

ПРОДУКЦИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ПИЩЕВЫХ РАЦИОНАХ НАСЕЛЕНИЯ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В.С. БЕЗЕЛЬ,

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник,

С.В. МУХАЧЕВА,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,

М.Р. ТРУБИНА,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,

П.Г. ПИЩУЛИН,

научный сотрудник,

Е.Л. ВОРОБЕЙЧИК,

доктор биологических наук, заведующий лабораторией,

Институт экологии растений и животных УрО РАН

Ключевые слова: *загрязнение среды, пищевые рационы, продукты питания, грибы, ягоды, травянистые растения, предельно допустимая концентрация (ПДК), тяжёлые металлы.*

К настоящему времени в Уральском регионе проведено немало медико-гигиенических исследований, посвя-

щённых выявлению связи между промышленным загрязнением и состоянием здоровья населения [1, 2, 3, 4]. Ток-



620144, г. Екатеринбург,

ул. 8 Марта, 202/3;

тел. 8 (343) 210-38-53

сическое воздействие обычно оценивается по содержанию загрязнителей в атмосферном воздухе и воде либо косвенным методом – по содержанию

Environmental pollution, diet, foodstuffs, mushrooms, berries, herbaceous plants, maximum permissible concentrations (MPS), heavy metals.

токсических веществ в биопробах человека (кровь, волосы, ногти, выделения). Часто вне поля зрения исследователей остаётся поступление загрязнителей в организм человека с продуктами питания. В то же время именно этот путь считается приоритетным для ряда тяжёлых металлов [2].

Если пищевые рационы крупных городов в настоящее время состоят главным образом из привозных, в том числе импортных, продуктов, подлежащих государственному санитарно-гигиеническому контролю, то рационы малых городов и сельских поселений в значительной мере основаны на продуктах местного производства, в том числе из сборов ягод и грибов. В Свердловской области именно в малых городах сосредоточена значительная часть металлургических предприятий, где объём промышленных выбросов достигает значительной величины (города Ревда, Первоуральск, Кировград и др.). Приоритетными загрязнителями в этих районах являются тяжёлые металлы (ТМ), важное свойство которых заключается в способности длительно накапливаться в природных депонирующих средах (почва, лесная подстилка) и оказывать хроническое воздействие на растительность и животных. В окрестностях действующих предприятий это воздействие постоянно возрастает вследствие затажного поступления и накопления токсикантов в окружающей среде. Токсичность ТМ в природных условиях зачастую усугубляется из-за подкисления среды соединениями серы и азота, содержащимися в выбросах предприятий с первичной плавкой.

Используя в пищу местную продукцию, человек включается в локальные биогеохимические циклы, становясь конечным звеном трофической цепи. При этом, выступая в качестве консумента высшего порядка, он подвергается повышенному токсическому риску. В период экономического спада ситуация с загрязнённостью пищевых рационов приобретает особую остроту, поскольку население всё в большей мере ориентируется на местное пищевое сырьё.

Материалы и методы исследований

При выборе модельных районов для исследования необходимо исходить из следующих условий:

1) выбранный район должен принадлежать к типичным для региона эколого-географическим зонам;

2) выделенные участки должны быть подвержены в различной степени антропогенному загрязнению промышленными выбросами; мера токсического воздействия может быть определена по содержанию соединений металлов в почвах или атмосферных осадках (в снежном покрове);

3) участки должны располагаться вблизи населённых пунктов, жители которых активно используют естественные ресурсы.

В качестве базового рассматривался Ревдинско-Первоуральский промышленный район Свердловской области. Наиболее крупными загрязнителями здесь являются Среднеуральский медеплавильный завод (СУМЗ), ПО «Хромпик», Первоуральский новотрубный завод, Билимбаевский завод термоизоляционных материалов и ряд других предприятий. Ежегодно в атмосферу попадает более 6 млн т. загрязняющих веществ. Так, СУМЗ, действующий с 1940 г., в конце 1980-х гг. выбрасывал более 135 тыс. т поллютантов в год. Основные ингредиенты выбросов: газообразные соединения серы и пылевые частицы с сорбированными токсичными элементами (Cu, Pb, Cd, Zn, As, Hg, Fe и др.). В настоящее время ежегодные выбросы комбината снизились до 30 тыс. т, но накопленный потенциал загрязнителей продолжает оставаться серьёзным источником токсичности пищевых продуктов. В результате многолетнего воздействия вокруг завода сформировались зоны с различной степенью поражения экосистем. Почвы района характеризуются полиэлементным накоплением ТМ: валовое содержание в органометных горизонтах *Cu* доходит до 12,1 г/кг, *Zn* – до 4,2 г/кг, *Pb* – до 2,4 г/кг, *Cd* – до 80 г/кг. Такие величины сопоставимы с содержанием ТМ в бедных рудах [5].

