

УДК 633.13:581.133.9:546.74

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ В РАСТЕНИЯХ ОВСА

Б.А. ЯГОДИН, В.В. ГОВОРИНА, С.Б. ВИНОГРАДОВА, И.В. АНДРЕЕВА

(Кафедра агрохимии)

Обсуждаются данные вегетационных опытов о накоплении никеля 6 сортами овса. Отмечается, что овес способен накапливать большое количество этого металла, причем концентрация никеля в зерне выше, чем в соломе. Такая закономерность наблюдалась как в условиях загрязнения почвы никелем, так и в незагрязненных. Расчет выноса никеля урожаем подтверждает, что более половины его накапливается в зерне.

В комплексе проблем экологической химии наиболее сложными являются те, что связаны с последствиями техногенного загрязнения основных компонентов биосферы — почвы, воды и воздуха. В результате интенсивной деятельности промышленных предприятий, широкого применения различных химических препаратов, удобрений и ядохимикатов происходит нарушение естественного соотношения элементов в почве и растениях. Так, концентрация кадмия в атмосферном воздухе городов Москвы и Подольска на 1—2 порядка выше, чем в воздухе биосферных заповедников. В ре-

зультате поступление кадмия в почву в 2 раза превышает вынос его культурными растениями. Еще острее складывается баланс для никеля — превышение в 4—5 раз. Поступление на поверхность почв свинца в 2—3 раза, а суммарно меди и свинца — в 7—10 раз выше, чем на фоновых участках. К настоящему времени в пахотных почвах Подмосковья для кадмия, никеля и хрома складывается положительный баланс, который возрастает с увеличением доз удобрений и степени окультуренности почв [9, 11, 15].

В большинстве опубликованных работ рассматривается влия-

ние техногенного загрязнения тяжёлыми металлами среды на продуктивность и качество урожая сельскохозяйственных растений. Однако предметом дискуссий все еще остаются вопросы о механизмах поступления металлов при низких и высоких их концентрациях, о влиянии видовых и сортовых особенностей растений на их накопление, специфике распределения металлов по органам растений.

Установлено, что количественное распределение поглощенных металлов подчиняется общей закономерности: корни > листья или стебли > генеративные органы (органы запасаания ассимилятов). Это явление объясняется наличием у растений механизма, защищающего основные метаболические центры от избытка ионов [2, 6]. Вместе с тем имеются данные, что не все химические элементы подчиняются такой закономерности.

Распределение элементов в растениях определяется многими факторами: концентрациями их в среде выращивания, наличием у растений нескольких механизмов поглощения, видом и сортом растения, а также химическими свойствами самого металла [10, 12]. Так, у сорго лимонного никель локализовался как в корнях, так и в надземной части, однако в корнях его было больше. Поступление никеля в надземную часть растений задерживалось у укропа, лука и плодов огурца, а также наблюдалось у ячменя, пшеницы, редьки и перца, выращиваемых на загрязненных этим элементом почвах. У моркови данный эле-

мент больше концентрировался в листьях, чем в корнях [4, 8, 10, 12, 13, 17—20].

В исследованиях указывается на высокую подвижность никеля в растениях, сравнимую с подвижностью основных биогенных элементов, и на способность некоторых растений концентрировать его в цветках и семенах. К числу таких растений относятся бобовые и овес. Установлено, в частности, что у дикорастущих бобовых растений коэффициент накопления никеля (цветки : почва) колебался от 6 до 18,5, при этом в корнях иногда его содержание было меньше, чем в надземной массе, или несколько больше, но никогда не превышало содержания никеля в цветках. Четкой закономерности в распределении поглощенного никеля между стеблями и листьями не обнаружено. Овес способен накапливать никель в метелке и молодых листовых пластинках, при этом, чем моложе орган, тем выше концентрация металла в нем [3, 5, 7, 13, 14, 19].

