

УДК 577.118

<sup>1</sup>Э.А. Гельдымамедова, <sup>2</sup>Г.С. Ажаев, <sup>2</sup>Д.Д. Есимова\*<sup>1</sup>Павлодарский государственный педагогический институт,  
Республика Казахстан, г. Павлодар<sup>2</sup>Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова,  
Республика Казахстан, г. Павлодар

\*E-mail: dika-@mail.ru

### Тяжелые металлы в овощных культурах, выращенных на территории г. Павлодара

Данная статья посвящена изучению содержания тяжелых металлов в овощных культурах г. Павлодара. По результатам исследований установлено, что диапазон содержания тяжелых металлов в овощных культурах колеблется в широких пределах, что обусловлено биологическими особенностями возделываемых культур, характером загрязнения почвенного покрова. Картофель и свекла, выращиваемые на садовых участках, прилегающих к территории промышленных предприятий г. Павлодара, накапливают цинк, медь, свинец, кадмий в количествах, превышающих допустимые остаточные концентрации (ДОК). Следовательно, по санитарно-гигиеническим нормам данная продукция оказалась недоброкачественной и непригодной к употреблению. Томаты, огурцы, капуста успешнее ограничивают поступление металлов в органы запасаения ассимилятов из загрязненных почв.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, овощные культуры, коэффициент накопления.

E.A. Geldymamedova, G.S. Azhaev, D.D. Esimova

#### Heavy metals in vegetables grown in the city of Pavlodar

This article is devoted to the study of heavy metals in vegetable crops in Pavlodar. According to the research found that a range of heavy metals in vegetables Pavlodar varies widely, due to the biological characteristics of crops, the nature of the soil contamination. Potatoes and beet grown in garden plots adjacent to the territory of the industrial enterprises of Pavlodar accumulate zinc, copper, lead, cadmium in quantities exceeding the maximum residue limits. Consequently, according to hygienic this product was substandard and unfit for consumption. Tomatoes, cucumbers, cabbage successfully limit the flow of metals in organs storing assimilates from contaminated soils.

**Key words:** heavy metals, vegetable crops, accumulation factor.

Э.А. Гельдымамедова, Г.С. Ажаев, Д.Д. Есімова

#### Павлодар қ. аумағында өсірілген көкөніс дақылдарындағы ауыр металдар

Мақала Павлодар қаласының көкөніс дақылдарының құрамындағы ауыр металдарды зерттеуге арналған. Зерттеу нәтижесі бойынша, Павлодар қаласының көкөніс дақылдарында ауыр металдардың мөлшерінің біршама ауытқуы, өңделетін дақылдардың биологиялық ерекшеліктері және топырақ жамылғысының ластану сипатымен ескерілетіні анықталды. Павлодар қаласының өнеркәсіптік кәсіпорындары аумағының маңындағы бақтар телімдерінде өсірілетін картоп пен қызылшада мырыш, мыс, қорғасын, кадмий ұйғарынды қалдықтар концентрациясын шамадан тыс жинақтайды. Сондықтан санитарлы-гигиеналық нормалар бойынша аталған өнімдер сапасы төмен және қолдануға жарамсыз болып қалды. Қызанақ, қияр, орамжапырақ ластанған топырақтардың ішіндегі ассимиляттар қорының органдарына металдардың түсуін жақсы шектейді.

**Түйін сөздер:** ауыр металдар, көкөніс дақылдары, жинақтау коэффициенті.

## Введение

Загрязнение почв тяжелыми металлами приводит к увеличению их количества в овощных культурах. Необходимость изучения содержания этих поллютантов в продуктах питания вызвана тем, что их поступление в организм человека происходит в основном с пищей и гораздо меньше – с водой и при дыхании (с воздухом).

Накопление растениями избыточных количеств тяжелых металлов есть интегральный показатель взаимодействия ряда факторов: содержания тяжелых металлов в почвах, их свойств и буферности, видовых и сортовых особенностей растений и др. Поэтому вариабельность этого показателя весьма высока и в разных регионах земного шара имеет свои особенности [1].

