

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН*

**Совместное действие цинка и никеля на  
редокс-баланс и гомеостаз железа у растений  
мимулюса крапчатого (*Mimulus guttatus* DC.)**

***Башмакова Елена Борисовна***

***IX СЪЕЗД ОБЩЕСТВА ФИЗИОЛОГОВ РАСТЕНИЙ РОССИИ***

***Казань, 2019 г.***

**Цель** – изучить характер совместного действия цинка (Zn) и никеля (Ni) на гомеостаз железа (Fe) и редокс-статус клеток у растений мимулюса крапчатого, выращенных в условиях водной культуры.

## **Задачи исследования**

- 1. Изучить действие Zn и Ni на прирост сухой биомассы; поглощение, транслокацию, аккумуляцию Zn и Ni и их распределение в надземных органах.***
- 2. Установить действие Zn и Ni на поглощение, транслокацию Fe и его содержание в листьях.***
- 3. Исследовать морфологический и биохимический ответы растений на недостаток Fe, вызванный действием Zn и Ni.***
- 4. Установить физиологические причины снижения содержания Fe в листьях при совместном действии Zn и Ni.***
- 5. Исследовать возможную роль никотианамина (НА) в детоксикации и дальнем транспорте Ni у растений при совместном действии Zn и Ni.***
- 6. Оценить степень окислительного стресса и функциональное состояние глутатион–пероксидазной системы в корнях и листьях растений при действии Zn и Ni.***

# Объект исследования – мимулюс крапчатый (*Mimulus guttatus* DC.)

*высоко устойчивый к Zn и Ni  
исключатель тяжелых  
металлов (ТМ)  
из семейства  
Фримовых (Phrymaceae).*

## Ареал:

*Северная Америка,  
умеренная зона Европы,  
Новая Зеландия и Австралия*



# Условия проведения экспериментов



## **Растения *M. guttatus***

выращивали при температуре воздуха 23°C/18°C (день/ночь), с 12-часовым световым периодом, при интенсивности света  $140 \pm 20$  мкмоль/(м<sup>2</sup> с), на модифицированной питательной среде Роризона без Na<sub>2</sub>ЭДТА (pH=6.6). Ювенильные растения подвергали воздействию ZnSO<sub>4</sub> или/и NiSO<sub>4</sub>.

### **Варианты воздействий:**

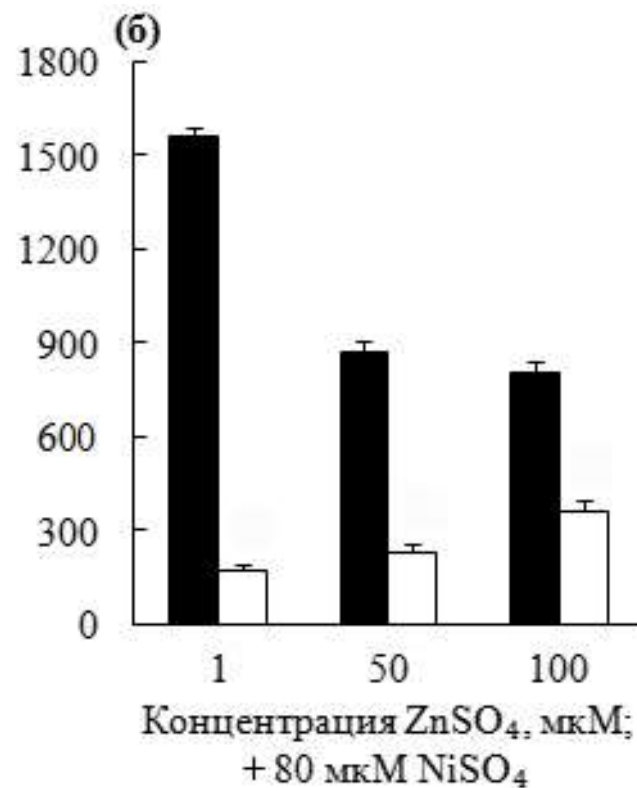
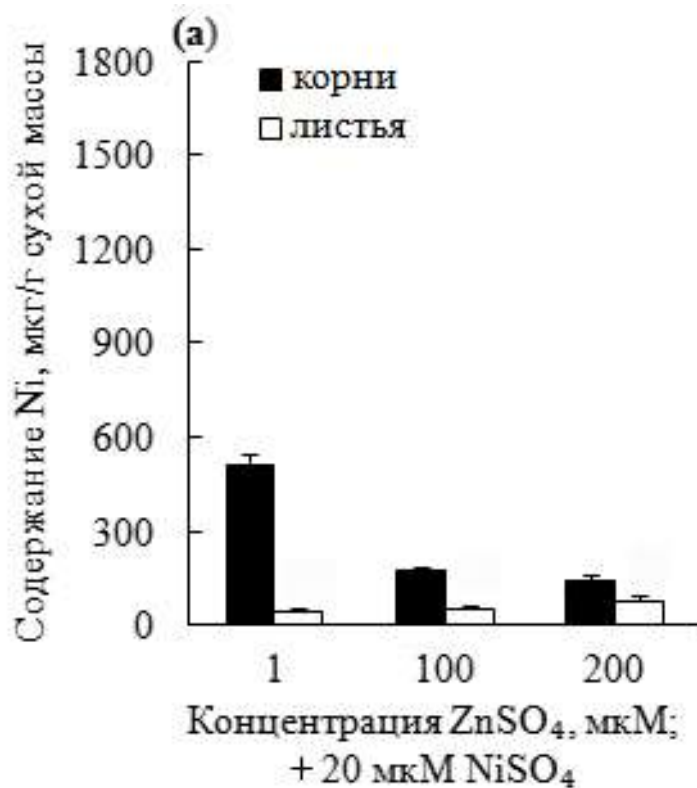
ZnSO<sub>4</sub>: 50, 100, 200 (мкМ).

