненные почвы г. Белово Кемеровской области. В черте г. Белово расположен один из старейших в России цинковый завод, основанный в 1930 г. За время своей деятельности завод выбросил в атмосферу сотни тонн свинца, цинка и кадмия, которые образовали в окружающих почвах мощные геохимические аномалии. Именно на этих почвах расположено большинство приусадебных участков жителей города, которые выращивают картофель, овощи и фрукты. Полив на этих участках осуществлялся водопроводной и колодезной водой.

1.2. Проведение опыта сортовой селекции на искусственно загрязненной почве. Известно, что процесс накопления тяжелых металлов растениями зависит от нескольких факторов: генетических особенностей вида и сорта растения, доступности для растения соединения металла (наличия подвижных форм металла в почве), дозы поступления и времени экспозиции. Поэтому для того чтобы оценить пороговые значения концентраций токсичных металлов в почве для жизнедеятельности растений, нами был проведен опыт на искусственно загрязненных почвах. Опыт проводился в открытом грунте на дерново-подзолистых суглинистых почвах полигона Всероссийского научно-исследовательского института селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИССОК) (Одинцовский р-н Московской области) при ежедневном одноразовом поливе без применения минеральных удобрений, пестицидов и гербицидов. Погодные условия в годы проведения опыта отличались от среднегодовых показателей, однако в целом их можно охарактеризовать как благоприятные для роста и развития возделываемых культур [13, 14]. При проведении опыта использовались шесть сортов салата: «Азарт», «Алекс», «Изумрудный», «Московский парниковый», «Подмосковье», «Новогодний» и девять сортов шпината: «Old Dominion», «Mona Liza», «Garant», «Prickly Large», «Юань Ли Боцай», «Нафис», «Butterflay», «Жирнолистный», «Стоик» (ВНИИССОК и образцы коллекции ВНИИР). В качестве техногенных искусственных токсиантов использовались Cd и Pb. Изменение концентрации Cd и Pb в почве создавали путем полива растворимыми соединениями ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) в различных дозах. Для каждого вида растительности были использованы пять значений концентраций соединений этих металлов.

1.3. Накопление тяжелых и токсичных металлов грибами. Грибы — это большая группа эукариотных гетеротрофных организмов, выделенных в отдельное царство (Mycota, или Fungi), занимающее промежуточное положение между царствами животных и растений. Грибы используют готовые органические соединения субстрата (опада, гумуса) в качестве источника питания и биосинтеза новых соединений. Простые соединения перемещаются в клетке непосредственно через мембраны, а более сложные соединения разлагаются на мономеры с помощью внеклеточных ферментов [15–17]. Существуют сведения о связывании Zn органическими соединениями в метаболизме грибов, о включении Co в молекулу B_{12} при синтезе этого витамина, описываются

также случаи избирательного накопления токсичных металлов (например селена, свинца, кадмия, ртути) некоторыми видами грибов [18–20]. С учетом многочисленных литературных данных сам факт высокой концентрации различных микроэлементов в грибах не вызывает сомнения. На этом основании сложилось устойчивое мнение о грибах как накопителях или концентраторах тяжелых и токсичных металлов. Именно здесь в применении терминов «накопление» и «концентрация» кроется, по мнению авторов, существенное противоречие. Действительно ли имеет место процесс накопления, или высокая концентрация микроэлементов объясняется какими-либо другими причинами? Для выяснения этого вопроса нами исследовался микроэлементный состав представителей группы базидиомицетов (*Basidiomycota*), поскольку эта группа включает подавляющее большинство грибов, употребляемых человеком в пищу.

1.4. Отбор образцов. При проведении работ отбирались образцы почв, воды поверхностных водотоков, широкого круга продуктов и рационов питания, а также питьевой воды. Почвенный покров является наиболее устойчивой средой, депонирующей загрязнители неорганического происхождения и характеризующей уровни их накопления и площади распространения. Программа обследования почвы определяется целями и задачами исследования с учетом санитарно-эпидемиологического состояния района, уровня и характера техногенной нагрузки, условий землепользования. Размер сети опробования может изменяться в зависимости от масштаба картирования, характера использования территории, требований к определению уровня загрязнения, а также характеризоваться изменчивостью концентраций загрязнителя на отдельных участках обследуемых территорий.

В нашем случае отбор проб почв осуществлялся по сети с шагом 350–500 м (4–6 проб на 1 км²). Для выделения территорий с максимальной степенью загрязнения сеть опробования может сгущаться до 25–30 проб/км² с расстоянием между точками отбора около 200 м. Отбирались пробы весом 200–300 г из верхнего горизонта (0–5 см) по методу «конверта» путем усреднения материала не менее 4–5 частных проб [21]. Пробы высушивались до воздушно-сухого состояния, просеивались через сито с диаметром отверстий 1 мм и истирались.

1. При изучении техногенных потоков отбор и обработка проб воды и взвешенного материала является наиболее сложной задачей. На больших реках возможен отбор проб с различных горизонтов. Пробы берутся по трем вертикалям (на стержне и ближе к берегам) с трех уровней (поверхностный, срединный и придонный) с применением различных видов винипластовых батометров, хорошо известных и описанных в литературе [22, 23]. Общим требованиям, предъявляемым к сосудам и емкостям для транспортировки и хранения проб, лучше всего отвечает посуда, изготовленная из прозрачного, химически стойкого стекла. Более практична, особенно на этапе

отбора и транспортировки проб, полиэтиленовая посуда. Емкости и приборы для отбора и транспортировки проб тщательно моются концентрированной соляной кислотой. Для обезжиривания используются синтетические моющие средства. Остатки использованного реактива полностью удаляют путем тщательной промывки емкостей водопроводной и дистиллированной водой. Подобную процедуру рекомендуется проводить периодически. При отборе пробы емкости следует предварительно несколько раз ополаскивать исследуемой водой. После отбора и доставки водных проб в лабораторию они немедленно фильтруются. Это производится для разделения растворенных и взвешенных форм химических элементов. Фильтрацию проводят на специальных воронках из оргстекла в вакууме или под давлением инертного газа. Перед началом фильтрации проба воды тщательно перемешивается. Эта процедура, необходимая для усреднения распределения взвесей, повторяется перед каждым наполнением воронки. Для последующих расчетов точно фиксируется объем воды, пропускаемый через фильтр. После предварительной обработки водных проб образуются: взвесь на фильтрах, которые высушиваются и хранятся в чашках Петри; отстой или сепарационная взвесь (хранятся в пакетиках из кальки или бюксах) и фильтрат — та часть воды, которая прошла через фильтры. Взвесь на фильтрах, отстой и сепарационная взвесь не требуют немедленного анализа и могут храниться в соответствующих условиях (прохладное темное место). Даже кратковременное хранение проб фильтрата без необходимых предосторожностей может привести к заметным изменениям концентраций и форм химических элементов. Главное требование к фильтрату — немедленное проведение анализов, которые не могут без существенных потерь долго находиться в пробах.

Отбор проб продуктов питания производился из розничной торговой сети, личных и фермерских хозяйств областей средней полосы России. Каждый из образцов отбирался в различных местах в общем количестве 10–30 проб. Всего было отобрано около 2000 индивидуальных проб. Отбор овощных культур, фруктов и ягод осуществлялся непосредственно в местах их произрастания и из розничной торговой сети. Отбор плодовых тел грибов осуществлялся в местах их произрастания в Московской, Калужской, Тверской, Горьковской, Тульской, Воронежской областях, Беломорском государственном заповеднике и в Карелии. Отбирались образцы *Boletus edulis*, *Leccinum scabrum*, *Leccinum aurantiacum*, *Suillus luteus*, *Russula vesca*, *Lactarius torminosus*, *Paxillus involutus*, *Cantharellus cibarius*, *Armillariella mellea*, *Agaricus bisporus*, *Agaricus campestris*, *Pleurotus ostreatus*.

Образцы мяса, мясных продуктов, морской рыбы, молочных продуктов, хлеба, круп отбирались в торговой розничной сети гг. Москвы, Подольска, Калуги, Гусь-Хрустального и некоторых других городов европейской части России. Речная рыба частично отбиралась из розничной торговой сети, частично вылавливалась в р. Оке, р. Москве, р. Осетре, верховьях и низовьях

р. Волги и р. Ахтубы. Образцы продуктов питания отбирались в полиэтиленовые пакеты типа зип-лок, очищались от внешних загрязнений, промывались дистиллированной водой, высушивались при температуре 60 °С и измельчались до размера < 1 мм. Пробы, подготовленные таким образом, поступали на анализ. Общий список и количество отобранных образцов продуктов питания приводятся в табл. 1.

Таблица 1. Список образцов продуктов питания

№ пп	Продукт	Количество образцов	№ пп	Продукт	Количество образцов
Крупы, хлеб			36	Слива	9
1	Овес зерно	10	37	Цитрусовые	32
2	Овес хлопья	11	38	Бананы	15
3	Гречневая крупа	12	39	Клюква	10
4	Рис	18	40	Клубника	16
5	Пшено	9	41	Земляника	6
6	Манка	7	42	Жимолость	17
7	Макароны	12	43	Малина	10
8	Пшеница зерно	7	44	Смородина	16
9	Пшеничная мука	5	45	Вишня	8
10	Хлеб пшеничный	9	46	Крыжовник	10
11	Рожь зерно	5	Грибы		
12	Мука ржаная	6	47	Белый	29
13	Хлеб ржаной	11	48	Подберезовик	20
Овощи, зелень, бобовые культуры			49	Подосиновик	11
14	Картофель	63	50	Маслята	7
15	Свекла	24	51	Рыжик	5
16	Капуста	22	52	Опята	13
17	Китайская капуста	10	53	Свинushка	12
18	Редис	11	54	Лисичка	17
19	Редька	21	55	Сыроежка	15
20	Баклажаны	9	56	Волнушка	6
21	Томаты	26	57	Шампиньон	21
22	Морковь	57	58	Вешенка	11
23	Кукуруза	18	59	Шампиньон агрофирма	11
24	Шпинат	19	60	Вешенка агрофирма	10
25	Петрушка	22	Рыба, морепродукты		
26	Лук репчатый	15	61	Щука	7
27	Чеснок	9	62	Жерех	6
28	Салат	24	63	Чехонь	7
29	Укроп	20	64	Сазан	6
30	Фасоль	13	65	Плотва	7
31	Чечевица	5	66	Лещ	9
32	Горох	5	67	Судак	5
33	Соя	16	68	Сом	5
Фрукты, ягоды			69	Синец	5
34	Яблоко	19	70	Окунь речной	9
35	Груша	17	71	Треска	11

Окончание табл. 1

№ пп	Продукт	Количество образцов	№ пп	Продукт	Количество образцов
72	Сельдь	5	84	Рубец говяжий	9
73	Кефаль	7	85	Печень говяжья	13
74	Окунь морской	6	86	Почки говяжьи	11
75	Камбала	5	87	Сердце говяжье	17
76	Минтай	10	88	Легкое говяжье	7
77	Ледяная	6	89	Куриные яйца	12
78	Креветки	14	90	Сосиски	28
79	Кальмар	5	Молочные продукты, кофе, чай, сахар		
Мясо, субпродукты			91	Сухое молоко	10
80	Говядина мясо	23	92	Молочные продукты	15
81	Свинина мясо	18	93	Кофе	30
82	Куриное мясо	15	94	Чай	39
83	Мясо индейки	13	95	Сахар	11

1.5. Анализ образцов. Анализ микроэлементного состава отобранных образцов осуществлялся в лаборатории Геологического института РАН (Москва) и ЛНФ ОИЯИ (Дубна) с помощью нейтронно-активационного, атомно-абсорбционного и рентгеноспектрального методов.

Инструментальный нейтронный активационный анализ (ИНАА) по короткоживущим радионуклидам проводился на исследовательском реакторе ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ. Наведенная активность измерялась с помощью спектрометров на основе детекторов из сверхчистого германия большого объема фирмы «Canberra» с энергетическим разрешением 1,3 кэВ по линии 1332 кэВ ^{60}Co [24].

Анализ по долгоживущим радионуклидам проводился на реакторе ИРТ МИФИ. Наведенная активность измерялась с использованием спектрометров на основе детекторов GEM 25185 фирмы «Ortec» с энергетическим разрешением 1,85 кэВ по линии 1332 кэВ ^{60}Co [25].

С помощью этих двух разновидностей ИНАА определялось содержание Mg, Cl, Na, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Se, Br, Rb, Mo, Ag, Sb, I, Cs, La, Au, Hg, Th.

Атомно-абсорбционный анализ осуществлялся с помощью атомно-абсорбционного спектрометра «Квант-2А» (КОРТЭК, Москва), укомплектованного дейтериевым корректором неселективного поглощения и соответствующими лампами с полым катодом. Определение тяжелых металлов в образцах проводили в соответствии с требованиями стандартизованных методик [26–29]. Определение Zn, Pb, Cu и Cd проводили в пламени «пропан–воздух», Fe, Mn и Ni — в пламени «ацетилен–воздух». В качестве образцов сравнения в обоих случаях применяли стандартные образцы IAEA-SOIL-7, IAEA-336 (Lichen), SRM 1572 (Citrus Leaves) и SRM 1575 (Pine Needles).

Рентгеноспектральный анализ проводился с использованием последовательного волнового XRF-спектрометра «S4 Pioneer» Bruker AXS. Обработка полученных результатов осуществлялась с помощью пакета программ «S4 Spectra Plus». Этим методом в почвах определяли концентрации Ca, Mn,

Таблица 2. Пределы определения элементов, мг/кг (воздушно-сухой вес)

Элемент	Грунт, почва			Растения, продукты питания	
	ИНАА	РФА	АА	ИНАА	АА
Na	10	50	—	5	—
Mg	100	20	—	50	—
Cl	50	—	—	20	—
K	150	10	—	100	—
Ca	300	4	—	100	—
Sc	0,005	3	—	0,001	—
Ti	100	3	—	100	—
V	50	2	—	30	—
Cr	0,5	5	—	0,1	—
Mn	1	2	0,1	0,5	0,1
Fe	50	5	2	30	2
Co	0,1	0,7	0,5	0,05	0,5
Ni	—	3	0,5	—	0,5
Cu	10	7	0,1	5	0,1
Zn	5	2	2	1	2
As	0,05	3	0,1*	0,01	0,1*
Se	0,5	—	0,1*	0,1	0,1*
Br	0,5	—	—	0,1	—
Rb	5	1,5	—	1	—
Sr	50	1	—	10	—
Mo	0,5	1,5	—	0,1	—
Ag	0,5	—	—	0,2	—
Cd	2	—	0,05	1	0,05
Sb	0,05	—	—	0,01	—
Cs	0,1	—	—	0,05	—
La	0,5	6	—	0,1	—
Ce	1	10	—	0,5	—
Hf	0,05	—	—	0,05	—
Ta	0,2	—	—	0,1	—
W	0,5	—	—	0,2	—
Au	0,005	—	—	0,001	—
Hg	0,05	—	—	0,01	—
Pb	—	3	0,5	—	0,5
Th	0,1	2	—	0,1	—
U	0,5	2	—	0,5	—

* Атомно-абсорбционный анализ с генерацией гидридов.

Ni, Cu, Zn, Rb, Ba, Pb, Th и U. Пределы определения некоторых макро- и микроэлементов, полученные в результате проведения аналитических работ, для почвы, растений и продуктов питания приводятся в табл. 2.

Контроль качества и достоверности полученных результатов осуществлялся с помощью анализа зашифрованных стандартных образцов. Качество и достоверность аналитических работ систематически подтверждались в ходе аналитических тестов в рамках программ международного сотрудничества [30–32].

2. ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

2.1. Воздействие техногенных факторов. Оценка поступления тяжелых и токсичных металлов в организм человека с продуктами питания является важной составляющей экологического мониторинга и различных систем оценки риска возникновения неинфекционных заболеваний. Тяжелые металлы попадают в продукты питания в результате выращивания их на загрязненных землях или использования в животноводстве кормов, выращенных на этих землях. Особенно это относится к территориям, расположенным в низовьях крупных рек, где осуществляется поливное земледелие. Вода в реках, протекающих через промышленно развитые районы, оказывается «обогащенной» целой гаммой всевозможных загрязнителей, в том числе тяжелыми и токсичными металлами [33–36]. Тяжелые металлы содержатся также и в сельскохозяйственной продукции, поставляемой личными приусадебными хозяйствами. Известно, что около 90 % всего картофеля и 40–70 % всех овощей в России производится на личных приусадебных участках. Эти участки, как правило, расположены вблизи городов на бросовых землях, а часто и в зонах непосредственного техногенного воздействия. Конечно, продукция, которая закупается государством и поступает на рынок, проходит санитарный контроль, однако этот контроль касается, как правило, лишь содержания нитратов, нитритов и общей радиоактивности. Проведение контроля содержания тяжелых металлов значительно сложнее из-за трудоемкости аналитических методик. Кроме того, та часть продукции с приусадебных участков, которая идет в личное потребление, не контролируется вообще.

В табл. 3 приведены данные о содержании тяжелых металлов в воде для полива сельскохозяйственных угодий в исследуемых регионах. Содержание тяжелых металлов в воде, используемой для полива в Астраханской области, отвечает даже достаточно жестким требованиям, применяемым для питьевой воды. В г. Белово эти требования превышает лишь содержание Fe. В регионе Хелуан (Египет) наблюдаются очень высокие концентрации Cr, Fe, Ni, Cd

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в воде для полива в исследуемых регионах, мг/л

Элемент	Дельта р. Волги	Хелуан	Белово	ПДК
Cr	1,0 ± 0,5	300 ± 20	< 1	100
Fe	190 ± 70	2850 ± 130	700 ± 110	300
Ni	1,8 ± 0,4	290 ± 30	0,7 ± 0,1	100
Cu	3,3 ± 0,5	70 ± 10	2 ± 0,5	1000
Zn	13 ± 4	400 ± 40	30 ± 10	5000
As	2,5 ± 1,5	98 ± 11	0,6 ± 0,15	50
Cd	< 0,2	70 ± 10	0,15 ± 0,1	1
Sb	< 0,1	87 ± 45	< 0,1	30
Hg	0,8 ± 0,2	1,7 ± 1,1	0,08 ± 0,05	0,5
Pb	< 2	400 ± 30	1,1 ± 0,2	30

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов в почве исследуемых регионов, мг/кг

Элемент	Дельта р. Волги	Хелуан	Белово	ПДК
Cr	70 ± 37	190 ± 55	93 ± 42	—
Fe, %	2,52 ± 1,74	0,63 ± 0,18	3,44 ± 1,01	—
Ni	44 ± 16	106 ± 22	31 ± 9,2	85
Cu	21 ± 14	377 ± 98	189 ± 50	55
Zn	74 ± 42	1612 ± 310	508 ± 20	100
As	5 ± 2,2	22 ± 9,6	12 ± 2,2	2
Cd	< 0,5	28 ± 3,6	3,9 ± 1,9	2
Sb	< 0,01	16 ± 9,3	1,8 ± 1,5	4,5
Hg	0,02 ± 0,02	2,2 ± 0,8	0,22 ± 0,21	2,1
Pb	11 ± 6	334 ± 110	143 ± 120	30

и Pb в поливной воде. По-видимому, именно с этим связаны столь высокие концентрации перечисленных элементов в почве (табл. 4) данного региона, где полив осуществлялся не менее пяти лет.

В табл. 4 приведены данные о содержании тяжелых металлов в почвах Астраханской области, г. Белово и региона Хелуан (Египет), на которых выращивалась сельскохозяйственная продукция. Эти данные показывают, что почва Астраханской области наименее обогащена тяжелыми металлами; приводимые данные существенно ниже ПДК и находятся на уровне фоновых содержаний. В почвах г. Белово концентрации Cr, Fe, As в 1,5–2 раза, а Zn, Cd, Sb, Hg и Pb в 8–10 раз выше, чем в почвах Астраханской области, при этом концентрации Zn превышают ПДК в 5 раз, As в 6 раз, Cd в 1,5 раза, Pb почти в 3 раза. В почвах региона Хелуан содержание тяжелых металлов еще выше (за исключением Fe), их концентрации превышают фоновые содержания: по Ni — 2,5 раза, по Zn — 16 раз, по Cd — 56 раз, по Pb — 33 раза. Причем здесь могут присутствовать любые соединения металлов — оксиды, сульфиды, сульфаты, карбонаты, фосфаты и т. д.

В табл. 5 приведены данные о содержании тяжелых металлов в овощной продукции, произведенной в Астраханской области (все данные пересчитаны на «живой» вес). Эти данные показывают, что сельскохозяйственная продукция в Астраханской области производится в практически фоновых условиях (судя по данным о загрязнении тяжелыми металлами почв и воды для полива) — концентрации содержания хрома, железа, никеля, меди и цинка в основных продуктах питания находятся в пределах нормы.

Таблица 5. Содержание тяжелых металлов в основных продуктах питания, Астрахань, мг/кг

Элемент	Хлеб пшеничный	Хлеб ржаной	Макароны
Cr	0,17 ± 0,14	< 0,006	0,42 ± 0,06
Fe	55 ± 38	63 ± 6,4	52 ± 17
Ni	0,16 ± 0,04	0,26 ± 0,09	< 0,09
Cu	1,6 ± 0,25	2 ± 0,06	< 0,006
Zn	12 ± 7,6	15 ± 6,1	16 ± 5,2
As	< 0,006	< 0,006	0,02 ± 0,007
Cd	0,02 ± 0,003	0,012 ± 0,003	< 0,006
Sb	0,05 ± 0,01	0,06 ± 0,004	0,07 ± 0,02
Hg	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Pb	0,22 ± 0,1	0,12 ± 0,05	< 0,006
	Мясо	Почки говяжьи	Рыба
Cr	0,15 ± 0,03	0,05 ± 0,008	0,04 ± 0,008
Fe	51 ± 12	65 ± 14	9,3 ± 1,7
Ni	0,07 ± 0,02	0,19 ± 0,04	0,12 ± 0,02
Cu	1,2 ± 0,08	1,72 ± 0,33	0,92 ± 0,29
Zn	68 ± 13	18 ± 2,3	8,1 ± 5,8
As	0,08 ± 0,02	0,04 ± 0,008	0,09 ± 0,02
Cd	0,019 ± 0,02	0,042 ± 0,016	0,012 ± 0,006
Sb	0,01 ± 0,003	0,006 ± 0,003	0,036 ± 0,007
Hg	0,05 ± 0,013	0,011 ± 0,005	0,1 ± 0,01
Pb	0,06 ± 0,01	0,29 ± 0,09	0,06 ± 0,02
	Яйцо куриное	Картофель	Капуста
Cr	< 0,006	< 0,006	0,04 ± 0,01
Fe	39 ± 6,5	12,9 ± 9,8	14,8 ± 2,9
Ni	0,07 ± 0,03	0,09 ± 0,06	0,01 ± 0,008
Cu	0,96 ± 0,13	0,78 ± 0,66	0,54 ± 0,45
Zn	25 ± 4,8	5,7 ± 2,2	2 ± 1,1
As	0,12 ± 0,03	0,011 ± 0,005	< 0,006
Cd	< 0,006	0,011 ± 0,004	0,004 ± 0,001
Sb	< 0,006	0,02 ± 0,006	< 0,006
Hg	< 0,006	< 0,006	0,009 ± 0,004
Pb	< 0,006	0,12 ± 0,05	0,15 ± 0,1

Окончание табл. 5

Элемент	Свекла	Томаты	Баклажаны
Cr	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Fe	21 ± 8,7	5,6 ± 1,3	3,7 ± 1,5
Ni	0,004 ± 0,002	0,039 ± 0,012	0,018 ± 0,003
Cu	0,6 ± 0,35	0,23 ± 0,14	0,15 ± 0,03
Zn	2,6 ± 0,9	0,7 ± 0,5	1,9 ± 0,9
As	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Cd	< 0,006	0,011 ± 0,01	< 0,006
Sb	< 0,006	0,006 ± 0,004	0,004 ± 0,001
Hg	0,006 ± 0,003	0,004 ± 0,002	< 0,006
Pb	0,06 ± 0,01	0,03 ± 0,018	0,02 ± 0,006
	Перец	Огурцы	Рис
Cr	0,06 ± 0,02	0,012 ± 0,01	0,16 ± 0,03
Fe	11 ± 5,8	7,3 ± 3,3	137 ± 14
Ni	0,031 ± 0,011	0,015 ± 0,01	0,33 ± 0,21
Cu	0,015 ± 0,02	0,26 ± 0,11	3,6 ± 0,31
Zn	1 ± 0,4	0,8 ± 0,1	18 ± 11
As	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Cd	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Sb	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Hg	0,003 ± 0,001	< 0,006	< 0,006
Pb	0,03 ± 0,014	0,03 ± 0,01	1,58 ± 0,75
	Сорго	Люцерна	Ячмень
Cr	0,38 ± 0,09	0,32 ± 0,12	0,09 ± 0,04
Fe	94 ± 22	55 ± 20	112 ± 25
Ni	0,028 ± 0,015	0,023 ± 0,017	0,51 ± 0,32
Cu	1,6 ± 0,56	1,2 ± 0,53	3,7 ± 1,3
Zn	17 ± 7,7	4,5 ± 1,2	10,2 ± 5,2
As	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Cd	< 0,006	< 0,006	0,027 ± 0,016
Sb	0,038 ± 0,011	< 0,006	< 0,006
Hg	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Pb	0,08 ± 0,016	0,2 ± 0,087	1,11 ± 0,47

Тем не менее следует отметить превышение ПДК [37, 38] по мышьяку в куриных яйцах и высокое содержание этого металла в мясе и рыбе. Следует отметить также превышение ПДК по кадмию в говяжьих почках, превышение ПДК по ртути в рыбе и высокое содержание этого металла в говяжьих почках. В сельскохозяйственной продукции Астраханской области следует отметить повышенное содержание практически всех исследуемых металлов в рисе; причем по цинку и свинцу в этом продукте наблюдается превыше-

ние ПДК. Причина этого, скорее всего, связана со спецификой выращивания (применение удобрений и ядохимикатов) или промышленной обработкой риса, так как ни в почве, ни в воде для полива не наблюдается повышенного содержания этих элементов. В кормах, производимых в регионе, отмечается высокое содержание цинка в сорго, цинка, кадмия и свинца в ячмене.