Для каждой отдельно взятой техногенно-загрязненной территории характерны определенный набор тяжелых металлов и свои масштабы поступления каждого из них в почвенный покров, специфика дальнейшего поведения этих элементов в почвах, особенности проявления процессов антагонизма и синергизма ионов, определяющие уровень поступления тяжелых металлов в растения. При изучении их накопления в сельскохозяйственных культурах необходимо проводить исследования на конкретной территории и характерных для нее почвах. Немаловажным фактором в этом процессе считаются и видовые различия культур в аккумуляции тяжелых металлов.

В работах многих исследователей было обращено внимание на способность растительного организма развиваться при избыточном содержании в почве тяжелых металлов. Толерантность растений в этих условиях объясняется наличием защитных механизмов (приспособлений), призванных не допустить или ослабить денатурирующее действие избыточных ионов на метаболически важные белки.

Работа защитных механизмов корневой системы и надземных вегетативных органов способствует уменьшению потока избыточных ионов в органы запасаания ассимилятов (плоды, корни и клубнеплоды, кочаны, луковицы и т.д.), представляющих основу растительной продукции.

Важность изучения тяжелых металлов в овощных культурах г. Павлодара весьма актуальна, поскольку в черте города находится большое количество частных огородов и садово-дачных кооперативов.

## Материалы и методы

Овощные культуры отбирались на дачных и огородных участках, расположенных в черте города и в его пригороде.

Отбор проб овощных культур проводился по общепринятым методикам. Растительные пробы озоляли при 450°C с последующим растворением в разбавленной HCl (1:1).

Содержание тяжелых металлов в употребляемых в пищу органах огородных культур – плодах томата, огурцов, кочанах капусты, корнеплодах свеклы и моркови, луковицах репчатого лука, клубнях картофеля определяли атомно-абсорбционным методом (Perkin Elmer). Выбор свеклы был основан на ее способности накапливать относительно высокое количество тяжелых металлов, в связи с этим возможности использовать ее в качестве своеобразного растения-индикатора почвенного загрязнения. Выбор картофеля обусловлен повсеместным его возделыванием и значительной долей в рационе питания населения города. Было проанализировано 134 пробы.

Статистическая обработка полученных в ходе исследования данных проводилась по Н.А. Плохинскому и Б.А. Доспехову с использованием программы Microsoft® Excel.

Для оценки накопления тяжелых металлов в огородных культурах были рассчитаны следующие эколого-геохимические показатели:

- коэффициент загрязнения овощных культур ( $K_{загр}$ ), который представляет собой отношение концентрации элемента в культуре к ДОК – допустимому остаточному количеству;
- коэффициент накопления ( $K_{н}$ ) – отношение концентрации тяжелых металлов в растениях к концентрации тяжелых металлов в почве.

## Результаты и их обсуждение

Диапазон содержания тяжелых металлов в овощных культурах, выращенных на почвах г. Павлодар, колеблется в широких пределах – от близких к естественному до превышающих гигиеническую норму (таблица 1).

Содержание цинка в овощах и картофеле колеблется от 1,2 до 59,3 мг/кг сырой массы, меди – 1,2-39,5, свинца – 0,10-3,82, кадмия – 0,01-0,42, никеля – 0,02-0,72, хрома – 0,01-0,56, кобальта – 0,01-0,56, марганца – 0,3-28,1.