Выделены участки, подверженные различному уровню загрязнения среды тяжёлыми металлами и хорошо описанные с экотоксикологической точки зрения. В качестве регионального фонового района приняты участки, расположенные на расстоянии 30 км к западу от возможных источников аэрогенного загрязнения. По мере приближения к СУМ-

Зу выделены буферный (3-10 км) и импактный (1-3 км) участки. Изучены два варианта биотопов, типичные для южной тайги Среднего Урала: ельники-пихтарники и вторичные березняки. Именно эти варианты биотопов активно используются местным населением для сбора грибов и ягод. Степень загрязнения природной среды на выбранных участках можно характеризовать концентрациями основных загрязнителей в лесной подстилке и величиной pH (табл. 1).

Сбор образцов растений в каждой зоне нагрузки проводился в 2006 г. в двух-трёх точках, расположенных на расстоянии не менее 500 м друг от друга. В каждой точке откапывалось не менее 5-10 экземпляров всех присутствующих в сообществе видов растений. Расстояние между особями одного вида – не менее 5-10 м. Образцы каждого вида разбирали на фракции (корни/корневища, листья, стебли), отмывали сначала в обычной, затем – в дистиллированной воде и сушили при температуре 60°C. Общее количество собранных образцов составило 736 экз. Образцы ягод (n=76) и грибов (n=160) были собраны в июле – сентябре 2006 г. В пределах каждого участка расстояние между соседними точками сбора образцов для каждого вида составляло 500 м и более. Отобранные пробы сушили при температуре 75°C.

Содержание ТМ определено в 68 видах растений (у 59, 44 и 25 видов – в фоновой, буферной и импактной зонах соответственно), 10 видах шляпочных грибов и 5 видах ягод. Образцы измельчали, взвешивали (около 0,1 г) на аналитических весах KERN-770 с точностью 0,00001 г и озоляли методом мокрой минерализации в 65%-ной азотной кисло-

Таблица 1

Концентрации тяжёлых металлов (мкг/г) и pH лесной подстилки в различных зонах токсической нагрузки*

Параметр	Биотоп		
	фоновая	буферная	импактная
Ельник-пихтарник			
pH	5,10±0,03	4,63±0,03	4,36±0,04
Концентрация, мкг/г:			
Cu	82,94±3,47	1472,34±41,67	4335,70±118,96
Pb	98,04±2,27	754,1±17,74	1423,91±37,22
Cd	3,26±0,09	8,08±0,29	14,44±0,58
Zn	214,86±4,89	387,51±13,17	610,61±20,18
Запас металлов:			
Cu, г/м ²	0,23±0,02	8,56±0,57	43,02±2,23
Pb, г/м ²	0,23±0,02	3,98±0,20	13,77±0,64
Cd, мг/м ²	7,86±0,60	47,28±3,41	147,86±9,36
Zn, г/м ²	0,51±0,04	2,26±0,16	6,17±0,36
Березняк			
pH	5,80±0,03	5,53±0,02	4,55±0,03
Концентрация, мкг/г:			
Cu	58,07±2,35	2156,18±51,78	5538,64±160,45
Pb	110,70±2,39	1026,29±17,88	1960,61±62,02
Cd	3,31±0,09	30,36±0,45	21,29±1,15
Zn	458,32±9,64	1734,22±21,84	931,24±46,67
Запас металлов, г/м ² :			
Cu	0,08±0,01	6,86±0,29	25,4±1,51
Pb	0,14±0,01	3,16±0,10	8,50±0,40
Cd	4,27±0,41	93,66±3,02	97,98±7,31
Zn	0,57±0,05	5,35±0,17	4,32±0,31

* Приведено среднее ± ошибка, учётная единица – образец, n=30.

