

УДК 631.416.8:631.452

## СОДЕРЖАНИЕ НИКЕЛЯ И КАДМИЯ В ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕ И КАРТОФЕЛЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

В.В. ГОВОРИНА, к.б.н.; А.Г. ЗАМАРАЕВ, к.с.-х.н.; Я.П. ГЕРЧИУ, к.с.-х.н.;  
Н.К. СИДОРЕНКОВА, к.б.н.; И.П. МАЛАХОВА

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Представлены данные о содержании никеля и кадмия в озимой пшенице и картофеле, выращенных на полях многолетнего полевого опыта, в Подольском районе Московской обл. в 1990 и 2004 гг. Дана эколого-гигиеническая оценка с.-х. продукции по уровню содержания этих элементов. Показано, что одной из причин устойчивого высокого содержания в растениях может быть повышенно-опасный фон никеля в слое почвы 40-60 см и умеренный и повышенно-опасный фон кадмия в слое 20-40 см.

Одним из показателей качества с.-х. продукции является элементный химический состав — макро-, микро- и ультрамикроэлементы, содержание которых в растениях может широко колебаться. Критерием оценки по этому показателю служат санитарно-гигиенические нормы в виде предельно допустимых (ПДК) или ориентировочно допустимых концентраций (ОДК). ПДК и ОДК являются довольно условными и в разных странах существенно различаются, однако позволяют контролировать безопасный для человека и животных уровень некоторых элементов, в частности, относящихся к категории тяжелых металлов, в продуктах питания и кормах и включены в комплексную систему наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния почвы и растений.

В 1990 г. нами была проведена оценка уровня содержания некоторых универсальных микроэлементов и наиболее опасных тяжелых металлов в основных зерновых культурах, кормовых травах и картофеле, выращиваемых на дерново-подзолистых почвах

разной степени окультуренности в Подольском районе Московской обл. Результаты показали, что практически все культуры содержали высокие концентрации никеля, кадмия и хрома как в основной, так и в побочной продукции. Такая же закономерность была обнаружена и в некоторых дикорастущих видах, произрастающих за пределами опытного поля [8-10]. В настоящем сообщении показано, что обнаруженные закономерности не являются случайностью и рассмотрена одна из возможных причин этого.

### Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 1990 и 2004 гг. на полях длительного стационарного опыта кафедры растениеводства, заложенного в 1967 г. в учебном хозяйстве «Михайловское» Подольского района Московской обл. Опыт размещен на трех смежных участках с рельефом ровным или с небольшим юго-восточным уклоном. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая, глубина пахотного слоя 20-22 см. Участки существенно различались по пло-

дородию (агрохимическим, агрофизическим и биологическим свойствам почвы): почва с низким уровнем плодородия — рН 4,2, содержание гумуса по Тюрину — 1,4%, подвижного фосфора — 33, обменного калия — 64, легкогидролизуемого азота — 60 мг на 1 кг почвы; среднего уровня плодородия — рН 6,5, содержание гумуса — 2%, фосфора и калия — 180, азота — 110 мг на 1 кг почвы; высокого уровня плодородия — рН 6,5, содержание гумуса — 2,8%, фосфора — 300, калия — 250, азота — 130-140 мг на 1 кг почвы.

На почве с низким уровнем плодородия полевые культуры возделываются без применения удобрений, гербицидов и известкования. Остальные технологические приемы такие же, как на участках со средним и высоким уровнем плодородия. Варианты опыта включают 3 уровня удобренности: в расчете на усвоение 2 и 3% ФАР, по рекомендации зональной лаборатории, а также без удобрений. Почву среднего и высокого уровня плодородия перед закладкой опыта известковали туфом (9 т/га) из расчета 1,5 нормы гидrolитической кислотности с учетом тонины помола и содержания в нем действующего вещества. Для поддержания баланса гу-

муса вносили органическое удобрение (35 т/га) под-занятый пар и картофель.

Применяемая технология выращивания с.-х. культур на протяжении всего периода исследований обеспечивала получение высоких урожаев зерна озимой пшеницы (до 60 ц/га), отвечающей требованиям ценной пшеницы, и клубней картофеля [7].

В 1990 г. в образцах зерна и соломы озимой пшеницы сорта Московская 39 и клубней картофеля сорта Невский определяли содержание никеля и кадмия. Такие же исследования проводили спустя 2 ротации 7-польного севооборота в 2004 г.

Содержание кадмия и никеля в растительных образцах определяли после сухого озоления методом атомно-адсорбционной спектрофотометрии на спектрофотометре PS-1500 «Регкеп-Elmer», причем пробоподготовку осуществляли по одной и той же методике во все годы исследований.