NiSO<sub>4</sub>: 20, 80 (мкМ).

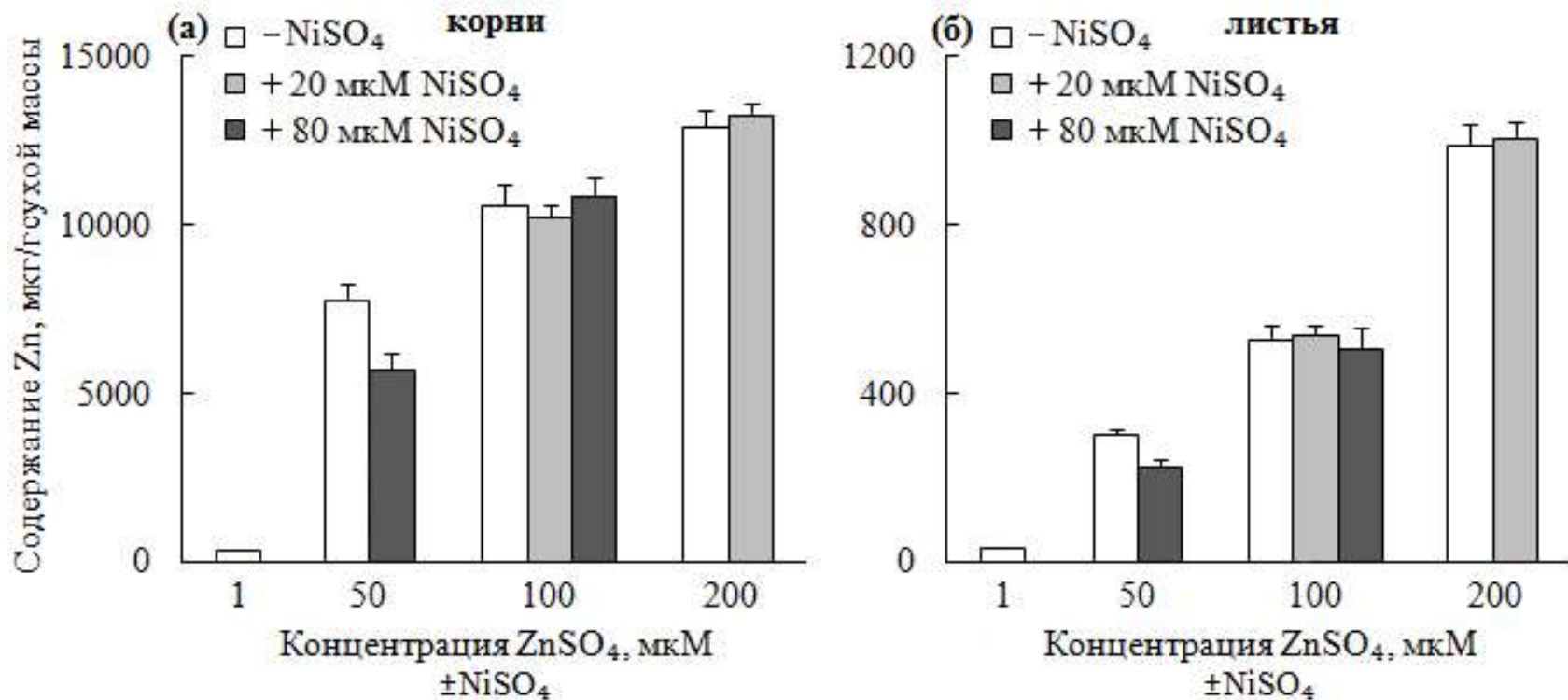
NiSO<sub>4</sub> + ZnSO<sub>4</sub>: 20 мкМ + 100 мкМ,  
20 мкМ + 200 мкМ,  
80 мкМ + 50 мкМ,  
80 мкМ + 100 мкМ.

Продолжительность воздействий – 4 недели.