те (осч) в микроволновой печи MWS-2 фирмы Verghof (Германия). Концентрацию металлов (*Pb*, *Cd*, *Cu*, *Zn*, *Fe*) в образцах определяли методом атомной абсорбции на спектрометре AAS 6 Vario фирмы Analytik Jena AG (Германия) с использованием пламенного и электротермического варианта атомизации в лаборатории экотоксикологии популяций и сообществ ИЭРИЖ УрО РАН. Аналитическая лаборатория аккредитована на техническую компетентность и зарегистрирована в государственном реестре РФ (№РОСС.RU0001.515630).

При обработке данных использовали стандартные статистические процедуры. Сравнение средних показателей по зонам проведено с помощью критерия Манна-Уитни.

Результаты исследований и их обсуждение

Оценка состояния кормовых объектов сельскохозяйственных животных.

Качество животноводческой продукции, особенно в личных хозяйствах, прямо зависит от степени загрязнения природных экосистем и, прежде всего, от накопления токсикантов в травянистой растительности.

Как и следовало ожидать, наибольшее количество ТМ накапливается, как правило, в подземных органах (табл. 2). Полученные результаты хорошо согласуются с имеющимися литературными данными о преимущественном накоплении ТМ в подземных органах. Тем не менее, во всех зонах нагрузки присутствовали виды с более высоким (в 1,5 раза и более) содержанием ТМ в надземных органах. При этом более высокие концентрации в надземных органах в сравнении с подземными были отмечены только для трёх элементов: *Cu*, *Cd* и *Zn*. Максимальная доля таких видов в импактной, буферной и фоновой

зонах нагрузки достигала 8, 12 и 21% соответственно. Среди них были отмечены следующие виды: *Aconitum septentrionale*, *Adenophora lilifolia*, *Angelica sylvestris*, *Cacalia hastata*, *Chamerion angustifolium*, *Galium boreale*, *Lathyrus vernus*, *Orthilia secunda*, *Pyrola rotundifolia*, *Tussilago farfara* и др. Содержание *Cu* в надземных органах было существенно ниже, чем в подземных, практически у всех изученных видов независимо от зоны нагрузки.

По мере приближения к источнику выбросов наблюдалось существенное увеличение содержания ТМ как в надземных, так и в подземных органах растений. Содержание в растениях *Zn* и *Cd* в буферной зоне в целом увеличивалось в 2,3 и 2,8 раза соответственно, в импактной – в 3,3 и 3,2 раза. Содержание *Cu* и особенно *Pb* возрастало в большей степени. В частности, содержание *Cu* возрастало в 4,8 и 11,9 раза (буферная и импактная зоны соответственно), а *Pb* – в 6,3 и 16,1 раза (буферная и импактная зоны соответственно). Во всех случаях различия средних (для всей совокупности видов сообществ) значений показателей между фоновой и буферной/импактной зонами нагрузки были статистически значимы ($P < 0,001$). Содержание ТМ у отдельных видов растений в градиенте нагрузки могло увеличиваться в десятки раз. Так, максимальное увеличение в градиенте нагрузки содержания *Cu* (в 71 раз), *Zn* (в 12 раз), *Cd* (в 24 раза) было отмечено для *Chamerion angustifolium*, а содержания *Pb* (в 95 раз) – для *Calamagrostis obtusata*.

На расстоянии 30 км от завода содержание *Cu* и *Pb* в листьях, стеблях и надземных частях в целом у всех изученных видов не превышало верхнего предела нормальных [6] концентраций этого элемента. В то же время превышение принятых [7] предельно допусти-

мых концентраций для пищевых продуктов (ПДК_{пн}) в надземных частях растений по *Cu* было отмечено у 30% видов, а по *Pb* – у всех видов (здесь и далее в тексте: были учтены виды только с превышением концентраций в 1,5 и более раз). Средняя кратность превышения по *Cu* и *Pb* для всех видов составила 1,4±0,1 (максимальное превышение – в 3,3 раза) и 2,5±1,8 (максимальное превышение – в 72 раза) соответственно. Превышение верхнего предела нормальных концентраций *Zn* было отмечено только у 5% видов. В то же время ПДК_{пн} было превышено у 88% видов, и средняя кратность превышения ПДК_{пн} по *Zn* для всех видов составила 3,8±0,4 (максимальное превышение – в 19,7 раза). Содержание *Cd* у большей части (88%) видов растений фоновой зоны превышало верхний предел нормальных концентраций, и средняя кратность превышения для всех видов составила 8,3±1,7 (максимальное превышение – в 64 раза). ПДК_{пн} было превышено у всех изученных видов, и средняя кратность превышения составила 82,7±7,1 (максимальное превышение – в 642 раза).