Что касается данных о содержании тяжелых металлов в продуктах сельского хозяйства, производимых в г. Белово (табл. 6), то прежде всего следует отметить достаточно низкое, даже по сравнению с продукцией Астраханской области, содержание таких элементов, как хром, железо, никель, медь, цинк и свинец во всех изучаемых продуктах. Единственным элементом, содержание которого превышает ПДК, является Cd, несмотря на то, что концентрация этого металла в почве достаточно низкая (см. табл. 4). Причем следует отметить, что это наблюдается именно в корнеплодах — концентрация Cd в свекле превышает ПДК почти в 2 раза, в картофеле более чем в 3 раза, а в моркови в 4,5 раза. Известно, что соединения кадмия обладают значительно большей подвижностью в почвенных растворах. Этот элемент легко извлекается из почв растениями, его содержание в растениях в основном зависит от количества подвижных форм в почве, и именно этим объясняется его высокое содержание в корнеплодах.

Таблица 6. Содержание тяжелых металлов в сельскохозяйственных продуктах, г. Белово, мкг/г

Элемент	Картофель	Капуста	Свекла	Томаты	Морковь	ПДК
Cr	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,007	0,04 ± 0,04	0,01 ± 0,004	0,03 ± 0,02	0,2
Fe	4,1 ± 1	3,7 ± 1,1	3,7 ± 3,2	2,3 ± 0,8	2,5 ± 0,5	—
Ni	< 0,006	< 0,006	< 0,006	0,05 ± 0,02	0,06 ± 0,03	—
Cu	0,62 ± 0,3	0,3 ± 0,06	1,1 ± 0,22	0,45 ± 0,08	0,44 ± 0,12	5
Zn	3,4 ± 0,9	4,1 ± 0,8	7,1 ± 6,8	1,5 ± 0,4	6,1 ± 3,5	10
As	0,01 ± 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	0,01 ± 0,002	0,2
Cd	0,1 ± 0,07	0,01 ± 0,008	0,06 ± 0,054	0,02 ± 0,01	0,13 ± 0,07	0,03
Sb	0,01 ± 0,009	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	0,3
Hg	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	0,02
Pb	0,05 ± 0,03	0,09 ± 0,05	0,02 ± 0,015	0,08 ± 0,06	0,08 ± 0,06	0,5

Если судить по данным, приведенным в табл. 4, основным загрязнителем в данном регионе является Pb. Тем не менее превышения ПДК по Pb в овощах не обнаружено. Видимо, здесь также имеет большое значение подвижность соединений элемента в почвенных растворах — соединения Pb менее подвижны, чем соединения Cd. Различия в накоплении Pb корнеплодами и листовыми культурами показаны на рис. 1.

На этом рисунке видно, что концентрация Pb в картофеле и свекле незначительна и практически не меняется в зависимости от расстояния до источ-

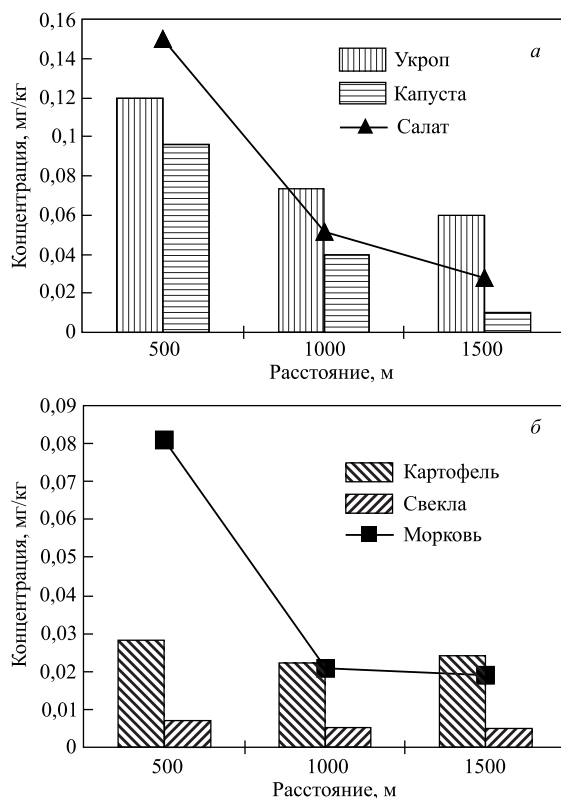


Рис. 1. Концентрация Pb в листовых культурах (а) и корнеплодах (б) в зависимости от расстояния до предприятия

ника загрязнения, в то время как концентрация в листовых культурах меняется в 2–10 раз. Эта разница объясняется тем, что надземные части растения могут аккумулировать Pb, поступающий с аэрозольной составляющей атмосферных выпадений, в то время как соединения Pb в почве малоподвижны и не попадают в корнеплоды.

В целом можно заключить, что ситуация с загрязнением сельскохозяйственной продукции тяжелыми и токсичными металлами в этих двух регионах России достаточно благополучная. Это объясняется тем, что вода, используемая для полива сельскохозяйственных угодий, достаточно чистая, а сами тяжелые металлы находятся в почве в слабо подвижных формах. Более высокая подвижность какого-либо из металлов приводит к повышенным его концентрациям в корнеплодах. Яркой иллюстрацией этого служит превышение ПДК по кадмию в свекле и моркови в г. Белово. Еще более убедитель-

ным подтверждением этого является ситуация, возникшая в регионе Хелуан (Египет).

Как уже было отмечено, в этом случае полив осуществлялся сточными водами промышленных предприятий — сталелитейных, металлообрабатывающих, строительной индустрии, транспортных и т.д. Т.е. полив осуществлялся фактически неочищенными сточными водами предприятий, что подтверждают данные табл. 3. Очевидно, что тяжелые и токсичные металлы находятся в этих водах в основном в водорастворимых и доступных для растения формах. В табл. 7 приведены данные о содержании тяжелых металлов в сельскохозяйственной растительности, выращенной в регионе Хелуан. Следует отметить очень высокие уровни содержания Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu и Zn в фасоли, баклажанах, чесноке, луке, пшенице и редисе. Особенно выделяется пшеница, где ПДК превышаются по цинку в 17 раз, по меди — в 2,8 раза, по свинцу — 6 раз, а по кадмию почти в 40 раз. Из токсикантов 1-го класса в табл. 7 представлены кадмий и свинец. ПДК этих элементов не превышены только в баклажанах, оливках и инжире.

Анализ данных, представленных выше, позволяет сделать вывод о том, что при оценке накопления тяжелых и токсичных металлов сельскохозяй-

Таблица 7. Содержание тяжелых металлов в продуктах питания, Хелуан (Египет), мкг/г

Элемент	Фасоль	Редис	Перец	Кукуруза	Подсолнечник	Пшеница
Cr	0,95 ± 0,73	0,21 ± 0,15	0,046 ± 0,03	0,24 ± 0,11	0,29 ± 0,2	1,6 ± 0,93
Mn	30 ± 19	14 ± 8,6	2,8 ± 1,3	8,2 ± 3,6	28 ± 6,9	141 ± 87
Fe	87 ± 32	46 ± 15	13 ± 3,3	27 ± 15	70 ± 29	340 ± 120
Co	3,2 ± 0,8	2,1 ± 0,6	0,28 ± 0,13	0,71 ± 0,43	3,1 ± 1,7	1,7 ± 0,9
Ni	6,9 ± 4,5	3,8 ± 2,2	0,7 ± 0,23	1,4 ± 0,77	6,5 ± 2,3	10 ± 6,3
Cu	7,4 ± 5,3	4,4 ± 1,8	0,7 ± 0,32	2,8 ± 1,5	7,5 ± 3,3	14 ± 8,2
Zn	52 ± 21	25 ± 13	4,7 ± 2,5	19 ± 16	54 ± 16	170 ± 78
Cd	0,28 ± 0,11	0,28 ± 0,12	0,05 ± 0,04	0,16 ± 0,11	0,51 ± 0,32	1,11 ± 0,63
Pb	2,2 ± 0,9	2,3 ± 0,96	0,4 ± 0,15	1,4 ± 0,8	2 ± 1,2	3,2 ± 1,3
	Чеснок	Лук	Баклажан	Огурцы	Оливки	Инжир
Cr	0,14 ± 0,09	0,22 ± 0,19	0,02 ± 0,01	0,011 ± 0,006	0,03 ± 0,02	0,04 ± 0,02
Mn	13 ± 6,6	18 ± 12	2,3 ± 1,5	4,5 ± 1,2	2,8 ± 2,2	10 ± 3,2
Fe	50 ± 21	70 ± 25	7,4 ± 2,6	11 ± 1,3	7,5 ± 2,2	25 ± 4,6
Co	1,1 ± 0,7	1,1 ± 0,5	0,15 ± 0,08	0,23 ± 0,11	0,2 ± 0,15	0,86 ± 0,36
Ni	2,6 ± 1,2	3,1 ± 2,2	0,35 ± 0,16	0,43 ± 0,15	0,41 ± 0,16	1,6 ± 0,96
Cu	2,7 ± 0,8	3,3 ± 1,2	0,4 ± 0,18	0,5 ± 0,35	0,7 ± 0,35	1,8 ± 1,2
Zn	19 ± 11	21 ± 8,9	3,4 ± 1,2	5,8 ± 4,6	6,4 ± 2,3	14 ± 6,3
Cd	0,21 ± 0,09	0,27 ± 0,11	0,03 ± 0,02	0,06 ± 0,04	0,03 ± 0,02	0,015 ± 0,01
Pb	1,2 ± 0,7	1,1 ± 0,62	0,2 ± 0,15	0,3 ± 0,19	0,3 ± 0,19	0,6 ± 0,25

ственной растительностью наиболее важным фактором является наличие в почве подвижных форм этих металлов. При этом остаются открытыми вопросы о том, как меняется концентрация подвижных форм металлов при изменении их валовой концентрации в почве, как соотносятся концентрации металлов в растении с их концентрациями в почве и до какого предела происходит накопление тяжелых металлов растением. Одним из наиболее эффективных способов решения этих вопросов является проведение опыта с искусственно созданным загрязнением почвы.

2.2. Накопление токсичных металлов сельскохозяйственной растительностью в условиях искусственно созданного загрязнения почвы. Защита сельскохозяйственных растений от попадания в них тяжелых и токсичных металлов может осуществляться различными способами: глубоким запахиванием верхнего загрязненного слоя почвы, интенсивным промыванием почвы, внесением в почву адсорбирующих и комплексообразующих соединений, снятием верхнего слоя почвы с последующим его захоронением в специальных могильниках. Все эти способы трудоемки и весьма дорогостоящи. Кроме того, как правило, это приводит к глубокому вмешательству в функционирование естественных и устоявшихся сельскохозяйственных экосистем. Одним из наиболее перспективных способов защиты трофических цепей является способ использования адаптивного потенциала по устойчивости растений к эдафическим факторам внешней среды, поскольку высшие растения, благодаря своим морфологическим и физиологическим свойствам, способны до определенной степени нейтрализовать неблагоприятные факторы воздействия [13]. Информации об избирательной аккумуляции металлов и создании мембранных защитных механизмов растений в настоящее время явно недостаточно. Существуют сведения, что некоторые виды растений аккумулируют токсичные металлы преимущественно в корнях, в то время как концентрация их в листьях остается более или менее постоянной. Имеются также сведения, что при атмосферном воздействии повышается концентрация металлов именно в листьях растения. При проведении опыта в нашем случае концентрация в почве Cd и Pb ступенчато повышалась искусственно с помощью внесения различного количества легкорастворимых соединений этих металлов в виде $Cd(NO_3)_2$ и $Pb(NO_3)_2$.

Опыт по созданию искусственно загрязненной среды, как было сказано выше, проводился в открытом грунте на дерново-подзолистых суглинистых почвах полигона.

В табл. 8 приведены данные о концентрации Cd и Pb в почве при проведении эксперимента. Валовый состав Cd изменялся от 0,4 до 810 мг/кг, подвижные формы составляли в среднем 32,1 % от общей концентрации. Валовый состав Pb изменялся от 97 до 11000 мг/кг. Подвижные формы Pb составляли в среднем 7,8 % от валового состава, что намного меньше, чем подвижные формы Cd.

Таблица 8. Содержание Cd и Pb в почве, мг/кг

№ опыта	Cd, мг/кг		Pb, мг/кг	
	Валовый состав	Подвижная форма	Валовый состав	Подвижная форма
1	0,4	0,13	97	8
2	20	6	390	38
3	90	30	2200	196
4	330	100	8500	500
5	810	280	11000	680
		$C_{п.ф.}/C_{вал.с. ср} = 32,1 \%$	$C_{п.ф.}/C_{вал.с. ср} = 7,8 \%$	

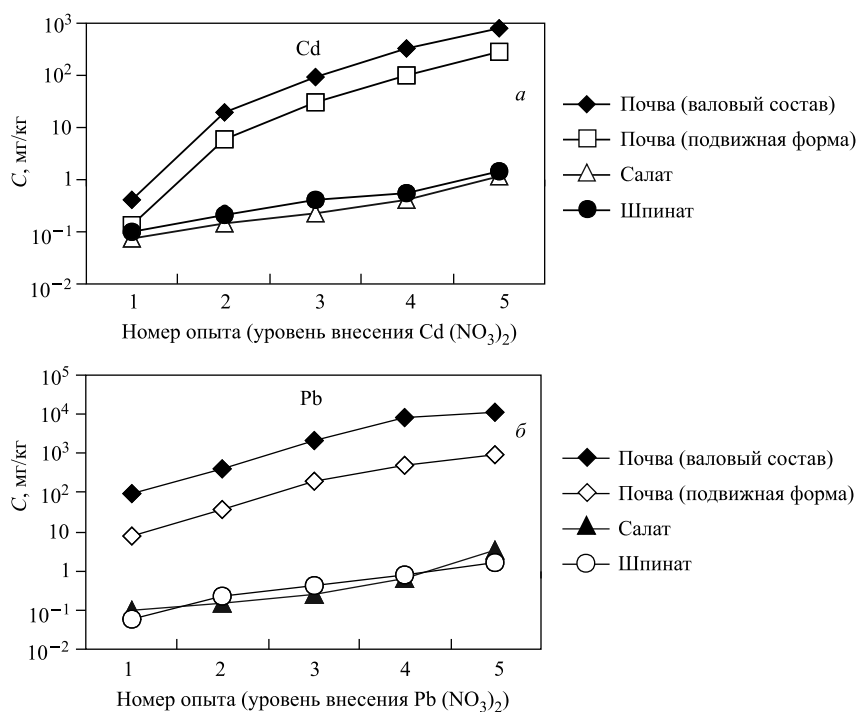


Рис. 2. Распределение Cd (а) и Pb (б) в почве и сельскохозяйственной растительности

На рис. 2 приведены кривые распределения Cd и Pb в почве и листовых сельскохозяйственных культурах. Анализируя данные табл. 8 и кривые рис. 2, необходимо отметить следующие факты:

1) при увеличении валовой концентрации металлов в почве происходит синхронное увеличение концентрации подвижных форм — кривые распре-

деления валовой концентрации и подвижных форм Cd и Pb практически параллельны;

2) концентрация подвижных форм Cd составляет 30–35 % от его валового содержания, Pb — 7–8 %;

3) даже при концентрации Cd, равной 810 ppm, и Pb, равной 11000 ppm, не наблюдается изменения в характере накопления этих металлов салатом и шпинатом.

2.3. Расчет коэффициентов биологического поглощения металлов. Критерием способности растения накапливать микроэлементы в известной мере может служить коэффициент поглощения металла — K_{Π} (concentration factor — CF, у некоторых авторов коэффициент биологического поглощения — КБП) [3, 36]. Этот коэффициент представляет собой отношение концентрации металла в растении к концентрации его в почве:

$$K_{\Pi i} = C_{i \text{ раст}} / C_{i \text{ почва}} \quad (1)$$

Этот коэффициент обычно рассчитывается по отношению к валовому составу металла в почве и воздушно-сухому весу растения, что, по нашему мнению, не совсем корректно. Очевидно, что в этом случае коэффициент не отражает физической сущности процесса поглощения, поскольку ионы металлов поступают в растение из почвенных растворов. Поэтому мы считаем более правильным рассчитывать этот коэффициент относительно концентрации подвижных форм металлов в почве с учетом содержания влаги в растении (на так называемый живой вес). По существу коэффициент, рассчитанный подобным образом, показывает, какую часть подвижных форм соединений металла из почвенных растворов концентрирует в себе растение. Считается, что величина K_{Π} для данного вида растения более или менее постоянна. По величине этого коэффициента и по результатам так называемого корневого теста проводится классификация растений [13, 14] по отношению к накоплению тяжелых и токсичных металлов на накопители, исключители (эксклюдеры) и индикаторы.

Предполагается, что для растений, являющихся по классификации «накопителями», значения K_{Π} должны быть выше 1, для «исключителей» значения K_{Π} должны быть существенно ниже 1, для «индикаторов» K_{Π} должен быть равен или близок к 1.

Однако, как это видно из кривых, представленных на рис. 3, при изменении концентрации металлов в почве значение K_{Π} изменяется в весьма широком диапазоне. Так, значение K_{Π} Cd для салата и шпината при низком содержании в почве близко к 1, однако при увеличении концентрации в почве это значение меняется более чем в 100 раз до значений $K_{\Pi} = 0,004–0,005$. Это означает, что при низкой концентрации Cd в почве растением усваивается из почвенных растворов около 100 % подвижных форм этого металла,

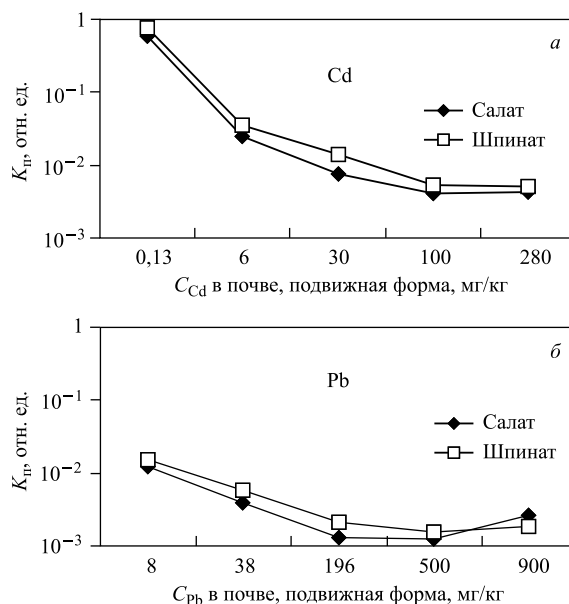


Рис. 3. Изменение коэффициента поглощения ($K_{п}$) Cd (а) и Pb (б) для салата и шпината при различной концентрации подвижных форм этих металлов в почве

а при высокой концентрации всего 0,4–0,5 %. Значение $K_{п}$ Pb для салата и шпината изменяется примерно в 10 раз — от 0,016 до 0,0024. Это означает, что при низкой концентрации Pb в почве растением усваивается из почвенных растворов около 1,6 % подвижных форм этого металла, а при высокой концентрации — 0,2 %.

Анализ этих данных показывает, что использовать коэффициент $K_{п}$ при классификации накопительной способности растений необходимо с осторожностью. При низкой (фоновой) концентрации тяжелых и токсичных металлов в почве его применение, видимо, обосновано, тогда как при высоком уровне загрязнения почвы применение коэффициента $K_{п}$ теряет физический смысл.

В процессе проведения опыта оценивалась сортовая детерминация салата и шпината по устойчивости к воздействию Cd и Pb. В табл. 9 приведены данные о концентрации Cd и Pb в зеленой массе салата и шпината, полученные при проведении опыта.

По этим данным были построены кривые накопления Cd и Pb различными сортами салата и шпината при различном содержании этих металлов в почве (рис. 4).

Анализ этих кривых показывает, что различия в накоплении Cd салатом и шпинатом при концентрации его в почве до 20 мг/кг (10 ПДК) несуще-

Таблица 9. Содержание Cd и Pb в различных сортах салата и шпината, мг/кг сырой массы

Объект	Cd					Pb				
	0,4	20	90	330	810	97	390	2200	8500	11000
Салат										
Азарт	0,05	0,08	0,11	0,42	0,72	0,05	0,08	0,17	0,5	1,1
Алекс	0,08	0,14	0,32	0,6	1,5	0,21	0,24	0,49	1	2,9
Изумрудный	0,04	0,1	0,16	0,27	0,29	0,05	0,05	0,21	0,59	3,9
Московский парниковый	0,08	0,2	0,26	0,28	0,81	0,08	0,15	0,2	0,38	2,2
Подмосковье	0,11	0,18	0,37	0,64	3	0,09	0,17	0,37	0,56	6,1
Новогодний	0,1	0,17	0,16	0,23	2	0,1	0,2	0,13	0,72	3,1
Шпинат										
Old Dominion	0,09	0,18	0,43	0,48	0,83	0,05	0,23	0,43	0,48	1,4
Mona Lisa	0,09	0,23	0,21	0,51	0,6	0,07	0,13	0,21	0,23	0,6
Garant	0,12	0,14	0,67	1,01	1,6	0,08	0,27	0,67	1,01	1,6
Pricky Large	0,08	0,22	0,35	0,54	0,9	0,06	0,23	0,35	0,54	1,4
Юань ли Боцай	0,16	0,25	0,65	0,75	1,2	0,06	0,25	0,47	1,1	2,3
Нафис	0,09	0,14	0,32	0,45	1,1	0,08	0,12	0,54	1,2	2,4
Butterflay	0,08	0,23	0,44	0,4	0,67	0,06	0,23	0,41	0,85	1,9
Жирнолистный	0,13	0,19	0,27	0,26	0,55	0,05	0,24	0,27	0,44	1,1
Стоик	0,08	0,35	0,41	0,42	0,89	0,05	0,24	0,32	0,9	2,3

ственные. При дальнейшем повышении концентрации Cd в почве эти различия становятся значимыми (от 1,5–2,5 раза при 50–100 мг/кг Cd в почве до 3,3–6,5 раз при максимальных концентрациях Cd).