## Аккумуляция Ni в корнях и листьях

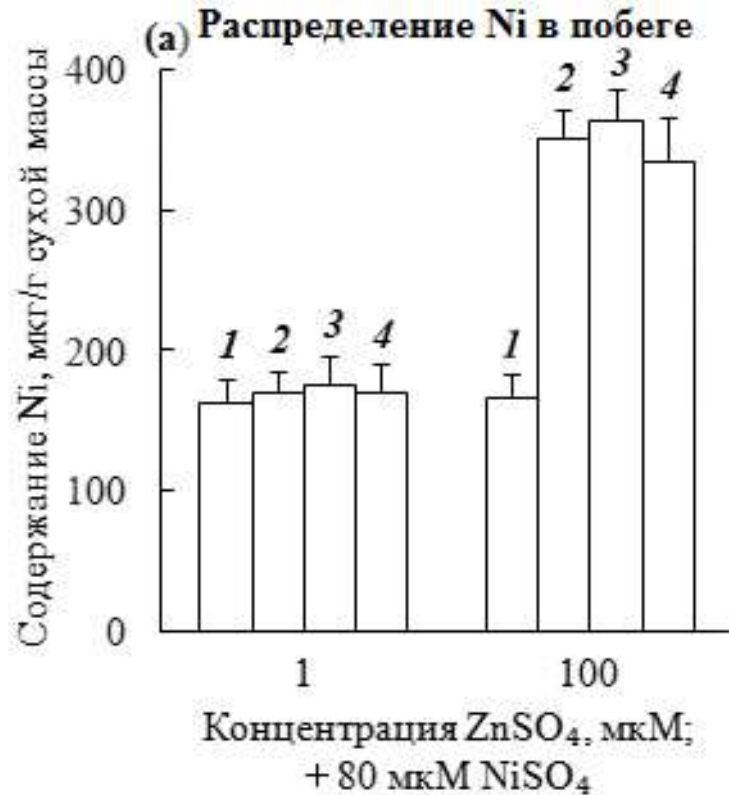


# Аккумуляция Zn в корнях и листьях

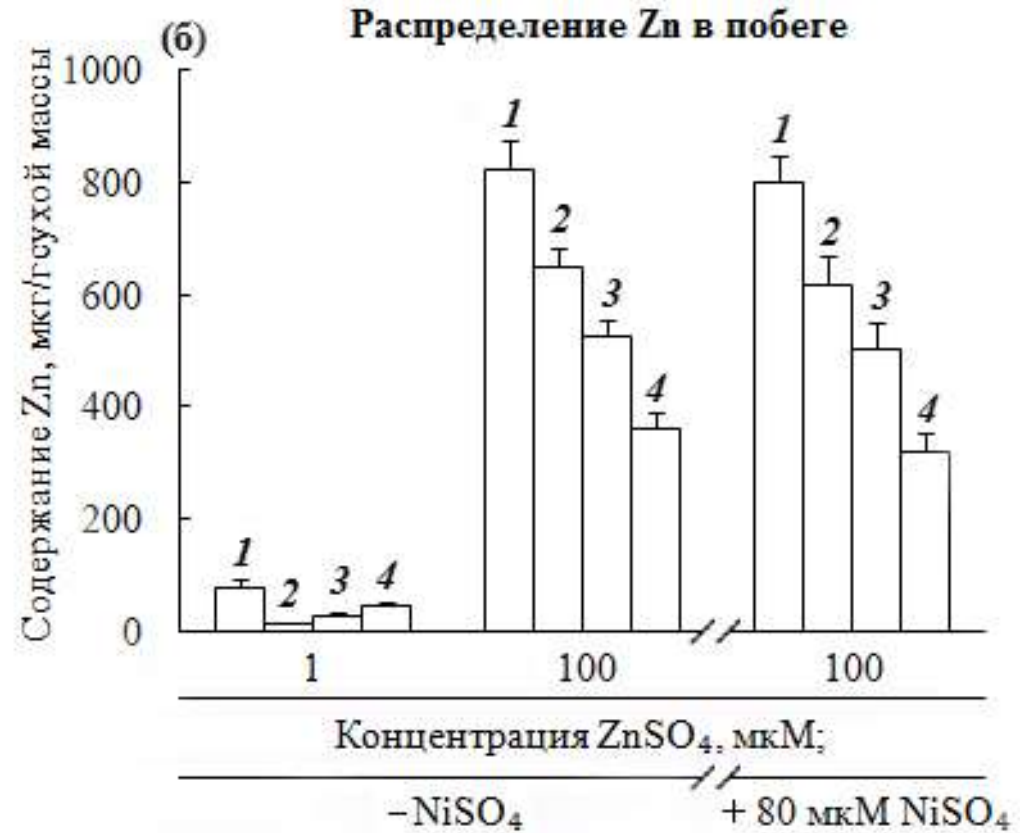




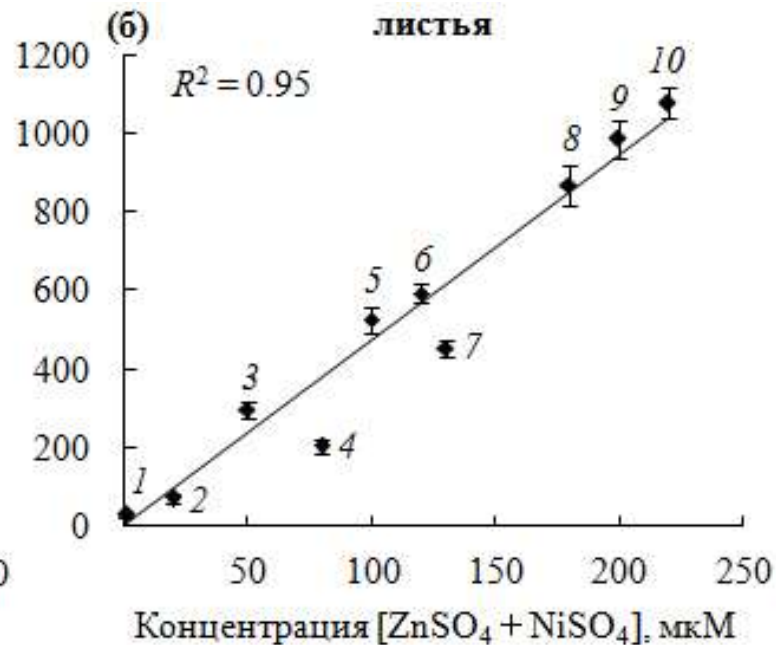
