

УДК 631.811.94.031:632.122

**НАКОПЛЕНИЕ КАДМИЯ И СВИНЦА НЕКОТОРЫМИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ
РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ**

**Б.А. ЯГОДИН, В.В. ГОВОРИНА, С.Б. ВИНОГРАДОВА, А.Г. ЗАМАРАЕВ,
Г.В. ЧАПОВСКАЯ**

(Кафедра агрохимии)

Обсуждаются данные о содержании кадмия и свинца в основных сельскохозяйственных культурах из разных стран мира, особенности их накопления растениями в условиях техногенного загрязнения. Приводятся данные о содержании кадмия и свинца в урожае озимой пшеницы, ячменя, овса, картофеля, многолетних и однолетних трав, а также в естественной растительности из учхоза «Михайловское» Московской области. Отмечается, что концентрация кадмия преимущественно ниже или на уровне предельно допустимых, свинца — соответствует средним концентрациям, свойственным растениям из не загрязненных этим металлом районов.

* Авторы выражают благодарность С.М. Саблиной за участие в аналитической работе.

В ходе эволюции растения выработали систему приспособления к естественным концентрациям химических элементов в среде. Однако интенсивное развитие промышленности, широкое применение удобрений и ядохимикатов резко усиливают гетерогенность химического состава почвы с дефицитом одних и избытком других элементов. В литературе описаны многочисленные факты загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) в результате рассеивания промышленных выбросов через атмосферу или в виде отходов (шлаков, шламов) и загрязненных промышленных вод. Это ведет к активному поступлению и увеличению количества металлов в растениях по сравнению с их уровнем в условиях экологически оптимальной среды. С этой точки зрения большой интерес представляет регион Москвы и Московской области.

Исследования показали, что поступление свинца на поверхность почв в парках Москвы в 2—3 раза, а меди и свинца — в 7—10 раз выше, чем на фоновых участках [27]. Концентрация кадмия в воздухе городов Москвы и Подольска колеблется в пределах 0,004—0,03 мкг в 1 м³, что на 1—2 порядка больше, чем в воздухе биосферных заповедников [36].

Длительное применение минеральных удобрений приводит к накоплению металлов в почве [22]. Для кадмия, никеля, хрома складывается положительный баланс, который возрастает с увеличением доз удобрений и степени окультуренности почв. Поступление кадмия в 2 раза больше выноса его культурными растениями, никеля — в 4—5

раз. Это ведет к превышению предельно допустимых концентраций металлов (ПДК) в почвах и растениях. По имеющимся данным, в растениеводческой продукции Подмосковья концентрация кадмия, никеля, свинца и хрома уже выше их ПДК [38].

Данное сообщение — продолжение серии работ, в которых проводится оценка санитарно (ветеринарно)-гигиенического состояния продукции растениеводства Московской области на основе результатов, полученных на многолетнем полеводном опыте кафедры растениеводства в учхозе «Михайловское». Условия проведения опыта и методы исследования описаны в работе [39].

Кадмий в растениях

Содержание кадмия в растениях зависит как от условий выращивания, так и от их видового состава. Например, Kibai и др. [56] разделили растения разных видов по способности накапливать кадмий на 3 группы: к 1-й группе отнесены растения с низкими концентрациями этого элемента в естественных условиях произрастания (бобовые); ко 2-й — со средними концентрациями (злаковые, лилейные, тыквенные и зонтичные); к 3-й — с высокими концентрациями (маревые, крестоцветные, пасленовые и сложноцветные). Однако такое деление довольно условно. Испытания доз кадмия в широком диапазоне позволили установить, что внутри каждого семейства встречаются растения с различной устойчивостью к этому элементу. Так, турнепс и кабачки не проявляли видимой реакции даже при внесении максимальной дозы,

тогда как у репы, относящейся к тому же семейству, наблюдались признаки токсикоза при внесении в субстрат кадмия в дозе на порядок меньше максимальной. Устойчивы к кадмию растения семейства розоцветных, томаты и капуста. Но самой устойчивой культурой является рис, нормально развивающийся при концентрации этого металла 640 мг на 1 кг почвы; в зерне риса может накапливаться до 1 мг/кг; чувствительны к кадмию в среде соя, салат, шпинат [13, 32, 53, 60].

Установлены также сортовые особенности реакции растений на содержание кадмия в среде. Например, при выращивании в песке с добавлением в питательную смесь 1,0 мг кадмия на 1 л у 9 сортов салата наблюдались значительные колебания в накоплении этого металла — от 0,4 до 26 мг/кг [45].

Наибольшее количество кадмия, как правило, локализуется в корнях, значительно меньше — в надземных органах растений, особенно в генеративных, т.е. наблюдается акропетальное его распределение за счет существования нескольких барьеров, ограничивающих поступление с восходящим током веществ [13, 16]. Например, при содержании кадмия в почве 22 мкг/г в плодах перца оно колебалось от 0,01 до 4,7 мкг/г, а в листьях — от 4 до 52 [14]. В опытах с кукурузой при изменении концентрации в почве от 21,5 до 2986 мг/кг в зерне она практически не менялась и составляла не более 0,01 мг/кг [41].