По мере приближения к источнику выбросов доля видов с превышением верхнего предела нормальных для растений концентраций ТМ существенно увеличивалась. В буферной зоне доля видов с повышенными концентрациями *Cu* в надземных органах была низкой (7%). В то же время доля видов с повышенным содержанием *Cd*, *Zn* и *Pb* была существенно выше и составляла 100, 54 и 51% соответственно. ПДК_{пн} по *Zn*, *Pb* и *Cd* в этой зоне были существенно превышены у всех видов растений, по *Cu* – у 89%. Средняя кратность превышения ПДК_{пн} по *Cu*, *Zn*, *Pb* и *Cd* в этой зоне составила 4,0±0,5; 9,6±0,7; 98,5±10,3 и 192,2±22,0 соответственно. В импактной зоне ПДК_{пн} всех четырех элементов были превышены у всех видов. Средняя кратность превышения ПДК_{пн} по *Cu*, *Zn*, *Pb* и *Cd* в этой зоне составила 10,3±1,7; 13,9±1,9; 412,8±91,7 и 194,7±35,7 соответственно. Верхние пределы нормальных для растений концентраций ТМ в этой зоне нагрузки по *Cu*, *Zn*, *Pb* и *Cd* были превышены у 50, 75, 88 и 100 видов соответственно.

Содержание ТМ существенно варьировало у изученных видов растений, и значения показателей в пределах зоны токсической нагрузки могли различаться в десятки и сотни раз [6]. Среди видов с наиболее высоким содержанием тяжёлых металлов был отмечен целый ряд лекарственных растений (табл. 3), таких как кровохлебка (*Sanguisorba officinalis*), земляника (*Fragaria vesca*), черника (*Vaccinium myrtillus*) и брусника (*V. vitis-idaea*).

Содержание тяжёлых металлов в лесных ягодах.

В пищевых рационах сельского населения лесные продукты представлены ягодами и грибами, образцы которых собраны на участках с различным уров-

Таблица 2
Содержание тяжёлых металлов (мкг/г сухой массы) в видах сосудистых растений*

Элемент	Часть растения	Зона нагрузки и расстояние, км		
		фоновая 30	буферная 4	импактная 1 (1,5)
Cu	листья	7,5±0,4	18,1±1,6	49,3±10,2
	стебли	6,1±0,4	20,6±3,6	50,6±12,3
	надземная часть в целом	6,9±0,4	20,0±2,4	51,6±8,4
	корни и корневища	21,9±3,3	121,2±15,4	297,1±40,6
	целое растение	12,2±1,2	58,8±7,7	144,3±16,7
Zn	листья	99,4±10,3	259,6±24,3	336,4±36,2
	стебли	95,3±11,4	218,8±20,3	359,3±77,9
	надземная часть в целом	94,9±9,8	239,5±18,5	348,4±45,9
	корни и корневища	210,8±21,6	444,7±48,8	659,3±64,3
	целое растение	137,8±12,5	320,6±25,0	455,5±48,4
Cd	листья	1,6±0,3	3,6±0,4	3,2±0,5
	стебли	2,1±0,5	4,2±0,6	4,4±1,2
	надземная часть в целом	1,7±0,3	3,8±0,5	3,9±0,7
	корни и корневища	2,5±0,2	7,5±0,9	10,6±1,0
	целое растение	1,9±0,3	5,3±0,5	6,2±0,7
Pb	листья	6,6±0,4	18,5±1,7	74,7±13,2
	стебли	4,9±0,5	19,6±2,8	110,1±34,0
	надземная часть в целом	5,9±0,4	19,7±2,1	82,6±18,0
	корни и корневища	12,3±2,9	108,7±14,3	203,4±37,8
	целое растение	8,4±1,1	53,3±7,2	135,3±23,5

* Приведено среднее ± стандартная ошибка, учётная единица – вид, в фоновой зоне n=59, в буферной n=44, в импактной n=25.

Биология

нем загрязнения среды ТМ. Данные по содержанию ТМ в плодах пяти видов растений представлены в таблице 4.