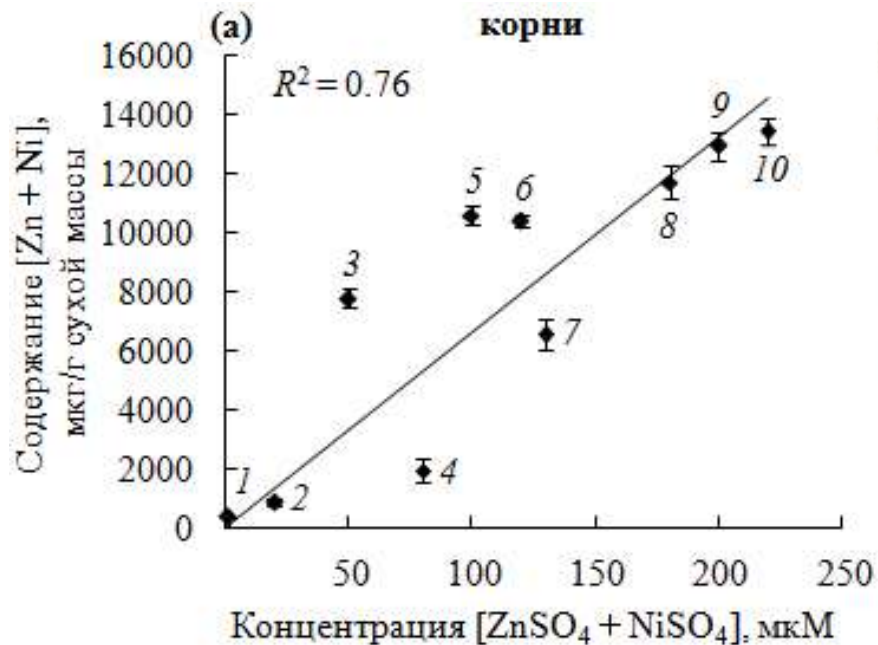
# Распределение Ni и Zn в побеге



- 1 – стебли,
- 2 – листья нижнего яруса,
- 3 – листья среднего яруса,
- 4 – листья верхнего яруса.