Многие исследователи, изучающие симптомы проявления токсичности ТМ у сельскохозяйственных культур, отмечают, что кадмий в 2—20 раз токсичнее других метал-

лов. При сравнении в равных дозах соединений нескольких металлических располагают по токсичности в следующем порядке: Cd>Ni>Cu>Zn, или Cd>Zn>Cu>Pb, или Cd>Ni>Cu>Zn>Cr>Pb [33, 42, 43, 68].

Видимым признаком кадмиевого токсикоза является покраснение листьев, стеблей, черешков. У пшеницы по мере нарастания потока ТМ наблюдаются хлороз, низкорослость, слабое кущение [15, 16, 42]. Можно предположить, что резкое увеличение содержания кадмия в растениях скажется на элементном составе их органов. Так, было установлено [6], что к моменту созревания яровой пшеницы увеличивалось поступление калия в растения; в зерне было меньше меди, больше азота и калия, чем в контроле. По другим данным, кадмий сильно подавляет поглощение корнями калия, задерживает передвижение железа в надземные части, не снижая его поглощения, вызывает хлороз и является антагонистом цинка. Отмечается конкурирующее действие кадмия и марганца [46, 51—53, 74].

В естественных условиях ионы одного металла редко встречаются изолированно. В присутствии нескольких металлов возможны различные комбинации взаимодействия и окончательный результат может меняться. Так, смесь меди и цинка в 5 раз более токсична, чем можно было бы ожидать, суммируя их влияние. Кадмий и цинк действуют аддитивно. Изучение индивидуального и суммарного влияния меди, кадмия и никеля на окисление алюминия *Nitrosomonas europaea* позволили установить, что кадмий и никель тормозили рост, действуя как синергисты, а на продление лаг-

фазы влияние этой смеси было либо антагонистическим, либо дополняющим в зависимости от концентрации алюминия [66]. В опытах с растениями разных семейств [68] пороговая токсичность комбинации металлов была ниже, чем этих же металлов, применяемых отдельно. Накопление металлов в листьях значительно снижалось при совместном их внесении.

Легкость усвоения и накопления растениями кадмия способствует повышению его концентрации в животных организмах. В связи с этим в разных странах разработаны предельно допустимые concentra-

ции этого металла в кормах, пищевых продуктах и водах. Однако широкий диапазон предлагаемых значений ПДК убеждает, что общего мнения относительно приемлемого безопасного содержания кадмия в настоящее время нет.

Фоновые уровни содержания кадмия в зерне злаков и в обычных кормовых растениях из разных стран мира весьма низки и очень сходны. Так, средние значения для зерна всех злаков лежат в пределах 0,013—0,22, в травах — 0,07—0,27, в бобовых культурах — 0,08—0,28 мг на 1 кг сухой массы (табл. 1 [19]).

Т а б л и ц а 1

Содержание кадмия и свинца (мг на 1 кг сухой массы) в зерне зерновых культур из разных стран мира (по обобщенным данным [19])

Страна	Пшеница		Ячмень		Овес	
	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb
Австрия	0,022	0,59	—	—	—	—
Египет	0,05	0,51	—	—	—	—
Норвегия	0,071	—	0,022	—	—	—
Польша	0,056	0,32	—	—	0,060	0,49
СССР	0,065	0,50	—	—	—	0,01*
США	0,10	0,64	—	—	—	—
ФРГ	0,04	—	0,02	—	0,020	—
Швеция	0,06	0,57	0,013	—	—	—
Япония	0,03*	—	—	—	—	—
Дания	—	—	—	—	0,03*	—
Канада	—	—	—	0,1—0,2	0,21	2,28
Финляндия	—	0,18	—	0,40 ^б	—	0,33—1,08
Великобритания	—	—	—	<1,25—1,5	—	—

П р и м е ч а н и е : а — на влажную массу; б — после внесения $Pb(NO_3)_2$, в — в гидропонной культуре.

По имеющимся данным [67], фоновое содержание кадмия в биомассе даже одной культуры колеблется в зависимости от условий произрастания и фазы развития: у клевера — от 0,02 до 0,11 мг на 1 кг сухой массы, у люцерны — 0,02—0,3, ячменя — 0,02—0,38, овса — 0,04—0,35, у кукурузы — 0,04—3,9 мг.

В целом нормальная или достаточная концентрация кадмия в зрелых растениях составляет 0,05—0,2 мг на 1 кг сухой массы [19].

Содержание кадмия в зерновых

культурах, выращенных на опытном поле в учхозе «Михайловское», широко изменялось: в зерне озимой пшеницы от следов до 0,15, ячменя — от 0,31 до 0,62, овса — от 0,36 до 0,54; в соломе — соответственно 0,21—0,39, 0,13—0,43 и 0,36—0,63 мг на 1 кг сухой массы, т.е. в зерне озимой пшеницы оно было самым низким. Прослеживается увеличение концентрации кадмия в зерне злаковых культур по мере повышения уровня плодородия почвы (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Содержание кадмия (мг на 1 кг сухой массы) в урожае зерновых культур и картофеля в многолетнем опыте