Можно предположить, что при этом содержании Cd в почве защитные механизмы растения не в состоянии больше выполнять свои функции и накопление Cd этими сортами многократно возрастает вплоть до гибели растения. Для сортов, мало накапливающих Cd, ход кривых более пологий, разница в накоплении при низких и высоких концентрациях Cd в почве существенно меньше, а скачок накопления должен быть при более высокой концентрации этого металла в почве. Накопление Pb различными сортами салата и шпината при концентрации его в почве до 1000 мг/кг (33 ПДК) существенных отличий не имеет. При концентрации Pb в почве 2000 мкг/г и выше различия в накоплении становятся более заметными. Скачок в накоплении происходит при концентрации Pb в почве 8000 мг/кг. Представленные кривые достаточно наглядно показывают различия в накоплении Cd и Pb различными сортами салата и шпината. Однако оценка сортовой детерминации в накоплении тяжелых металлов является только частью оценки качества сорта. При комплексной оценке сортообразцов необходимо также учитывать изменение биохими-

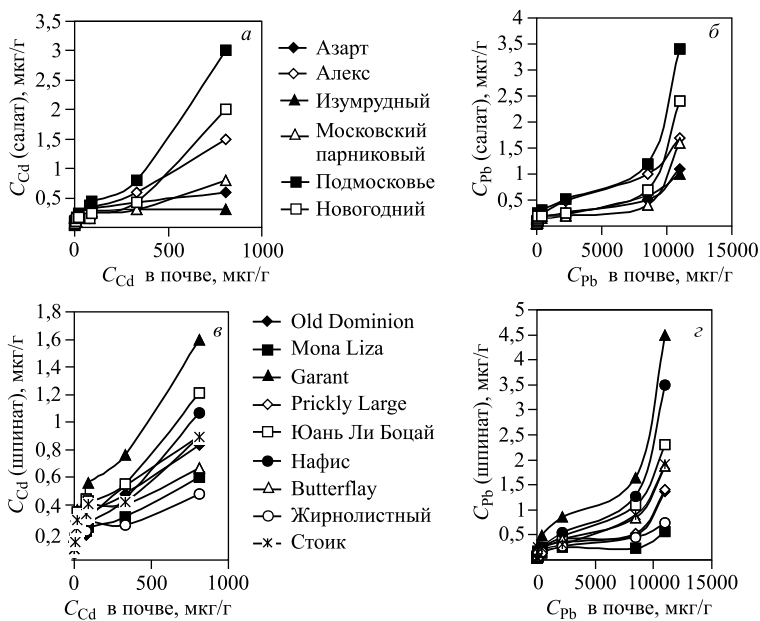


Рис. 4. Накопление Cd и Pb различными сортами салата (а, б) и шпината (в, г)

ческого состава и других хозяйственно ценных признаков растений в фазе технической спелости. Сюда входит оценка накопления нитратов, витамина С, калия, хлорофилла, сухого вещества, массы растения, количества листьев, диаметра и высоты розетки и т. д. — всего 15 параметров. Разумеется, оценка сортообразцов в отдельности по каждому из этих параметров представляется слишком трудоемкой. Необходимо введение некоторого суммарного коэффициента накопления положительных и отрицательных признаков растения. Авторы данного исследования предлагают ввести такой коэффициент в практику оценки сортообразцов по отношению к накоплению тяжелых металлов. Этот коэффициент представляет собой сумму коэффициентов концентрации K_C каждого (i -го) накапливаемого признака. Причем коэффициенты концентрации K_C нежелательного признака — накопления Cd, Pb, нитратов — суммируются со знаком «-», остальные коэффициенты — со знаком «+». Таким образом, суммарный коэффициент накопления Z_C равен

$$Z_C = \sum K_{C_i} = \left(-\frac{C_{Pb}}{C_{Pb_{контр}}} \right) + \left(-\frac{C_{Cd}}{C_{Cd_{контр}}} \right) + \left(-\frac{C_{нитр}}{C_{нитр. контр}} \right) + \frac{C_{сух. в.}}{C_{сух. в. контр}} + \frac{C_{в. C}}{C_{в. C_{контр}}} + \frac{C_{хлороф}}{C_{хлороф. контр}} + \text{и т. д. (всего 15 } K_{C_i}), \quad (2)$$

где Z_c — суммарный коэффициент накопления положительных и отрицательных признаков;

$$K_{C_i} = \frac{C_{i \text{ опыта}}}{C_{i \text{ контр}}} \quad (3)$$

— коэффициент концентрации i -го признака; $C_{i \text{ опыта}}$ — C_{Pb} , C_{Cd} , $C_{нитр}$ и т. д. — концентрация Pb, Cd, нитратов и т. д. в растении в данном опыте; $C_{i \text{ контр}}$ — $C_{Pb \text{ контр}}$, $C_{Cd \text{ контр}}$, $C_{нитр. \text{ контр}}$ и т. д. — концентрация этих же компонентов в контрольном опыте.

Таким образом, рассчитывая Z_c для каждого проведенного опыта, можно оценить накопление суммы положительных и отрицательных признаков сортообразца. Причем чем меньше будет значение Z_c , тем больше подверженность сортообразца воздействию тяжелых металлов, чем это значение больше, тем более устойчив сортообразец. На рис. 5 показаны кривые изменения Z_c салата и шпината для проведенных опытов. Кривые, приведенные на этом рисунке, показывают, что по сумме показателей наиболее устойчивыми к воздействию Cd и Pb оказались сорта салата «Азарт», «Изумрудный», «Московский парниковый», шпината — «Мона Lisa», «Жирнолистный». Наименее устойчивыми — сорта салата «Подмосковье», «Новогодний», шпината — «Garant», «Юань Ли Боцай» и «Нафис».

Результаты этих исследований могут послужить основой изучения генетической сортовой детерминации устойчивости культурных растений к различным (в том числе и высоким) концентрациям тяжелых металлов в почвах и позволят разработать принципы экологической селекции растений. Вполне возможно, что создание специальных сортов для загрязненных территорий — это практически единственное рациональное решение существующих экологических проблем. Познание закономерностей, лежащих в основе устойчивости к факторам окружающей среды, позволит диагностировать эти свойства и изменять их в необходимом для человека направлении. В перспективе использование адаптивной способности растений открывает широкие возможности в создании новых сортов сельскохозяйственных растений:

- мало накапливающих тяжелые и токсичные металлы, что в какой-то степени позволит решить проблему создания экологически чистых продуктов питания;
- максимально накапливающих тяжелые и токсичные металлы, что позволит использовать эти сорта для очистки загрязненных почв;
- с заранее заданными параметрами концентраций тех или иных микроэлементов для их использования в фармацевтической промышленности.

Таким образом, суммируя результаты выполненных исследований, можно заключить, что высшие растения накапливают в листьях тяжелые и токсичные металлы, но динамика их накопления существенно ниже, чем прирост концентрации металлов в почве. Когда основным источником элементов для

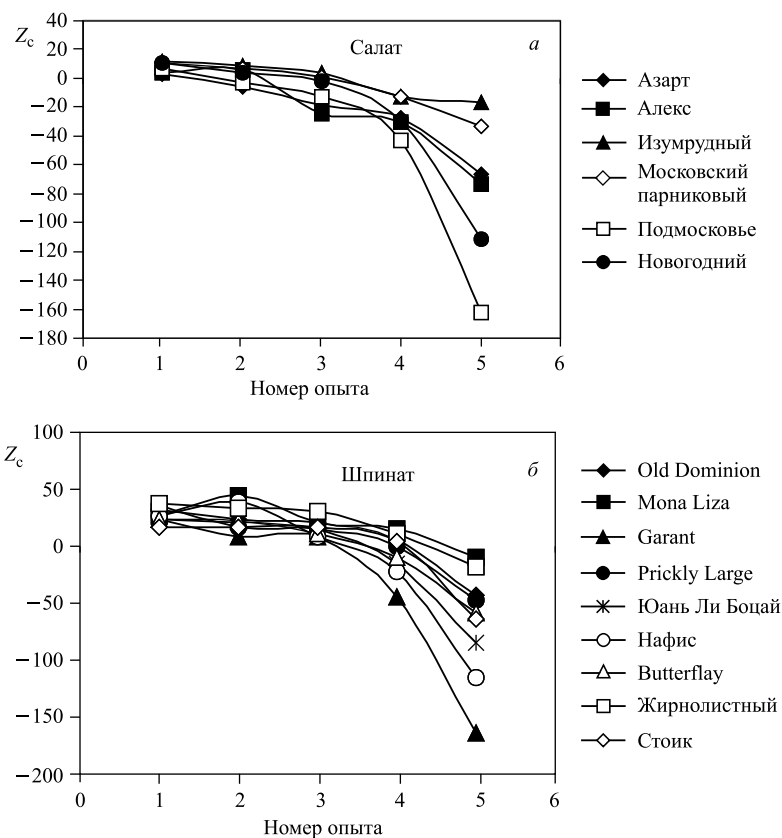


Рис. 5. Распределение суммарного коэффициента накопления (Z_c) для различных сортов салата (а) и шпината (б)

растения является почва, широко распространена иммобилизация металлов в плазматических мембранах корней растений или грибов — микоризообразователей. Контакт с почвенными растворами, клетки корней подвергаются воздействию токсичных ионов, которые поражают клеточные мембраны. Уменьшение в процентном отношении накопления подвижных форм токсичных металлов в листьях растений при увеличении их концентрации в почве, видимо, объясняется ухудшением проницаемости клеточных мембран корней и, как следствие, ухудшением транспорта ионов металлов в верхние части растения.

2.4. Особенности накопления тяжелых и токсичных металлов грибами.

Среди высших грибов по способу питания выделяются группы сапротрофных, паразитических и симбиотических организмов. К сапротрофам отно-

сится большинство шляпочных и плесневых грибов, а также дрожжи. Особенностью сапротрофных грибов является то, что отдельный гриб может за сутки образовать мицелий с суммарной длиной гиф более километра. (Длина грибных гиф в 1 г сухой почвы лиственного леса составляет около 400 м, а в 1 г гумуса — 4–8 км.) Такой быстрый рост и нитчатое строение мицелия обуславливает особый тип взаимоотношений грибов с окружающей средой, не характерный для других групп эукариотных организмов. Обширная система ветвящихся гиф позволяет им тесно контактировать с субстратом. Почти все клетки мицелия отделены от субстрата лишь тонкой клеточной стенкой. Пищеварительные ферменты, выделяемые грибами, очень быстро воздействуют на материал субстрата и способствуют его частичному перевариванию вне грибной клетки. Такой полупереваренный материал затем всасывается всей поверхностью клетки. Шляпочные грибы живут на богатой перегноем лесной почве, на полях и лугах. Сапротрофы утилизируют органические фрагменты погибших организмов. Наряду с сапротрофными бактериями грибы составляют блок редуцентов — необходимое звено в трофической цепи любого биоценоза. Типичными представителями подстилочных сапрофитов являются сыроежка, волнушка, рыжик, шампиньон.

Хозяевами паразитических грибов чаще всего являются высшие растения. Для высасывания веществ из клетки хозяина на гифах паразитических грибов часто образуются гаустории, которые представляют собой боковые ответвления гифы, проникающие внутрь клетки хозяина. Паразиты проникают в тело хозяина через мелкие повреждения в его покровах. Паразиты растений для этого используют естественные отверстия в эпидерме — устьица. В ходе роста гриб выделяет ферменты, разрушающие срединные пластинки между растительными клетками, в результате чего ткани размягчаются. Некоторые паразиты ограничиваются тем, что постепенно высасывают вещества из хозяина, но не приводят его к гибели, другие же выделяют ферменты, расщепляющие целлюлозу клеточной стенки, что приводит к гибели клетки-хозяина, после чего паразит питается органическими останками хозяина. К типичным представителям паразитических грибов относятся опята, вешенки, трутовники.

Симбионты вступают во взаимовыгодные отношения с растениями в форме микоризы. Микориза — это взаимовыгодное сожительство гриба с корнями высших растений. При этом мицелий гриба оплетает корни растений и проникает только под эпидермис или в клетки паренхимы корня. Микоризный гриб увеличивает всасывающую поверхность корня в 10–14 раз, хорошо поглощает фосфор, выделяет витамины и ростовые вещества, которые стимулируют развитие корня. От высшего растения гриб получает безазотистые соединения, кислород, необходимые ему органические соединения (главным образом углеводы и аминокислоты), в свою очередь, снабжая растения неорганическими веществами. Микориза обнаружена у большин-

ства растений. Характерными представителями группы микоризообразующих грибов являются базидиомицеты из семейства болетовых — подберезовики, подосиновики, белые.

Таблица 10. Концентрация тяжелых и токсичных металлов в микоризообразующих грибах мкг/г (с учетом влажности)

Элемент	<i>Boletus edulis</i> (n = 29)	<i>Leccinum scabrum</i> (n = 20)	<i>Leccinum aurantiacum</i> (n = 11)	<i>Suillus luteus</i> (n = 17)	ПДК
Cr	0,044 ± 0,032	0,067 ± 0,065	0,024 ± 0,004	0,028 ± 0,01	0,2
Mn	0,85 ± 0,4	0,65 ± 0,3	0,9 ± 0,6	0,53 ± 0,12	—
Fe	5,5 ± 2,6	6,6 ± 6,5	2,6 ± 1,9	4,5 ± 0,7	—
Co	0,03 ± 0,03	0,017 ± 0,013	0,013 ± 0,003	0,008 ± 0,002	—
Ni	0,13 ± 0,07	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	—
Cu	1,5 ± 0,8	1,0 ± 0,7	2,3 ± 0,4	0,65 ± 0,3	—
Zn	7,4 ± 6,9	8,4 ± 6,9	8,5 ± 4,2	4,77 ± 0,85	—
As	0,007 ± 0,003	0,029 ± 0,022	0,006 ± 0,003	< 0,003	0,5
Se	1,08 ± 0,75	0,21 ± 0,2	0,04 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,5
Ag	0,09 ± 0,08	0,26 ± 0,23	0,03 ± 0,01	< 0,01	0,03
Cd	0,13 ± 0,11	0,06 ± 0,05	0,04 ± 0,03	0,06 ± 0,02	—
Sb	0,06 ± 0,05	0,004 ± 0,002	0,003 ± 0,001	0,008 ± 0,004	0,3
Au	0,0003 ± 0,0003	0,0003 ± 0,0003	0,0002 ± 0,0001	0,0001 ± 0,0001	—
Hg	0,06 ± 0,05	0,039 ± 0,036	0,01 ± 0,004	0,011 ± 0,003	0,05
Pb	0,04 ± 0,02	0,029 ± 0,01	0,03 ± 0,01	< 0,02	0,5

В табл. 10 приведены средние значения концентраций тяжелых и токсичных металлов в плодовообразующих грибах. Данные, приведенные в этой таблице, показывают, что средние концентрации токсичных металлов Se, Cd, Hg в грибах *Boletus edulis*, Cd и Hg в грибах *Leccinum scabrum* и Cd в грибах *Leccinum aurantiacum* и *Suillus luteus* превышают ПДК для продуктов питания. Максимальные концентрации этих токсичных металлов, судя по величине стандартного отклонения, почти на 100 % больше. Вариабельность концентраций практически всех представленных микроэлементов в грибах *Boletus edulis*, *Leccinum scabrum* и *Leccinum aurantiacum* составляет 50–100 %, что свидетельствует о большой неравномерности в накоплении микроэлементов этими грибами.

В табл. 11 приведены данные о концентрациях тяжелых и токсичных металлов в плодовых телах почвенных сапрофитов. Эти данные показывают, что концентрации Se, Cd и Hg в *Agaricus campestris* превышают значения ПДК (Cd в 60 раз и Hg в 12 раз). Обращает на себя внимание высокая концентрация Ag и Au, накопление которых грибами вообще трудно объяснить. Пределы изменения стандартного отклонения также значительно шире, чем для микоризообразующих грибов.

Таблица 11. Концентрация тяжелых и токсичных металлов в почвенных сапрофитах, мкг/г (с учетом влажности)

Элемент	<i>Russula vesca</i> (n = 15)	<i>Lactarius torminosus</i> (n = 6)	<i>Paxillus involutus</i> (n = 22)	ПДК
Cr	0,10 ± 0,07	0,06 ± 0,05	0,05 ± 0,04	0,2
Mn	1,7 ± 1,1	1,26 ± 0,5	1,5 ± 1,5	—
Fe	9,9 ± 4,3	8,37 ± 3,2	12,9 ± 4,3	—
Co	0,05 ± 0,04	0,023 ± 0,012	0,032 ± 0,023	—
Ni	0,19 ± 0,13	0,14 ± 0,05	0,10 ± 0,05	—
Cu	2,2 ± 0,3	1,13 ± 0,31	3,2 ± 0,95	—
Zn	7,9 ± 1,1	5,57 ± 0,8	10 ± 4,6	—
As	0,01 ± 0,01	0,039 ± 0,02	0,041 ± 0,03	0,5
Se	0,02 ± 0,01	0,05 ± 0,04	0,07 ± 0,02	0,5
Ag	0,1 ± 0,06	0,02 ± 0,007	0,054 ± 0,03	—
Cd	0,023 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03
Sb	0,01 ± 0,093	0,007 ± 0,004	0,003 ± 0,002	0,3
Au	0,0001 ± 0,0001	0,0001 ± 0,0001	0,0019 ± 0,0013	—
Hg	0,005 ± 0,002	0,008 ± 0,005	0,006 ± 0,003	0,05
Pb	0,05 ± 0,01	0,09 ± 0,03	0,086 ± 0,03	0,5
	<i>Cantharellus cibarius</i> (n = 17)	<i>Agaricus campestris</i> (n = 21)	<i>Agaricus bisporus</i> (n = 11)	ПДК
Cr	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,2
Mn	3,3 ± 1,3	0,67 ± 0,09	0,54 ± 0,1	—
Fe	11,6 ± 7,9	5,6 ± 2,9	3,7 ± 0,7	—
Co	0,025 ± 0,01	0,06 ± 0,06	0,004 ± 0,001	—
Ni	0,08 ± 0,07	0,08 ± 0,04	0,03 ± 0,01	—
Cu	3,73 ± 1,4	14,1 ± 8,1	2,0 ± 0,7	—
Zn	6,84 ± 2,9	7,3 ± 2,1	4,9 ± 1,4	—
As	0,015 ± 0,01	0,13 ± 0,09	0,02 ± 0,01	0,5
Se	0,05 ± 0,05	0,65 ± 0,55	0,19 ± 0,14	0,5
Ag	0,012 ± 0,007	1,23 ± 0,81	0,01 ± 0,005	—
Cd	0,02 ± 0,01	1,8 ± 1,4	0,009 ± 0,003	0,03
Sb	0,007 ± 0,005	0,007 ± 0,006	0,002 ± 0,001	0,3
Au	0,0002 ± 0,0001	0,19 ± 0,15	0,0001 ± 0,0001	—
Hg	0,008 ± 0,006	0,61 ± 0,55	0,012 ± 0,004	0,05
Pb	0,17 ± 0,05	0,11 ± 0,05	< 0,05	0,5

В табл. 12 приведены концентрации микроэлементов в плодовых телах *Armillariella mellea* и *Pleurotus ostreatus*.

Здесь также отмечается превышение ПДК по Cd в обоих видах грибов в 14 и 8 раз соответственно. Следует отметить, что концентрации и значения

Таблица 12. Концентрации тяжелых и токсичных металлов в сапротритах — древесных паразитах, мкг/г (с учетом влажности)

Элемент	<i>Armillariella mellea</i> (n = 13)	<i>Pleurotus ostreatus</i> (n = 21)	ПДК
Cr	0,03 ± 0,01	0,019 ± 0,01	0,2
Mn	1,53 ± 0,2	1,03 ± 0,29	—
Fe	10,3 ± 4,9	8,86 ± 0,9	—
Co	0,005 ± 0,002	0,01 ± 0,005	—
Ni	0,09 ± 0,02	0,035 ± 0,02	—
Cu	2,1 ± 0,4	1,03 ± 0,25	—
Zn	7,9 ± 1,7	6,1 ± 0,8	—
As	< 0,005	0,01 ± 0,003	0,5
Se	0,014 ± 0,01	0,06 ± 0,04	0,5
Ag	0,04 ± 0,02	0,031 ± 0,01	—
Cd	0,42 ± 0,15	0,25 ± 0,11	0,03
Sb	0,003 ± 0,001	0,001 ± 0,001	0,3
Au	0,0002 ± 0,0001	0,0001 ± 0,0001	—
Hg	0,003 ± 0,002	0,019 ± 0,008	0,05
Pb	0,08 ± 0,02	< 0,05	0,5

стандартного отклонения для остальных микроэлементов в плодовых телах *Armillariella mellea* и *Pleurotus ostreatus* значительно ниже, чем в почвенных сапротрофах и микоризообразующих грибах. Данные табл. 11, 12, 13 показывают абсолютные концентрации тяжелых и токсичных металлов в грибах и границы естественной дисперсии этих содержаний. Анализируя эти данные, приходится прибегать к достаточно приблизительным оценкам, поскольку единственным объективным критерием оценки уровня концентрации микроэлементов в грибах в настоящее время является значение ПДК для продуктов питания, что применительно к рассматриваемым задачам не совсем корректно. Для того чтобы более точно оценить степень концентрации металлов, нами был рассчитан коэффициент концентрации для всех исследованных грибов. Этот коэффициент широко применяется в экологии и геохимии и представляет собой отношение концентрации *i*-го элемента в исследуемом объекте к концентрации этого же элемента в аналогичном «фоновом» объекте. Расчет этого коэффициента производится по формуле (3), которая приведена в предыдущем подразделе. $K_C = C_i/C_{iф}$, где C_i — концентрация *i*-го элемента в исследуемом объекте; $C_{iф}$ — концентрация *i*-го элемента в «фоновом» (или условно «фоновом») объекте.

Поскольку в нашем случае найти «фоновый» объект для каждого вида грибов достаточно сложно, для каждой группы грибов использовали условно «фоновый» объект. Для микоризообразующих грибов это был *Boletus edulis*,

Таблица 13. Накопление тяжелых и токсичных металлов различными видами грибов, K_C (отн. ед.)

Элемент	Почвенные сапрофиты	Микоризообразующие	Грибы — древесные паразиты
Cr	3,1	1,5	1,5
Mn	3,1	1,7	1,3
Fe	2,6	0,9	1,1
Co	9,5	2,1	0,9
Ni	3,9	1,4	2,0
Cu	2,4	1,5	1,6
Zn	1,5	0,9	1,2
As	2,4	3,2	1,1
Se	0,9	4,0	0,9
Ag	28,3	13,3	1,1
Cd	41,8	3,5	1,3
Sb	3,4	13,4	2,0
Au	384,6	1,0	1,6
Hg	25,5	4,3	3,8
Pb	2,0	1,0	1,3

отобраный в Исландии, где антропогенное воздействие практически отсутствует, для почвенных сапрофитов — *Agaricus ostreatus*, выращенный в искусственных условиях, для древесных паразитов — *Pleurotus ostreatus*, выращенный также в искусственных условиях.

В табл. 13 приведены средние значения K_C , рассчитанные для микоризообразующих грибов, почвенных сапрофитов и древесных паразитов. Эти данные показывают, что, кроме упомянутых выше Se, Cd и Hg, в грибах накапливаются и другие химические элементы. Микоризообразующие грибы в значительной степени накапливают As ($K_C = 3,2$), Ag ($K_C = 13$), Sb ($K_C = 13$), почвенные сапрофиты накапливают Co ($K_C = 9,5$), Ag ($K_C = 23$), Au ($K_C = 385$). Древесные паразиты практически ничего не накапливают.

Данные, приведенные в табл. 13, показывают, что в наибольшей степени микроэлементы концентрируют почвенные сапрофиты. Грибы-паразиты в связи со слабым поглощением металлов корнями растений-хозяев и низкой концентрацией этих металлов в древесине имеют самую низкую концентрацию микроэлементов. Микоризообразующие грибы занимают некоторое промежуточное положение, причем следует отметить, что гифы грибов одного и того же вида могут расти на корнях разных видов растений и отражать доступность элементов в различных горизонтах почвы.

Для того чтобы оценить влияние внешних условий на ассоциацию накапливаемых микроэлементов и степень их концентрирования, нами были отобраны плодовые тела одних и тех же видов грибов в различных экологи-

геохимических условиях. Производился отбор *Agaricus campestris* в условиях интенсивного техногенного воздействия и *Boletus edulis* в условиях, близких к «фоновым».

Отбор образцов *Agaricus campestris* проводился в условиях большого города (Москва) в пяти зонах с различным уровнем техногенной нагрузки. Зона № 1 — северо-восток г. Москвы с минимальным уровнем техногенного воздействия, № 2 — центр г. Москвы с высоким уровнем техногенного воздействия, № 3 — юго-восток г. Москвы — самый высокий уровень техногенного воздействия, № 4 — юг г. Москвы — высокий уровень техногенного воздействия, № 5 — юг Московской области (150 км от МКАД) с практическим отсутствием техногенного воздействия. При этом основные природные условия — тип почвы, влажность, погодные условия, солнечная радиация и т. д. — были практически идентичными. В табл. 14 приведены значения K_C тяжелых и токсичных металлов, рассчитанные по формуле (3), для плодовых тел *Agaricus campestris*, распространенных на почвах с различным уровнем техногенного воздействия. Приведенные в этой таблице данные показывают, что шампиньоны, произрастающие на севере Москвы (зона № 1), характеризуются высоким содержанием As, Cd, Ag ($K_C = 10-100$). Грибы, отобранные в центре Москвы (зона № 2), характеризуются высокой концентрацией Cu, Cd, Ag, Au, Hg ($K_C = 10-3300$). Для шампиньонов, отобранных на юго-востоке Москвы (зона № 3), характерна высокая концентрация Co, As, Se, Cd, Ag, Au, Hg ($K_C = 10-1800$). Шампиньоны, собранные в лесополосе Симферопольского шоссе (зона № 4), характеризуются высокой концентрацией

Таблица 14. Накопление тяжелых и токсичных металлов в *Agaricus campestris* при различной техногенной нагрузке, K_C (отн. ед.)