Максимальные концентрации *Pb* (14,8 мкг/г) и *Cu* (13,6 мкг/г) зарегистрированы в ягодах черники, собранных в импактной зоне; *Cd* в значительных количествах (1,9 мкг/г) накапливается в землянике с буферных участков. В то же время *Zn* и *Fe* концентрировались интенсивнее в ягодах земляники, собранных на фоновых территориях (108,5 и 116,0 мкг/г соответственно). Минимальное содержание большинства изученных элементов (за исключением *Fe*) отмечено в плодах шиповника с фоновых участков. Следует отметить, что в пределах каждой зоны металлы содержались в минимальных количествах именно в плодах шиповника.

Опасность потребления природной продукции для населения должна основываться на ПДК для продуктов питания (табл. 5). На основании результатов химического анализа образцов можно заключить, что в ягодах земляники ПДК_{нп} превышены в среднем по *Pb* в 1,6-1,9 раза, по *Cd* – в 6,5-8,4 раза, по *Zn* – в 1,4 раза (причём только на фоновом участке). Содержание металлов в малине с фоновых территорий находится в пределах нормы, а на загрязнённых участках превышение ПДК_{нп} составило: для *Pb* – 1,5-3 раза, для *Cd* – 2,6-5,6 раза. Концентрация *Pb* в ягодах черники в 2,5-4,8 раза превышает допустимые нормативы, *Cd* – в 2-5,7 раза. Ягоды брусники, собранные на буферных и импактных территориях, содержали в 1,2-4 раза больше *Pb* и в 1,5 раза – *Cd*. В плодах шиповника, несмотря на минимальные значения среди проанализированных образцов, также отмечено превышение ПДК_{нп} по *Cd* и *Pb* – в 1,8-3,0 раза соответственно (для импактного участка).

Проанализированный нами материал позволил также определить меру токсичности природных продуктов, оценивая долю проб, в которых содержание металлов превышает допустимый уровень. Так, в ягодах брусники с импактных территорий все пробы (100%) имели уровни *Pb*, превышающие ПДК, 86% проб имели превышение этого показателя по *Cd*. Аналогичная картина имеет место в случае шиповника, у которого (с импактного участка) 100% плодов имели превышение значений ПДК по *Pb* и 33% – по *Cd*.

Содержание тяжёлых металлов в плодовых телах грибов.

Данные о содержании исследованных химических элементов в плодовых телах грибов приведены в таблице 6. Анализ показал, что максимальные концентрации металлов отмечены у сыроежки пищевой: *Pb* – до 26,0 мкг/г, *Cd* – до 20,8 мкг/г, *Cu* – до 80,0 мкг/г, *Zn* – до 216,0 мкг/г. Высокими накопительными способностями обладают также плодовые тела мухомора красного, у которого концентрация *Cd* достигает 45,5 мкг/г, а *Zn* – превышает 200 мкг/г.

Сопоставление полученных данных с ПДК_{нп} показало, что лишь плодовые тела подосиновика не превышают уста-

новленных нормативов. У всех видов грибов, собранных на фоновой территории, превышение ПДК_{нп} зарегистрирова-

Таблица 3
Виды растений с наиболее высоким содержанием тяжёлых металлов в зоне действия Среднеуральского медеплавильного завода*