Вариант*	Оз. пшеница		Ячмень		Овес		Картофель	
	зерно	солома	зерно	солома	зерно	солома	клубни	ботва
<i>Низкий уровень плодородия</i>								
1	0,09	0,28	0,31	0,43	0,36	0,56	0,51	4,33
<i>Средний уровень плодородия</i>								
1	Сл.	0,22	0,35	0,12	0,42	0,41	0,27	1,36
2	0,06	0,24	0,39	0,13	0,36	0,35	0,42	1,06
3	0,06	0,23	0,46	0,17	0,36	0,46	0,38	1,27
4	0,07	0,39	0,44	0,18	0,36	0,55	0,40	1,26
<i>Высокий уровень плодородия</i>								
1	0,11	0,24	0,61	0,23	0,48	0,60	0,60	1,68
2	0,12	0,21	0,62	0,23	0,46	0,63	0,58	1,41
3	0,15	0,37	0,59	0,21	0,54	0,63	0,52	1,46

* Здесь и далее в табл. 3, 8, 9 вариант 1 — без удобрений; 2 и 3 — NPK в расчете на усвоение соответственно 2 и 3% ФАР; 4 — NPK по рекомендации зональной лаборатории.

Для оценки санитарно-гигиенического содержания этого металла в зерне и зерновых культурах разработаны и рекомендуются ПДК кадмия, которые, однако, по имеющимся источникам [5, 11, 61], различаются в несколько раз: от 0,1 до 0,2—

0,5 мг на 1 кг сухой массы. Исходя из этого выше верхнего предела ПДК было содержание кадмия в зерне ячменя, выращенного на участке с высоким плодородием почвы. На уровне фоновой оказалась его концентрация в зерне озимой пшеницы.

В клубнях картофеля содержание этого металла колебалось от 0,27 до 0,60 мг на 1 кг сухой массы. В нашей стране принято допустимое остаточное количество кадмия в овощах — 0,03 мг на 1 кг сырой массы [28]. Если учесть, что в среднем влажность клубней, собранных с опытного поля, составляла 75%, то концентрация кадмия в них превышает ДОК и соответствует по данному показателю качеству продукции, выращиваемой в индустриальных районах (по [24] на территории Польши содержание кадмия в про-

бах картофеля, выращиваемого в непромышленных (фоновых) районах, составляло 0,05—0,09 мг, в сельскохозяйственных — 0,03—0,15, в индустриальных — 0,15—0,22 мг на 1 кг сухой массы).

В многолетних травах значение этого показателя зависело от их ботанического состава. Как правило, в бобовом компоненте оно было выше, чем в злаковом (табл. 3). Не наблюдалось четкой зависимости содержания кадмия в травах от укоса и уровня плодородия почвы.

Т а б л и ц а 3

Содержание кадмия (мг на 1 кг сухой массы) в клевере, тимopheевке, вике и овсе в многолетнем опыте

Вариант	Клевер				Тимopheевка				Вика	Овес
	1-й год		2-й год		1-й год		2-й год			
	I	II	I	II	I	II	I	II		
<i>Низкий уровень плодородия</i>										
1	0,73	0,64	0,57	0,37	0,36	0,39	0,36	0,38	0,40	0,35
<i>Средний уровень плодородия</i>										
1	0,45	0,64	0,58	0,56	0,35	0,38	0,35	0,26	0,33	0,33
2	0,40	0,42	0,51	0,66	0,23	0,40	0,36	0,27	0,34	0,37
3	0,49	0,33	0,54	0,60	0,26	0,60	0,32	0,28	0,35	0,36
4	0,45	0,27	0,60	0,56	0,47	0,43	0,27	0,37	0,33	0,43
<i>Высокий уровень плодородия</i>										
1	0,46	0,62	0,63	0,43	0,39	0,41	0,35	0,44	0,34	0,33
2	0,52	0,62	0,61	0,53	0,28	0,34	0,42	0,50	0,34	0,31
3	0,42	0,70	0,66	0,64	0,29	0,24	0,32	0,39	0,31	0,35

П р и м е ч а н и е . Здесь и в табл.9 — I и II — первый и второй укосы.

Общего мнения относительно приемлемого безопасного содержания кадмия в кормах для животных в настоящее время нет. По данным [31], ПДК кадмия в полнорационных кормовых смесях для КРС (кро-

ме телят) 1,0 мг на 1 кг сухой массы, в остальных полнорационных смесях — 0,5, в однокомпонентных кормах животных произсуждения — 2,0, однокомпонентных кормах, содержащих 8% фосфо-

ра, — 10,0, в минеральных добавках — 5,0. В целом ПДК кадмия в растениях устанавливается в пределах 0,2—0,8 мг на 1 кг сухой массы [29, 59, 64]. По имеющимся данным, при концентрации кадмия в кормах свыше 20 мкг на 1 кг сухого вещества наблюдаются аномалии в функционировании легких, почек и костной системы. Побочные действия излишков кадмия в организме могут выражаться в дефиците меди, цинка и железа. Исходя из этого содержание кадмия в многолетних

и однолетних травах, скашиваемых на сено и зеленый корм, в многолетнем опыте находится на уровне предельно допустимых концентраций, а в некоторых образцах достигает верхнего предела рекомендуемых ПДК. Сравнение полученных нами данных с имеющимися в литературе [19] свидетельствует о том, что концентрация этого металла в рассматриваемом опыте выше установленных для фоновых районов — 0,07—0,60 мг на 1 кг сухой массы (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Средний уровень содержания (мг на 1 кг сухой массы) кадмия и свинца в травах и бобовых культурах на стадии незрелых растений из разных стран мира [19]

Страна	Травы		Клевер	
	Cd	Pb	Cd	Pb
ГДР	0,27	—	0,16	—
Исландия	0,07—0,14	—	—	—
Канада	0,21	1,8	0,28*	—
Польша	0,08	1,8	0,10	2,7
США	0,16	1,6	—	2,0*
Франция	0,16	—	0,11	—
ФРГ	0,07	3,3	0,08	4,2
Чехословакия	0,60	—	—	—
Великобритания	—	2,1	—	1,3
Финляндия	0,36	—	—	—

П р и м е ч а н и е . а — люцерна.