Таблица 1 – Содержание ТМ в овощных культурах г. Павлодара, мг/кг сырой массы

Металл	Овощные культуры							ДОК
	Морковь (n=15)	Лук (n=20)	Огурцы (n=15)	Картофель (n=25)	Капуста (n=16)	Томаты (n=20)	Свекла (n=23)	
Zn	<u>4,8-21,4</u> 11,2(6,8)	<u>2,8-29,7</u> 11,6(5,3)	<u>1,7-11,4</u> 4,8(3,0)	<u>5,8-41,6</u> 13,8(8,4)	<u>1,5-28,4</u> 8,1(5,4)	<u>1,2-12,7</u> 5,3(3,3)	<u>2,9-59,3</u> 16,1(8,4)	10
Cu	<u>2,2-17,2</u> 6,9(4,5)	<u>2,0-16,3</u> 7,0(5,0)	<u>1,2-11,4</u> 5,3(3,6)	<u>4,0-25,3</u> 11,5(6,1)	<u>1,5-12,9</u> 4,2(2,7)	<u>3,2-19,5</u> 8,0(4,1)	<u>3,1-39,5</u> 12,8(7,9)	10
Pb	<u>0,18-2,31</u> 0,66(0,23)	<u>0,13-2,35</u> 0,65(0,4)	<u>0,21-3,82</u> 1,2(0,67)	<u>0,19-3,5</u> 1,1(0,59)	<u>0,28-1,83</u> 0,52(0,36)	<u>0,10-0,94</u> 0,37(0,20)	<u>0,18-2,4</u> 0,8(0,42)	0,5
Cd	<u>0,01-0,24</u> 0,09(0,03)	<u>0,02-0,19</u> 0,08(0,04)	<u>0,01-0,13</u> 0,06(0,01)	<u>0,02-0,42</u> 0,13(0,06)	<u>0,01-0,14</u> 0,04(0,02)	<u>0,01-0,14</u> 0,04(0,02)	<u>0,02-0,37</u> 0,14(0,07)	0,03
Ni	<u>0,02-0,36</u> 0,15(0,05)	<u>0,02-0,29</u> 0,13(0,06)	<u>0,02-0,26</u> 0,09(0,02)	<u>0,05-0,68</u> 0,27(0,11)	<u>0,03-0,61</u> 0,2(0,09)	<u>0,02-0,28</u> 0,11(0,05)	<u>0,06-0,72</u> 0,35(0,18)	0,5
Cr	<u>0,05-0,47</u> 0,17(0,07)	<u>0,02-0,29</u> 0,11(0,05)	<u>0,02-0,26</u> 0,09(0,03)	<u>0,02-0,56</u> 0,16(0,07)	<u>0,01-0,27</u> 0,09(0,04)	<u>0,03-0,48</u> 0,12(0,04)	<u>0,04-0,39</u> 0,13(0,06)	0,2
Co	<u>0,04-0,44</u> 0,14(0,05)	<u>0,01-0,28</u> 0,08(0,02)	<u>0,01-0,17</u> 0,05(0,02)	<u>0,02-0,38</u> 0,12(0,05)	<u>0,01-0,36</u> 0,08(0,03)	<u>0,01-0,34</u> 0,1(0,03)	<u>0,04-0,56</u> 0,13(0,05)	0,2
Mn	<u>0,8-6,7</u> 2,8(1,4)	<u>1,2-7,9</u> 3,6(2,5)	<u>0,4-4,7</u> 2,0(0,8)	<u>1,0-13,8</u> 5,2(3,2)	<u>0,3-5,8</u> 1,9(0,9)	<u>0,3-4,4</u> 1,5(0,8)	<u>2,1-28,1</u> 7,8(5,1)	-

Примечание: 1) над чертой – пределы колебания, под чертой – средняя арифметическая; в скобках – фон; 2) гигиенический норматив – ДОК [5]

Это обусловлено, по-видимому, мозаичным характером загрязнения почвенного покрова, биологическими особенностями возделываемых культур, неодинаковой буферной способностью почв на огородах и дачных участках города.

По величине средней концентрации Zn исследуемые овощные культуры располагаются в виде следующего убывающего ряда:

свекла>картофель>лук>морковь>капуста>томаты>огурцы;

Cu – свекла>картофель>томаты>лук>морковь>огурцы>капуста;

Pb – огурцы>картофель>свекла>морковь>лук>капуста>томаты;

Cd – свекла>картофель>морковь>лук>огурцы>капуста=томаты;

Ni – свекла>картофель>капуста>морковь>лук>томаты>огурцы;

Cr – морковь>картофель>свекла>томаты>лук>капуста>огурцы;

Co – морковь>свекла>картофель>томаты>лук=капуста>огурцы;

Mn – свекла>картофель>лук>морковь>огурцы>капуста>томаты.

Среднее содержание ТМ в овощных культурах было выше фоновых концентраций. Содержание кадмия в овощных культурах превышало фоновый уровень в 2-6 раз, свинца – в 1,4-2,9,

цинка – в 1,5-2,2, меди – в 1,4-2,0, никеля – в 1,9-4,5, хрома – в 2,2-3,0, кобальта – в 2,4-4,0, марганца – в 1,4-2,5 раза (таблица 2).