Наши исследования химического состава культурной и дикорастущей флоры Московской области подтвердили высокий уровень содержания никеля, превышающий установленные ПДК для основных продуктов питания и кормов в 1,5—4 раза, а на почвах с низким уровнем плодородия — в 8—12 раз [16].

В ряду сельскохозяйственных культур высоким накоплением никеля в зерне отличается овес, посевы которого занимают значительные площади в зерновых и кормовых севооборотах. В связи

с этим представляет большой интерес изучение особенностей накопления и распределения никеля в овсе, а также возможные пути снижения его концентраций.

Методика

Для решения этих задач были поставлены вегетационные опыты в сосудах Митчерлиха с 6 сортами овса. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая слабоокультуренная из учхоза «Михайловское» Подольского района Московской области имеет следующую агрохимическую характеристику: рН_{ср} — 3,8, гумус по Тюрину — 1,4%, общий азот — 0,07%, Нг — 4,2 мг · экв на 100 г, P₂O₅ и K₂O по Кирсанову — 38 и 50 мг/кг, Ni — 2,75 мг/кг (1 н. НСl). Никель вносили в почву в виде NiCl₂ · 6H₂O в количестве 2,5, 25 и 50 мг на 1 кг почвы, что вместе с почвенным никелем составляло на первом уровне примерно ПДК, на втором — 5ПДК и на третьем — 10ПДК. В вариантах с известкованием вносили CaCO₃. Опыты проводились в 3-кратной повторности. Никель в растениях определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре РС-5100 «Perken-Elmer» после сухого озоления.

Результаты

В диапазоне изучаемых концентраций никеля 6 сортов овса поразному накапливали этот элемент в урожае. При высоком уровне загрязнения в зерне сорта Скакун содержалось наименьшее его количество (61 мг на 1 кг сухой массы), а у сорта Гамбо — наибольшее (108 мг/кг). При этом у

всех сортов проявлялась общая закономерность: по мере повышения содержания металла в почве возрастала его концентрация в зерне и соломе. Так, в зерне сорта Скакун она возросла в 8,7 раза, а у сортов Гамбо и Скороспелый — в 12 раз по сравнению с контролем. Во всех вариантах, включая контрольный, содержание никеля на порядок превышало ПДК, установленные для основных продуктов питания [1]. У всех сортов овса и во всех вариантах содержание никеля в зерне было выше, чем в соломе: в контроле — в 2—4 раза, при дозе 2,5 мг/кг — в 1,6—8,7 раза, при 25 мг/кг — в 1,8—3,4, при 50 мг/кг — в 1,2—1,8 раза. Высокая степень накопления никеля различными сортами овса, вероятно, обусловлена особенностями данного вида (табл. 1).

Расчеты выноса никеля урожаем подтверждают, что больше половины общего его количества выносятся зерном: 47—73% — в контроле, 58—80% — на уровне ПДК, 54—71% — на уровне 5ПДК. При сильном загрязнении почвы отмечалось резкое снижение накопления биомассы, однако вынос металла урожаем зерна изучаемых сортов в этом варианте составил 37—54% к общему (табл. 2).

Известно, что одним из эффективных способов снижения уровня накопления тяжелых металлов в растениях является известкование кислых почв. Этот способ изучали в течение 3 лет на овсе сорта Скакун, который оказался по сравнению с другими более устойчивым к никелю в диапазоне изучаемых концентраций.

Таблица 1

Накопление никеля (мг на 1 кг сухой массы) некоторыми сортами овса

Доза Ni. мг/кг	Зерно	Солома	Корни
<i>Сорт Скакун</i>			
0	6,7	3,3	8,7
2,5	25,7	3,2	15,7
25	50,8	15,0	73,8
50	60,6	38,4	109,0
<i>Сорт Гамбо</i>			
0	9,3	3,2	—
2,5	11,3	3,7	—
25	48,3	18,5	—
50	107,6	67,6	—
<i>Сорт Львовский 1026</i>			
0	11,3	3,4	—
2,5	17,0	2,7	—
25	48,0	19,9	—
50	74,9	40,8	—
<i>Сорт Скороспелый</i>			
0	7,0	5,2	—
2,5	9,5	6,4	—
25	43,9	19,9	—
50	85,2	58,2	—
<i>Сорт Горизонт</i>			
0	6,2	2,4	—
2,5	14,9	4,8	—
25	48,5	25,9	—
50	67,0	44,9	—
<i>Сорт Метис</i>			
0	4,9	4,5	—
2,5	12,3	5,2	—
25	46,1	26,3	—
50	84,7	73,4	—