Элемент	Зона токсической нагрузки		
	фоновая	буферная	импактная
<i>Cu</i>	<i>Myosotis sylvatica</i> , <i>Actaea spicata</i> , <i>Dryopteris carthusiana</i> , <i>Luzula pilosa</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i>	<i>Athyrium filix-femina</i> , <i>Gymnocarpium dryopteris</i> , <i>Equisetum sylvaticum</i> , <i>Dryopteris carthusiana</i> , <i>Luzula pilosa</i>	<i>Equisetum sylvaticum</i> , <i>Chamerion angustifolium</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>V. vitis-idaea</i> , <i>Galium boreale</i>
<i>Zn</i>	<i>Sanguisorba officinalis</i> , <i>Luzula pilosa</i> , <i>Stellaria holostea</i> , <i>Cacalia hastata</i> , <i>Fragaria vesca</i>	<i>Luzula pilosa</i> , <i>Veronica chamaedrys</i> , <i>Cerastium pauciflorum</i> , <i>Geranium sylvaticum</i> , <i>Geum rivale</i>	<i>Pyrola rotundifolia</i> , <i>P. media</i> , <i>Galium boreale</i> , <i>Athyrium filix-femina</i> , <i>Agrostis tenuis</i>
<i>Cd</i>	<i>Stellaria holostea</i> , <i>Impatiens noli-tangere</i> , <i>Cacalia hastata</i> , <i>Viola canina</i> , <i>Luzula pilosa</i>	<i>Viola canina</i> , <i>Coronaria flos-cuculi</i> , <i>Cerastium pauciflorum</i> , <i>Lathyrus gmelinii</i> , <i>Lathyrus vernus</i>	<i>Pyrola media</i> , <i>P. rotundifolia</i> , <i>Agrostis tenuis</i> , <i>Veratrum lobelianum</i> , <i>Majanthemum bifolium</i>
<i>Pb</i>	<i>Myosotis sylvatica</i> , <i>Luzula pilosa</i> , <i>Dryopteris carthusiana</i> , <i>D. filix-max</i> , <i>Impatiens noli-tangere</i>	<i>Luzula pilosa</i> , <i>Athyrium filix-femina</i> , <i>Gymnocarpium dryopteris</i> , <i>Coronaria flos-cuculi</i> , <i>Cerastium pauciflorum</i>	<i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Pyrola media</i> , <i>P. rotundifolia</i> , <i>V. vitis-idaea</i> , <i>Calamagrostis obtusata</i>

* Для каждого элемента и зоны нагрузки виды приведены в порядке убывания концентраций.

Таблица 4
Концентрация тяжёлых металлов (мкг/г сухой массы) в плодах некоторых видов растений, произрастающих в различных зонах токсической нагрузки

Вид растений	Элемент	Зона токсической нагрузки		
		фоновая	буферная	импактная
Брусника	свинец	-	3,7±0,9 (2)	12,5±2,3 (7)
	кадмий	-	0,06±0,02 (2)	0,35±0,05 (7)
	медь	-	4,5±1,3 (2)	8,9±0,5 (7)
	цинк	-	12,8±3,5 (2)	23,5±2,3 (7)
	железо	-	28,4±4,4 (2)	44,2±4,7 (7)
Земляника	свинец	5,7±1,7 (12)	4,9±0,8 (5)	-
	кадмий	1,50±0,15 (12)	1,93±0,11 (5)	-
	медь	10,4±0,5 (12)	10,1±1,3 (5)	-
	цинк	108,5±32,0 (12)	28,5±3,0 (5)	-
	железо	116,0±29,3 (12)	62,9±6,9 (5)	-
Малина	свинец	2,3±0,7 (11)	4,5±1,9 (4)	9,0±1,2 (3)
	кадмий	0,23±0,03 (11)	0,60±0,06 (4)	1,31±0,17 (3)
	медь	5,5±0,4 (11)	8,3±1,3 (4)	10,4±0,42 (3)
	цинк	37,5±3,6 (11)	34,5±3,8 (4)	45,1±14,2 (3)
	железо	44,7±4,6 (11)	48,8±9,6 (4)	64,4±6,5 (3)
Черника	свинец	12,8 (1)	7,7±3,6 (8)	14,8±4,0 (5)
	кадмий	2,20 (1)	0,44±0,19 (8)	1,20±0,19 (5)
	медь	6,4 (1)	8,5±1,1 (8)	13,6±1,2 (5)
	цинк	35,5 (1)	15,6±3,6 (8)	35,3±8,2 (5)
	железо	139,9 (1)	70,6±25,5 (8)	107,7±32,4 (5)
Шиповник	свинец	0,9±0,3 (8)	2,0 (1)	9,5±2,1 (9)
	кадмий	0,05±0,02 (8)	0,11 (1)	0,41±0,07 (9)
	медь	3,7±0,3 (8)	3,7 (1)	5,9±0,4 (9)
	цинк	11,8±1,8 (8)	14,3 (1)	20,5±1,4 (9)
	железо	34,5±3,6 (8)	20,2 (1)	33,2±2,9 (9)

* Приведено среднее значение ± ошибка, в скобках – количество образцов.