В наибольшей степени загрязнены овощные культуры, выращенные на садовых участках, прилегающих к промышленным предприятиям и ТЭЦ (приложение Д). Максимальные концентрации тяжелых металлов характерны для овощных культур, выращенных на садовых участках, прилегающих к северной промзоне. В данной зоне сосредоточены крупные промышленные предприятия города и ТЭЦ. Среднее содержание кадмия во всех исследованных культурах, выращенных на территории северной промзоны, превышает ДОК в 1,7-6,3 раза, содержание цинка в моркови, луке, картофеле, капусте, свекле превышает ДОК в 1-2 раза.

О том, что происходит накопление тяжелых металлов сельскохозяйственными культурами, произрастающими на техногенно сильно загрязненных почвах, свидетельствуют и данные других исследований [2-4].

В центральной (селитебной) зоне среднее содержание меди, никеля, хрома не превышало ДОК, но превышало фоновое значение в 1,5; 2,2; 2,1 раза соответственно. Содержание цинка, свинца и кадмия превышало ДОК в 1-2 раза.

**Таблица 2** – Коэффициент концентрации ТМ в овощных культурах г. Павлодара

Элемент	Морковь	Лук	Огурцы	Картофель	Капуста	Томаты	Свекла
Zn	1,6	2,2	1,6	1,6	1,5	1,6	1,9
Cu	1,4	1,4	1,5	1,9	1,6	2,0	1,6
Pb	2,9	1,6	1,8	1,9	1,4	1,9	1,9
Cd	3,0	2,0	6,0	2,2	2,0	2,0	2,0
Ni	3,0	2,2	4,5	2,5	2,2	2,2	1,9
Cr	2,4	2,2	3,0	2,3	2,3	3,0	2,2
Co	2,8	4,0	2,5	2,4	2,7	3,3	2,6
Mn	2,0	1,4	2,5	1,6	2,1	1,9	1,5

В северном пригороде превышения ДОК практически не наблюдалось, что объясняется отдаленностью промышленных предприятий и дорог.

Как показали наши исследования, у разных огородных культур уровень накопления ТМ неодинаковый и зависит от биологических особенностей культуры.

Томаты, огурцы, капуста успешнее ограничивают поступление металлов в органы запасаания ассимилянтов из загрязненных почв. Напротив, самые низкие возможности в ограничении поступления ТМ у картофеля, свеклы, моркови. Лук занимает промежуточное положение между этими группами.

Таким образом, по степени защищенности от избытка ТМ огородные культуры можно распределить в следующий убывающий ряд: томаты > капуста > огурцы > лук > морковь > картофель > свекла.

Изученные огородные культуры по накоплению металлов ( $K_{загр}$ ) образуют убывающий ряд: свекла (11,2) > картофель (11,0) > морковь (8,06) > лук (7,04) > огурцы (6,29) > капуста (4,85) > томаты (4,72) (таблица 3).

По суммарному коэффициенту загрязнения в исследуемых семи огородных культурах химические элементы образуют следующую геохимическую формулу:  $Cd_{19,3}Pb_{10,6}Zn_{7,1}Cu_{5,6}Cr_{4,4}Co_{3,5}Ni_{2,6}$

**Таблица 3** – Коэффициент загрязнения огородных культур г. Павлодара

Элемент	Морковь	Лук	Огурцы	Картофель	Капуста	Томаты	Свекла	$\sum K_{загр}$
Zn	1,12	1,16	0,48	1,38	0,81	0,53	1,61	7,1
Cu	0,69	0,7	0,53	1,15	0,42	0,8	1,28	5,6
Pb	1,32	1,3	2,4	2,2	1,04	0,74	1,6	10,6
Cd	3,00	2,67	2,00	4,33	1,33	1,33	4,67	19,3
Ni	0,3	0,26	0,18	0,54	0,4	0,22	0,7	2,6
Cr	0,85	0,55	0,45	0,8	0,45	0,6	0,65	4,4
Co	0,7	0,4	0,25	0,6	0,4	0,5	0,65	3,5
$\sum K_{загр}$	8,1	7,0	6,3	11,0	4,9	4,7	11,2	

Дана оценка овощных культур по коэффициенту накопления ( $K_n$ , т.е. по отношению содержания тяжелых металлов в растениях к содержанию их в почве) – таблица 4. Если коэффициент загрязнения меньше 1, то превалирует загрязнение растений из почвы, если больше 1, то, кроме поступления в растительную продукцию металлов из почвы, имеет место загрязнение из атмосферы.