В год известкования по мере увеличения дозы известки содержание никеля в зерне снижалось в 2,5, в соломе — в 2,1 раза. Однако даже при известковании по полной норме гидrolитической кислотности овес по-прежнему накапливал значительное количество никеля: в зерне — в 3,6, со-

леме — в 5,6 и в корнях — в 5,1 раза больше, чем в контрольном варианте (табл. 3).

Снижение содержания никеля в растениях наблюдалось и на 3-й год после известкования (табл. 3): в зерне — в 1,5, в соломе — в 4 раза, но уровень концентраций элемента в растениях был выше,

Таблица 2

Вынос никеля (мг/сосуд — числитель, % к общему — знаменатель)
надземной массой некоторых сортов овса

Доза Ni, мг/кг	Зерно	Солома	Общий
<i>Сорт Скакун</i>			
0	$\frac{0,18}{60}$	$\frac{0,11}{36}$	$\frac{0,29}{—}$
2,5	$\frac{0,69}{80}$	$\frac{0,11}{20}$	$\frac{0,80}{—}$
25	$\frac{1,37}{71}$	$\frac{0,57}{29}$	$\frac{1,94}{—}$
50	$\frac{1,18}{50}$	$\frac{1,18}{50}$	$\frac{2,36}{—}$
<i>Сорт Гамбо</i>			
0	$\frac{0,27}{73}$	$\frac{0,10}{27}$	$\frac{0,37}{—}$
2,5	$\frac{0,34}{72}$	$\frac{0,13}{28}$	$\frac{0,47}{—}$
25	$\frac{1,32}{67}$	$\frac{0,64}{33}$	$\frac{1,96}{—}$
50	$\frac{0,60}{37}$	$\frac{1,04}{63}$	$\frac{1,64}{—}$
<i>Сорт Львовский 1026</i>			
0	$\frac{0,34}{72}$	$\frac{0,13}{28}$	$\frac{0,47}{—}$
2,5	$\frac{0,49}{80}$	$\frac{0,12}{20}$	$\frac{0,61}{—}$
25	$\frac{1,35}{63}$	$\frac{0,81}{37}$	$\frac{2,16}{—}$
50	$\frac{1,39}{54}$	$\frac{1,18}{46}$	$\frac{2,57}{—}$
<i>Сорт Скороспелый</i>			
0	$\frac{0,20}{53}$	$\frac{0,18}{47}$	$\frac{0,38}{—}$
2,5	$\frac{0,31}{58}$	$\frac{0,22}{42}$	$\frac{0,53}{—}$
25	$\frac{1,16}{62}$	$\frac{0,71}{38}$	$\frac{1,87}{—}$
50	$\frac{1,14}{49}$	$\frac{1,21}{51}$	$\frac{2,35}{—}$

Доза Ni, мг/кг	Зерно	Солома	Общий
<i>Сорт Горизонт</i>			
0	<u>0,17</u> 68	<u>0,08</u> 32	<u>0,25</u> —
2,5	<u>0,40</u> 66	<u>0,21</u> 34	<u>0,61</u> —
25	<u>1,29</u> 54	<u>1,10</u> 46	<u>2,39</u> —
50	<u>1,33</u> 49	<u>1,40</u> 51	<u>2,73</u> —
<i>Сорт Метис</i>			
0	<u>0,16</u> 47	<u>0,18</u> 53	<u>0,34</u> —
2,5	<u>0,39</u> 68	<u>0,18</u> 32	<u>0,57</u> —
25	<u>1,38</u> 61	<u>0,89</u> 39	<u>2,27</u> —
50	<u>1,39</u> 44	<u>1,75</u> 56	<u>3,14</u> —