В естественной растительности, произрастающей на территории опытного поля (табл. 5), содержание кадмия составило 0,24—0,56 мг на 1 кг сухой массы. Хотя указанный уровень его концентраций не превышает предельно допустимый, он гораздо выше, чем у лекарственного сырья, заготавливаемого в эко-

логически чистых районах Московской, Калужской, Ярославской и Куйбышевской областей, где в растениях тысячелистника, полыни, чистотела, листе крапивы, цветках ромашки накапливается в среднем от 0,05 до 0,087 мг кадмия на 1 кг сухой массы и лишь у зверобоя и череды — 0,3—0,35 мг [10].

Содержание кадмия и свинца (мг на 1 кг сухой массы) в некоторых растениях, произрастающих вне опытного поля

Растения	Cd	Pb
Василек (<i>Centareae cyanus L.</i>)	0,48	3,04
Тимофеевка (<i>Phleum pratence L.</i>)	0,32	2,04
Мятлик (<i>Poa pratensis L.</i>)	0,24	3,04
Овсяница (<i>Festika pratensis Hund.L.</i>)	0,48	4,32
Лютик (<i>Ranunculus repens L.</i>)	0,52	5,52
Мята (<i>Mentha arvensis L.</i>)	0,32	9,80
Крапива (<i>Urtica dioica L.</i>)	0,56	11,92
Одуванчик (<i>Taraxacum officinale Wigg.</i>)	0,40	8,48

Таким образом, в условиях 1990 г. низкое содержание кадмия отмечено в зерне озимой пшеницы. В зерне ячменя и овса, в многолетних и однолетних травах оно было на уровне верхнего предела рекомендуемых ПДК. В среднем выше ПДК оказалось содержание кадмия в клубнях картофеля и приближалось к избыточному — в ботве.

Свинец в растениях

Содержание свинца в растениях зависит от множества факторов: систематического положения растений, физиологической фазы, возраста, пространственной направленности его содержания в биосфере. Низкие концентрации свинца, как правило, свойственны растениям семейства лютиковых, камнеломковых, зонтичных, ивовых, крестоцветных, лебедовых; относительно высокое — розоцветных, буковых, березовых, брусничных, сложноцветных. У представителей разных семейств и у отдельных видов внутри одного семейства могут быть значительные колебания этого показателя [35].

Установлена сезонная динамика содержания свинца в листьях большинства древесных растений: оно возрастает к середине вегетационного периода и минимально весной и осенью. В ветвях в большинстве случаев максимальное содержание наблюдается весной, реже — летом, а минимум — в конце вегетационного периода. Концентрация свинца в коре постепенно увеличивается к осени [21].

Различные органы растений существенно различаются по уровню содержания этого металла: распределение его носит акропетальный характер и убывает в ряду: корни>листья>стебли>плоды (семена) [17]. Например, при содержании свинца в корнях пшеницы 4,1—5,9, в стеблях обнаружено 3,5—3,9, а в семенах 0,4—0,6 мг на 1 кг сухой массы; в семенах овса — 0,304, в стеблях — 1,03 [18, 37].

По абсолютному содержанию в растительном веществе свинец относится к группе элементов средней концентрации. Естественные уровни его содержания в растениях из

незагрязненных и безрудных районов довольно постоянны и изменяются в пределах 0,1—10,0 мг (среднее 2 мг) на 1 кг сухой массы [19, 40, 47]. Метаболическое значение свинца для растений не совсем ясно, но если он необходим, то его содержание на уровне 2—6 мг на 1 кг уже достаточно [44]. Концентрация свинца в растениях свыше 10 мг на 1 кг очень нежелательна [34].

В последние годы свинец рассматривается как один из компонентов химического загрязнения среды. Обычно этот металл поступает в атмосферу в виде техногенной пыли и с отработанными газами двигателей внутреннего сгорания. Накопление его в растениях за счет выпадающих осадков происходит или прямым путем — через надземные их части, или косвенным — через почву. Характер и степень накопления свинца, по-видимому, существенно зависят от стадии роста растений.

Некоторые авторы считают, что через листья в растения поступает от 0,5 до 1,5% свинца. На листовой пластинке металл задерживается кутикулой [57]. Опыты, проведенные в условиях теплицы, показали, что содержащийся в атмосфере свинец в концентрации 1,45 мкг на 1 м³ не оказывал существенного влияния на его содержание в томатах, бобах, моркови, картофеле, пшенице и капусте, но изменял содержание свинца в салате и листьях бобов [35].