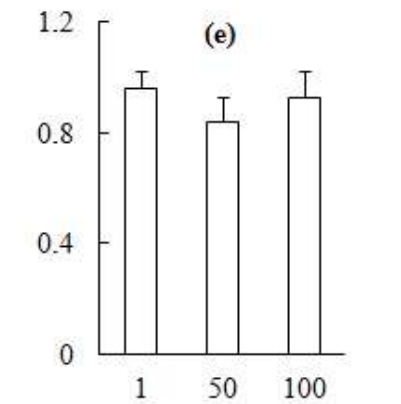
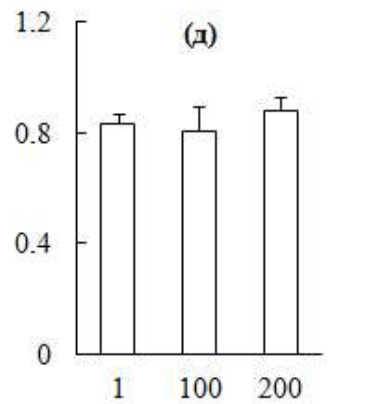
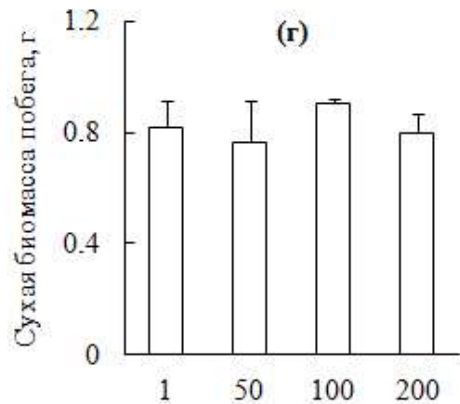
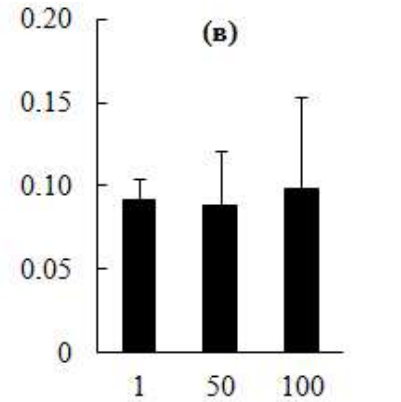
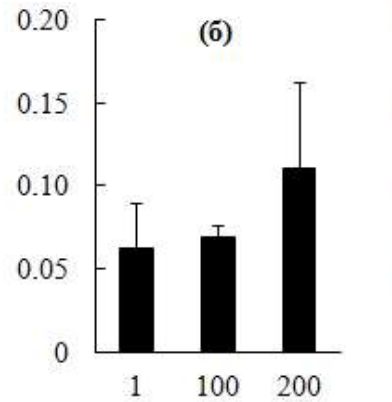
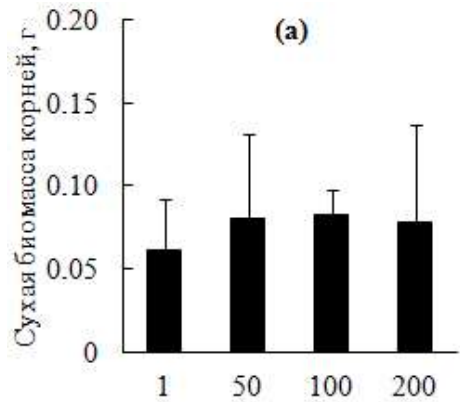
Графики корреляций между суммарной концентрацией  $ZnSO_4$  и  $NiSO_4$  в культуральной среде и суммарной аккумуляцией  $Zn$  и  $Ni$  в корнях и листьях