Элемент	Место (зона) отбора образца				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Cr	1,5	3	2,5	2,5	1,5
Mn	1	0,8	2,2	3,8	2
Fe	0,9	0,9	1,2	2,4	1,7
Co	2,5	2,5	12,5	150,0	2,5
Ni	1,0	1,0	3,0	8,0	1,7
Cu	2,2	11,5	4,4	10,5	2,4
Zn	1,4	2,0	1,2	2,4	1,2
As	14	2,5	8,5	8	2
Se	7	1	6,5	1	4
Ag	40	3300	1900	300	70
Cd	94	20	17	340	18
Sb	1	0,5	3,5	5,5	0,5
Au	1	170	810	28	10
Hg	3	114	128	87	8
Pb	2	3,6	1	3,8	1

Co, Cu, As, Cd, Ag, Au, Hg ($K_C = 10-28-330$). В сельскохозяйственном районе юга Московской области (зона № 5), несмотря на низкий уровень техногенного загрязнения, обнаружена высокая концентрация Cd, Ag, Au, Hg ($K_C = 10-70$).

Аналогичный опыт был проведен с грибами *Boletus edulis*. Отбор плодовых тел *Boletus edulis* проводился в районах с низкой техногенной нагрузкой или в районах с полным ее отсутствием. Отбор образцов плодовых тел грибов производился в пяти районах: на юго-востоке Тверской области — район № 1, на юге Московской области — район № 2, в Беломорском заповеднике Архангельской области — район № 3, в центральной части Карелии — район № 4, в Исландии — район № 5. Для этих грибов также были рассчитаны значения K_C . Расчет проводился относительно концентраций микроэлементов в плодовых телах грибов, отобранных в районе № 5, который мы приняли за «фоновый». Результаты этих расчетов приведены в табл. 15. Анализ данных, приведенных в этой таблице, показывает, что значение коэффициентов концентрации для большинства микроэлементов в *Boletus edulis* невелико и составляет в среднем $K_C = 1,5-3$, тем не менее по отдельным микроэлементам наблюдается 12–40-кратное концентрирование.

Данные, приведенные в табл. 14 и 15, показывают, что в наибольшей степени в обоих видах грибов концентрируется один и тот же набор микроэлементов: Co, Cu, As, Se, Cd, Ag, Au и Hg. Таким образом, вне зависимости от вида грибов и внешних условий набор 7–8 концентрируемых

Таблица 15. Накопление тяжелых и токсичных элементов в *Boletus edulis* при различной техногенной нагрузке, K_C (отн. ед.)

Элемент	Место отбора			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Cr	1,3	1	0,7	1,7
Mn	1,4	2,3	1,3	1,4
Fe	0,5	0,4	0,4	0,6
Co	2,1	3,2	1	2,7
Ni	2,2	2,2	1,3	1,3
Cu	1,8	1,8	3,5	0,6
Zn	1	0,5	1,1	0,5
As	2,7	1,7	2,3	1,7
Se	16	3	1	14
Ag	41	23	13	3,3
Cd	13,5	6,5	2,5	1,5
Sb	4	2	2	1
Au	1	1	1	1,5
Hg	10	10	0,7	7,1
Pb	1	1	1	1

элементов остается достаточно постоянным, изменяется лишь степень концентрирования. Например, коэффициент концентрации Ag составляет в зоне интенсивного техногенного воздействия $K_C = 3300$ для *Agaricus campestris* и в «фоновой» зоне $K_C = 40$ для *Boletus edulis*. В состав группы микроэлементов, накапливаемых грибами, входят элементы-токсиканты (As, Se, Cd, Hg), эссенциальные элементы (Co, Cu) и благородные металлы, но не входят Mn, Fe, Zn, которые упоминаются в литературе как необходимые для жизнедеятельности мицелия [15–18]. Причем в наибольшей степени в теле гриба накапливаются именно токсичные элементы и благородные металлы, что не находит объяснения с точки зрения биохимических процессов в мицелии.

Грибы — это гетеротрофные эукариотические организмы, обладающие исключительно осмотрофным, всасывающим типом питания. Поэтому накопление тяжелых и токсичных металлов грибами в определяющей степени зависит от концентраций подвижных форм этих элементов в почвенном растворе, окружающем мицелий. Для того чтобы оценить соотношение концентрации подвижных форм некоторых микроэлементов в почве и их концентрации в плодовом теле гриба, нами были отобраны микоризообразующие грибы, почвенные сапротрофы и грибы-паразиты в различных районах Тверской области. Вместе с образцами грибов отбиралась почва из разрезов с глубины до 0,5 м. В случае с грибами-паразитами в качестве субстрата распространения мицелия отбиралась древесина. В табл. 16 приведены данные о концентрациях Ni, Cu, Zn, Cd и Pb в плодовых телах *Leccinum aurantiacum*, *Boletus edulis*, *Agaricus campestris*, *Lactarius torminosus*, *Pleurotus ostreatus* и *Polyporus squamosus*. Кроме того, приводятся данные о концентрациях подвижных форм соединений этих же металлов в опаде и нижележащих горизонтах почвы (буферная вытяжка pH 4,8 [28]).

Данные, представленные в табл. 16, показывают, что концентрации Cu, Zn и Cd в плодовых телах грибов в 1,5–10 раз выше концентрации их подвижных форм в почве. Для Ni и Pb характерно обратное соотношение — концентрации подвижных форм этих элементов в почве значительно больше, чем их концентрации в теле гриба. Из табл. 16 видно, что накапливаются элементы, концентрация подвижных форм которых в субстрате распространения мицелия ниже, чем их концентрация в теле гриба. Объясняется это, видимо, особенностями осмотрофного способа питания грибов. Этот способ питания связан с осмотическим давлением. При этом происходит самопроизвольный переход вещества, обычно растворителя, через полупроницаемую мембрану, отделяющую раствор от чистого растворителя или от раствора меньшей концентрации. Осмос обусловлен стремлением системы к термодинамическому равновесию и выравниванию концентраций растворов по обе стороны мембраны путем односторонней диффузии молекул растворителя. Осмос всегда направлен от менее концентрированного раствора к более концентрированному. В случае грибов более концентрированный раствор соединений Cu, Zn

Таблица 16. Содержание некоторых микроэлементов в грибах и их подвижных форм в субстрате распространения мицелия, мг/кг (с учетом влажности)

Горизонт (см)/элемент	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	pH
Микоризообразующие						
<i>Leccinum aurantiacum</i>	0,06	2,73	6,99	0,2	0,56	—
Опад (0–3)	0,55	0,2	6,54	0,26	21	4,60
A ₀ –A ₁ (3–10)	0,58	0,24	3,43	0,18	12,5	4,70
B (10–40)	0,63	0,22	2,33	0,13	7,2	5,32
<i>Boletus edulis</i>	0,13	5,82	9,1	0,27	0,1	—
Опад (0–3)	4,54	6,8	9	0,35	1,8	4,70
A ₀ –A ₁ (3–10)	0,46	2,9	1,8	0,18	1,7	4,75
B (10–40)	0,13	1,6	0,5	0,02	1,1	5,10
Почвенные сапрофиты						
<i>Agaricus campestris</i>	0,21	12,1	11,3	3,3	0,05	—
Опад (0–3)	0,3	0,91	5,4	1,72	0,23	4,30
A ₀ –A ₁ (3–10)	0,16	0,05	1,42	0,03	0,41	4,55
B (10–40)	0,19	0,05	0,94	0,03	0,5	4,90
<i>Lactarius torminosus</i>	0,07	1,12	6,01	0,04	0,03	—
Опад (0–1)	1,04	0,13	2,15	0,07	0,79	4,20
A ₀ –A ₁ (1–10)	1,06	0,15	0,87	0,07	0,67	4,50
B (10–40)	1,05	0,13	0,71	0,06	0,74	5,40
Грибы — древесные паразиты						
<i>Pleurotus ostreatus</i>	0,035	1	6,1	0,26	0,02	—
Субстрат, древесина (вал.)	0,3	1,5	10	0,3	0,15	—
<i>Polyporus squamosus</i>	< 0,05	2,09	4,1	0,05	< 0,05	—
Субстрат, древесина (вал.)	1,05	2,98	5,95	0,04	0,38	—

и Cd находится в теле мицелия, а роль полупроницаемой мембраны играет клеточная стенка гифы гриба. Таким образом, высокая концентрация микроэлемента в мицелии является необходимым условием дальнейшего накопления этого элемента грибом. Выравнивание концентрации микроэлемента в мицелии и почвенном растворе и тем более ее понижение по отношению к концентрации в почвенном растворе является барьером к дальнейшему накоплению этого элемента, что отражено в данных, приведенных в табл. 16.

Из всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

— наличие в продуктах питания и сельскохозяйственной продукции высоких концентраций тяжелых и токсичных металлов зависит от степени загрязненности почв региона, качества воды, используемой для полива, и технологии производства и обработки данного продукта. Концентрация тяжелых и токсичных металлов в сельскохозяйственной продукции напрямую зависит от формы их нахождения в почве: даже высокие концентрации тяжелых метал-

лов, находящихся в почве в виде слабоподвижных соединений, не оказывают существенного влияния на концентрации их в растениях;

— высокое содержание некоторых токсичных металлов (Cd, Hg, Pb) в корме для скота позволяет предполагать аналогичное высокое содержание в продукции животноводства — мясе скота и птицы, яйцах. Однако маловероятно, что здесь имеет место прямая зависимость, и целесообразно продолжение исследований;

— полив сельскохозяйственных угодий сточными водами предприятия или природными водами с техногенным загрязнением требует крайне осторожного подхода. Как показала практика региона Хелуан, реализация такого рода полива приводит к резкому увеличению концентраций тяжелых и токсичных металлов в готовой продукции;

— экспериментально доказано наличие естественного полиморфизма металлоустойчивости различных генотипов салата и шпината. Выявлены наиболее и наименее адаптированные к воздействию Cd и Pb генотипы салата и шпината, которые можно в дальнейшем использовать в селекционной работе;

— в процессе проведения опыта с искусственно загрязненной почвой определены уровни концентрации Cd и Pb в почве данного типа, при которых адаптационные способности различных генотипов салата и шпината приобретают ярко выраженный характер. Определены также уровни концентрации этих металлов, при которых защитные механизмы исследуемых растений перестают работать и накопление приобретает катастрофический характер;

— показана высокая информативность опыта с искусственно созданной средой загрязнения (ИСЗ) для отбора металлоустойчивых сортов растений. Эта схема является достаточно универсальной и может быть применена в разработке принципов экологической селекции как основной способ исследования. Показана эффективность и обоснованность использования в этой схеме суммарного коэффициента накопления (Z_C) для оценки детерминации сортообразцов по отношению к воздействию тяжелых металлов;

— полученные результаты позволяют предположить, что накопление тяжелых и токсичных металлов базидиальными грибами не обусловлено биологическими потребностями собственно грибов. Степень концентрирования тяжелых и токсичных металлов грибами зависит от величины парциального давления соединений данного микроэлемента, наличия и концентрации подвижных форм этого микроэлемента в почвенном растворе. Чем больше разница концентрации микроэлемента в мицелии и субстрате, тем более интенсивно происходит накопление данного элемента, причем концентрация микроэлемента в мицелии должна быть выше, чем концентрация его подвижных форм в субстрате. В случае, когда наблюдается обратная картина, накопления микроэлемента в мицелии не наблюдается. Для того чтобы всесторонне оценить предложенный авторами работы механизм накопления тяжелых и токсичных

металлов базидиальными грибами, необходимы дальнейшие исследования микроэлементного состава почвенных растворов, мицелия, плодовых тел и спор базидиальных грибов.

3. ПОСТУПЛЕНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА С РАЗЛИЧНЫМИ РАЦИОНАМИ ПИТАНИЯ

3.1. Характеристика основных рационов питания. В табл. 17 приведены различные структуры рационов питания населения России. Суточный рацион питания № 1 соответствует прожиточному минимуму доходов населения. Рацион составлен из продуктов, имеющих минимальную стоимость, он характеризуется малым разнообразием продуктов и преобладанием в рационе картофеля, макаронных изделий и хлеба. Из мясных продуктов потребляется в основном куриное мясо, из овощей — капуста, морковь и свекла. Вторая структура рациона питания № 2 соответствует среднему уровню доходов населения региона. Она характеризуется большим разнообразием питания, уменьшается доля потребления хлеба, картофеля, макарон и злаков, увеличивается доля потребления мяса, рыбы и морепродуктов, фруктов и молочных продуктов. Общая масса потребляемых продуктов без учета жидкостей составляла в обоих случаях 1400 г в сутки [39, 40].

Рацион № 3 является диетическим рационом — это так называемая кремлевская диета. Применяя эту диету, следует избегать сладких, мучных, карто-

Таблица 17. Содержание продуктов в суточных рационах питания, % от общего объема

Продукт	Рацион					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Масло, молочные продукты, творог, сыр	4,8	10	22	10	23	25,7
Мясо, мясопродукты	6	7,6	13	16,3	7,6	7,7
Птица	5	2,2	17	2,7	5,4	5,7
Рыба, морепродукты	—	11	11	3,7	4,6	4,8
Яйцо куриное	1,2	1,5	7	1,6	1,4	1,4
Картофель	23	14,5	—	11	14	11,2
Овощи, зелень	15	12	14	21,7	14,6	14
Фрукты	1	12	12	20,3	12	12,2
Хлеб, макароны	19	9,2	—	4,3	10,5	10,4
Крупы, бобовые	20	15,5	—	2,1	3	2,9
Кондитерские изделия, сахар	4	5	—	4,9	3,5	3,6
Чай, кофе	1	1	—	0,4	0,4	0,4
Грибы	—	—	4	—	—	—
Общая масса без учета жидкостей, г	1400	1400	1048	1835	2092	1850

фельных блюд, хлеба, риса и, конечно, сахара. Этот рацион характеризуется большим потреблением свинины, говядины, куриного мяса и яиц (37 %), а также молочных продуктов. В рационе в значительных количествах присутствуют рыба, морепродукты и грибы. Полностью отсутствуют хлеб и сахар. Средняя масса потребляемых продуктов без учета чая, соков и красного вина составляет 1048 г. В рационе питания спортсменов (рацион №4) в больших количествах присутствуют мясо, субпродукты, птица, яйца, картофель, фрукты и молочные продукты. Потребление сахара даже больше, чем рыбы и морепродуктов. Общая масса потребляемых продуктов без учета молока, фруктовых соков и меда составляет 1835 г [40–42].

Рацион №5 рекомендован в 2002 г. для питания школьников 11–17 лет Управлением Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по г. Москва [43]. Этот рацион характеризуется большой долей овощей (20 %), фруктов (15 %), хлеба и макаронных изделий (17 %), картофеля (15 %), молочных продуктов (15 %), мясо, птица и рыба составляют вместе 14 %. Общая масса продуктов без учета молока и фруктовых соков 2092 г. Рацион №6 рекомендован в 2008 г. для питания подростков старше 12 лет Управлением Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по г. Москве и НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков [44]. Этот набор продуктов мало отличается от рациона №5. Общая масса потребляемых продуктов без учета молока и фруктовых соков составляет примерно 1850 г.

Конечно, рацион каждого человека (семьи) в большой степени индивидуален, однако представленные рационы охватывают практически весь диапазон питания населения РФ от минимального набора «продуктовой корзины» и школьного питания, рекомендованного официальными инстанциями для спортивного и диетического питания. По известному составу продуктов питания можно рассчитать поступление микроэлементов в организм человека для каждого из перечисленных рационов. Поэтому можно допустить, что все множество существующих ныне рационов можно свести к шести предлагаемым в данной работе.

3.2. Поступление макроэлементов Na, Cl, K, Ca в организм человека с рационами питания. Натрий является самым распространенным ионом плазмы — жидкой части крови. На долю этого элемента приходится основная часть в создании осмотического давления плазмы. Поддержание нормального осмотического давления и объема циркулирующей крови — это жизненно важный процесс, который реализуется, главным образом, благодаря регуляции абсорбции или секреции (выделения) натрия на уровне почек. При снижении объема циркулирующей крови, например, при обезвоживании или после кровопотери, на уровне почек запускается сложный процесс, целью которого является сохранение и накопление ионов натрия в организме. Так как ионы металлов притягивают молекулы воды, параллельно с ионами на-

трия в организме задерживается вода, вследствие чего объем циркулирующей крови восстанавливается. Натрий также участвует в электрической деятельности нервной и мышечной ткани. Благодаря разнице концентраций натрия в крови и внутриклеточной среде живые клетки могут генерировать электрический ток, участвующий в деятельности нервной системы, мышц и других органов. Дефицит натрия встречается очень редко. Обычно он возникает в случае сильного обезвоживания или крупной потери крови. Распространенность натрия в природе делает возможным быстрое восполнение резервов этого элемента в организме. При некоторых заболеваниях, например, при гипертонии, рекомендуется снижать потребление соли (NaCl) для того, чтобы немного снизить объем циркулирующей крови и понизить артериальное давление. Натрий относится к основным, или «структурным» элементам. Содержание натрия в организме человека составляет примерно 100 г. Необходимое поступление оценивается в 1,4–1,6 г/сут.

Хлор относится к важнейшим биогенным элементам и входит в состав всех живых организмов, он является одним из основных элементов водно-солевого обмена животных и человека, определяющих физико-химические процессы в тканях организма. Хлор присутствует во всех органах и тканях, участвует в обмене веществ, входит в состав биологически активных соединений организма и является незаменимым химическим элементом. Хлор участвует в поддержании кислотно-щелочного равновесия в тканях и обеспечивает постоянство объема жидкостей, устраняет отеки, в том числе сердечного происхождения, нормализует артериальное давление. Хлор нормализует пищеварение — активирует фермент амилазу, участвует в образовании соляной кислоты — основного компонента желудочного сока, стимулируя аппетит. Динамика содержания хлоридов в организме зависит от кислотности желудочного сока: чем выше кислотность, тем больше последующий расход хлоридов. При воспалительном процессе (перитонит, перфоративные язвы желудка и двенадцатиперстной кишки) возникает уменьшение содержания хлора в организме. Необходимое поступление хлора оценивается в 3200 мг/сут.

Калий является элементом главной подгруппы первой группы четвертого периода периодической системы химических элементов. В природе калий встречается только в соединениях с другими элементами, например, в морской воде, а также во многих минералах. Он очень быстро окисляется на воздухе и легко вступает в химические реакции. Во многих отношениях химические свойства калия очень близки к свойствам натрия, но с точки зрения биологической функции и использования их клетками живых организмов они все же отличаются. Калий является основным ионом внутриклеточной среды, он содержится большей частью в клетках, до 40 раз больше, чем в межклеточном пространстве. Этот факт очень важен для нормального функционирования клеток организма. Концентрация калия в крови и внутри клеток поддержива-

ется с большой точностью. Даже небольшие изменения концентрации этого элемента в крови способны вызвать серьезные нарушения деятельности внутренних органов (например, сердца). В процессе функционирования клеток избыточный калий покидает цитоплазму, поэтому для сохранения концентрации он должен нагнетаться обратно при помощи натрий-калиевого насоса. Калий и натрий связаны между собой и выполняют следующие функции: создание условий для возникновения мембранного потенциала и мышечных сокращений; поддержание осмотической концентрации крови; поддержание кислотно-щелочного баланса; нормализация водного баланса. Соли калия необходимы для нормального функционирования всех наших мягких тканей: сосудов, капилляров, мышц (особенно сердечной мышцы), клеток мозга, печени, почек, желез внутренней секреции и других органов. До 50% всех солей в организме — соли калия. Соли калия способствуют выведению из организма лишней воды, помогают ликвидировать отек, задержку выделения мочи, необходимы для лечения водянки (асцита). Калий является противосклеротическим средством, так как препятствует накоплению солей натрия в сосудах и клетках. В организме идет постоянная конкуренция солей натрия и калия. Содержание калия в организме человека — 140–250 г. Рекомендуемая суточная доля калия составляет для детей от 0,6 до 1,7 г, для взрослых от 1,8 до 5,0 г. Всасывание происходит в тонком кишечнике. Усвоение калия облегчает витамин В₆, затрудняет — алкоголь.

Кальций занимает ключевое место в передаче нервного возбуждения, поддержании целостности клеточных мембран и построении костного скелета. Соли кальция и фосфорной кислоты являются минеральной основой костей. Помимо минералов, кости содержат и некоторое количество белков, образующих своеобразную сеть, на которой осаждаются минеральные соли. Белки придают костям гибкость и упругость, а минеральные соли — твердость и жесткость. Кальций абсолютно необходим для нормального протекания процесса обмена веществ. Здесь кальций играет роль регулятора внутриклеточных процессов. Так, например, кальций участвует в механизмах передачи нервного импульса от одной нервной клетки к другой, участвует в механизме сокращения мышц и сердца, активации ряда ферментов, поддержании гомеостаза клеток, оказывает противовоспалительное и антистрессовое действие, влияет на уменьшение проницаемости стенок сосудов. Недостаток кальция — довольно распространенное явление. Чаще всего он возникает вследствие неправильного питания (употребления малого количества молочных продуктов), а также во время беременности или кормления грудью. У детей недостаток кальция может развиваться в период интенсивного роста. Общая масса кальция в организме взрослого человека составляет 4–7 кг в зависимости от общей массы тела. Основная его часть сконцентрирована в костной ткани. Физиологическая потребность в кальции колеблется от 0,8 до 1,5 г/сут.

В табл. 18 приведены данные о содержании этих четырех элементов в основных продуктах питания. Для удобства расчета поступления элементов с рационами питания данные показаны для сокращенного количества продуктов питания, причем для некоторых категорий продуктов (фруктов, ягод, морской и речной рыбы) приведены обобщенные данные. В этой таблице и

Таблица 18. Содержание Na, Cl, K, Ca в основных продуктах питания, мг/кг

Объект	Na	Cl	K, %	Ca
Овес, хлопья	52 ± 8,5	497 ± 82	0,37 ± 0,09	334 ± 66
Гречневая крупа	26 ± 5,3	45 ± 12	0,31 ± 0,07	510 ± 74
Рис	30 ± 11	362 ± 140	0,086 ± 0,051	604 ± 125
Пшено	75 ± 15	393 ± 42	0,37 ± 0,06	643 ± 158
Манка	53 ± 12	603 ± 180	0,24 ± 0,04	526 ± 164
Макароны	79 ± 37	516 ± 68	0,21 ± 0,04	689 ± 358
Хлеб пшеничный	850 ± 330	1450 ± 510	4,08 ± 1,06	1300 ± 550
Хлеб ржаной	327 ± 181	1300 ± 510	2,42 ± 1,11	630 ± 210
Картофель	28 ± 19	392 ± 207	0,53 ± 0,13	108 ± 40
Капуста	156 ± 36	750 ± 320	0,34 ± 0,08	214 ± 62
Томаты	14,6 ± 6,6	225 ± 38	0,28 ± 0,04	114 ± 57
Морковь	450 ± 230	753 ± 481	0,32 ± 0,15	150 ± 89
Фасоль	36 ± 9,2	990 ± 210	1,65 ± 0,6	1226 ± 360
Горох	75 ± 12	365 ± 160	0,98 ± 0,13	1080 ± 110
Соя	22,5 ± 4,1	510 ± 100	1,59 ± 0,23	1139 ± 132
Фрукты	11,2 ± 8,6	34 ± 11	0,13 ± 0,04	180 ± 123
Ягоды	7,28 ± 4,64	78 ± 14	0,147 ± 0,08	224 ± 121
Белый гриб	41,4 ± 28	188 ± 141	0,15 ± 0,07	48,8 ± 18
Шампиньон	63 ± 61	300 ± 197	0,36 ± 0,07	50 ± 21
Шампиньон агрофирма	56 ± 22	189 ± 141	0,43 ± 0,11	42,8 ± 18
Вешенка	9,03 ± 1,1	35 ± 7,8	0,48 ± 0,09	99 ± 32
Вешенка агрофирма	9,24 ± 1,03	36 ± 5,6	0,36 ± 0,08	79 ± 57
Говядина мясо	475 ± 71	478 ± 105	0,21 ± 0,046	70 ± 4,8
Свинина мясо	839 ± 83	715 ± 128	0,22 ± 0,04	106 ± 9,4
Куриное мясо	840 ± 164	1530 ± 227	0,27 ± 0,022	136 ± 26
Мясо индейки	371 ± 79	424 ± 148	0,20 ± 0,021	155 ± 26
Субпродукты	1043 ± 721	1646 ± 612	0,21 ± 0,098	160 ± 80
Речная рыба	600 ± 322	971 ± 395	0,36 ± 0,12	421 ± 263
Морская рыба	1712 ± 1104	2316 ± 1450	0,28 ± 0,13	157 ± 45
Креветки	17636 ± 4295	6471 ± 1854	0,59 ± 0,15	1131 ± 450
Кальмар	2694 ± 213	3998 ± 762	0,15 ± 0,03	138 ± 18,5
Сухое молоко	6050 ± 410	9160 ± 3560	3,12 ± 0,65	1620 ± 855
Молочные продукты	275 ± 178	580 ± 230	0,12 ± 0,05	340 ± 127
Кофе	88 ± 71	456 ± 388	2,47 ± 1,49	1093 ± 661
Чай	67 ± 13	938 ± 210	1,83 ± 0,14	2371 ± 418
Сахар	33 ± 6,1	16 ± 3,5	0,002 ± 0,001	530 ± 96

далее везде данные приводятся с учетом влажности продукта, исключение составляют крупы, макароны, бобовые культуры, кофе, чай и сахар, где данные приводятся на воздушно-сухой вес.