Территории, примыкающие к автомагистралям и представляющие собой полосы шириной 50—200 м, относятся к источникам свинцового загрязнения. Установлено, что от такого вида загрязнения сильно страдает пшеница и в меньшей степени картофель. Содержание свинца

в клубнях, по данным [49], составляло 0,42—1,1, тогда как в клевере красном оно достигало 11—20 мг на 1 кг сухой массы. На расстоянии 100 м от автомагистрали содержание свинца в клевере уменьшалось, но все же в 1,5—2 раза превышало фоновое.

Невысокую токсичность свинца, проникающего в растения, объясняют наличием в растениях системы инактивации элемента [1]. Так, согласно [4], в солому пшеницы поступает менее 1%, в ботву картофеля — 1—2% свинца, содержащегося в корнях. При этом в зерне пшеницы и клубнях картофеля содержание этого металла не зависело от его концентрации в почве; лишь при внесении 200 мг свинца на 1 кг оно несколько возрастало. Однако имеются сведения о практически безбарьерном поступлении свинца в клубни картофеля и надземные части салата при его высоких концентрациях в почве [20]. По данным [3], в стеблях картофеля содержалось 3,1, в листьях — 8,8, а в клубнях — 5,0 мг свинца на 1 кг сухой массы.

В незагрязненных районах мира зерновые культуры в целом накапливают 0,1—2,28, травы, включая клевер, — 1,6—4,2 мг свинца на 1 кг сухой массы (табл. 1) [19]. Примерно в таких же пределах изменяется концентрация свинца в основных сельскохозяйственных культурах и травах (табл. 6).

Установлено, что при содержании свинца в листьях свыше 35 мг на 1 кг происходит снижение продуктивности растений на 10% [12].

На основании законодательных актов по нормированию действующих в нашей стране, ЕЭС, международных рекомендаций ФАО/ВОЗ,

Среднее содержание свинца (мг на 1 кг сухой массы) в некоторых культурах

Культура	Pb	Источник
Ячмень	0,1—1,50	[50, 69]
Пшеница	0,1—1,00	[50, 75]
Овес	0,33—2,28	[58, 71]
Культурные злаки	1,5—3,5	[17, 18]
« »	1,3	[23]
« »	0,9—1,0	[37]
« »	0,27	[30]
Дикорастущие злаки	1,0—3,0	[73]
« »	2,2	[23]
« »	2,0	[48]
Клевер	1,3—8,0	[55, 65]
Бобовые	1,0	[73]
«	0,05—0,27	[9]
Картофель	0,5—3,0	[72]
Овощи и злаки	0,1—1,0	[35]
Пастбищные травы	1,0	[35]

комиссии «Кодекс-Алиментариус» рекомендованы и установлены предельно допустимые концентрации свинца в основных пищевых продуктах и кормах. Обобщенные нами данные (табл. 7) свидетельствуют о том, что в разных странах и по различным источникам этот показатель довольно широко варьируется.

В зерне ячменя и овса (табл. 8), выращенных на опытном поле учхоза «Михайловское», содержание свинца широко изменялось в зависимости от варианта и степени окультуренности почвы — соответственно от 1,16 до 4,37 и от 2,07 до 5,19 мг на 1 кг сухой массы. Этот уровень выше ПДК свинца, установленный для зерна (0,3—3 мг/кг [5, 25, 28], одна-

ко он не превышает предела диапазона средних концентраций и ПДК для растений в целом [12, 29].

Содержание свинца в клубнях картофеля составило 1,69—3,14 мг на 1 кг сухой массы. С учетом средней влажности клубней (75%) концентрация свинца в них — на уровне предельно допустимой для овощей, а в некоторых образцах — превышает ПДК в 1,6 раза. Наблюдается увеличение содержания свинца в зерне ячменя, овса и в клубнях картофеля по мере повышения уровня плодородия почвы.

Фоновые уровни содержания свинца в кормовых растениях в среднем составляют для трав 2,1, для клевера — 2,5 мг на 1 кг сухой массы (табл. 4).

Таблица 7

**Предельно допустимые концентрации свинца для некоторых
сельскохозяйственных культур и кормов**

Культуры и корма	Pb	Источник
Растения в целом	10 мг/кг сухой массы	[12, 29]
Зерно	0,3 мг/кг 2—3* мг/кг сухой массы	[25] [5]
	0,5 мг/кг сырой массы	[54]
Хлебные и зернопродукты	0,5 мг/кг	[28]
Овощи	0,5 мг/кг 0,5 мг/кг съедобной части	[25, 28] [7]
Овощи листовые	1,2 мг/кг сырой массы	[54]
Картофель	0,2 » » »	»
Трава пастбищная	30 мг/кг сухой массы	[70]
Полнорационные корма	20—40 мг/кг сухого вещества	Цит. по [31]
Минеральные добавки	10 » » »	»
Однокомпонентные корма	5—10 » » »	»
Корма с добавлением 8% фосфора	30 » » »	»

* Рекомендуемые.