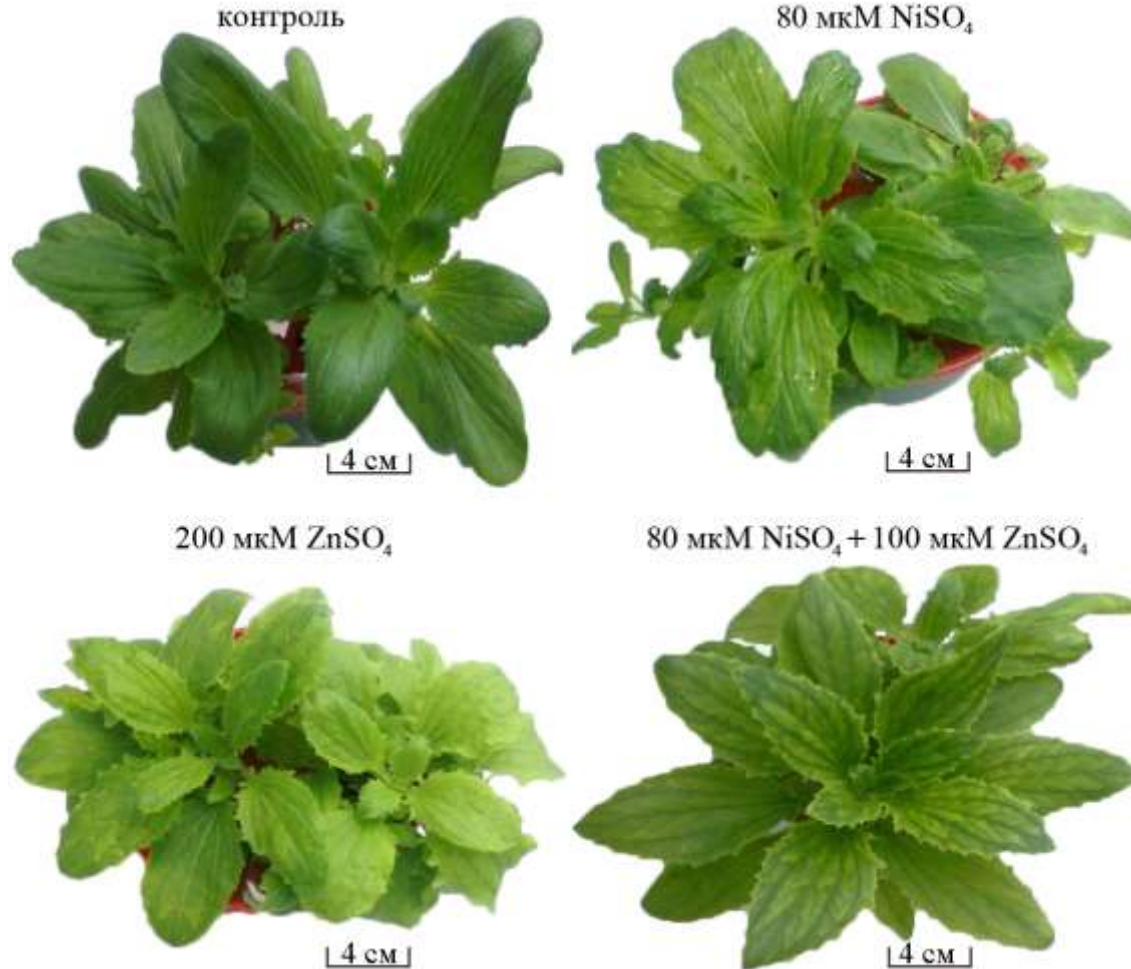
- 1 – контроль, 6 – 20 мкМ  $NiSO_4$  + 100 мкМ  $ZnSO_4$ ,  
 2 – 20 мкМ  $NiSO_4$ , 7 – 80 мкМ  $NiSO_4$  + 50 мкМ  $ZnSO_4$ ,  
 3 – 50 мкМ  $ZnSO_4$ , 8 – 80 мкМ  $NiSO_4$  + 100 мкМ  $ZnSO_4$ ,  
 4 – 80 мкМ  $NiSO_4$ , 9 – 200 мкМ  $ZnSO_4$ ,  
 5 – 100 мкМ  $ZnSO_4$ , 10 – 20 мкМ  $NiSO_4$  + 200 мкМ  $ZnSO_4$ .