Т а б л и ц а 3

**Содержание никеля (мг на 1 кг сухой массы) в урожае овса
в 1-й и 3-й годы после известкования**

Вариант	1-й год			3-й год		
	зерно	солома	корни	зерно	солома	корни
Без Ni (контроль)	6,7	3,3	8,7	12,5	7,8	15,4
Ni, мг/кг:						
2,5	25,7	3,2	15,7	21,9	8,1	17,2
25	50,8	15,0	73,8	62,4	35,9	129,4
50	60,6	38,4	109,0	87,6	100,0	255,3
Ni, мг/кг + CaCO ₃ :						
50 + 1/4 Нг	44,1	34,8	96,7	84,1	77,6	238,4
50 + 2/4 Нг	34,5	19,5	81,6	71,1	43,8	172,6
50 + 4/4 Нг	24,4	18,6	44,4	58,3	24,9	76,0

чем в год известкования. Во всех вариантах, за исключением варианта с 50 мг Ni на 1 кг почвы, сохранилась закономерность, отмечае-

мая в 1-й год: содержание никеля в зерне было выше, чем в соломе.

В выносе никеля урожаем его доля в зерне составила более 50%

в год известкования и 37—65% к общему на 3-й год (табл. 4).

Таким образом, все изучаемые сорта овса отличались высокими

Т а б л и ц а 4

Вынос никеля (мг/сосуд — числитель, % к общему — знаменатель) надземной массой овса в 1-й и 3-й годы после известкования

Вариант	1-й год			3-й год (последействие)		
	зерно	солома	общий	зерно	солома	общий
Без Ni (контроль)	<u>0,17</u> 59	<u>0,12</u> 41	<u>0,29</u> —	<u>0,24</u> 56	<u>0,20</u> 44	<u>0,44</u> —
Ni, мг/кг:						
2,5	<u>0,68</u> 85	<u>0,12</u> 15	<u>0,80</u> —	<u>0,42</u> 64	<u>0,23</u> 36	<u>0,65</u> —
25	<u>1,37</u> 71	<u>0,57</u> 29	<u>1,94</u> —	<u>1,31</u> 57	<u>0,97</u> 43	<u>2,28</u> —
50	<u>1,17</u> 50	<u>1,19</u> 50	<u>2,36</u> —	<u>0,64</u> 27	<u>1,73</u> 73	<u>2,37</u> —
Ni, мг/кг + CaCO ₃ :						
50 + 1/4 Нг	<u>1,22</u> 51	<u>1,20</u> 49	<u>1,42</u> —	<u>0,69</u> 37	<u>1,16</u> 63	<u>1,85</u> —
50 + 2/4 Нг	<u>1,06</u> 62	<u>0,66</u> 38	<u>1,72</u> —	<u>0,81</u> 50	<u>0,82</u> 50	<u>1,63</u> —
50 + 4/4 Нг	<u>0,75</u> 52	<u>0,68</u> 48	<u>1,43</u> —	<u>1,28</u> 65	<u>0,70</u> 35	<u>2,98</u> —

концентрациями никеля, превышающими предельно допустимые, установленные для основных продуктов питания и кормов. Такая же закономерность наблюдалась и в контрольных вариантах, что свидетельствует о высокой подвижности этого металла, способности легко проникать в зерно и концентрироваться в нем в большей мере, чем в соломе. Применение известкования как традиционного способа снижения содержания тяжелых металлов в растениях на кислых почвах позволило снизить содержание никеля в зерне в 1,5—2,5 раза, однако общий его уровень оставался вы-