Самые высокие коэффициенты накопления выявлены у свеклы и картофеля. Самые

низкие  $K_n$  характерны для огурцов и томатов. По величине  $K_n$  элементы можно распределить в следующем убывающем порядке: Cr > Ni > Mn > Co > Pb > Cd > Zn > Cu.

В настоящее время становится очевидным, что при возрастающем загрязнении почв возделывание овощных культур на продовольственные цели может привести к накоплению тяжелых металлов в растительной продукции выше ДОК.

**Таблица 4** – Коэффициенты накопления тяжелых металлов овощными культурами

Элемент	Морковь	Лук	Огурцы	Картофель	Капуста	Томаты	Свекла	$K_{н.сред}$
Zn	0,082	0,085	0,035	0,101	0,059	0,039	0,118	0,074
Cu	0,128	0,130	0,099	0,214	0,078	0,149	0,238	0,148
Pb	0,012	0,011	0,021	0,019	0,009	0,007	0,014	0,013
Cd	0,046	0,041	0,031	0,067	0,021	0,021	0,072	0,042
Ni	0,002	0,002	0,001	0,004	0,003	0,002	0,005	0,003
Cr	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Co	0,007	0,004	0,003	0,006	0,004	0,005	0,007	0,005
Mn	0,003	0,004	0,002	0,006	0,002	0,002	0,009	0,004

Таким образом, исследования показали, что огородная продукция, выращенная на участках, расположенных вблизи промышленных предприятий и ТЭЦ, по санитарно-гигиеническим нормам оказалась недоброкачественной. Использование в пищу в течение многих лет

выращиваемых в местных условиях сельскохозяйственных культур, содержащих опасное количество тяжелых металлов, чревато негативными последствиями для здоровья людей вследствие их постепенной аккумуляции в организме.

#### Литературы

- 1 Убугунов В.Л., Кашин В.К. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. – 128 с.
- 2 Касимов Н.С., Перельман А.И., Евсеев А.В. и др. Экогеохимия городских ландшафтов. – М., 1995. – 333 с.
- 3 Vetter H., Mghlhop R., Frbchtenicht K. Immisionstoffbelastung in der Nachbarschaft einer Blei – und Zinkhtte // Berichte uber Landwirtschaft. – 1974. – Bd 52. – H.2. – S. 327 –350.
- 4 Зырин Н.Г., Каплунова Е.В., Сердюкова А.В. Нормирование содержания тяжелых металлов в системе почва-растение // Химия в сельском хозяйстве. – 1985. – №6. – С. 45-48.
- 5 Найштейн С.Я., Меренюк Г.В., Чегринец Г.Я. Гигиена окружающей среды и применение удобрений. – Кишинев: Штинница, 1987. – С. 143.

#### References

- 1 Ubugunov V.L., Kashin V.K. Tjzhelye metally v sadovo-ogorodnyh pochvah i rastenijah g. Ulan-Udje. – Ulan-Udje: Izd-vo BNC SO RAN, 2004. – 128 s.
- 2 Kasimov N.S., Perel'man A.I., Evseev A.V. i dr. Jekogeohimija gorodskih landshaftov. – M., 1995. – 333 s.
- 3 Vetter H., Mghlhop R., Frbchtenicht K. Immisionstoffbelastung in der Nachbarschaft einer Blei – und Zinkhtte // Berichte uber Landwirtschaft. – 1974. – Bd 52. – H.2. – S. 327 –350.
- 4 Zyrin N.G., Kaplunova E.V., Serdjukova A.V. Normirovanie soderzhaniya tjzhelyh metallov v sisteme pochva-rastenie // Himija v sel'skom hozjajstve. – 1985. – №6. – S. 45-48.
- 5 Najshtejn S.Ja., Merenjuk G.V., Chegrinec G.Ja. Gigena okruzhajushhej sredy i primenenie udobrenij. – Kishinev: Shtinnica, 1987. – S. 143.