#### Результаты и их обсуждение

В 1990 г. содержание никеля в зерне озимой пшеницы колебалось в пределах от 1,35 до 1,92, а в соломе — от 1,48 до 3,31 мг на 1 кг воздушно-сухой массы, т. е. в 1,4 и 2,2 раза соответственно (табл. 1). В 2004 г. этот же показатель изменялся от 1,51 до 2,4 в зер-

Т а б л и ц а 1

Содержание никеля в озимой пшенице (мг на 1 кг воздушно-сухой массы)

Вариант	1990 г. [8]		2004 г.	
	зерно	солома	зерно	солома
<i>Низкий уровень плодородия</i>				
I	1,67	1,48	1,51	2,07
<i>Средний уровень плодородия</i>				
I	1,61	1,54	1,84	2,67
II	1,35	1,71	1,85	2,32
III	1,64	2,46	1,94	2,52
IV	1,60	2,31	1,78	1,80
<i>Высокий уровень плодородия</i>				
I	1,92	2,68	2,25	1,32
II	1,59	3,31	2,05	1,76
III	1,78	3,25	2,40	2,55

Примечание. Здесь и далее I — без удобрений, II и III — NPK в расчете на усвоение соответственно 2 и 3% ФАР, IV — NPK по рекомендации зональной лаборатории.

не и от 1,32 до 2,67 мг на 1 кг воздушно-сухой массы в соломе, т. е. в 1,6 и 2,0 раза в зависимости от варианта опыта. По данным 1-го обследования посевов озимой пшеницы на содержание в ней никеля прослеживалась тенденция увеличения содержания этого элемента в соломе озимой пшеницы по мере повышения уровня плодородия почвы, а также повышение концентрации элемента в зерне по сравнению с соломой на участках с низким уровнем плодородия почвы. Через две ротации севооборота содержание никеля в зерне изменялось от 1,51 до 2,0, а в соломе — от 1,32 до 2,67 мг на 1 кг воздушно-сухой массы в зависимости от варианта, т. е. в 1,6 и 2,0 раза соответственно.

Полученные результаты сравнили с обобщенными данными для зерновых культур из незагрязненных районов. По сведениям разных авторов, среднее содержание никеля в зерне пшеницы из многих стран мира относительно стабильно и в среднем изменяется в пределах от 0,2 до 0,6 мг/кг сухой массы. В зерновых культурах его концентрация в среднем оценивается 0,5 мг/кг. ПДК никеля в основных продуктах питания установлена в зависимости от вида продукции от 0,1 до 0,5 мг на 1 кг [1, 2]. Таким образом, в опытных образцах зерна озимой пше-

ницы выявлено стабильное высокое содержание никеля, превышающее установленные для этого элемента ПДК в 1990 г. в 2,7-3,8 раза, в 2004 г. — в 3,0-4,8 раза. Отмечается также повышение содержания никеля в зерне озимой пшеницы в 2004 г. по сравнению с 1990 г. на среднем уровне плодородия почвы на 11-18% и на высоком уровне плодородия почвы — на 17-35% (при сравнении соответствующих вариантов опыта).

Величина урожая зерна озимой пшеницы существенно различалась по годам (табл. 2). В 2004 г. на почвах среднего уровня плодородия было собрано на 14-25, а высокого — на 3-18% меньше зерна, чем в 1990 г. По этой причине вынос никеля зерном озимой пшеницы (табл. 3) различался несущественно (в пределах 10%).

По данным [9], содержание кадмия в зерне озимой пшеницы в 1990 г. колебалось в узких пределах — от 0,21 до 0,29, в соломе этот показатель изменялся в более широких пределах — от 0,14 до 0,37 мг на 1 кг воздушно-сухой массы (табл. 4). Для оценки эколого-гигиенического содержания этого элемента в зерне и зерновых культурах разработаны и рекомендованы ПДК кадмия, которые составляют для зерна 0,1 мг/кг (0,03 мг/кг для детского и диетического питания) [4, 6].