Эти данные свидетельствуют о том, какие продукты питания бедны или богаты Na, Cl, K и Ca. Это важно при выборе продуктов для составления сбалансированного рациона питания. Например, в пшеничном и ржаном хлебе можно отметить высокое содержание Na, Cl, K и Ca, в фасоли, горохе и сое отмечается высокое содержание Cl, K и Ca, а в мясе — Na, Cl. Величина стандартного отклонения свидетельствует о достаточно равномерной выборке по отношению к Na, Cl, K и Ca.

С учетом этих данных и информации по рационам питания (см. табл. 17) было рассчитано суточное потребление Na, Cl, K и Ca для шести рассмотренных нами рационов питания. Результаты этих расчетов приведены в табл. 19. При этом следует отметить, что расчет велся без учета потребления питьевой воды — этот вопрос будет рассмотрен отдельно.

Таблица 19. Суточная потребность и поступление Na, Cl, K, Ca в организм человека с различными рационами

Элемент	Потребность M_f , мг/сут [1–8]	Поступление M_p , мг/сут						
		Литературные данные [5–11]	Рацион № 1	Рацион № 2	Рацион № 3	Рацион № 4	Рацион № 5	Рацион № 6
Na	1400–1600	4400	2070	4135	5496	6373	3473	2897
Cl	3200	—	979	1585	1920	2154	2270	1713
K	2000–5000	3300	8000	5100	5962	5720	10700	9601
Ca	800–1500	1100	681	587	567	788	1053	798

Данные в табл. 19 показывают величину поступления Na, Cl, K и Ca в абсолютных единицах при использовании каждого из шести предлагаемых рационов питания. Они позволяют оценить реальное поступление того или иного элемента в организм человека с тем или иным рационом в сравнении с потребностью. Тем не менее эти данные носят достаточно умозрительный характер, поскольку численные критерии оценки поступления этих элементов в организм человека отсутствуют. Например, из данных табл. 19 видно, что поступление Na и K с рационом № 1 больше физиологической потребности организма, а Cl и Ca — меньше. Но на сколько больше или меньше?

Очевидно, что для получения численного критерия оценки поступления макро- и микроэлементов в организм человека необходимо разделить значение реального поступления элемента (M_p) для каждого из рационов на значение физиологической потребности (M_f) в этом элементе. В результате получается некоторый коэффициент реального поступления для данного рациона

(K_p), который показывает, во сколько раз больше или меньше поступает данного элемента с конкретным рационом относительно суточной потребности в этом элементе:

$$K_p = \frac{M_p}{M_\phi}. \quad (4)$$

Численные значения K_p , рассчитанные по формуле (4), приводятся в табл. 20.

Таблица 20. Коэффициент реального поступления Na, Cl, K, Ca в организм человека для различных рационов

Элемент	K_p					
	Рацион № 1	Рацион № 2	Рацион № 3	Рацион № 4	Рацион № 5	Рацион № 6
Na	1,3	2,6	3,4	4,0	2,2	1,8
Cl	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,5
K	2,7	1,7	2,0	1,9	3,6	3,2
Ca	0,5	0,4	0,4	0,5	0,7	0,5

Данные этой таблицы указывают на существующий дисбаланс поступления Na, Cl, K и Ca в организм человека при использовании любого из шести представленных нами рационов питания. Этот дисбаланс заключается в избыточном поступлении Na и K, где значения $K_p = 1,3-4$, и недостаточном поступлении Cl и Ca ($K_p = 0,3-0,7$). Используя данные табл. 20, этот дисбаланс можно скорректировать, изменив в рационе питания соотношение используемых продуктов питания.

3.3. Поступление эссенциальных элементов в организм человека с продуктами питания. Группа Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn.

Хром. Метаболизм хрома достаточно сложен из-за его нескольких валентных состояний, определяющих особенности его поведения в организме. Хром входит в состав ферментных систем, участвует в обмене нуклеиновых кислот. При недостатке хрома может развиваться гипергликемия и глюкозурия, напоминающая явления умеренного сахарного диабета. Важнейшая биологическая роль микроэлемента хрома состоит в регуляции углеводного обмена и уровня глюкозы в крови, поскольку хром является компонентом низкомолекулярного органического комплекса — фактора толерантности к глюкозе (Glucose Tolerance Factor, GTF). Он нормализует проницаемость клеточных мембран для глюкозы, процессы использования и депонирования ее клетками, и в этом плане функционирует совместно с гормоном инсулином. Предполагают, что они образуют комплекс, регулирующий уровень глюкозы в крови. Хром увеличивает чувствительность клеточных рецепторов тканей к инсулину, облегчая их взаимодействие и уменьшая потребность организма

в инсулине. Он способен усиливать действие инсулина во всех метаболических процессах, регулируемых этим гормоном. Поэтому хром необходим больным сахарным диабетом (прежде всего II типа), у которых его уровень в крови понижен. Уровень хрома снижается у женщин во время беременности и после рождения ребенка. Дефицитом хрома можно объяснить диабет беременных, хотя это не единственная причина. Дефицит хрома в организме приводит также к повышению уровня триглицеридов и холестерина в плазме крови и в конечном итоге к атеросклерозу. Влияние хрома на липидный обмен также обуславливается его регулирующим действием на функционирование инсулина. В этой связи хром имеет большое значение для профилактики сахарного диабета и сердечно-сосудистых заболеваний. Достоверные данные о содержании хрома в организме человека в настоящее время отсутствуют (в некоторых литературных источниках приводится цифра 14 мг). Необходимое поступление хрома 0,05–0,2 мг/сут, токсическая доза 200 мг/сут.

Марганец входит в состав ферментативных систем и влияет на активность ряда ферментов. Известно накопление марганца щитовидной железой и его участие в образовании йодосодержащих белков. В большинстве случаев марганец не является специфическим структурным компонентом ферментов, а наряду с ионами других металлов активирует их каталитическую активность. Этот микроэлемент связан также с синтезом белка и нуклеиновых кислот. Предполагается определенная взаимосвязь между дефицитом марганца и заболеванием красной волчанкой, причем добавление в рацион марганца улучшает состояние таких больных. Выявлено снижение концентрации марганца в крови и тканях больных сахарным диабетом и установлено, что введение микроэлемента оказывает на них гипогликемическое действие. Марганец, возможно, участвует в процессах синтеза или метаболизма инсулина. Согласно научным данным, интенсивность роста детей в значительной степени зависит от потребления марганца. Установлено, что низкорослые дети потребляли в среднем на 40 % марганца меньше по сравнению с детьми высокого роста. В цельной крови содержится 0,8–1,2 мкг марганца на 100 мл. Содержание марганца в организме человека — 12–14 мг. Минимальная суточная потребность взрослых людей в марганце предположительно составляет 2–3 мг, необходимое поступление составляет 2–9 мг/сут.

Железо является незаменимым компонентом гемоглобина — пигмента эритроцитов, переносящего кислород от легких к тканям. Железо входит также в состав цитохромов дыхательной цепи митохондрий и антиоксидантных ферментов. Поэтому этот микроэлемент важен не только для обеспечения организма кислородом, но и для функционирования дыхательной цепи, процессов метаболизма и детоксикации эндогенных и экзогенных веществ, синтеза ДНК, инактивации токсических перекисных соединений. Железосодержащие соединения играют важную роль в функционировании иммунной системы, прежде всего, клеточного звена. Наиболее выраженная форма

проявления дефицита железа — железодефицитная анемия, вызывающая серьезные нарушения в организме. Дефицит железа проявляется общей анемией, а также шелушением кожи, расслоением ногтей, появлением трещин на губах, ломкостью волос. Чаще всего от недостатка железа страдают дети и женщины детородного возраста. Причиной недостатка железа у детей является неправильное питание и быстрый рост организма. У женщин дефицит железа развивается из-за постоянной потери крови во время менструации. Особенно опасен дефицит железа во время беременности. Анемия вследствие недостатка железа может вызвать даже гибель плода из-за недостатка кислорода. Различные заболевания пищеварительного тракта (хронические гастриты, энтериты) также могут способствовать развитию дефицита железа. Избыток железа в организме тоже вреден, с ним связан сидероз глаз и легких — заболевания, вызываемые отложением соединений железа в тканях этих органов. Главный регулятор содержания железа в крови — печень. В организме взрослого человека содержится около 4 г железа, причем основная масса его сконцентрирована в крови. Необходимое поступление железа составляет 10–30 мг/сут, доза 200 мг/сут оказывает токсическое действие.

Кобальт является одним из важнейших микроэлементов. Он регулирует функции нервной системы, в составе витамина В₁₂ участвует в строительстве белковых и жировых структур защитного миелинового слоя нервной клетки, предотвращая неврологические симптомы: раздражительность, утомление, обострение нервных заболеваний. Кобальт нормализует обмен веществ, регулирует работу эндокринной системы, входит в состав металлоэнзимов, во многих реакциях обмена является активатором ферментов; в тесном взаимодействии с витамином С, фолиевой и пантотеновой кислотами участвует в синтезе белков, жиров и углеводов. Он также способствует обновлению клеток организма — фермент кобаламин во взаимодействии с другими веществами запускает основной жизненный процесс — синтез дезоксирибонуклеиновой и рибонуклеиновой кислот (ДНК и РНК), из которых состоят клеточные ядра и которые содержат всю наследственную информацию. Они поддерживают и стимулируют синтез белковых веществ, стимулируют рост костной ткани. Это особенно важно для детей в период активного роста и для женщин в климактерическом периоде, у которых происходит гормонально обусловленная потеря костной массы. Кобальт способствует снижению уровня холестерина в крови и выведению его из кровеносных сосудов, предупреждая его отложение на стенках сосудов в виде атеросклеротических бляшек. Органические соединения кобальта оказывают благоприятное влияние на иммунитет, повышая фагоцитарную активность лейкоцитов. Недостаток кобальта может проявиться анемией (малокровие). Избыток кобальта стимулирует костный мозг к продуцированию эритроцитов, он также угнетает способность щитовидной железы аккумулировать йод, т. е. зобная болезнь может быть следствием

приема солей кобальта при анемии. Содержание кобальта в организме человека 14 мг. Необходимое поступление составляет 0,04–0,1 мг/сут, токсическое действие может возникнуть при дозе 200–500 мг/сут.

Медь входит в состав металлопротеинов, регулирующих окислительно-восстановительные реакции клеточного дыхания, фотосинтеза, усвоения молекулярного азота, является составной частью гормонов. Роль меди в организме заключается в активации тканевых ферментов, которые участвуют в дыхании клеток и превращении веществ. Очень важна роль меди в процессе кроветворения. При помощи меди происходит перенос железа в костный мозг и созревание эритроцитов. Медь играет важную роль в процессах биосинтеза гема и, соответственно, гемоглобина. Поэтому ее недостаток, так же как и недостаток железа, может привести к возникновению анемии. Медь входит в структуру цитохромоксидазы — терминального фермента дыхательной цепи митохондрий и, следовательно, необходима для процессов генерации энергии в клетке. Медь играет важную роль в антиоксидантной защите организма, так как вместе с цинком входит в структуру тканевого антиоксидантного фермента — супероксиддисмутазы и антиоксидантного белка плазмы крови — церулоплазмину, который является переносчиком этого металла. Медь обладает противовоспалительными и антисептическими свойствами (возможно, за счет антиоксидантного действия). Она также регулирует обмен катехоламинов, серотонина, тирозина, меланина, способствует повышению активности инсулина и более полной утилизации углеводов. Этот микроэлемент принимает участие в формировании структуры белков соединительной ткани — коллагена и эластина, которые являются структурными компонентами костной и хрящевой ткани, кожи, легких, стенок кровеносных сосудов. Поэтому дефицит меди может привести к формированию аневризмы аорты и сосудов головного мозга. По этой же причине недостаток меди приводит к деминерализации костной ткани и остеопорозу. Медь участвует в образовании миелиновых оболочек нервов, дегенерация которых приводит к рассеянному склерозу и другим тяжелым нарушениям нервной системы. При недостатке меди происходит нарушение развития костной и соединительной ткани, а также тормозится умственное развитие детей, увеличиваются печень и селезенка, развивается анемия. Содержание меди в организме человека 72 мг. Необходимое поступление составляет 2–5 мг/сут, токсическое действие возникает при дозе более 250 мг/сут.

Цинк входит в структуру активного центра нескольких сотен металлоферментов. Он необходим для функционирования ДНК- и РНК-полимераз, контролирующих процессы передачи наследственной информации и биосинтез белков, а также для репаративных процессов в организме, для фермента ключевой реакции биосинтеза гема, который входит в структуру гемоглобина, цитохромов дыхательных цепей митохондрий, цитохрома P-450, каталазы и миелопероксидазы. Цинк входит в структуру ключевого антиоксидантного

фермента — (Zn, Cu)-супероксиддисмутаза и индуцирует биосинтез защитных белков клетки — металлотioneинов, в силу чего цинк является антиоксидантом репаративного действия. Цинк играет важную роль в реализации гормональных функций в организме. Он непосредственно влияет на образование и функционирование инсулина, а тем самым на весь спектр инсулинзависимых процессов. У мужчин цинк участвует в синтезе тестостерона и функционировании половых желез, в силу чего прослеживается обратная связь между уровнем цинка в организме и потенцией. Являясь ингибитором 5-альфа-редуктазы, цинк регулирует уровень метаболита тестостерона — дигидротестостерона, избыток которого обуславливает гиперплазию простаты. Цинк является необходимым фактором и для женского организма, так как входит в структуру рецепторов эстрогенов, регулируя таким образом все эстрогензависимые процессы. Цинк жизненно важен для функционирования тимуса и нормального состояния иммунной системы организма. К тому же, являясь компонентом ретинолпереносящего белка, цинк вместе с витамином А и витамином С препятствует возникновению иммунодефицитов, стимулируя синтез антител и оказывая противовирусное действие. Цинк обладает ран- и язвозаживляющим действием, участвует в процессах вкусового восприятия и обоняния, необходим для функционирования центральной нервной системы, в том числе для процессов запоминания. Цинк входит в состав многих ферментов, оказывает стимулирующее действие на процесс полового созревания, образования костей, распада жировой ткани. Он необходим для выработки иммунитета, для нормальной работы поджелудочной железы, половых гормонов, нормального функционирования предстательной железы. Недостаток цинка развивается довольно редко. Иногда дефицит цинка возникает при избыточном потреблении мучных продуктов, препятствующих всасыванию цинка из кишечника. Недостаток цинка (особенно в детском возрасте) может привести к тяжелым нарушениям развития: торможению полового созревания, выпадению волос, деформации скелета. Содержание в организме человека 2,3 г. Необходимое поступление 6–30 мг/сут, токсическое действие возникает при дозе 300–600 мг/сут.

В табл. 21 приведены данные о содержании Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn в основных продуктах питания. Наиболее богаты этими элементами такие продукты, как овсяные хлопья, фасоль, горох, соя, мясные субпродукты и чай. Отдельно следует отметить очень большое содержание Cr и Mn в чае. Как мы уже отмечали, расчет концентрации микроэлементов для кофе и чая проводился на воздушно-сухой вес, поэтому очевидно, что при заварке напитка далеко не все количество микроэлементов переходит в раствор. По нашим оценкам, при заварке чая в раствор переходит от 0,5 до 6 % общего количества этих микроэлементов, содержащихся в сухом веществе.

С использованием данных табл. 21 и информации о рационах, представленной выше, было рассчитано поступление этих элементов в организм чело-

Таблица 21. Содержание Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn в основных продуктах питания, мг/кг

Объект	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn
Овес, хлопья	0,5 ± 0,1	31 ± 5,1	62 ± 8,3	0,09 ± 0,02	4,2 ± 0,8	24 ± 5,1
Гречневая крупа	0,06 ± 0,02	13 ± 2,3	19,6 ± 4,9	0,07 ± 0,02	4,1 ± 0,9	10,2 ± 6,2
Рис	0,28 ± 0,23	6,6 ± 2,3	24 ± 7,2	0,05 ± 0,03	2,7 ± 0,4	12,2 ± 2,3
Пшено	0,38 ± 0,14	9,2 ± 1,3	217 ± 49	0,12 ± 0,06	5,13 ± 1,6	22,3 ± 4,8
Манка	0,12 ± 0,05	7,5 ± 4,3	124 ± 17	0,03 ± 0,01	1,82 ± 0,8	6,5 ± 1,3
Макароны	0,31 ± 0,14	11,2 ± 4,4	33 ± 10	0,03 ± 0,02	3,85 ± 0,89	10,3 ± 3,5
Хлеб пшеничный	0,25 ± 0,05	12 ± 5,5	55 ± 9,6	0,09 ± 0,04	1,63 ± 0,51	12 ± 4,2
Хлеб ржаной	0,35 ± 0,23	23 ± 11	63 ± 35	0,09 ± 0,05	3,15 ± 0,94	18 ± 9,3
Картофель	0,054 ± 0,03	1,3 ± 0,5	8,68 ± 4,3	0,011 ± 0,004	0,88 ± 0,42	4,0 ± 1,9
Капуста	0,032 ± 0,012	3,2 ± 1,5	5,6 ± 2,2	0,005 ± 0,002	0,53 ± 0,36	2,1 ± 0,8
Томаты	0,034 ± 0,011	0,83 ± 0,22	4,26 ± 1,1	0,004 ± 0,002	0,46 ± 0,15	1,95 ± 0,61
Морковь	0,023 ± 0,01	0,85 ± 0,31	2,3 ± 0,9	0,007 ± 0,004	0,42 ± 0,18	2,52 ± 1,3
Фасоль	0,23 ± 0,15	16,5 ± 5,6	54 ± 11	0,23 ± 0,11	8,87 ± 6,3	34 ± 4,5
Горох	0,97 ± 0,23	13,6 ± 4,7	34 ± 5,4	0,17 ± 0,08	4,15 ± 0,7	19 ± 2,2
Соя	0,23 ± 0,05	26 ± 5,5	89 ± 7,8	0,24 ± 0,18	16,3 ± 5,8	54 ± 3,8
Фрукты	0,038 ± 0,003	0,54 ± 0,21	3,80 ± 1,33	0,006 ± 0,001	0,48 ± 0,29	0,78 ± 0,35
Ягоды	0,055 ± 0,03	9,05 ± 6,77	7,28 ± 3,32	0,009 ± 0,005	0,59 ± 0,34	2,02 ± 1,39
Белый гриб	0,043 ± 0,03	0,85 ± 0,41	5,51 ± 2,6	0,029 ± 0,02	1,53 ± 0,8	7,36 ± 6,9
Шампиньон	0,047 ± 0,03	0,66 ± 0,09	5,59 ± 2,92	0,064 ± 0,059	14 ± 8,2	7,33 ± 2,1
Шампиньон агрофирма	0,024 ± 0,01	0,54 ± 0,05	3,73 ± 0,71	0,004 ± 0,001	2,01 ± 0,31	4,91 ± 0,43
Вешенка	0,018 ± 0,011	0,95 ± 0,28	8,56 ± 1,2	0,009 ± 0,003	1,05 ± 0,21	5,9 ± 0,83
Вешенка агрофирма	0,014 ± 0,01	0,46 ± 0,06	8,75 ± 1,2	0,006 ± 0,002	0,68 ± 0,12	4,89 ± 0,3
Говядина мясо	0,045 ± 0,01	0,09 ± 0,04	8,5 ± 1,2	0,003 ± 0,001	0,45 ± 0,11	63 ± 5,1
Свинина мясо	0,045 ± 0,023	0,16 ± 0,06	7,61 ± 2,5	0,004 ± 0,001	0,91 ± 0,29	41 ± 8,5
Куриное мясо	0,78 ± 0,29	0,42 ± 0,19	16,4 ± 2,1	0,016 ± 0,007	0,31 ± 0,12	9,04 ± 3,6
Мясо индейки	0,095 ± 0,05	0,14 ± 0,08	11,6 ± 1,51	0,007 ± 0,005	0,66 ± 0,12	23,1 ± 5,6
Субпродукты	0,22 ± 0,17	0,57 ± 0,41	158 ± 129	0,018 ± 0,008	6,9 ± 5,3	20,4 ± 10
Речная рыба	0,069 ± 0,03	0,57 ± 0,32	21,4 ± 12	0,014 ± 0,011	0,33 ± 0,15	9,73 ± 4,1
Морская рыба	0,08 ± 0,07	0,18 ± 0,14	15 ± 15	0,021 ± 0,011	0,61 ± 0,52	5,18 ± 1,9
Креветки	0,045 ± 0,02	0,29 ± 0,21	8,18 ± 1,4	0,17 ± 0,12	3,43 ± 0,65	20,2 ± 6,3
Кальмар	0,037 ± 0,02	0,43 ± 0,23	1,48 ± 0,46	0,038 ± 0,02	1,16 ± 0,22	12,1 ± 2,3
Сухое молоко	< 0,01	0,35 ± 0,15	4,11 ± 0,56	0,012 ± 0,011	0,25 ± 0,22	42 ± 5,2
Молочные продукты	0,04 ± 0,02	0,06 ± 0,03	3,62 ± 1,11	< 0,002	0,38 ± 0,15	4,93 ± 1,5
Кофе	0,26 ± 0,11	27 ± 9,53	33 ± 6,8	0,29 ± 0,15	10,6 ± 8,7	5,2 ± 2,6
Чай	2,31 ± 1,38	995 ± 582	146 ± 25	0,21 ± 0,05	17 ± 6,56	23 ± 5,29
Сахар	< 0,01	< 0,05	< 0,5	< 0,002	0,09 ± 0,04	0,61 ± 0,22

века при различных рационах питания. Результаты этих расчетов приведены в табл. 22.

Анализируя данные табл. 22, прежде всего следует отметить значительные расхождения в оценке суточной потребности (M_{Φ}) для отдельных ми-

Таблица 22. Суточная потребность и поступление Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn в организм человека при различных рационах

Элемент	Потребность M_{ϕ} (токсичная доза), мг/сут [1–8]	Поступление M_p , мг/сут						
		Литературные данные [5–11]	Рацион № 1	Рацион № 2	Рацион № 3	Рацион № 4	Рацион № 5	Рацион № 6
Cr	0,05–0,2 (200)	0,15	0,25	0,18	0,135	0,22	0,25	0,199
Mn	2–9	5	1,75	11,1	1,9	5,1	9,4	6,9
Fe	10–30(200)	16	75,5	51,4	38	61	67	51
Co	0,04–0,07 (500)	0,3	0,057	0,034	0,021	0,037	0,063	0,05
Cu	2–5 (250)	3,5	3,49	2,56	2,21	3,3	3,8	3,06
Zn	6–30 (600)	13	18,8	18,1	18,3	23	26	20

кроэлементов от 3 до 5 раз. Это вызывает некоторые сложности при расчете значений K_p по формуле (4). Наиболее целесообразно брать для расчета K_p среднеарифметические значения M_{ϕ} . Рассчитанные по формуле (4) значения коэффициентов K_p для рационов № 1–6 для Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn приводятся в табл. 23. Анализируя данные, представленные в этой таблице, следует отметить, что поступление этих микроэлементов с перечисленными рационами питания достаточно близко к необходимому суточному. Исключение составляют рацион № 1, где отмечается недостаточное поступление Mn ($K_p = 0,3$), и рацион № 3, где отмечен недостаток Mn ($K_p = 0,3$) и Co ($K_p = 0,4$).

Таблица 23. Коэффициент реального поступления Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn в организм человека при различных рационах

Элемент	K_p					
	Рацион № 1	Рацион № 2	Рацион № 3	Рацион № 4	Рацион № 5	Рацион № 6
Cr	1,3	0,9	0,7	1,1	1,3	1,0
Mn	0,3	2,0	0,3	0,9	1,7	1,3
Fe	3,8	2,6	1,9	3,1	3,4	2,6
Co	1,0	0,6	0,4	0,6	1,1	0,8
Cu	1,2	0,9	0,7	1,1	1,3	1,0
Zn	0,9	0,9	0,9	1,2	1,3	1,0

При необходимости дефицит Mn и Co может быть устранен путем увеличения в этих рационах доли продуктов, богатых этими элементами, например, гороха, фасоли, сои. Кроме того, следует отметить избыточное поступление Fe, характерное практически для всех представленных рационов ($K_p = 1,9–3,8$).