Таблица 5
ПДК тяжёлых металлов в ягодах и плодовых телах съедобных грибов, отнесённые к сырой (мг/кг) и сухой (мкг/г) массе продукта

Химический элемент	Сырая масса, мг/кг*		Сухая масса, мкг/г**	
	ягоды	грибы	ягоды	грибы
Свинец	0,4	0,5	3,08	5,3-3,12
Кадмий	0,03	0,1	0,23	1,0-0,62
Медь	5,0	10,0	38,46	100,0-62,0
Цинк	10,0	20,0	76,92	200,0-124,0

* Данные [8].

** Наш перерасчёт на сухую массу пробы на основе эмпирически установленных коэффициентов.

но только для *Cd*: у сыроежки пищевой – в 5 раз, у подберёзовика – в 6,3 раза, у опёнка осеннего и вешенки – в 6,8-7 раз. На загрязнённых территориях норматив по *Pb* превышен: у маслёнка – в 6-7,4 раза, у сыроежки – почти в 5 раз, у опёнка осеннего – в 1,8 раза, у подберёзовика – в 1,5 раза. Следует также отметить, что содержание *Cu* превышало допустимые нормы в плодовых телах сыроежки с импактного участка в 2,2 раза, а *Zn* – у сыроежки (в 1,1 раза) и белого гриба (в 2,6 раза). Содержание *Cd* превышено в плодовых телах большинства видов на всех участках сбора: на импактной территории

– в 4-45 раз, на буферных участках – в 2-31 раз, на фоновых – в 5-17 раз.

На импактных территориях для 50 и 96% проб плодовых тел сыроежки и маслёнка зарегистрировано превышение ПДК по *Cd* и *Pb* соответственно. На буферных территориях оба вида грибов имели превышение допустимого уровня в 90 и 100% случаев. Загрязнение *Zn* имело место в 25% проб у сыроежки; у них же превышение *Cu* отмечено в 10% случаев.

Заключение

Результаты проведённых исследований показывают, что растения и грибы, произрастающие в окрестностях

СУМЗа, содержат концентрации ТМ, многократно превышающие ПДК_{гпп}. Даже на расстоянии 30 км с подветренной стороны от завода в надземных органах у всех изученных видов растений были значительно превышены ПДК_{гпп} по *Cd* и *Pb*, у большинства видов грибов – по *Cd*. Соединения именно этих элементов считаются одними из наиболее токсичных для живых организмов. При этом у отдельных видов ПДК_{гпп} были превышены в десятки и сотни раз. Более того, большинство видов растений из фоновой зоны содержали количества *Cd*, существенно превышающие нормальные пределы содержания этого элемента в растениях и считающиеся токсичными для самих растений. Концентрации элементов существенно различались в отдельных органах растений и были, как правило, выше в подземных частях растений. Тем не менее, виды с более высоким содержанием ТМ в надземных органах присутствовали во всех зонах нагрузки. Наибольшее их количество было отмечено в зоне с фоновым уровнем загрязнения.

Трудность оценки токсических нагрузок на население за счёт пищевых рационов связана прежде всего с необходимостью иметь сведения о структуре питания, включающей не только продукты местного происхождения, но и компоненты, произведённые в смежных регионах или даже зарубежные. В этой ситуации вклад продукции природного происхождения даже для сельского населения зависит от множества факторов, таких как близость расположения источников токсической эмиссии, экологическая специфика мест обитания населения, сезонные и погодные условия и пр. Однако отмеченные сложности не исключают необходимости оценок загрязнения токсикантами продукции природного происхождения. С этим связана необходимость как экотоксикологического районирования территории, так и организации постоянного мониторинга уровней загрязнения объектов природной среды.

Таблица 6

Концентрация тяжёлых металлов (мкг/г сухой массы) в плодовых телах грибов, произрастающих в различных зонах токсической нагрузки