Таблица 8

**Содержание свинца (мг на 1 кг сухой массы) в зерне ячменя, овса
и клубнях картофеля в многолетнем опыте**

Вариант	Ячмень	Овес	Картофель	
			клубни	ботва
<i>Низкий уровень плодородия</i>				
1	2,07	1,16	1,89	8,56
<i>Средний уровень плодородия</i>				
1	2,59	1,65	1,69	7,39
2	3,39	2,03	2,40	7,16
3	3,59	2,19	2,72	7,69
4	3,99	2,63	2,66	7,27
<i>Высокий уровень плодородия</i>				
1	4,26	3,40	2,86	7,94
2	4,84	3,67	3,30	8,26
3	5,19	4,37	3,14	7,87

В многолетних и однолетних травах, скошенных с опытного поля, концентрация свинца изменялась от 1,22 до 4,66 мг/кг (табл. 9), причем в бобовом компоненте смеси этого металла содержалось

примерно в 2 раза больше, чем в злаковом. Такой его уровень лежит в пределах диапазона средних концентраций и не превышает ПДК для пастбищных трав и кормов [31, 70].

Т а б л и ц а 9

Содержание свинца (мг на 1 кг сухой массы) в урожае клевера, тимофеевки, вики и овсе в многолетнем опыте

Вариант	Клевер				Тимофеевка				Вика	Овес
	1-й год		2-й год		1-й год		2-й год			
	I	II	I	II	I	II	I	II		
<i>Низкий уровень плодородия</i>										
1	3,91	2,58	3,56	3,49	1,86	1,72	1,61	1,13	2,47	1,22
<i>Средний уровень плодородия</i>										
1	3,97	3,30	3,51	3,40	1,83	1,45	1,95	1,88	2,90	1,64
2	3,85	3,44	4,25	3,35	1,63	1,62	2,98	1,65	2,80	1,87
3	4,14	3,44	4,28	3,92	1,79	2,05	2,88	1,61	2,65	1,38
4	3,45	3,78	4,45	4,14	2,12	1,65	1,93	1,38	2,55	1,65
<i>Высокий уровень плодородия</i>										
1	3,80	2,82	4,62	3,56	1,81	1,44	2,03	1,71	2,82	1,42
2	4,06	3,05	4,66	4,10	1,86	1,99	2,21	1,94	3,22	1,63
3	3,83	3,29	4,49	3,20	1,96	1,72	1,94	1,98	2,62	1,32

В несеечных злаковых травах (табл. 5) содержание свинца изменялось в том же диапазоне, что и в сеяных. Наибольшим оно было в крапиве — 11,92, мяте — 9,80 и одуванчике — 8,48 мг на 1 кг сухой массы. По имеющимся данным [18], последним двум видам свойственно высокое накопление свинца (до 7,3—15,2 мг на 1 кг сухой массы), очевидно, в силу видовых особенностей их минерального питания и при высоких концентрациях в среде. В фоновых районах и в условиях, исключающих антропогенное за-

грязнение, естественные травы содержат от 0,37 до 2,16 мг свинца на 1 кг сухой массы [10].

Таким образом, содержание свинца в зерне ячменя и овса, полученном в опыте, находилось в пределах диапазона средних его концентраций, но превышало в целом ПДК, установленные для зерна как продукта питания. На уровне ПДК была концентрация свинца в клубнях картофеля. В многолетних, однолетних и естественных травах она не превышала ПДК для пастбищных трав и кормов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агрпромиздат, 1987. — 2. *Белицина Г.Д., Вертинский Ю.К., Дронова Н.Я., Чеботарь В.К.* Геохимия свинца в почвах Нечерноземной зоны с различной техногенной химической нагрузкой. — В сб.: Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеоздат, 1985, с. 125—131. — 3. *Гармаш Г.А.* Содержание свинца и кадмия в различных частях картофеля и овощей, выращенных на загрязненных этими металлами почвах. — В кн.: Химические элементы в системе почва — растение. Новосибирск: Наука, 1982, с. 105—110. — 4. *Гармаш Н.Ю.* Воздействие повышенного содержания тяжелых металлов в субстрате на пшеницу и картофель. — Изв. СО АН СССР. Сер. биолог., 1983, вып. 2, с. 84—87. — 5. *Гармаш Н.Ю.* Влияние тяжелых металлов на качество урожая пшеницы. — Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 1985, вып. 37, с. 16—18. — 6. *Гармаш Н.Ю.* Влияние тяжелых металлов на содержание элементов питания в пшенице. — Химия в сельск. хоз-ве, 1987, № 3, с. 57. — 7. Гигиена окружающей среды / Под ред. И. Сидоренко. М.: Медицина, 1985. — 8. *Голенецкий С.П., Жигаловская Т.Н., Голенецкая С.Н.* Роль атмосферных выпадений в формировании микроэлементного состава почв и растений. — Почвоведение, 1981, № 2, с. 41—48. — 9. *Григорьева Т.И.* Переход свинца из почвы в растения как один из критериев гигиенического нормирования. — В сб.: Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. — Тр. Всесоюз. совещания в Обнинске. Л.: Гидрометеоздат, 1978, с. 203—207. — 10. *Дмитриев С.В., Фетилов А.А., Орлова Л.П. и др.* Микроэлементный состав различных видов дикорастущих лекарственных растений. — В кн.: Микроэлементы в биологии и их применение в сельск. хоз-ве и медицине. Самарканд, 1990, с. 437—438. — 11. *Зимаков И.Е., Захарова Л.Л.* Влияние промышленности на изменение фоновых уровней содержания кадмия в некоторых объектах окружающей среды. — В кн.: Микроэлементы в биологии и их применение в сельск. хоз-ве и медицине. Самарканд, 1990, с. 31—33. — 12. *Зырин Н.Г., Каплунова Е.В., Сердюкова А.В.* Нормирование содержания тяжелых металлов в системе почва — растение. — Химия в сельск. хоз-ве, 1985, № 6, с. 45—48. — 13. *Ильин В.Б., Гармаш Г.А.* Поступление тяжелых металлов в растение при их повышенном содержании в почве. — Изв. СО АН СССР. Сер. биолог., 1981, № 10, с. 49—56. — 14. *Ильин В.Б.* О нормировании тяжелых металлов в почве. — Почвоведение, 1986, № 9, с. 90—98. — 15. *Ильин В.Б., Гармаш Г.А., Гармаш Н.Ю.* Влияние тяжелых металлов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур. — Агрохимия, 1985, № 6, с. 90—100. — 16. *Ильин В.Б., Степанова М.Д.* Распределение свинца и кадмия в растениях пшеницы, произрастающей на загрязненных этими металлами почвах. — Агрохимия, 1980, № 5, с. 114—119. — 17. *Ильин В.Б., Степанова М.Д.* О фоновом содержании тяжелых металлов в растениях. — Изв. СО АН