Группа Mg, Se, Mo, I. Магний необходим для нормальной работы сосудов сердца и снижения свертываемости крови, почек, функции желчевыводящих путей, нервной системы. Дефицит этого элемента в организме может привести к иммунодефициту и хроническому грибковому поражению кишечника. Физиологическая функция магния обусловлена его участием в качестве кофактора в ряде важнейших ферментативных процессов. Магний является структурным компонентом широкого круга (приблизительно 300) ферментов. Этим определяется системное влияние магния на энергетические процессы во всех органах и тканях, активно потребляющих энергию (сердце, нервная система, работающие мышцы). С этим связан широкий спектр фармакологической активности магния. Он обладает кардиопротекторным действием, оказывая благоприятное влияние на сердце при нарушении ритма, в том числе при инфаркте миокарда, улучшая кислородное обеспечение миокарда, ограничивая зону повреждения. Одновременно магний проявляет сосудорасширяющее действие и способствует снижению артериального давления. Магний является антистрессовым макроэлементом, оказывает нормализующее действие на состояние нервной системы и ее высших отделов (особенно в сочетании с витамином B₆) при нервном напряжении, депрессиях, неврозах. При сахарном диабете магний предотвращает сосудистые осложнения и в сочетании с цинком, хромом, селеном, улучшает функцию бета-клеток поджелудочной железы. При заболеваниях органов дыхания он способствует расширению бронхов и снятию бронхоспазма. Магний оказывает положительное влияние на состояние репродуктивной системы. У беременных женщин магний вместе с фолиевой и пантотеновой кислотами предотвращает недостаточность развития плода, препятствует развитию гестозов, преждевременным родам и выкидышам. Во время менопаузы у женщин Mg обеспечивает снижение отрицательных проявлений этого состояния. В организме взрослого человека содержится 21–25 г магния, главным образом в костях в виде фосфатов и бикарбоната. Необходимое поступление магния оценивается в 250–450 мг/сут.

Селен считается одним из наиболее эффективных антиоксидантов. Роль селена в организме определяется, в первую очередь, его включением в состав одного из важнейших антиоксидантных ферментов — Se-зависимой глутатионпероксидазы, которая защищает клетки от накопления продуктов перекисного окисления, тем самым предупреждая повреждение ее ядерного и белоксинтезирующего аппарата. Селен является синергистом витамина E и способствует повышению его антиоксидантной активности. Селен входит в состав фермента — йодтиронин-5-дейодиназы (контролирующего образование трийодтиронина), в состав белков мышечной ткани и, что особенно важно, белков миокарда. В виде селенопротеина Se является составной частью тестикулярной ткани. Поэтому дефицит селена приводит к ослаблению антиоксидантного статуса, функций антиканцерогенной защиты, обуславливает

миокардиодистрофию, нарушение сексуальной функции и иммунодефицит. Помимо этого селен проявляет антимуtagenный, антитератогенный, радиопротекторный эффекты, стимулирует антиоксическую защиту, нормализует обмен нуклеиновых кислот и белков, улучшает репродуктивную функцию, регулирует функцию щитовидной и поджелудочной желез. В силу изложенного селен относится к геропротекторам. Известна способность Se предохранять от отравления Cd и Pb. В организме человека содержится около 14 мг селена. Необходимое поступление Se составляет 0,06–0,15 мг/сут, недостаток проявляется при поступлении менее 0,01 мг/сут в виде болезни Кешана, или кардиомиопатии, токсическое действие возникает при дозе 55 мг/сут.

Молибден. Роль молибдена в обмене веществ обусловлена включением его в состав нескольких ферментов. Обмен молибдена в организме в некоторой степени сходен с обменом фосфора. Молибден необходим для активности ряда ферментов, участвующих в тканевом дыхании и синтезе аскорбиновой кислоты, что способствует нормальному росту и развитию организма в целом. Молибден входит в состав фермента, отвечающего за усвоение и утилизацию железа. Достаточное поступление молибдена в организм предупреждает анемию, обеспечивает хорошее самочувствие. Молибден ускоряет метаболизм пуринов, так как является составной частью фермента ксантиноксидазы, который окисляет ксантины в мочевую кислоту и выводит ее из организма. Таким образом, он снижает интенсивность образования и накопления мочевой кислоты в тканях, а также в синовиальных оболочках суставов и тем самым предупреждает развитие подагры. Молибден укрепляет эмаль зубов, задерживая фтор в организме, и регулирует обмен веществ, способствуя метаболизму белков, жиров и углеводов. Длительное потребление избыточных количеств молибдена приводит к нарушению обмена P–Ca, деформации конечностей, слабости. Достоверных данных о содержании Mo в организме человека нет, необходимое поступление составляет 0,3 мг/сут, токсическое действие возникает при дозе 5 мг/сут.

Йод является незаменимым для человека микроэлементом. Йод регулирует работу щитовидной железы и гипофиза, предупреждает усвоение радиоактивного йода, обеспечивает защиту от действия радиации. Йод является структурным компонентом гормонов щитовидной железы — тироксина T4 и трийодтиронина T5. Известно, что йод и селен метаболически связаны друг с другом — йод в организме не функционирует без селена. Основная метаболическая функция этих гормонов состоит в повышении синтеза АТФ и связанном с этим увеличении потребления кислорода митохондриями в процессе окислительного фосфорилирования. Через этот универсальный механизм гормоны щитовидной железы оказывают на организм системное действие. Поэтому дефицит йода приводит к снижению основного обмена. Прежде всего он сказывается на состоянии центральной нервной системы. Ребенок должен получать необходимое количество йода еще в утробе матери. У детей

гипотиреоз приводит к глубоким нарушениям высшей нервной деятельности, неполному развитию интеллектуальных возможностей человека, кретинизму. У взрослых дефицит йода приводит к психической инертности, заторможенности, снижению мыслительных способностей, уменьшению силы и частоты сердечных сокращений, диастолической гипертонии. Вследствие торможения энергообеспечивающих процессов происходит недостаточное окисление продуктов обмена, что ведет к нарушению эндоэкологического состояния организма. Одновременно тормозится окисление холестерина и накопление его атерогенных форм, что ведет к раннему атеросклерозу, а в сочетании с нарушениями функций сердечно-сосудистой системы — к инфаркту миокарда и инсульту. Из-за дефицита энергопродукции имеет место снижение мышечного тонуса, вялость поперечно-полосатой и гладкой мускулатуры, в том числе желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). Дефицит йода приводит к иммунодефициту, увеличению риска развития опухолей, в первую очередь щитовидной железы. Нозологической формой проявления дефицита йода является эндемический зоб — заболевание весьма распространенное в йоддефицитных регионах России. При недостатке йода возникает тяжелое состояние — гипотиреоз, названное так из-за недостатка гормонов щитовидной железы, для синтеза которых необходим йод. Дефицит йода возникает в основном из-за неправильного питания. В некоторых регионах земного шара (например, Урал) гипотиреоз возникает особенно часто. Это связано с недостатком содержания йода в почве и воде. Необходимое поступление составляет 0,06–0,2 мг/сут.

В табл. 24 приведены данные о содержании Mg, Se, Mo, I в основных продуктах питания. Эти данные показывают, что наиболее богаты магнием овсяные хлопья, гречневая крупа, пшено, фасоль, горох, соя, кофе и чай. Наибольшее содержание селена обнаружено в белых грибах, дикорастущих шампиньонах, мясных субпродуктах, речной рыбе и креветках. Большое содержание молибдена обнаружено в фасоли и сое. Йод в значительных количествах присутствует в овсяных хлопьях, фасоли, мясе, морской рыбе и сухом молоке. С использованием данных табл. 24 и информации о рационах было рассчитано поступление этих элементов в организм человека при различных рационах питания. Результаты этих расчетов приведены в табл. 25.

Данные, приведенные в табл. 25, показывают абсолютное значение суточного потребления Mg, Se, Mo и I при различных рационах питания. Следует отметить, что для Se существует токсичная доза суточного потребления (55 мг/сут), которая не превышена ни в одном из представленных рационов. Для того чтобы более наглядно представить величину поступления этих микроэлементов в сравнении с необходимым поступлением, значения для рационов № 1–6 были отнесены к средним значениям суточной потребности. Поступление Mg, Se, Mo и I с различными рационами питания в организм человека относительно суточной потребности приводится в табл. 26.

Таблица 24. Содержание Mg, Se, Mo, I в основных продуктах питания, мг/кг

Объект	Mg	Se	Mo	I
Овес, хлопья	1245 ± 202	< 0,02	< 0,05	0,047 ± 0,012
Гречневая крупа	1499 ± 340	< 0,02	< 0,05	0,002 ± 0,002
Рис	351 ± 142	0,23 ± 0,12	< 0,05	0,003 ± 0,002
Пшено	1353 ± 98	0,26 ± 0,05	< 0,05	0,005 ± 0,003
Манка	242 ± 65	< 0,02	0,81 ± 0,26	0,009 ± 0,004
Макаронны	269 ± 132	0,16 ± 0,11	< 0,05	0,002 ± 0,001
Хлеб пшеничный	450 ± 155	< 0,02	< 0,05	0,003 ± 0,002
Хлеб ржаной	950 ± 280	< 0,02	< 0,05	0,013 ± 0,011
Картофель	289 ± 46	< 0,02	< 0,05	0,002 ± 0,001
Капуста	110 ± 60	< 0,02	< 0,05	< 0,003
Томаты	210 ± 99	< 0,02	< 0,05	< 0,003
Морковь	278 ± 103	< 0,02	< 0,05	0,004 ± 0,003
Фасоль	1870 ± 355	< 0,02	5,6 ± 4,2	0,035 ± 0,02
Горох	1040 ± 348	< 0,02	< 0,05	0,006 ± 0,002
Соя	1780 ± 530	0,15 ± 0,13	22,6 ± 3,21	0,003 ± 0,002
Фрукты	115 ± 17	0,024 ± 0,01	0,065 ± 0,03	0,003 ± 0,001
Ягоды	138 ± 77	< 0,02	0,065 ± 0,036	0,002 ± 0,001
Белый гриб	69,5 ± 26	1,08 ± 0,75	0,029 ± 0,01	0,0069 ± 0,006
Шампиньон	158 ± 70	0,65 ± 0,55	0,015 ± 0,005	0,011 ± 0,009
Шампиньон агрофирма	143 ± 38	0,19 ± 0,14	< 0,05	0,006 ± 0,004
Вешенка	133 ± 48	0,061 ± 0,013	< 0,05	0,005 ± 0,003
Вешенка агрофирма	128 ± 22	0,034 ± 0,021	< 0,05	0,002 ± 0,001
Говядина мясо	201 ± 39	0,027 ± 0,009	< 0,05	< 0,003
Свинина мясо	187 ± 50	0,12 ± 0,04	< 0,05	0,015 ± 0,008
Куриное мясо	753 ± 168	0,12 ± 0,05	0,071 ± 0,02	0,011 ± 0,01
Мясо индейки	195 ± 32	0,071 ± 0,03	< 0,05	0,029 ± 0,012
Субпродукты	395 ± 276	0,78 ± 0,66	0,91 ± 0,12	0,008 ± 0,005
Речная рыба	289 ± 45	0,55 ± 0,48	< 0,05	0,016 ± 0,006
Морская рыба	306 ± 134	0,27 ± 0,2	0,2 ± 0,09	0,09 ± 0,05
Креветки	496 ± 94	0,59 ± 0,32	< 0,05	0,027 ± 0,016
Кальмар	238 ± 60	0,12 ± 0,05	< 0,05	0,011 ± 0,01
Сухое молоко	740 ± 243	< 0,02	< 0,05	0,11 ± 0,08
Молочные продукты	170 ± 66	< 0,02	< 0,05	< 0,003
Кофе	2478 ± 1053	< 0,02	0,11 ± 0,09	0,012 ± 0,003
Чай	3319 ± 875	0,12 ± 0,09	< 0,05	0,035 ± 0,015
Сахар	18 ± 4,3	< 0,02	< 0,05	< 0,003

Большинство исследователей в настоящее время считает, что поступление Se и I с продуктами питания в целом ряде регионов России недостаточно. Данные, приведенные в табл. 26, показывают, что для I это утверждение совершенно справедливо. Поступление йода для всех представленных рационов

Таблица 25. Суточная потребность и поступление Mg, Se, Mo, I в организм человека с различными рационами

Элемент	Потребность M_{ϕ} (токсичная доза), мг/сут [1–8]	Поступление M_p , мг/сут						
		Литературные данные [5–11]	Рацион № 1	Рацион № 2	Рацион № 3	Рацион № 4	Рацион № 5	Рацион № 6
Mg	300–450	НД	840	583	428	696	950	730
Se	0,06–0,15 (55)	0,15	0,15	0,24	0,25	0,27	0,2	0,17
Mo	0,3	0,3	0,14	0,11	0,1	0,17	0,54	0,61
I	0,06–0,2	НД	0,01	0,015	0,017	0,018	0,023	0,017

Таблица 26. Коэффициент реального поступления в организм человека Mg, Se, Mo, I с различными рационами

Элемент	K_p					
	Рацион № 1	Рацион № 2	Рацион № 3	Рацион № 4	Рацион № 5	Рацион № 6
Mg	2,2	1,6	1,1	1,9	2,5	1,9
Se	1,4	2,3	2,4	2,6	1,9	1,6
Mo	0,5	0,4	0,3	0,6	1,8	2,0
I	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1

составляет значение 0,1–0,2 от необходимого. Исправить это положение, не нарушая естественного баланса поступления микроэлементов, можно, по нашему мнению, только употреблением в пищу искусственно обогащенных этим элементом продуктов. В отношении Se наблюдается иная картина — поступление этого элемента даже немного больше необходимого (в 1,4–2,6 раза). Т.е. при данной выборке продуктов питания дефицита Se не наблюдается. Кроме того, следует отметить дефицит поступления Mo с рационами питания № 1–4.

3.4. Поступление условно-эссенциальных микроэлементов — Ni, Br, Ag — в организм человека с рационами питания. *Никель* относится к так называемым условно-эссенциальным элементам. Убедительных доказательств жизненной необходимости никеля для животных и человека пока не получено. Предположение о том, что никель играет определенную роль в жизни человека, до последнего времени основывалось лишь на его присутствии в живых тканях, на связывании с гамма-глобулином плазмы и способности активизировать некоторые ферменты в организме. Признаки недостаточности никеля во всех случаях были аналогичными: задержка роста, снижение уровня гемоглобина, изменение наружных покровов. В то же время имеются сообщения о канцерогенных свойствах никеля и его производных. Данные о содержании никеля в организме достаточно противоречивы, различные ис-

следователи приводят цифры, различающиеся на порядок — от 1 до 10 мг. В отношении необходимого поступления расхождение еще значительнее — от 0,005 до 0,6 мг/сут. Большинство исследователей придерживается мнения, что дозы, необходимые для человека, составляют 0,3–0,6 мг/сут.

Бром. Биологическая роль Вг в живых организмах изучена недостаточно. Известно, что Вг является постоянной составной частью нормального желудочного сока, обуславливая наряду с Cl его кислотность. Соединения Вг угнетают функцию щитовидной железы и усиливают гормональную активность коры надпочечников. Бром в качестве средства от бессонницы и нервного переутомления начали применять в медицине давно, через 10 лет после его открытия. Особенно полезен бром для восстановления нормального соотношения между процессами возбуждения и торможения в коре головного мозга, поскольку он концентрируется и накапливается в мозге, что способствует «авторегулированию» взаимосвязанных процессов. Кроме того, в организме человека бром обнаруживается в крови, почках, щитовидной железе. Бром участвует в регуляции деятельности центральной нервной системы, нормализует ее состояние — влияет на процессы возбуждения и усиливает процесс торможения в нейронах коры головного мозга. Механизм действия брома на центральную нервную систему связан с его способностью накапливаться в липидной части мембран клеток головного мозга, активируя при этом мембранные ферменты. Бром, являясь конкурентом йода, регулирует работу щитовидной железы — снижает захват йода щитовидной железой и, таким образом, препятствует повышению уровня йода в щитовидной железе, способствуя профилактике эндемического зоба. Содержание Вг в организме человека — 260 мг, необходимое поступление в организм в настоящее время не определено, токсическое действие возникает при дозе 3 г/сут.

Серебро. Биологическая роль Ag в настоящее время изучена недостаточно. Известно антисептическое действие серебра и его неспецифическое действие на ферментативные системы. Серебро обладает выраженным бактерицидным, антисептическим, противовоспалительным, вяжущим действием. Серебро — естественный бактерицидный металл, эффективный против 650 видов бактерий, которые не приобретают к нему устойчивости, в отличие от практически всех антибиотиков. Серебро действует антибиотически против многих простейших и даже вирусов. Предполагают, что серебро подавляет ферменты, контролирующие энергетический обмен инфектантов. Достоверных данных о содержании Ag в организме человека и о необходимом суточном поступлении нет, токсическое действие возникает при поступлении в организм человека 60 мг/сут.

В табл. 27 приводится содержание Ni, Вг, Ag в основных продуктах питания. Эти данные показывают, что достаточно большое количество никеля содержится в овсяных хлопьях, пшене, фасоли, горохе, сое и чае. Кроме того, показано, что бром содержится в значительном количестве практически во

Таблица 27. Содержание Ni, Br, Ag в основных продуктах питания, мг/кг

Объект	Ni	Br	Ag
Овес, хлопья	3,3 ± 0,5	6,45 ± 2,1	< 0,03
Гречневая крупа	1,8 ± 0,55	0,41 ± 0,39	< 0,03
Рис	0,52 ± 0,15	20,4 ± 12	< 0,03
Пшено	3,42 ± 0,81	19,1 ± 2,2	< 0,03
Манка	< 0,03	14,4 ± 4,2	< 0,03
Макаронны	0,32 ± 0,13	2,33 ± 1,22	< 0,03
Хлеб пшеничный	0,16 ± 0,05	4,33 ± 0,72	< 0,03
Хлеб ржаной	0,58 ± 0,22	2,85 ± 0,92	< 0,03
Картофель	0,08 ± 0,02	0,27 ± 0,21	< 0,03
Капуста	0,23 ± 0,15	0,13 ± 0,05	< 0,03
Томаты	0,042 ± 0,014	0,34 ± 0,22	< 0,03
Морковь	0,13 ± 0,03	0,25 ± 0,23	< 0,03
Фасоль	2,17 ± 1,12	0,42 ± 0,23	< 0,03
Горох	1,27 ± 0,43	15,2 ± 3,8	< 0,03
Соя	4,9 ± 1,3	1,56 ± 0,45	< 0,03
Фрукты	0,16 ± 0,03	0,066 ± 0,04	0,013 ± 0,01
Ягоды	0,16 ± 0,06	0,093 ± 0,08	0,025 ± 0,02
Белый гриб	0,12 ± 0,07	1,61 ± 1,28	0,088 ± 0,07
Шампиньон	0,08 ± 0,04	0,37 ± 0,33	1,22 ± 0,83
Шампиньон агрофирма	0,026 ± 0,004	0,19 ± 0,07	0,01 ± 0,01
Вешенка	0,026 ± 0,01	0,048 ± 0,02	0,03 ± 0,01
Вешенка агрофирма	< 0,03	0,048 ± 0,012	0,016 ± 0,003
Говядина мясо	< 0,03	0,89 ± 0,19	< 0,03
Свинина мясо	< 0,03	1,67 ± 0,15	< 0,03
Куриное мясо	0,16 ± 0,05	4,04 ± 3,32	< 0,03
Мясо индейки	< 0,03	0,59 ± 0,33	< 0,03
Субпродукты	0,17 ± 0,04	4,68 ± 4,1	0,08 ± 0,03
Речная рыба	0,18 ± 0,01	2,2 ± 1,6	< 0,03
Морская рыба	0,13 ± 0,04	12,9 ± 8,8	< 0,03
Креветки	0,31 ± 0,14	350 ± 227	0,13 ± 0,12
Кальмар	< 0,03	24,4 ± 9,3	< 0,03
Сухое молоко	< 0,03	56 ± 19	< 0,03
Молочные продукты	< 0,03	5,32 ± 2,62	< 0,03
Кофе	1,06 ± 0,35	8,83 ± 4,8	< 0,03
Чай	4,46 ± 1,64	6,33 ± 0,15	< 0,03
Сахар	0,3 ± 0,08	< 0,05	< 0,03

всех продуктах питания. Больше всего брома содержат некоторые крупы, морепродукты и сухое молоко. Достаточно высокое содержание серебра характерно только для белых грибов и дикорастущих шампиньонов.

Предполагаемая суточная потребность, токсичная доза и поступление в организм человека Ni, Вг, Ag с различными рационами приведены в табл. 28. Поскольку для этих микроэлементов отсутствуют научно обоснованные значения необходимого суточного поступления (0,3–0,6 мг/сут для Ni только предполагаемое значение), нормировка суточного поступления с исследуемыми рационами на значение необходимого поступления (расчет коэффициента K_p) произведена не была.

Таблица 28. Суточная потребность, токсичная доза и поступление Ni, Вг, Ag в организм человека с различными рационами

Элемент	Потребность M_{ϕ} (токсичная доза), мг/сут [1–8]	Поступление M_p , мг/сут						
		Литературные данные [5–11]	Рацион № 1	Рацион № 2	Рацион № 3	Рацион № 4	Рацион № 5	Рацион № 6
Ni	0,3–0,6	0,4	0,96	0,49	0,245	0,52	0,91	0,7
Вг	– (3000)	7,5	5,54	6,49	7,1	7,5	11	8,3
Ag	– (60)	0,07	0,007	0,023	0,029	0,028	0,025	0,019

3.5. Поступление токсичных микроэлементов в организм человека с продуктами питания. Из всей совокупности микроэлементов безусловно токсичными считают мышьяк, кадмий, сурьму (биологическая роль которой окончательно не установлена), ртуть и свинец.

Мышьяк и все его соединения ядовиты. При остром отравлении мышьяком наблюдаются рвота, боли в животе, понос, угнетение центральной нервной системы. As относится к токсичным элементам, считается канцерогенным для человека. В ряде биологических процессов он может заменять фосфор. As способствует хронической анемии и аллергиям. Однако установлено, что его недостаток приводит к понижению рождаемости и угнетению роста у экспериментальных животных. Около 80 % мышьяка всасывается в желудочно-кишечном тракте, 10 % поступает через легкие и около 1 % — через кожу. Более 90 % неорганических соединений мышьяка растворимы и хорошо абсорбируются. Далее неорганический мышьяк перемещается в печень, где он метилируется. Мышьяк накапливается в легких, печени, коже и тонком кишечнике. Через 24 ч после поступления из организма выводится 30 % мышьяка с мочой и порядка 4 % с фекалиями. Незначительные количества удаляются с потом, выпавшими волосами и желчью. Однако медики установили, что в малых количествах мышьяк оказывает благотворное действие на организм человека: улучшает кроветворение, повышает усвоение азота и фосфора, ограничивает распад белков и ослабляет окислительные процессы. Эти свойства мышьяка используют при назначении мышьяковистых препаратов с лечебной целью.

Неорганические препараты (раствор арсената (III) натрия, мышьяковистый ангидрид и др.) назначают при истощении, малокровии, некоторых кожных заболеваниях. В зубоврачебной практике применяют пасту с мышьяковистым ангидридом («белый мышьяк»). Органические препараты мышьяка применяются при лечении возвратного тифа, малярии и ряда других инфекционных заболеваний. Дефицит этого элемента в организме может развиваться при его недостаточном поступлении (1 мкг/сут и менее). Содержание мышьяка в организме человека оценивается примерно в 18 мг. Хроническая интоксикация наблюдается при потреблении 1–5 мг/сут. При остром отравлении симптомы его обычно наступают через 20–30 мин. Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) и Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) установлена недельная безопасная доза — 5 мкг/кг массы тела. Для более токсичных неорганических соединений мышьяка установлена норма 2 мкг/кг массы тела в сутки, т. е. 138 мкг/сут для человека массой 69 кг. Необходимое поступление мышьяка в настоящее время научно не установлено, токсическая доза составляет 10–50 мг/сут.

Кадмий относится к токсичным элементам. Известно, что кадмий, аналогично меди и цинку, снижает адреналиновую гипергликемию, но сам по себе не оказывает влияния на содержание сахара в крови. Соединения кадмия высокотоксичны, вызывают воспаление почек, жировое перерождение печени и сердца, кишечные кровотечения, обладают канцерогенным действием. В определенных условиях ионы кадмия, обладая большой подвижностью в почвах, легко переходят в растения, накапливаются в них и затем поступают в организм животных и человека. Исследования, проведенные на животных различных уровней организации — от микроорганизмов до млекопитающих, — показали, что соли кадмия обладают мутагенными и канцерогенными свойствами и представляют потенциальную генетическую опасность. Кадмий блокирует работу ряда ферментов, важных для жизнедеятельности организма. Кроме того, он поражает печень, почки, поджелудочную железу, способен вызвать эмфизему или даже рак легких. Вредность кадмия усугубляется его исключительной кумулятивностью, даже при незначительном количестве поступающего элемента его содержание в почках или в печени может через некоторое время достигнуть опасной концентрации. Кадмий плохо выводится из организма, и от 50 до 75 % его количества удерживается в организме. Наиболее типичным проявлением отравления кадмием является нарушение процессов поглощения аминокислот, фосфора и кальция в почках. После прекращения действия кадмия повреждения, вызванные его действием в почках, остаются необратимыми. ФАО и ВОЗ установили предельную безопасную дозу Cd — 6,7–8,3 мкг/кг. В организме человека содержится около 50 мг кадмия, токсическое действие может проявляться при поступлении 3–5 мг/сут.