Таблица 2

**Урожай озимой пшеницы и картофеля в зависимости от плодородия почвы и степени удобрения (ц/га)**

Вариант	Озимая пшеница		Картофель	
	1990 г.	2004 г.	1990 г.	2004 г.
<i>Низкий уровень плодородия</i>				
I	22,0	4,5	57	54
<i>Средний уровень плодородия</i>				
I	41,8	35,8	205	154
II	60,2	50,7	287	306
III	59,9	49,2	360	324
IV	67,4	50,6	344	327
<i>Высокий уровень плодородия</i>				
I	44,9	43,6	153	138
II	73,2	60,4	206	214
III	67,3	55,3	258	189
НСР	5,2	3,7	12	24

Таблица 3

Вынос никеля и кадмия урожаем зерна озимой пшеницы (г/га)

Вариант	Никель		Кадмий	
	1990 г.	2004 г.	1990 г.	2004 г.
<i>Низкий уровень плодородия</i>				
I	3,7	0,7	0,20	0,11
<i>Средний уровень плодородия</i>				
I	6,6	6,6	—	0,75
II	8,1	9,3	0,36	1,01
III	9,7	9,5	0,36	1,03
IV	10,8	9,0	0,47	1,11
<i>Высокий уровень плодородия</i>				
I	8,6	9,8	0,49	1,26
II	11,6	12,4	0,88	1,69
III	12,0	13,3	1,01	1,44

Таблица 4

Содержание кадмия в озимой пшенице (мг на 1 кг сухой массы)

Вариант	1990 г. [9]		2004 г.	
	зерно	солома	зерно	солома
<i>Низкий уровень плодородия</i>				
I	0,09	0,28	0,24	0,21
<i>Средний уровень плодородия</i>				
I	Сл.	0,22	0,21	0,14
II	0,06	0,24	0,20	0,30
III	0,06	0,23	0,21	0,23
IV	0,07	0,39	0,22	0,21
<i>Высокий уровень плодородия</i>				
I	0,11	0,24	0,29	0,15
II	0,12	0,21	0,28	0,37
III	0,15	0,37	0,26	0,21

В зерне озимой пшеницы, выращенной на опытном поле, содержание кадмия изменялось от следовых количеств до 0,15 мг на 1 кг воздушно-сухой массы и, по наблюдениям авторов, в 1990 г. было самым низким по сравнению с другими зерновыми культурами. Прослеживалась тенденция повышения концентрации кадмия в зерне в зависимости от уровня плодородия почвы. Таким образом, содержание кадмия в урожае зерна в 1990 г. находилось в пределах ПДК. В 2004 г. этот показатель изменялся в узких пределах от 0,2 до 0,29 мг/кг сухой массы зерна, что в 2-3 раза выше ПДК, и не зависел от степени удобренности почвы. В этот год наблюда-

лась тенденция несколько более высокой концентрации кадмия в зерне, выращиваемом на почве с высоким уровнем плодородия (см. табл. 4).

Через две ротации севооборота нами было обнаружено увеличение концентрации кадмия в зерне на некультуренной почве в 2,7 раза, на почве со средним уровнем плодородия — в 3Д—3,5 и на почве с высоким уровнем плодородия — 1,7-2,6 раза.

Иная закономерность наблюдалась в накоплении содержания изучаемых элементов в клубнях картофеля. Так, содержание никеля в клубнях картофеля (табл. 5) урожая 2004 г. или не изменялось, или снижалось по сравнению с результатами, полученными

в 1990 г., на 5-44% (повышение концентрации во II варианте почвы среднего уровня плодородия трудно объяснить и может быть случайной ошибкой при отборе образцов). При этом урожай клубней картофеля в 2004 г. также или не изменялся, или снижался на 5-27% в зависимости от варианта по сравнению с 1990 г. (повышение на 4-7% в вариантах II — в пределах ошибки опыта). По этим причинам вынос никеля урожаем картофеля в 1990 г. был выше, чем в 2004 г. (табл. 6), хотя пределы колебаний в зависимости от варианта примерно одинаковые: 1,7-14,8 в 2004 г. и 3,4—16,0 г/га в 1990 г.

По обобщенным данным [6], содержание кадмия в клубнях картофеля

может изменяться в пределах 0,03—0,62 мг на 1 кг продукции, т. е. в 20 раз, что по мнению авторов, вызвано комплексом факторов. В 1990 г. содержание этого элемента в опытных образцах картофеля колебалось от 0,27 до 0,60 мг на 1 кг сухой массы клубней, причем максимальное количество элемента было обнаружено в клубнях, выращенных на почвах с низким и высоким уровнем плодородия, а в 2004 г. — на почвах с низким уровнем плодородия (см. табл. 5).