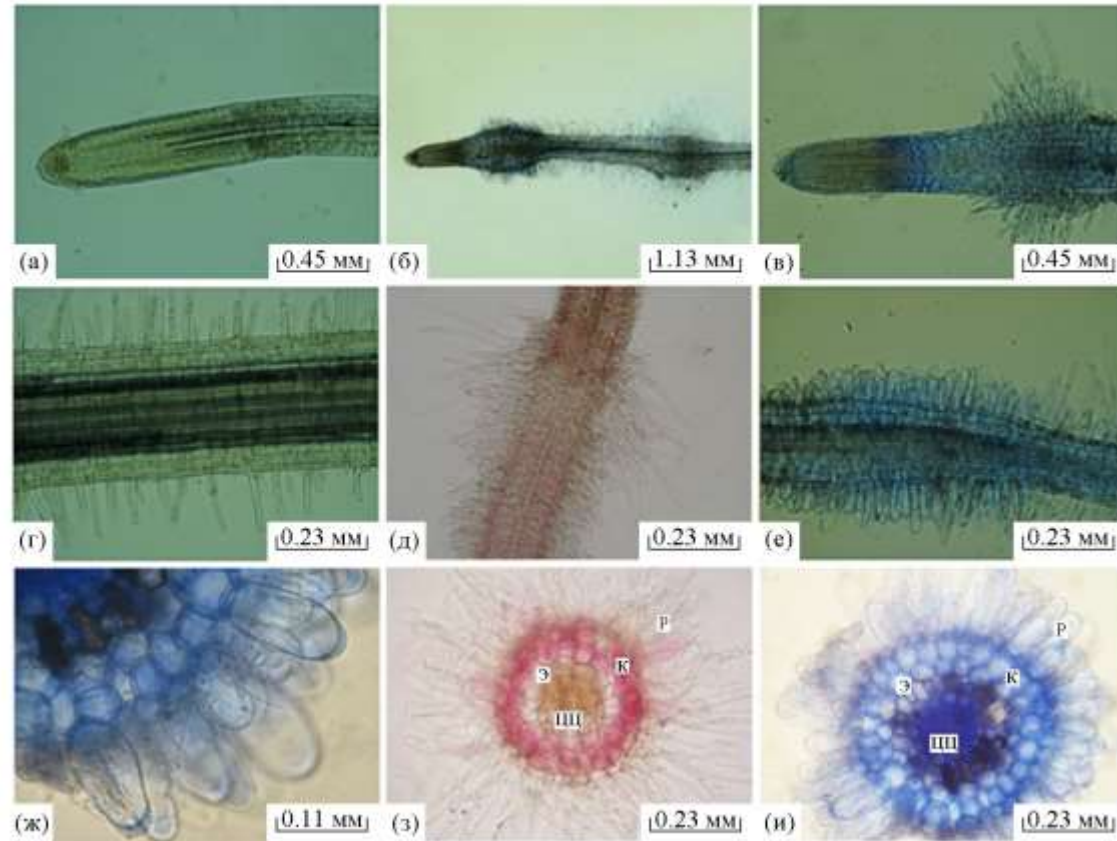
# Сухая биомасса корней и побегов



# Визуальные симптомы токсического действия Zn и Ni и их взаимодействий в растении



# Морфология корня, корневых волосков и распределение Ni и Zn по тканям корня в зоне корневых волосков

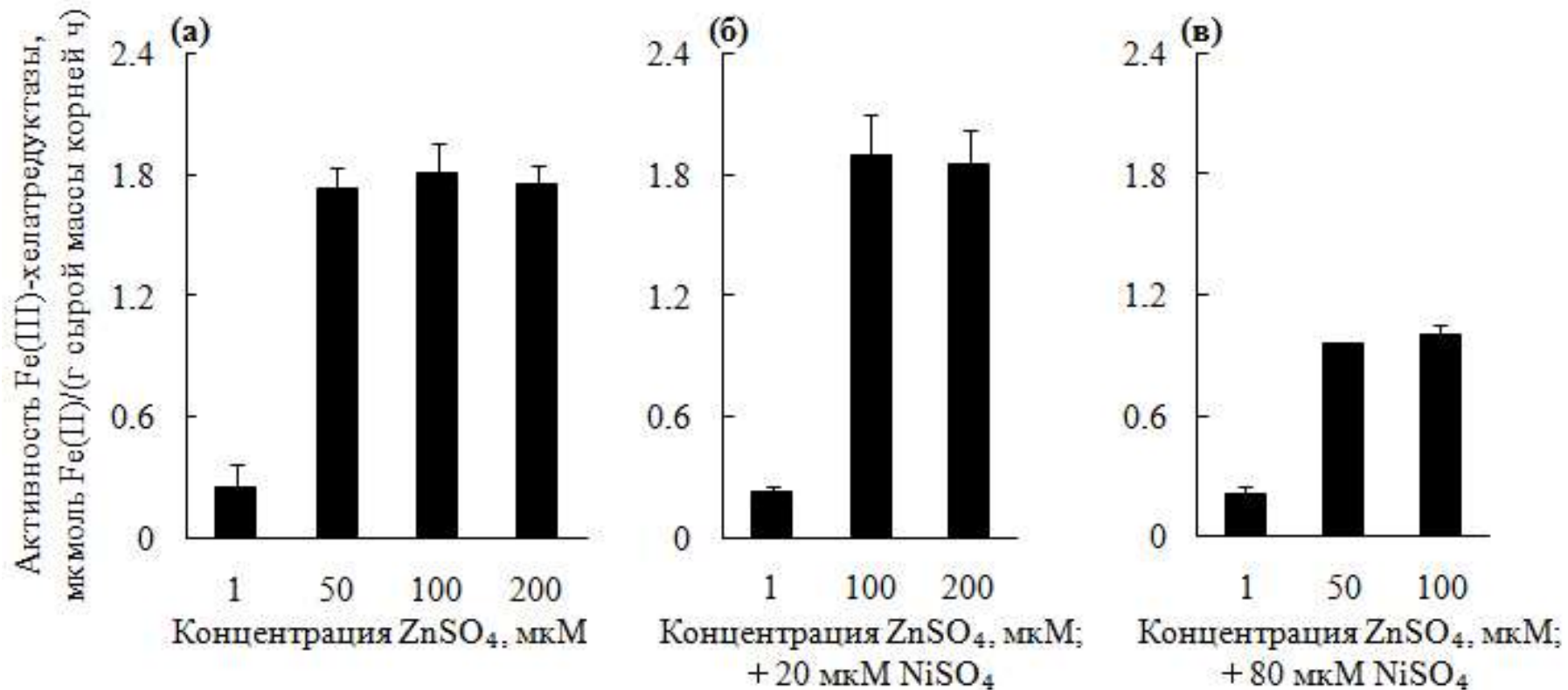


*a, г – контроль; б, в, е, ж, и – 50 мкМ ZnSO<sub>4</sub> (цинкон); д, з – 80 мкМ NiSO<sub>4</sub> (диметилглиоксим).  
На (з) и (и): Р – ризодерма, К – кора, Э – эндодерма, ЦЦ – центральный цилиндр.*