Сурьма. Достоверные данные о роли сурьмы в обмене веществ в организме человека в настоящее время отсутствуют. По своим свойствам сурьма близка к мышьяку, установлено угнетающее влияние сурьмы на ферменты, участвующие в углеводном, жировом и белковом обмене. Сурьма, как и мышьяк, реагирует с сульфгидрильными группами, обладает токсичными и канцерогенными свойствами, возможно, вызывает иммунодефицит. В организме человека содержится около 2,5 мг сурьмы, токсическое действие возможно при дозе 100 мг/сут.

Ртуть относится к высокотоксичным элементам, она вызывает множество различных патологий и вредна в любых количествах. Это высокотоксичный, кумулятивный яд, поражающий кроветворную, ферментативную, нервную системы и почки. Наиболее токсичны некоторые органические соединения, особенно метилртуть. Ртуть относится к числу элементов, постоянно присутствующих в окружающей среде и живых организмах. ФАО и ВОЗ установлена недельная безопасная доза общей ртути — 5 мкг/кг массы человеческого тела. Допустимая концентрация металлической ртути в воздухе — 0,0001 мг/л. Что же касается метилртути, то ее безопасная доза еще меньше — всего 3,3 мкг/кг массы тела. Метилированная форма ртути из-за большей растворимости в жирах быстрее проходит через биологические мембраны по сравнению с неорганической ртутью. Например, метилированная ртуть легче проникает через плаценту, в результате чего воздействует на развивающиеся эмбрион и плод. Выявлены случаи высокой концентрации метилртути в крови новорожденных, в то время как содержание ртути в материнской крови соответствовало норме. При поступлении в организм из окружающей среды ртуть распределяется по органам и субклеточным структурам. В организме ртутные соединения проникают в различные органы и ткани, но больше всего их обнаруживают в крови, печени, почках и головном мозге. В крови снижается количество эритроцитов, в печени и почках развиваются дегенеративные изменения. В желудочно-кишечном тракте возникают сильные воспалительные процессы. При остром отравлении ртутными соединениями отмечаются характерный металлический вкус во рту, слюнотечение, боли в деснах, зубах, животе, жидкие выделения из желудка, содержащие кровь. В дальнейшем, вследствие поражения почек, наступает полное прекращение мочеотделения, в организме накапливаются вредные вещества, усугубляющие тяжелое состояние, что приводит к смертельному исходу через 5–6 дней, а иногда и ранее. Выделение ртути из организма осуществляется различными путями, но очень медленно: через желудочно-кишечный тракт (18–20%), почками (40%), слюнными железами (20–25%) и т. д. В хроническом случае поражается нервная система, нарушаются двигательные функции, секреция желудочно-кишечного тракта. Токсическое действие ртути сильно зависит от ее химической формы. Неорганические соли двухвалентной ртути вызывают нарушение деятельности почек,

в то время как метилртуть, в основном, нарушает деятельность периферийной и центральной нервной системы. В организме человека по разным оценкам содержится 10–15 мг ртути, токсическое действие возникает при поступлении 0,4 мг/сут.

Свинец является одним из весьма распространенных в окружающей среде токсичных элементов. Хронические отравления наблюдаются при поступлении с пищей и питьевой водой даже небольшого количества свинца в течение длительного времени. При хронических отравлениях отмечается общая слабость, бледность кожных покровов, боли в животе, «свинцовая кайма» по краям десен, анемия, нарушение функции почек. Отмечены также снижение умственных способностей, агрессивное поведение и другие симптомы. Установлено, что хроническая интоксикация наступает при потреблении 1–8 мг свинца в сутки. Свинец, подобно ртути, обладает кумулятивными свойствами. Поглощенный свинец содержится в крови и других жидкостях организма, накапливается в костях в виде нерастворимых трехосновных фосфатов. Свинец, отложившийся в костях в виде нерастворимых соединений, не оказывает непосредственного ядовитого действия. Однако под влиянием определенных условий запасы его в костях становятся мобильными, свинец переходит в кровь и может вызвать даже отравление в острой форме. К факторам, способствующим мобилизации свинца, относятся повышенная кислотность, недостаток кальция в пище, злоупотребление спиртными напитками. Весьма вероятно, что многие из нас являются носителями свинца и только правильное функционирование организма и рациональная диета препятствуют отравлениям. Выделение свинца из организма происходит через пищеварительный тракт и почки, причем повышенное содержание свинца в моче (более 0,05 мг/л) служит одним из показателей отравления свинцом. Установлено выделение свинца и с женским молоком. Исследованиями, проведенными в США, доказано, что в значительной степени риску свинцового отравления подвержены дети, особенно младшего возраста. Это объясняется тем, что детский организм сорбирует до 40 % поглощенного с пищей свинца, в то время как организм взрослого человека — всего от 5 до 10 %. Комитет экспертов ФАО и ВОЗ установил, что допустимый еженедельный прием свинца для человека составляет 3 мг.

В табл. 29 приведено содержание токсичных микроэлементов в продуктах питания. В настоящее время основным и практически единственным критерием пригодности пищевой продукции является значение предельно допустимой концентрации (ПДК) в ней того или иного компонента. Значения ПДК As, Cd, Hg, Pb для некоторых видов продуктов питания приведены в табл. 30.

Анализ данных, приведенных в табл. 29 и 30, показывает, что в некоторых случаях содержание токсичных микроэлементов может быть близко или превышать значение ПДК. Так, например, содержание As в сое, дикорасту-

Таблица 29. Содержание токсичных микроэлементов As, Cd, Sb, Hg, Pb в основных продуктах питания, мг/кг

Объект	As	Cd	Sb	Hg	Pb
Овес, хлопья	0,03 ± 0,02	< 0,01	< 0,001	< 0,01	< 0,1
Гречневая крупа	< 0,005	< 0,01	< 0,001	< 0,01	< 0,1
Рис	< 0,005	< 0,01	< 0,001	< 0,01	< 0,1
Пшено	0,051 ± 0,013	< 0,01	0,045 ± 0,011	0,06 ± 0,012	< 0,1
Манка	< 0,005	< 0,01	0,035 ± 0,018	0,031 ± 0,012	< 0,1
Макаронны	< 0,005	< 0,01	0,075 ± 0,04	< 0,01	< 0,1
Хлеб пшеничный	< 0,005	< 0,01	0,053 ± 0,011	< 0,01	< 0,02
Хлеб ржаной	< 0,005	< 0,01	0,067 ± 0,035	< 0,002	< 0,02
Картофель	0,011 ± 0,005	0,012 ± 0,005	0,003 ± 0,002	< 0,002	< 0,02
Капуста	0,008 ± 0,005	< 0,01	0,002 ± 0,001	< 0,002	0,05 ± 0,03
Томаты	< 0,005	0,019 ± 0,012	< 0,001	< 0,002	0,027 ± 0,02
Морковь	< 0,005	0,021 ± 0,01	0,006 ± 0,002	< 0,002	< 0,02
Фасоль	< 0,005	< 0,01	0,021 ± 0,013	< 0,002	< 0,02
Горох	< 0,005	< 0,01	< 0,001	< 0,002	< 0,02
Соя	0,21 ± 0,15	0,05 ± 0,04	< 0,001	0,0013 ± 0,001	< 0,02
Фрукты	< 0,005	< 0,01	0,003 ± 0,001	< 0,002	0,055 ± 0,03
Ягоды	< 0,005	< 0,01	0,003 ± 0,002	0,004 ± 0,002	0,095 ± 0,018
Белый гриб	0,006 ± 0,003	0,12 ± 0,11	0,06 ± 0,05	0,062 ± 0,056	0,036 ± 0,02
Шампиньон	0,13 ± 0,09	1,86 ± 1,42	0,0067 ± 0,006	0,59 ± 0,15	0,11 ± 0,06
Шампиньон агрофирма	0,021 ± 0,01	0,012 ± 0,003	0,002 ± 0,001	0,012 ± 0,004	< 0,05
Вешенка	0,011 ± 0,002	0,24 ± 0,14	0,0012 ± 0,001	0,018 ± 0,008	< 0,05
Вешенка агрофирма	0,011 ± 0,003	0,034 ± 0,01	0,001 ± 0,001	0,029 ± 0,008	< 0,05
Говядина мясо	< 0,005	< 0,01	0,013 ± 0,003	< 0,002	< 0,08
Свинина мясо	< 0,005	< 0,01	< 0,001	< 0,002	< 0,08
Куриное мясо	< 0,005	< 0,01	0,015 ± 0,001	0,025 ± 0,013	< 0,08
Мясо индейки	< 0,005	< 0,01	0,009 ± 0,004	< 0,002	< 0,08
Субпродукты	< 0,005	0,065 ± 0,06	0,009 ± 0,004	0,047 ± 0,037	< 0,05
Речная рыба	0,04 ± 0,015	0,012 ± 0,002	0,007 ± 0,004	0,073 ± 0,068	0,21 ± 0,03
Морская рыба	0,71 ± 0,32	< 0,01	0,005 ± 0,002	0,035 ± 0,31	< 0,05
Креветки	15,4 ± 5,9	0,088 ± 0,05	0,063 ± 0,02	< 0,002	< 0,05
Кальмар	0,31 ± 0,05	0,008 ± 0,004	< 0,001	< 0,002	< 0,05
Сухое молоко	< 0,005	< 0,01	< 0,001	< 0,002	< 0,05
Молочные продукты	< 0,005	< 0,01	0,007 ± 0,005	< 0,002	< 0,05
Кофе	< 0,005	< 0,01	< 0,001	< 0,01	< 0,1
Чай	< 0,005	< 0,01	< 0,001	< 0,01	< 0,1
Сахар	< 0,005	< 0,01	< 0,001	< 0,01	< 0,1

ших шампиньонах и морской рыбе близко к значению ПДК, а в креветках превышает это значение. Велико также содержание Cd, Hg, Pb в дикорастущих грибах — белых, шампиньонах, вешенках.

Таблица 30. Значения ПДК для некоторых продуктов питания, мг/кг [37, 38]

Объект	As	Cd	Hg	Pb
Зерно, хлопья	0,2	0,1	0,03	0,5
Зернобобовые	0,3	0,1	0,02	0,5
Хлеб	0,15	0,07	0,015	0,35
Овощи свежие	0,2–0,5	0,03–0,1	0,02–0,05	0,4–0,5
Мясо, птица	0,1	0,05	0,03	0,5
Субпродукты	1,0	0,3–1	0,1–0,2	0,6–1
Рыба	1,0–5,0	0,2	0,3–0,6	1,0
Моллюски, ракообразные	5,0	2,0	0,2	10
Молоко, кисломолочные продукты	0,05	0,03	0,005	0,1
Творог	0,2	0,1	0,02	0,3
Сахар	1,0	0,05	0,01	0,5
Чай	1,0	1,0	0,1	10
Кофе	1,0	0,05	0,02	1,0

Таблица 31. Безопасная суточная доза, токсичная доза и поступление As, Cd, Sb, Hg, Pb в организм человека с различными рационами

Элемент	Безопасная (токсичная доза), мг/сут [1–8]	Поступление M_p , мг/сут						
		Литературные данные [5–11]	Рацион № 1	Рацион № 2	Рацион № 3	Рацион № 4	Рацион № 5	Рацион № 6
As	0,049 (10–50)	0,05	0,038	0,021	0,01	0,02	0,035	0,027
Cd	0,066 (3–5)	0,15	0,019	0,018	0,019	0,033	0,032	0,025
Sb	0,049 (100)	0,05	0,026	0,014	0,007	0,015	0,022	0,016
Hg	0,049 (0,4)	0,015	0,019	0,024	0,02	0,022	0,023	0,018
Pb	0,43 (1–8)	0,44	0,13	0,100	0,074	0,1	0,12	0,089

Поскольку само понятие «необходимое поступление» для токсичных микроэлементов отсутствует, в табл. 31 приведены данные о безопасной суточной дозе, токсичной дозе и суточном поступлении As, Cd, Sb, Hg, Pb с различными рационами. Расчет безопасного суточного поступления проводился на основании данных комитета экспертов ФАО и ВОЗ о допустимом еженедельном приеме токсичного микроэлемента при среднем весе человека 69 кг. Следует обратить внимание на то, что по литературным данным поступление As, Sb, Pb равно безопасной дозе, а поступление Cd существенно превышает безопасную дозу. Полученные значения реального поступления As, Cd, Sb, Hg, Pb со всеми исследуемыми рационами значительно ниже соответствующих значений безопасного поступления. Для того чтобы численно оценить, насколько это поступление ниже, значения реального поступления

Таблица 32. Коэффициент реального поступления в организм человека As, Cd, Sb, Hg, Pb для различных рационов

Элемент	Коэффициент реального поступления K_p					
	Рацион № 1	Рацион № 2	Рацион № 3	Рацион № 4	Рацион № 5	Рацион № 6
As	0,8	0,4	0,2	0,4	0,7	0,6
Cd	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4
Sb	0,5	0,3	0,1	0,3	0,4	0,3
Hg	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4
Pb	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2

As, Cd, Sb, Hg, Pb были отнесены к значениям соответствующей безопасной суточной дозы. Результаты этих расчетов приведены в табл. 32.

Подводя итог всему сказанному в данном разделе, можно сделать следующие выводы:

— концентрации Na, Cl, K и Ca в основных продуктах питания (за исключением грибов) достаточно стабильны. Существует некоторый дисбаланс поступления этих элементов в организм человека при использовании любого из шести представленных нами рационов питания, который заключается в избытке поступления Na, K и недостаточном поступлении Cl и Ca. Используя представленные нами данные, этот дисбаланс можно легко скорректировать, изменив в рационе питания соотношение используемых продуктов питания;

— поступление основных эссенциальных микроэлементов с представленными рационами питания достаточно близко к физиологическим нормам. Вопреки сложившемуся мнению, недостатка в поступлении Se не отмечено. Следует отметить существенный дефицит поступления I, которое составляет величину 0,1–0,3 от физиологической нормы;

— поступление токсичных микроэлементов с представленными рационами питания в целом соответствует физиологически безопасным нормам. Однако следует учитывать, что для некоторых продуктов (дикорастущих грибов, морепродуктов) максимальные значения As, Cd, Hg могут превышать значения ПДК и представлять реальную опасность;

— показано, что проведение оценки сбалансированности того или иного рациона питания вполне возможно с применением предлагаемого нами коэффициента реального поступления K_p . С помощью этого коэффициента и данных о макро- и микроэлементном составе продуктов питания появляется возможность оценить достаточность реального поступления любого элемента с любым рационом питания. Применение этого коэффициента возможно и необходимо в спортивной и лечебной диетологии.

4. ПОСТУПЛЕНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА С ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ

Как сказано выше, поступление микроэлементов с рационами № 1–6 рассчитывалось без учета потребления воды. Однако известно, что организм человека на 70–75 % состоит из воды: обмен веществ, поддержание теплового баланса, вывод токсинов и продуктов распада — все это осуществляется с помощью воды. Для поддержания нормального водного баланса человеку в жарком климате требуется три литра воды в сутки, в холодном — от одного до полутора литров. Поскольку вода, которую мы пьем, проникает в каждую клетку нашего организма, ее качество, возможно, даже важнее, чем качество продуктов питания. Определяющее влияние на микроэлементный состав питьевой воды оказывает уровень локального и регионального геохимического фона. Например, уровень концентрации стронция в воде различных районов Московской области за счет геолого-геохимических факторов может отличаться в 10 раз и более. Другим, не менее значительным фактором влияния на минеральный состав питьевой воды является антропогенный фактор. Применение антигололедных реактивов приводит к попаданию в водные источники солей натрия, калия и кальция. С производственными выбросами в воду могут попадать соли тяжелых и токсичных металлов — железа, хрома, меди, цинка, кадмия, сурьмы, свинца и ртути. Применение в сельском хозяйстве минеральных удобрений и пестицидов может привести к загрязнению водных источников фтором, мышьяком, стронцием, редкоземельными элементами. Удалить эти вещества при существующей схеме очистки на водопроводных станциях далеко не всегда удается. Кроме того, даже при идеальной схеме очистки воды большое значение имеет состояние и длина распределительных сетей. Все это означает, что на микроэлементный состав питьевой воды оказывают влияние множество весьма разнородных факторов, воздействие которых приводит к значительной изменчивости ее минерального состава. Возможно, именно поэтому в вопросе о роли питьевой воды в обеспечении организма человека микроэлементами до сих пор нет единого мнения. ВОЗ оценивает вклад поступления микроэлементов в организм человека за счет питьевой воды в пределах 6–8 %. В отечественных литературных источниках приводятся разные цифры — от 2–4 % до 20–25 % [45–47]. Поэтому вопрос о том, сколько может среднестатистический человек получить минеральных веществ при употреблении питьевой воды, отвечающей всем санитарным нормам, до сих пор остается открытым. Нашей целью было определение фактического поступления микроэлементов в организм человека с питьевой водой в трех наиболее типичных регионах Европейской части России.

В качестве объектов для исследования были выбраны регионы Европейской части России с весьма интенсивной, но различной по характеру ан-

тропогенной нагрузкой на окружающую среду и различными системами водоснабжения: г. Тула и Тульская область, г. Москва, г. Санкт-Петербург. По данным Роспотребнадзора в Тульской области централизованное питьевое водоснабжение полностью осуществляется из подземных источников, которые с гигиенических позиций являются наиболее надежными. Поверхностные источники используются только для рекреационных целей. Водоснабжение населения г. Тулы и области осуществляется полностью за счет подземных вод Тарусско-Окского, Упинского и Заволжского водоносных горизонтов. Упинский водоносный горизонт в настоящее время практически истощен и не отвечает необходимой потребности в воде. В связи с этим Муниципальное унитарное предприятие (МУП) «Тулагорводоканал» вынуждено забирать воду из Заволжского водоносного горизонта, который характеризуется высокой жесткостью и минерализацией. Для Тульского региона нами были получены и обобщены данные областного центра Госсанэпиднадзора по питьевой воде г. Тулы и 23 районов Тульской области [48, 49].

Москва в настоящее время практически полностью снабжается водой из поверхностных источников, расположенных на территории Московской, Смоленской и Тверской областей. В Москву поверхностные воды поступают по двум водохозяйственным системам: Москворецкой и Волжской. В Москворецкую водохозяйственную систему входят: верховья реки Москвы, Можайское водохранилище, река Москва в среднем течении с притоками и гидротехническими сооружениями на них — Рузским, Озернистым и Истринским водохранилищами, Яузским и Вазузским водохранилищами, а также водозаборными сооружениями Западной и Рублевской водопроводных станций Москвы. Эта система обеспечивает 34 % общего объема водоснабжения Москвы. Основной объем воды поступает в Москву из реки Волги, через Иваньковское водохранилище и канал им. Москвы. Волжская система включает также Пестовское, Учинское и Клязьминское водохранилища, где вода отстаивается и очищается, а также Восточную и Северную водопроводные станции. Мощность названных систем составляет соответственно 51 и 82 м³/с. В Москве образцы питьевой воды отбирались из существующих распределительных сетей в различных районах города. Всего было отобрано и исследовано 36 проб. Данные о качестве воды в р. Москве в районе Рублевской водозаборной станции (РВС) были взяты из открытых литературных источников [50].

Водоснабжение Санкт-Петербурга, в основном, осуществляется из р. Невы (более 96 %). Эта вода проходит обработку на пяти наиболее крупных водопроводных станциях. Следует отметить, что в части снабжения питьевой водой Санкт-Петербург находится в особых условиях. С экологической точки зрения р. Нева не река, а довольно короткий канал, соединяющий Ладожское озеро с Финским заливом. Озеро фактически выполняет роль своеобразного гигантского отстойника, в котором все загрязнения в большинстве случаев

нейтрализуются. В результате в Санкт-Петербург вода попадает из поверхностных, довольно чистых слоев Ладоги. В Санкт-Петербурге нами были отобраны образцы воды на выходе распределительных сетей (непосредственно в квартирах) в различных районах города — всего 11 образцов. В области был произведен отбор воды из поверхностных источников — колодцев и родников — в районе поселка Шапки на востоке области (семь образцов). Кроме того, нами были использованы открытые литературные данные по микроэлементному составу воды р. Невы и качеству питьевой воды на выходе водопроводных станций города [51–53].

В настоящее время основным и единственным критерием пригодности питьевой воды является значение предельно допустимой концентрации в ней того или иного компонента. Значения ПДК для некоторых микроэлементов в питьевой воде приведены в табл. 33 [54–57].

Таблица 33. Значения ПДК и класс опасности химических элементов в питьевой воде

Элемент	ПДК, мг/л	Класс опасности	ПДК, мг/л	Класс опасности
Na	—	—	200	2
Mg	—	—	50	3
Cr	0,05	3	0,05	2
Mn	0,1	3	0,1	3
Fe	0,3	3	0,3	3
Co	0,1	2	0,1	2
Ni	0,1	3	0,1	3
Cu	1	3	1	3
Zn	5	3	1	3
As	0,05	2	0,01	1
Se	0,01	2	0,01	2
Br	—	—	0,2	2
Sr	7	2	7	2
Mo	0,25	2	0,07	3
Cd	0,001	2	0,001	2
Sb	0,005	2	0,005	2
I	—	—	0,125	2
Hg	0,0005	1	0,0005	1
Pb	0,03	2	0,01	2
U	—	—	0,015	1

Приведенные в этой таблице данные показывают, что в официальных нормативных документах имеются некоторые расхождения как по величинам ПДК (Zn, As, Mo, Pb), так и по оценке класса опасности элемента (As, Mo). В дальнейшем при оценке качества воды мы придерживались более жестких значений ПДК.

Таблица 34. Содержание микроэлементов в питьевой воде г. Тулы и Тульской области, мг/л

Элемент	$C_{\text{ср}}$	Ст. откл.	Мин.	Макс.
Na	14,8	10,2	4,8	29
Mg	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
K	15,2	6,3	9,3	23
Ca	93	26	56	123
Cr	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Mn	0,042	0,039	0,002	0,17
Fe	0,74	0,72	0,06	2,57
Co	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Ni	0,023	0,016	0,001	0,104
Cu	0,035	0,019	0,01	0,08
Zn	0,078	0,072	0,05	0,35
As	0,0147	0,0124	0,0005	0,06
Se	0,0008	0,0005	0,0004	0,0015
Br	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Sr	5,61	5,14	0,28	14,6
Mo	0,063	0,204	0,003	0,1
Cd	0,0006	0,0012	0,00001	0,005
Sb	< 0,0005	—	—	—
I	0,0015	0,001	0,0005	0,0021
Hg	< 0,0001	—	—	—
Pb	0,018	0,018	0,0003	0,08

В табл. 34 приведены данные о содержании микроэлементов в питьевой воде г. Тулы и Тульской области. Эти данные показывают, что высокие значения минеральной компоненты характерны для питьевой воды этого региона. Необходимо отметить превышение ПДК максимальными значениями концентраций Mn, Fe, As, Sr, Cd, Mo, Pb в 1,5–10 раз. Средние значения ($C_{\text{ср}}$) концентраций Fe, As и Pb также превышают ПДК. Кроме того, средние значения концентраций Sr, Mo и Cd близки к значениям ПДК. Также обращает на себя внимание большое значение стандартного отклонения (Ст. откл.) для большинства определяемых элементов, что говорит о неравномерности качества питьевой воды в данном регионе.

Центр госсанэпиднадзора Тульской области признает, что необходимый уровень качества питьевой воды в г. Туле и области не обеспечивается [48, 49].