При последнем обследовании урожая картофеля на содержание в нем кадмия было установлено, что в зависимости от варианта опыта оно колебалось от 0,10 до 0,24 мг на 1 кг сухой массы, т. е. было в 2-6 раз ниже,

Т а б л и ц а 5

Содержание никеля и кадмия в картофеле (мг на 1 кг сухой массы)

Вариант	Никель		Кадмий	
	1990 г. [8]	2004 г.	1990 г. [9]	2004 г.
<i>Низкий уровень плодородия</i>				
I	2,36	1,27	0,51	0,24
<i>Средний уровень плодородия</i>				
I	1,21	1,20	0,27	0,14
II	1,44	1,94	0,42	0,13
III	1,78	1,01	0,38	0,17
IV	1,52	1,12	0,40	0,14
<i>Высокий уровень плодородия</i>				
I	1,79	—	0,60	0,10
II	1,77	1,35	0,58	0,20
III	1,65	1,56	0,52	0,15

Т а б л и ц а 6

Вынос никеля и кадмия урожаем картофеля (г/га)

Вариант	Никель		Кадмий	
	1990 г.	2004 г.	1990 г.	2004 г.
<i>Низкий уровень плодородия</i>				
I	3,4	1,7	0,7	0,3
<i>Средний уровень плодородия</i>				
I	7,4	4,6	1,4	0,5
II	10,4	14,8	3,0	1,0
III	16,0	8,2	3,4	1,4
IV	13,1	9,2	3,4	1,2
<i>Высокий уровень плодородия</i>				
I	6,9	—	2,3	0,4
II	10,0	7,2	3,3	1,1
III	10,8	7,4	3,4	0,7

чем в 1990 г. В 2004 г. клубней картофеля было собрано меньше, поэтому вынос кадмия составил 0,3-1,4 г, в то время как в 1990 г. — 0,7-3,4 г/га (см. табл. 6). Относительные колебания содержания кадмия в вариантах опыта в оба года наблюдений составили 2,2—2,4 раза, т.е. были примерно одинаковыми.

В нашей стране допустимое остаточное количество кадмия (ДОК) в овощах — 0,03 мг на 1 кг сырой массы [4]. Если принять влажность клубней, собранных с опытного поля, в среднем 75%, то концентрация в них кадмия превышает ДОК. Считается также, что в расчете на сухую массу, содержание кадмия в пределах 0,15—0,22 мг/кг характерно для промышленных районов [3]. Таким образом, с эколого-гигиенической точки зрения за период двух ротаций 7-польного севооборота ситуация по содержанию кадмия в клубнях картофеля не изменилась.

Одной из причин высокого содержания никеля и кадмия в зерне озимой пшеницы и клубнях картофеля может быть повышенная концентрация доступных растениям форм этих элементов в почвах. Для проверки этого предположения в отобранных послойно образцах почв в горизонте, содержащем основную массу корней, определяли содержание обменно-доступных форм (вытяжка 1 н НСl) (табл. 7). В слое почвы 0-20 см концентрация никеля составила от 1,6 до 3,3 мг на 1 кг сухой почвы, что по шкале нормирования для почв со слабокислой и кислой реакцией соответствует низкому и среднему содержанию, в слое 20-40 см — от 1,7 до 4,3, а в слое 40-60 см — от 4,1 до 8,9 мг на 1 кг почвы и оценивается как умеренно-опасный и повышенно-опасный фон [5]. В нижнем слое почвы среднего и высокого уровня плодородия обнаружена самая высокая концентрация никеля.

Установлено, что содержание кадмия в почве зависело от уровня ее

Т а б л и ц а 7

Содержание обменно-доступных форм (1 н. НСl) никеля и кадмия (мг/кг) в почве

Вариант	Горизонт, см	Ni	Cd
<i>Низкий уровень плодородия</i>			
I	0-20	2,2-2,4*	Сл.-0,1
	20-40	1,7-2,9	0,3-0,4
	40-60	4,1-4,5	0,1-0,6
<i>Средний уровень плодородия</i>			
I	0-20	2,5-2,7	Сл.-0,3
	20-40	2,7-2,8	0,9
	40-60	6,3-6,8	0,3-0,6
II	0-20	2,6-2,8	0,1-0,4
	20-40	3,3-4,3	0,8-0,9
III	40-60	6,9	0,4-0,7
	0-20	2,9-3,0	0,1-0,2
IV	20-40	3,8-4,2	0,7-0,9
	40-60	6,7-8,9	0,3-0,4
	0-20	2,8-3,3	0,2-0,4
IV	20-40	4,0	0,6-0,8
	40-60	8,2-8,3	0,4-0,8
	<i>Высокий уровень плодородия</i>		
I	0-20	1,6-1,7	Сл.-0,1
	20-40	2,0-2,4	0,5-0,7
	40-60	4,7-6,4	0,4-0,6
II	0-20	2,2-2,3	0,1-0,3
	20-40	2,8-3,2	0,7
III	40-60	6,0-6,6	0,4-0,6
	0-20	2,9-3,0	0,3
	20-40	3,1	0,5-0,8
III	40-60	5,3-5,8	0,4-0,5

\* Колебания в пределах биологических повторностей.