Вид растения	Элемент	Зона токсической нагрузки		
		фоновая	буферная	импактная
Белый гриб	свинец	-	-	4,9±1,1 (4)
	кадмий	-	-	16,4±3,0 (4)
	медь	-	-	42,0±4,1 (4)
	цинк	-	-	520,7±18,1 (4)
Подберёзовик	свинец	2,3±0,3 (2)	-	8,2±1,9 (4)
	кадмий	6,3±0,9 (2)	-	5,6±0,6 (4)
	медь	14,4±1,5 (2)	-	18,8±2,8 (4)
	цинк	90,2±14,4 (2)	-	178,7±15,9 (4)
Подосиновик	свинец	4,6±3,9 (2)	2,2±0,4 (11)	-
	кадмий	1,6±0,3 (2)	0,9±0,2 (11)	-
	медь	33,9±18,8 (2)	32,6±5,2 (11)	-
	цинк	204,8±71,3 (2)	121,9±22,5 (11)	-
Маслёнок поздний	свинец	2,3±0,7 (5)	39,4±39,4 (2)	32,4±7,3 (23)
	кадмий	0,3±0,1 (5)	1,1±0,9 (2)	4,0±0,5 (23)
	медь	25,4±4,5 (5)	29,6±23,1 (2)	48,4±5,3 (23)
	цинк	169,6±40,6 (8)	88,9±16,6 (2)	121,9±8,6 (23)
Сыроежка пищевая	свинец	3,4±0,6 (13)	4,2±0,5 (20)	26,0±0,9 (4)
	кадмий	5,1±1,7 (13)	7,2±0,6 (20)	20,8±11,1 (4)
	медь	54,9±11,4 (13)	80,2±4,5 (20)	80,3±2,8 (4)
	цинк	129,1±11,9 (13)	192,5±22,8 (20)	216,1±23,3 (4)
Опёнок осенний	свинец	2,5±0,3 (7)	0,8±0,5 (2)	9,5±1,5 (5)
	кадмий	6,9±1,2 (7)	2,1±0,2 (2)	11,6±2,6 (5)
	медь	15,2±2,6 (7)	20,7±0,6 (2)	125,6±62,4 (5)
	цинк	93,0±11,2 (7)	60,8±1,1 (2)	130,3±26,7 (5)
Вешенка беловатая	свинец	2,1±0,4 (4)	1,0 (1)	-
	кадмий	7,0±3,7 (4)	1,8 (1)	-
	медь	10,0±1,9 (4)	4,1 (1)	-
	цинк	109,2±27,5 (4)	37,7 (1)	-
Мухомор красный	свинец	2,0±0,2 (4)	5,9±1,2 (12)	11,6±4,2 (25)
	кадмий	17,0±1,1 (4)	30,5±3,5 (12)	44,5±4,6 (25)
	медь	23,9±1,7 (4)	47,0±5,7 (12)	72,2±5,5 (25)
	цинк	159,4±6,2 (4)	168,5±14,8 (12)	210,2±15,7 (25)

* Приведено среднее значение ± ошибка, в скобках – количество образцов.

Литература

1. Плотко Э. Т., Штоль А. В., Яценко Т. А. [и др.]. Заболеваемость населения и её связь с загрязнением атмосферы в районах размещения предприятий цветной металлургии // Гигиена и профпатология в горно-металлургическом производстве : сб. науч. тр. М. : НИИ гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана, 1990. С. 37-42.
2. Привалова Л. И., Кацнельсон Б. А., Кузмин С. В. [и др.]. Экологическая эпидемиология: принципы, методы, применение. Екатеринбург, 2003. 277 с.
3. Рыжов В. В., Селянкина К. П., Борзунова Е. А., Егорова Т. С. Комплексная гигиеническая оценка загрязнения окружающей среды и влияние его на здоровье детского населения одного из районов г. Екатеринбурга // Гигиена и профпатология в горно-металлургической промышленности : сб. науч. тр. Екатеринбург : МНЦП и ОЗРП, 1995. С. 4-7.
4. Katsnelson B. A., Polzik E. V., Lezhnin V. L. The interaction of dermatoglypic phenotypes and environmental factors of predisposition to some common tumours // *Umwelthygiene*, 1994. Suppl. 2. P. 1.
5. Воробейчик Е. Л. Экологическое нормирование токсических нагрузок на наземные экосистемы : автореф. дис. ... докт. биол. наук. Екатеринбург, 2004. 48 с.
6. Трубина М. Р. Содержание тяжёлых металлов в сосудистых растениях в зоне действия медеплавильного завода // М-лы VI Междунар. конф. «Тяжёлые металлы и радионуклиды в окружающей среде». Семей, 2010. Т. 2. С. 442-446.
7. Беспамятнов Г. П., Кортюв Ю. А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Л. : Химия, 1985. 528 с.
8. Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов : утв. зам. министра МЗ СССР, 1989 г. № 5061-89. М. : Изд. МЗ СССР. 1990. 185 с.