соким как в зерне, так и в соломе. И в этом случае в зерне содержалось никеля больше, чем в соломе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Габович Р.Д., Припутина Л.С. Гигиенические основы охраны продуктов питания от вредных химических веществ. Киев: Здоровье, 1987. — 2. Гармаш Г.А., Гармаш Н.Ю. Распределение тяжелых металлов по органам культурных растений. — *Агрехимия*, 1987, № 5, с. 40—46. — 3. Грибовская И.Ф., Летунова С.В., Романова С.И. Микроэлементы в органах бобовых культур. — *Агрехимия*, 1968, № 3, с. 81. — 4. Евдокимова

Г.А., Мозгова Н.П. Миграция тяжелых металлов из почвы в сельскохозяйственные культуры. — В сб.: Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы. Матер. 2-й Всесоюз. конф., М., 1987, с. 209—213. — 5. Загрязнение воздуха и жизнь растений / Под ред. М.Л. Трешоу. М.: Гидрометеониздат, 1988. — 6. Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. — 7. Калинин А.И. О содержании никеля в растениях. — Тез. докл. науч. конф. Киров, 1994, с. 12—13. — 8. Краснова Н.М. Ферментативная активность на почвах с повышенным содержанием цинка, никеля и марганца. — В сб.: Микроэлементы в биологии и их применение в сельск. хоз-ве и медицине. Самарканд: Наука, 1990, с. 296—298. — 9. Лешева О.М., Обухов А.И. Экологические последствия влияния урбанизации на состояние почв Москвы. — В сб.: Экология и охрана природы Москвы. М.: МГУ, 1990. — 10. Майрапетян С.Х. и др. Вынос некоторых микроэлементов растениями сорго лимонного в условиях гидропоники. — В сб.: Микроэлементы в биологии и их применение в сельск. хоз-ве и медицине. Самарканд: Наука, 1990, с. 187—188. — 11. Минеев В.Г., Парамонова Е.А., Соловьев Г.А. Баланс тяжелых металлов в дер-

ново-подзолистых почвах разной степени окультуренности при систематическом применении различных уровней доз минеральных удобрений. — В сб.: Микроэлементы в биологии и их применение в сельск. хоз-ве и медицине. Самарканд: Наука, 1990, с. 192—194. — 12. Рудакова Э.В., Каракис К.Д., Сидоршина Т.М. Механизмы поглощения микроэлементов растениями. — В сб.: Микроэлементы: поступление, транспорт и физиологические функции в растениях. Киев: Наукова думка, 1987, с. 5—64. — 13. Сливинская Р.Б. Никель в растениях. — Тр. Бот. ин-та АН СССР. Л., 1990, с. 114—121. — 14. Тихомиров Ф.А., Кузнецова Н.Н., Магина Л.Г. Действие никеля на растения на дерново-подзолистой почве. — Агрохимия, 1987, № 8, с. 74—80. — 15. Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. — 16. Ягодина Б.А., Говорина В.В., Виноградова С.Б. и др. — Изв. ТСХА, 1994, вып. 2, с. 12—20. — 17. Estan M., Bolarin M.C., Guillen M.G. — *Agrochimica*, 1987, vol. 32, N 5—6, p. 379—390. — 18. Luzzata A., Siragysa N. — *Ann. Ist. sper. nutr. piante*, 1985, vol. 86, N 13, p. 1—28. — 19. Othmar H. — *Phyton*, 1985, Bd 25, N 1, S. 135—146. — 20. Singh B., Dang Y.P., Mehta S.C. — *Plant and Soil*, 1990, vol. 127, N 2, p. 213—218.

Статья поступила 2 декабря 1997 г.

SUMMARY

The data on accumulating nickel by several varieties of oats are discussed. It is noted that oats are able to accumulate big amount of this metal and, besides, concentration of nickel in grain is higher than in straw. Such phenomenon is typical both under conditions of high soil pollution by nickel and under non-polluted soils. Calculation of nickel assimilation by yield confirms that more than half of it is accumulated in grain.