В табл. 35 приведены данные о содержании микроэлементов в воде р. Москвы у водозабора РВС и питьевой воде из распределительных сетей различных районов Москвы. Статистические данные в этой таблице показывают, что в целом концентрации микроэлементов в р. Москве на водозаборе РВС и в водопроводной системе города достаточно близки. Эти данные показывают, что в среднем питьевая вода Москвы вполне отвечает существу-

Таблица 35. Содержание микроэлементов в питьевой воде г. Москвы, мг/л

Элемент	р. Москва, РВС	Питьевая вода, $n = 36$			
		C_{cp}	Ст. откл.	Мин.	Макс.
Na	6,1	11,1	4,48	6,1	16,8
Mg	0,7	5,33	5,62	0,13	11,3
K	3,25	6,51	4,74	2,8	15,2
Ca	50,1	51	9,6	44	66
Cr	0,0029	0,0012	0,0012	0,00004	0,0029
Mn	0,03	0,023	0,014	0,003	0,039
Fe	0,15	0,17	0,13	0,05	0,35
Co	0,0006	0,0007	0,0001	0,0006	0,0008
Ni	0,0022	0,0022	0,0011	0,0006	0,003
Cu	0,005	0,0047	0,0024	0,002	0,008
Zn	0,03	0,033	0,011	0,021	0,047
As	0,0012	0,0006	0,0005	0,0001	0,0012
Se	Нет данных	0,0004	0,0003	0,0002	0,0009
Br	Нет данных	0,022	0,002	0,02	0,025
Sr	0,15	1,61	2,07	0,03	6,2
Mo	Нет данных	0,00004	0,00001	0,00003	0,00005
Cd	0,000042	0,00005	0,00005	0,000001	0,00012
Sb	Нет данных	< 0,0005	—	—	—
I	Нет данных	0,0011	0,0002	0,0008	0,0013
Hg	Нет данных	< 0,0001	—	—	—
Pb	0,001	0,0006	0,0004	0,0001	0,001
U	Нет данных	0,0009	0,0006	0,0004	0,0018

ющим нормативам. Превышения концентрации микроэлементов над уровнем ПДК нигде не наблюдается за исключением максимального значения концентрации Fe. Этот факт, так же как и высокая концентрация Sr, видимо, объясняется состоянием водопроводной сети.

Более наглядно зависимость качества питьевой воды от состояния распределительных водопроводных сетей показана в табл. 36 и 37. В табл. 36 приведены данные о концентрации микроэлементов в р. Неве, некоторых поверхностных источниках (колодцы и родники) Ленинградской области и питьевой воде на выходе основных водоочистных станций Санкт-Петербурга. Анализируя эти данные, следует отметить, что концентрация микроэлементов в воде поверхностных источников существенно выше, чем в воде р. Невы и питьевой воде Санкт-Петербурга. Концентрация Mn и Fe в поверхностных источниках даже превышает значение ПДК. Следует отметить, что в общем содержание большинства микроэлементов в питьевой воде Санкт-Петербурга в 5–10 раз ниже, чем в питьевой воде Москвы, что объясняется особенностями географического расположения города и водных источников.

Таблица 36. Содержание микроэлементов в воде поверхностных водотоков Ленинградской области и питьевой воде Санкт-Петербурга, мг/л

Элемент	Ленинградская обл.		г. Санкт-Петербург			
	Поверхностные источники, $n = 7$	р. Нева	Питьевая вода на выходе в/о станций		Мин.	Макс.
			С _{ср}	Ст. откл.		
Na	Нет данных	Нет данных	1,4	0,33	1,1	1,8
Mg	12,5 ± 0,5	Нет данных	2,2	0,95	1,2	2,7
K	Нет данных	Нет данных	1,5	0,51	1,2	2,2
Ca	30,5 ± 5,5	19 ± 4	8,6	2,3	6,8	11
Cr	0,009 ± 0,0002	Нет данных	0,0005	0,0002	0,0002	0,0006
Mn	0,22 ± 0,11	0,005 ± 0,002	0,0042	0,0012	0,0030	0,0055
Fe	0,78 ± 0,57	0,028 ± 0,003	0,027	0,003	0,025	0,031
Co	0,0001 ± 0,00003	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Ni	0,0015 ± 0,0003	Нет данных	0,0007	0,0001	0,0006	0,0008
Cu	0,0012 ± 0,0002	0,001 ± 0,0002	0,0065	0,0053	0,0017	0,015
Zn	0,011 ± 0,003	0,0097 ± 0,0053	0,006	0,001	0,005	0,007
As	< 0,0002	Нет данных	0,0025	0,0005	0,0021	0,003
Se	< 0,0002	Нет данных	0,0025	0,001	0,0015	0,0032
Br	0,02 ± 0,01	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Sr	0,067 ± 0,037	Нет данных	0,062	0,0008	0,061	0,063
Mo	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Cd	0,00003 ± 0,00001	0,00004 ± 0,00001	0,00005	0,00001	0,00004	0,00006
Sb	< 0,0005	Нет данных	< 0,0005	—	—	—
I	< 0,0005	Нет данных	< 0,0005	—	—	—
Hg	< 0,0001	0,000004 ± 0,000001	< 0,0001	—	—	—
Pb	0,00013 ± 0,00003	Нет данных	0,001	0,0003	0,0007	0,0013

Таблица 37. Содержание микроэлементов в питьевой воде на выходе распределительных сетей в г. Санкт-Петербурге, мг/л ($n = 11$)

Элемент	C_{cp}	Ст. откл.	Мин.	Макс.
Na	4,02	1,9	1,2	5,3
Mg	2,8	0,14	2,7	2,9
K	1,2	0,14	1,1	1,3
Ca	10,5	0,71	10	12
Cr	0,014	0,005	0,01	0,021
Mn	0,019	0,018	0,001	0,05
Fe	0,59	0,83	0,03	2,4
Co	0,005	0,004	0,001	0,005
Ni	0,015	0,007	0,01	0,02
Cu	0,019	0,034	0,001	0,1
Zn	0,13	0,13	0,01	0,4
As	0,003	0,0009	0,002	0,0037
Se	0,0025	0,001	0,0015	0,0032
Sr	0,14	0,14	0,06	0,4
Cd	0,00004	0,00004	0,00001	0,00008
Sb	< 0,0005	—	—	—
I	< 0,0005	—	—	—
Hg	< 0,0001	—	—	—
Pb	0,011	0,009	0,001	0,015

В табл. 37 приведены данные о концентрации микроэлементов в питьевой воде, отобранной на выходе распределительной системы (непосредственно в квартирах из-под крана). Эти данные показывают, что концентрация большинства микроэлементов в воде после прохождения по водопроводной системе повышается в некоторых случаях в 10–20 раз (по средним значениям). Концентрации Na, Mn, Cu, Sr повышаются в 1,5–4 раза, концентрации Cr, Fe, Ni, Zn, Pb — в 11–28 раз. Причем концентрации Fe и Pb в воде превышают значения ПДК.

Для того чтобы оценить роль питьевой воды в снабжении человеческого организма макро- и микроэлементами, необходимо рассчитать поступление каждого из исследуемых элементов в организм человека с питьевой водой при потреблении 1,5 л/сут. Результаты этих расчетов приводятся в табл. 38. В этой таблице даны значения поступления микроэлементов с питьевой водой, рассчитанные по средним значениям концентрации микроэлементов, приведенных в табл. 35–37. Во второй колонке табл. 38 приводятся значения необходимого суточного поступления (по литературным источникам). Для токсичных микроэлементов — As, Cd, Sb, Hg, Pb — курсивом даны значения безопасной дозы, в скобках — значения токсичной дозы (ТД). Как видно из приводимых данных, поступление микроэлементов с питьевой водой значи-

тельно различается в зависимости от региона. Различие между Тулой, Тульской областью и Санкт-Петербургом по большинству элементов составляет 10 и более раз. При этом следует отметить, что для токсичных элементов безопасные, а тем более токсичные дозы поступления нигде не превышены. Данные, приведенные в табл. 38, позволяют оценить реальное поступление микроэлементов с питьевой водой и сравнить его с необходимым поступлением.

Таблица 38. Необходимое и фактическое поступление микроэлементов с питьевой водой, мг/сут

Элемент	Потребность [4, 8, 11]	г. Тула и область	г. Москва	г. Санкт-Петербург
Na	1400–1600	22,2	16,6	2,1
Mg	300–450	—	7,99	3,3
K	2000–3000	22,8	9,76	2,25
Ca	800–1500	139	76,5	12,9
Cr	0,05–0,2	—	0,002	0,0008
Mn	2–9	0,06	0,03	0,006
Fe	10–30	1,11	0,26	0,04
Co	0,04–0,07	—	0,001	—
Ni	0,3–0,6	0,035	0,003	0,001
Cu	2–5	0,05	0,007	0,01
Zn	6–30	0,12	0,05	0,009
As	0,049* (ТД 10–50)**	0,022	0,001	0,003
Se	0,06–0,15	0,001	0,0006	0,004
Br	—	—	0,033	—
Sr	—	8,4	2,41	0,09
Mo	0,3	0,09	0,00006	—
Cd	0,066* (ТД 3–5)**	0,001	0,00008	0,00008
Sb	0,049* (ТД 100)**	< 0,0008	< 0,0008	< 0,0008
I	0,06–0,2	0,002	0,002	0,0007
Hg	0,049* (ТД 0,4)**	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Pb	0,43* (ТД 1–8)**	0,027	0,0009	0,0015
U	—	—	0,0014	—

* Безопасная доза.
** Токсичная доза.

Однако для того чтобы получить численное представление о вкладе питьевой воды в поступление микроэлементов в организм человека, необходимо отнести фактическое поступление к необходимому поступлению каждого микроэлемента. Это соотношение, рассчитанное в процентах, приводится в табл. 39. Расчет проводился относительно минимального значения суточной потребности в элементе. Для токсичных микроэлементов аналогичный рас-

Таблица 39. Поступление микроэлементов с питьевой водой, % от суточной потребности

Элемент	г. Тула и область	г. Москва	г. Санкт-Петербург
Na	1,6	1,2	0,15
Mg	—	2,7	1,1
K	1,1	0,5	0,1
Ca	17,4	9,6	1,6
Cr	—	3,6	1,5
Mn	3,1	1,7	0,3
Fe	11,1	2,6	0,4
Co	—	2,6	—
Ni	11,6	1,1	0,35
Cu	2,6	0,35	0,49
Zn	1,95	0,8	0,15
As	45	1,8	6,1
Se	2	1	6,2
Mo	31,4	0,02	—
Cd	1,4	0,11	0,11
Sb	< 1,6	< 1,6	< 1,6
I	3,75	3,3	1,2
Hg	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Pb	6,3	0,21	0,34

чет проводился относительно безопасной дозы. Из данных, приведенных в табл. 39, видно, что наибольшее поступление по отдельным микроэлементам характерно для Тулы и Тульской области — от 0,8 до 45 %, для Москвы это поступление составляет значения 0,11–9,6 %, для Санкт-Петербурга — 0,1–6,1 %.

Выводы. Оценка роли питьевой воды как поставщика макро- и микроэлементов показала, что минеральный состав питьевой воды зависит от многих факторов, которые включают в себя геолого-геохимические особенности региона, антропогенные факторы и состояние распределительных водопроводных сетей. Геолого-геохимические факторы и антропогенное влияние (наличие специфического производства и т. д.) формируют начальный микроэлементный состав питьевой воды, а состояние водопроводных сетей привносит в него свои существенные коррективы, как это видно на примере Санкт-Петербурга. Увеличение концентрации отдельных микроэлементов, в том числе токсичных, за счет плохого состояния распределительной сети может достигать 10–28-кратных значений.

Из представленных данных видно, что микроэлементный состав питьевой воды в каждом регионе обладает своей спецификой. Вполне возможны такие случаи, когда обеспеченность поступления какого-либо микроэлемента

за счет питьевой воды может составлять 40 % и более, а поступление остальных микроэлементов будет приближаться к 0 %. Поэтому для обеспечения сбалансированного поступления микроэлементов в организм человека в каждом конкретном случае необходимо учитывать минеральный состав потребляемой питьевой воды. В случае недостатка поступления микроэлементов необходимо его компенсировать за счет изменения рациона питания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для оценки взаимодействия результатов жизнедеятельности человека и окружающей среды необходимы точные данные об интенсивности и распространности этого взаимодействия. Человек посредством своей промышленной и урбанистической деятельности воздействует на окружающую среду, изменяя состав атмосферного воздуха, почвы, растительности, поверхностных и подземных вод. Окружающая среда, в свою очередь, воздействует на человека либо непосредственно, либо косвенно посредством различных пищевых цепочек. На этой почве в последнее время развилось множество спекуляций и фобий, которые, как правило, имеют мало общего с реальной действительностью.

Например, тема загрязнения окружающей среды тяжелыми и токсичными металлами. Наша работа показала, что концентрация тяжелых и токсичных металлов в сельскохозяйственной продукции напрямую зависит от формы их нахождения в почве: даже высокие концентрации тяжелых металлов (в частности, свинца), находящихся в почве в виде слабо подвижных соединений, не оказывают существенного влияния на концентрацию их в растениях. Решающим в этом процессе является не «валовая» концентрация металла в почве, а концентрация его подвижных форм, которые могут быть адсорбированы растением. Результаты опыта с искусственно созданным загрязнением почвы показали, что даже листовые культуры начинают накапливать свинец только при многократном превышении ПДК его в почве. Высокая информативность этого опыта создает основу для принципиальной возможности выведения сортов сельскохозяйственной растительности с заданными свойствами по отношению к накоплению токсичных металлов с помощью приемов сортовой селекции. Схема опыта является достаточно универсальной и может быть применена в разработке принципов экологической селекции как основной способ исследования.

Другой темой, вызывающей значительный интерес, является тема накопления тяжелых и токсичных металлов грибами. В нашей работе приведены данные о концентрации этих металлов в базидиальных грибах, из которых видно, что в наибольшей степени в мицелии гриба кроме металлов-токсикантов концентрируются также благородные металлы — золото и се-

ребро. Показано, что степень концентрирования металлов грибами зависит от величины парциального давления соединений данного микроэлемента, наличия и концентрации подвижных форм этого микроэлемента в почвенном растворе. Чем больше разница концентрации микроэлемента в мицелии и субстрате, тем более интенсивно происходит накопление данного элемента, причем концентрация микроэлемента в мицелии должна быть выше, чем концентрация его подвижных форм в субстрате. В случае обратного соотношения накопления микроэлемента в мицелии не наблюдается.

Не меньший интерес вызывает также тема поступления макро- и микроэлементов в организм человека с продуктами питания различных рационов и питьевой водой. Особый интерес вызывает баланс селена и йода в организме человека. В нашей работе показано, что вопреки сложившемуся мнению недостатка в поступлении селена со всеми приведенными рационами не отмечено. Поступления йода является дефицитным и составляет величину 0,1–0,3 от физиологической нормы, что в целом соответствует существующим литературным данным. Поступление основных эссенциальных микроэлементов с представленными рационами питания достаточно близко к физиологическим нормам, а поступление токсичных микроэлементов в целом соответствует физиологически безопасным нормам. Однако следует учитывать, что для некоторых продуктов (дикорастущие грибы, морепродукты) максимальные значения содержания некоторых токсичных металлов могут превышать значения ПДК и представлять реальную опасность.

Данные, приведенные в нашей работе о микроэлементном составе питьевой воды, показывают, что минеральный состав питьевой воды зависит от многих факторов, которые включают в себя геолого-геохимические особенности региона, антропогенные факторы. Особое значение для минерального состава питьевой воды имеет состояние водопроводных распределительных сетей. Увеличение концентрации отдельных микроэлементов, в том числе токсичных, за счет плохого состояния распределительной сети может достигать 10–28-кратных значений. Поэтому для обеспечения сбалансированного поступления микроэлементов в организм человека в каждом конкретном случае необходимо учитывать минеральный состав потребляемой питьевой воды. В случае недостатка поступления микроэлементов необходимо его компенсировать за счет употребления минеральной воды или изменения рациона питания.

Вся совокупность данных, приведенных в работе, получена в результате применения комплекса современных ядерно-физических методов анализа, обладающих высокой точностью и чувствительностью. Информация, которая приводится в нашей работе, может быть использована медицинскими и санитарно-гигиеническими организациями для предоставления рекомендаций при оценке баланса поступления макро- и микроэлементов в организм человека с продуктами питания и питьевой водой. В этом случае эта информация

может быть использована как справочный материал. Кроме того, эти данные могут быть использованы как основа при проведении дальнейших опытов с искусственным загрязнением почвы или при исследовании механизма накопления микроэлементов грибами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лозовская И. Н., Орлов Д. С., Садовникова Л. К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 1998. 284 с.
2. Авцин А. П. и др. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. 496 с.
3. Ревич Б. А., Авалиани С. Л., Тихонова Г. И. Основы оценки воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье человека. Центр экологической политики России. М., 2004. 267 с.
4. Emsley J. The Elements. Oxford: Clarendon Press, 1991. 255 p.
5. Еришов Ю. А., Плетнева Т. Н. Механизмы токсического действия неорганических соединений. М.: Медицина, 1989.
6. Оберлис Д. Новый подход к проблеме дефицита микроэлементов // Микроэлементы в медицине. 2002. Т. 3, вып. 1, 2.
7. Боев В. М. и др. Дисбаланс микроэлементов как фактор экологически обусловленных заболеваний // Гигиена и санитария. 2001. №5. С. 68.
8. Кудрин А. В. и др. Иммунофармакология микроэлементов. М.: КМК, 2000. 537 с.
9. Сусликов В. Л. Современные проблемы и перспективы медицинской микроэлементологии // Микроэлементы в медицине. 2000. №1. С. 9–15.
10. Скальная М. Г., Скальный А. В., Демидов В. А. Зависимость повышенной онкологической заболеваемости от избыточного содержания мышьяка и других токсичных химических элементов в окружающей среде // Микроэлементы в медицине. 2001. №2(1). С. 32–35.
11. Kaim W., Schwederski B. Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the Chemistry of Life. Chichester: John Wiley and Sons, 1994. 401 p.
12. Gorbunov A. V. et al. Heavy and Toxic Metals in Staple Foodstuffs and Agriprodukt from Contaminated Soils // J. Environ. Sci. Health. B. 2003. V. 38, No. 2. P. 181–192.
13. Косицин А. В., Алексеева-Попова Н. В. Действие тяжелых металлов на растения и механизмы металлоустойчивости. Растения в экстремальных условиях минерального питания. Л.: Наука, 1983. С. 5–22.
14. Горбунов А. В. и др. Адаптивная способность различных сортов салата (*Lactuca sativa*) и шпината (*Spinacia oleracea* L.) к накоплению кадмия и свинца // Сельскохоз. биология. 2007. №3. С. 50–57.
15. Мюллер Э., Леффлер В. Микология. М.: Мир, 1995. 341 с.
16. Мирчинк Г. Т. Почвенная микология. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1996. 210 с.

17. Доморадский И. В., Градова Н. Б. Очерки микологии для экологов. М.: Истоки, 2007. 86 с.
18. Багалыи Р. Биогеохимия наземных растений. М.: Геос, 2005. 457 с.
19. Randa Z., Soukal L., Mizera J. Possibilities of the Short-Term Thermal and Epithermal Neutron Activation for Analysis of Macromycetes (Mushrooms) // J. Radioanal. Nucl. Chemistry. 2005. V. 264, No. 1. P. 67–76.
20. Randa Z., Kucera J. Trace Elements in Higher Fungi (Mushrooms) Determined by Activation Analysis // J. Radioanal. Nucl. Chemistry. 2004. V. 259, No. 1. P. 99–107.
21. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Изд-во стандартов, 1984.
22. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Госстандарт России, 2000.
23. ГОСТ Р 51593-2000. Вода питьевая. Отбор проб. М.: Госстандарт России, 2000.
24. Фронтасьева М. В. Нейтронный активационный анализ в науках о жизни // ЭЧАЯ. 2011. Т. 42, № 2. С. 636–716 (*Frontasyeva M. V. Neutron Activation Analysis for the Life Sciences // Part. Nucl. 2011. V. 42, No. 2. P. 332–378*); <http://www.springerlink.com/content/f836723234434m27/> .
25. Горбунов А. В. и др. Опыт применения инструментального нейтронно-активационного анализа в экологии: воздействие производства по переработке фосфатного сырья на организм человека // Инж. физика. 2007. № 2, спецвып. С. 113–121.
26. Сборник методик по определению тяжелых металлов в почвах, тепличных грунтах и продукции растениеводства. М.: Изд-во Минсельхозпрод РФ, 1998. С. 27–82.
27. Методы определения токсичных элементов // Государственные стандарты. Сырье и продукты пищевые. ИПК изд-во стандартов, 2002. С. 50–70.
28. Определение химических соединений в биологических средах. Методы контроля. Химические факторы // Сб. метод. указаний МУК 4.1.763-4.1.779-99. МЗ России. М., 2000. С. 120–127.
29. Методические рекомендации по спектральному определению тяжелых металлов в биологических материалах и объектах окружающей среды. М.: Изд-во АМН СССР, 1986.
30. Bleise A., Smodis B. Intercomparison Run NAT-3 for the Determination of Trace and Minor Elements in Urban Dust Artificially Loaded on Air Filters. IAEA. Vienna, 1999.
31. Wyse E. J., Asemard S., de Mora S. J. World-Wide Intercomparison Exercise for the Determination of Trace Elements and Methylmercury in Fish Homogenate. IAEA-407. IAEA Marine Environment Laboratory, 2003.
32. Wyse E. J., Asemard S., de Mora S. J. World-Wide Intercomparison Exercise for the Determination of Trace Elements and Methylmercury in Marine Sediment. IAEA-433. IAEA Marine Environment Laboratory, 2004.

33. *Carbonell A. A. et al.* Arsenic in Wetland Vegetation: Availability, Uptake and Effects on Plant Growth and Nutrition // *The Science of Total Environment*. 1998. V. 217. P. 189–199.
34. *Holsbeek L., Das H. K., Joiris C. R.* Mercury Speciation and Accumulation in Bangladesh Freshwater and Anadromous Fish // *The Science of the Total Environment*. 1997. V. 198. P. 201–210.
35. *Tripathi R. M., Raghunath R., Krishnamoorthy T. M.* Dietary Intake of Heavy Metals in Bombay City, India // *Ibid.* V. 208. P. 149–159.
36. *Kabata-Pendias A., Pendias H.* Trace Elements in Soils and Plants. Inc. Boca Raton: Florida, CRS Press, 1986.
37. Государственные стандарты. Сырье и продукты пищевые. ИПК изд-во стандартов, 1998.
38. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.3.2.560-96. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. М., 1996.
39. *Горбунов А. В. и др.* Оценка поступления микроэлементов в организм человека с продуктами питания в центральных регионах России // *Экол. химия*. 2006. Т. 15, вып. 1.
40. *Минделл Э.* Справочник по витаминам и минеральным веществам. М.: Медицина и питание; Техлит, 1997.
41. *Пшендин П. И.* Рациональное питание спортсменов. М.: Физкультура и спорт, 2006. 87 с.
42. *Беюл Е. А.* Справочник по диетологии. М.: Медицина, 1992.
43. Министерство здравоохранения Российской Федерации, ЦГСЭН в г. Москве. Гигиена детей и подростков. Формирование рационов питания детей и подростков школьного возраста в организованных коллективах с использованием пищевых продуктов повышенной пищевой и биологической ценности. Временные метод. рекомендации г. Москвы. Изд. официальное. М., 2002.
44. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по городу Москве, НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков. Гигиеническая оценка рационов питания обучающихся (воспитанников). Метод. рекомендации. М., 2008.
45. Руководство по обеспечению качества питьевой воды. 3-е изд. ВОЗ. Женева, 2004. 515 с.
46. *Ахманов М. С.* Вода, которую мы пьем. М.: Эксмо, 2006. 192 с.
47. *Фомин Г. С.* Вода. М.: Протектор, 2000. 838 с.
48. Качество питьевой воды и ее влияние на здоровье населения Тульской области (по итогам 2007 г.): Информ. бюл. / Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тульской обл., 2008. 21 с.

49. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Тульской области в 2000 году. Регион. доклад / Под ред. Л. И. Шишкиной. Тула: Центр гос. сан.-эпид. надзора в Тульск. обл., 2001. 102 с.
50. *Храмников С. В. и др.* От истока до Москвы. Прима-Пресс, 1999. 311 с.
51. *Мейлахс А. Г., Скоробогатов Г. А., Новикайте Н. В.* Химическое загрязнение водопроводной воды и поиск реагентов для ее очистки // Экол. химия. 2001. Т. 10, № 3. С. 198–208.
52. Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга / Под общ. ред. Ф. В. Кармазинова. Изд. второе, доп. и перераб. СПб.: Новый журнал, 2002. 683 с.
53. *Яхнин Э. Я. и др.* Элементный химический состав воды реки Невы и системы водоснабжения Санкт-Петербурга // Экол. химия. 1999. Т. 8, № 3. С. 145–154.
54. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Госстандарт России, 2003.
55. ГН 2.1.5.2280-07. Дополнения и изменения №1 к гигиеническим нормативам «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. ГН 2.1.5.1315-03». М.: Госстандарт России, 2007.
56. СанПин 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Постановление <http://www.mhts.rm/biblio/SNIPS/Sanpin4/2.1.4.1074-01/2.1.4.1074-01.htm>.
57. Государственный контроль качества воды. М.: ИПК изд-во стандартов, 2003. 773 с.