- СССР. Сер. биолог., 1981, вып. 1, № 5, с. 26—32. — **18. Ильин В.Б., Степанова М.Д.** Тяжелые металлы — защитные возможности почвы и растений — урожай. — В кн.: Химические элементы в системе почва — растение. Новосибирск: Наука, 1982, с. 73—92. — **19. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.** Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. — **20. Ковалевский А.Л.** Особенности накопления свинца живыми организмами. — В кн.: Микроэлементы в биологии и их применение в сельск. хоз-ве и медицине. Самарканд, 1990, с. 38—39. — **21. Козаренко О.М.** Геохимическая экология и сезонная динамика металлов в растениях и почвах лиственных лесов среднего течения реки Оки. — В кн.: Микроэлементы в биологии и их применение в сельск. хоз-ве и медицине. Самарканд, 1990, с. 41—43. — **22. Лепнева О.М., Обухов А.М.** Экологические последствия урбанизации на состояние почв Москвы и Московской области. — В кн.: Экология и охрана природы Москвы. М.: МГУ, 1990. — **23. Макаров А.И., Самойлова Л.Н., Мильская Н.Н., Лукин С.М.** Накопление токсических веществ культурными и сорными растениями. — Бюл. ВНИИ УА, 1980, № 54, с. 51—53. — **24. Маршвиньска Е.** Содержание кадмия в пище растительного происхождения из разных районов мира. — В кн.: Комплексный глобальный мониторинг состояния биосферы. Т. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1986, с. 152—156. — **25. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства.** М.: ЦИНАО, 1992. — **26. Минеев В.Г., Грачева Н.Г., Любарская С.Г., Човжик В.П.** Кадмий в почвах и клубнях картофеля. — Химия в сельск. хоз-ве, 1987, т. 25, № 3, с. 56—57. — **27. Минеев В.Г., Парамонова Е.А., Соловьев Г.А.** Баланс тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности при систематическом применении различных уровней доз минеральных удобрений. — В кн.: Микроэлементы в биологии и их применение в сельск. хоз-ве и медицине. Самарканд, 1990, с. 192—194. — **28. Найнштейн С.Я., Меренюк Г.В., Чегринец Г.Я.** Гигиена окружающей среды и применение удобрений. Кишинев: Штиинца, 1987. — **29. Обухов А.И., Ефремова А.Л.** Охрана и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами. — В кн.: Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы. Ч. 1, М., 1988, с. 23—25. — **30. Плотников К.И., Скуковский Б.А., Ковальский В.В.** Биогеохимическое районирование Кулундинской степи. — Тр. Биогеохимической лаборатории, 1985, т. 20, с. 51—79. — **31. Покровская С.Ф.** Загрязнение почв тяжелыми металлами и их влияние на сельскохозяйственное производство. М.: ВАСХ-НИЛ, 1986. — **32. Рэуце К., Кыстя С.** Борьба с загрязнением почвы. М.: Агропромиздат, 1986. — **33. Садовникова Л.К., Зырин Н.Г.** Показатели загрязнения почв тяжелыми металлами в почвенно-химическом мониторинге. — Почвоведение, 1985, № 10, с. 84. — **34.** Свинец в окружающей среде / Под ред. В.В. Добровольского. М.: Наука, 1987. — **35. Свинец: гигиенические критерии состояния окружающей среды.** Женева: ВОЗ, 1980. — **36.**