плодородия, степени удобренности и горизонта почвы.

В контрольных вариантах в слое почвы 0-20 см было обнаружено до 0,3 мг кадмия на 1 кг воздушно-сухой почвы, что соответствует низкому и среднему содержанию этого элемента по оценке [5]. В слое 20-40 см — 0,3—0,4 мг на 1 кг, т.е. от среднего до умеренно-опасного уровня — на участке с низким плодородием, тогда как на участке со средним и высоким уровнем плодородия — от 0,6-0,9 и 0,5-0,8 мг/кг, т.е. от умеренно-повышенного до повышенно-опасного уровня соответственно. В слое почвы 40-60 см содержание кадмия находилось в пределах от 0,1 до 0,8 мг на 1 кг, т.е. достигало повышенно-опасного уровня.

## Заклучение

За 14 лет обследования посевов озимой пшеницы и картофеля на содержание никеля и кадмия не было обнаружено каких-либо существенных изменений изучаемых показателей с эколого-гигиенической точки зрения. Зерно озимой пшеницы и клубни картофеля содержат высокие концентрации изучаемых элементов. По нашим данным причиной этого может быть повышенно-опасный фон их содержания в подпахотных горизонтах. Высокие концентрации кадмия и никеля в слоях почвы 20-40 и 40-60 см требуют специальных исследований и, как убедительно показано [11], могут быть результатом химического состояния форм мигрирующих веществ в случае их аэрального выпадения, сложного характера вертикального перераспределения по почвенному профилю, переотложения в различных частях почвенного профиля в составе корневых выделений и т.д. Агротехнических мероприятий, применение которых позволило бы снизить концентрацию тяжелых металлов в подпочвенных горизонтах агроценозов, пока нет. Однако можно использовать для посевов такие сорта растений, которые в силу своих генетических особенностей устойчивы к повышенным концентрациям тяжелых металлов и накапливают их в небольших количествах.

Представленные результаты показали, что при оценке экологического состояния почв с.-х. назначения недостаточно определения содержания тяжелых металлов только в пахотном горизонте, необходимы более широкие исследования основного корнеобитаемого слоя почвы (0-100 см).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Габович Р.Б., Припутина Л.С. Гигиенические основы охраны продуктов пита-

ния от вредных химических веществ. Киев: Здоровье, 1987. — 2. Дмитриев М.Т., Казнина Н.И. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в природной среде. М.: Химия, 1989. — 3. Маршвиньска Е. Содержание кадмия в пище растительно-го происхождения из разных районов мира // В сб.: Комплексный глобальный мониторинг состояния биосферы. Т. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1986. С. 152-156. — 4. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. — 5. Мосина Л.В. Агрэкология. Модуль 7. Сельскохозяйственная экотоксикология. Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2000. — 6. Соколов О.А., Черников В.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Книга 1. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1999. — 7. Шатилов И.С. Экология и полевой опыт // В сб.: Современное развитие научных идей Д.Н. Прянишникова. М.: АН СССР, Всесоюз. общ-во почвоведов. 1991. С. 64-74. — 8. Ягодин Б.А., Говорина В.В., Виноградова С.Б. и др. Накопление никеля некоторыми сельскохозяйственными культурами в учхозе «Михайловское» Московской области // Изв. ТСХА, 1999. Вып. 2. С. 12-20. — 9. Ягодин Б.А., Говорина В.В., Виноградова С.Б. и др. Накопление кадмия и свинца некоторыми сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности // Изв. ТСХА, 1995. Вып. 2. С. 85-99. — 10. Ягодин Б.А., Виноградова С.Б., Говорина В.В. и др. Накопление кобальта и хрома в основных сельскохозяйственных культурах в учхозе «Михайловское» Московской области // Изв. ТСХА, 1994. Вып. 3. С. 115-123. — 11. Фокин А.Д. Роль растений в перераспределении вещества по почвенному профилю // Почвоведение, 1999. № 1. С. 125-133.

## SUMMARY

Data on nickel-cadmium content of winter wheat and potatoes grown in the field long-term experiment in Podolsk area of Moscow region in 1990 and in 2004 have been gathered. Eco-hygienic agricultural production evaluation at these elements content level has been given. It's shown that one of the reasons of their steady high content in plants can be very dangerous concentration of nickel in soil layer which is 40-60 cm thick, moderate and very dangerous concentration of cadmium in soil layer, 20-40 cm thick.