- Скрипникова М.А., Вольнец В.Ф., Седых Э.М. Распределение микроэлементов в системе почва — растение. — В кн.: Микроэлементы в биологии и их применение в сельск. хоз-ве и медицине. Самарканд, 1990, с. 126—127. — 37. Скуковский Б.А. Биогеохимическое районирование Барабинской низменности. — Тр. Биогеохимической лаборатории, 1985, т. 20, с. 80—109. — 38. Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. — 39. Ягодин Б.А., Говорина В.В., Виноградова С.Б. и др. Накопление никеля некоторыми сельскохозяйственными культурами в учхозе «Михайловское» Московской области. — Изв. ТСХА, 1994, вып. 2, с. 12—20. — 40. Allaway W.H. In: Trace Subst. Environ. Health / Ed. Helphill D.D. University of Missouri, Colambia, 1968, vol. 2. — 41. Barcelo J., Poschenrieder Ch., Cabot C. — Z. Pflanzenernahrung und Bodenkunde, 1985, Bd 148, H. 3, S. 278. — 42. Bartelt R. — Diss., Hannover, 1984. — 43. Bingham F.T., Peryea F.J., Jarreell W.M. — Metal Ions Biol. Syst., 1986, vol. 20, p. 119. — 44. Brown B.D., Rolston D.E. — Soil Sci., 1980, vol. 130, p. 68. — 45. Brune H. — Angewandte Botanik, 1984, Bd 58, H. 1, S. 11. — 46. Bujtas Cl., Cseh E. — Plant and Soil, 1981, vol. 63, № 1, p. 97. — 47. Cannon H.L. — In: Lead in the Environment / Ed. Lovering T.G., U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1976, vol. 23, p. 957. — 48. Crump D.R., Carlow P.G. — Environ. Pollut., 1982, vol. 3, № 3, p. 181—192. — 49. Curzydlo J. — Mat. 2 Kraj. Konf., Pulawy, 1978, vol. 2, p. 117—127. — 50. Elsokkary I.H. — Z. Pflanzenernahrung und Bodenkunde, 1980, Bd 74, S. 143. — 51. Girling C.A., Peterson P.J. — J. Plant Nutrition, 1981, vol. 3, № 1—4, p. 707. — 52. Greger M., Lindberg S. — Physiologia plantarum, 1987, vol. 69, № 1, p. 81. — 53. Hardiman R.T., Jacoby B., Banin A. — Plant and Soil, 1984, vol. 81, p. 17. — 54. Hoffmann G. — Landwirtschaftliche Forschung., 1982, H. 39, S. 130—153. — 55. Jones L.P., Chement G.R. — In: Lead in the Environment / Ed. Hepple P., Institute of Petroleum. L., 1972, p. 29. — 56. Kuboi T., Noguchi A., Yazaki J. — Plant and Soil, 1986, vol. 92, № 3, p. 405. — 57. Little P.E. — TRRL Suppl. Rep., 1977, № 513, p. 49—54. — 58. Mathur S.P., Macdougall J.I., Mc. Grath M. — Soil Sci., 1980, vol. 129, p. 376. — 59. Mortvedt J.J., Osborn G. — Soil Sci, 1982, vol. 134, № 3, p. 185. — 60. Nuorteva Rekka — Ann. Fennici, 1986, vol. 23, № 4, p. 333. — 61. Osker H.D. — Landwirtschaft Angewandte Wiss., 1986, Bd 335, S. 13. — 62. Paasikallio A. — Acta Agric. Scand. Suppl., 1978, vol. 20, p. 40. — 63. Regins A., Anke M., Kronemann M., Szentmalyi S. — In: New results in the research of hardly know trace elements. Budapest, 1985, p. 152—166. — 64. Richie D.A. — Agri-Practice, 1985, vol. 6, № 1, p. 35. — 65. Ruhling A., Tyler G. — Bot. Not., 1968, vol. 121, p. 321. — 66. Sato Ch., Schnoor J., Mc Donald D.B. — Environmental Toxicol. and Chem., 1986, vol. 5, № 4, p. 403. — 67. Schnetzer H.L., Chetelat A., Besson J.M. — Landwirtschaftliche Forchung, 1980, H. 36, S. 343—352. — 68. Smilde K. — Plant and Soil, 1981, vol. 62, № 1, p. 3. — 69. Thoresby P., Thornton I. — In: Trace Subst. Environ.

Health / Ed. Hemphill D.D. University of Missouri, Columbia, MO, 1979, vol. 13, p. 93. — 70. *Vetter H.* — Landwirtschaftliche Forschung, Kongressband, 1982, Bd 39, S. 12—27. — 71. *Vogt P., Jaakola A.* — Acta Agriculturae Scand., 1978, vol. 20, p. 69. — 72. *Warren H.V., Delavault R.E., Fletcher K. et al.* — In: Trace Subst. Environ.

Health / Ed. Hemphill D.D. University of Missouri, Columbia, MO, 1970, vol. 4, p. 94. — 73. *Wickinsw C.* — Environ. Pollut, vol. 15, № 1, p. 23—30. — 74. *Zaccheo P., Garbarino A.* — Agrochimica, 1986, vol. 30, № 4—5, p. 397. — 75. *Zook E.G., Greene F.E., Morris E.P.* — Cereal Chemistry, 1970, vol. 47, p. 72.

*Статья поступила 7 декабря
1994 г.*

SUMMARY

Data about cadmium and plumbum content in main farm crops from different countries of the world, specific features of their accumulation by plants under conditions of technogenic pollution are discussed. Information about cadmium and plumbum content in yield of winter wheat, barley, oats, potatoes, perennial and annual grasses, as well as in natural vegetation from training farm «Mikhailovskoje» (Moscow region) is presented. It is noted that concentration of cadmium is usually lower or within permissible limit, while that of plumbum corresponds to average concentrations peculiar to plants which are not polluted by this metal.