# Содержание Fe в корнях

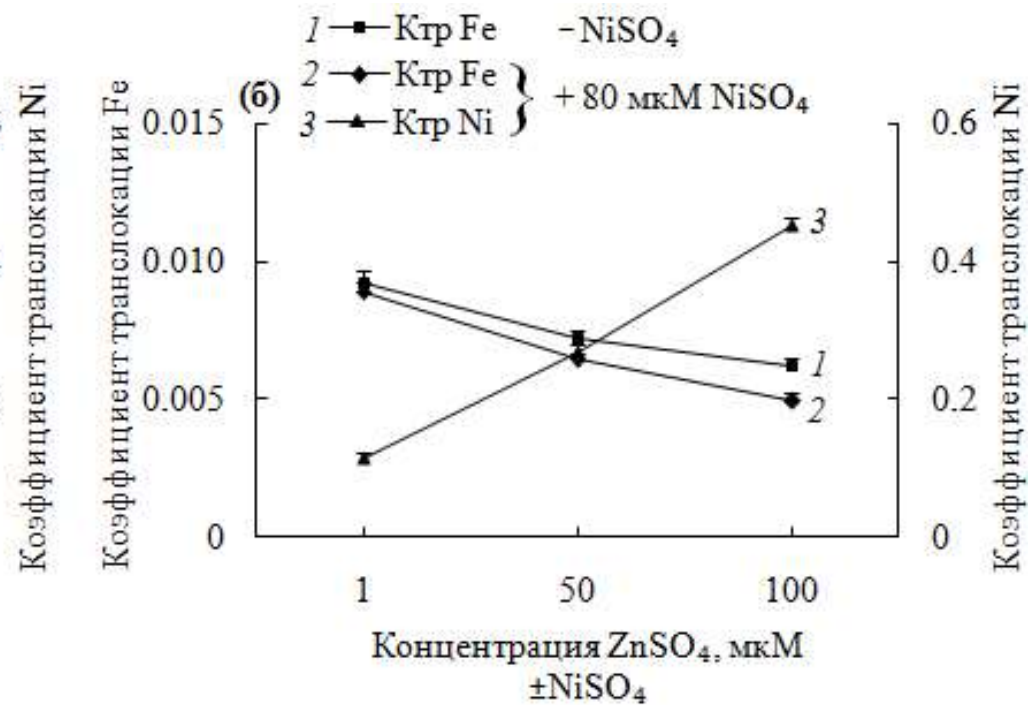
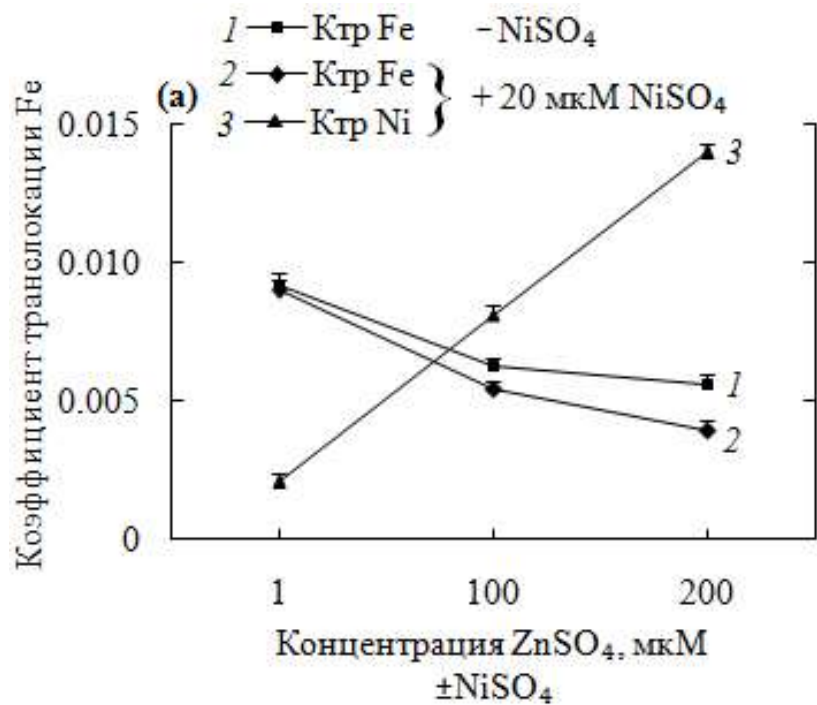
Вариант	Содержание Fe, мкг/г сухой массы	Вариант	Содержание Fe, мкг/г сухой массы
Контроль	9603 ± 480	80 мкМ NiSO <sub>4</sub>	9290 ± 465
50 мкМ ZnSO <sub>4</sub>	9610 ± 384	20 мкМ NiSO <sub>4</sub> + 100 мкМ ZnSO <sub>4</sub>	9433 ± 283
100 мкМ ZnSO <sub>4</sub>	8732 ± 699	20 мкМ NiSO <sub>4</sub> + 200 мкМ ZnSO <sub>4</sub>	9390 ± 470
200 мкМ ZnSO <sub>4</sub>	8541 ± 854	80 мкМ NiSO <sub>4</sub> + 50 мкМ ZnSO <sub>4</sub>	9766 ± 488
20 мкМ NiSO <sub>4</sub>	9423 ± 471	80 мкМ NiSO <sub>4</sub> + 100 мкМ ZnSO <sub>4</sub>	9317 ± 373

# Активность Fe(III)-хелатредуктазы в интактных корнях



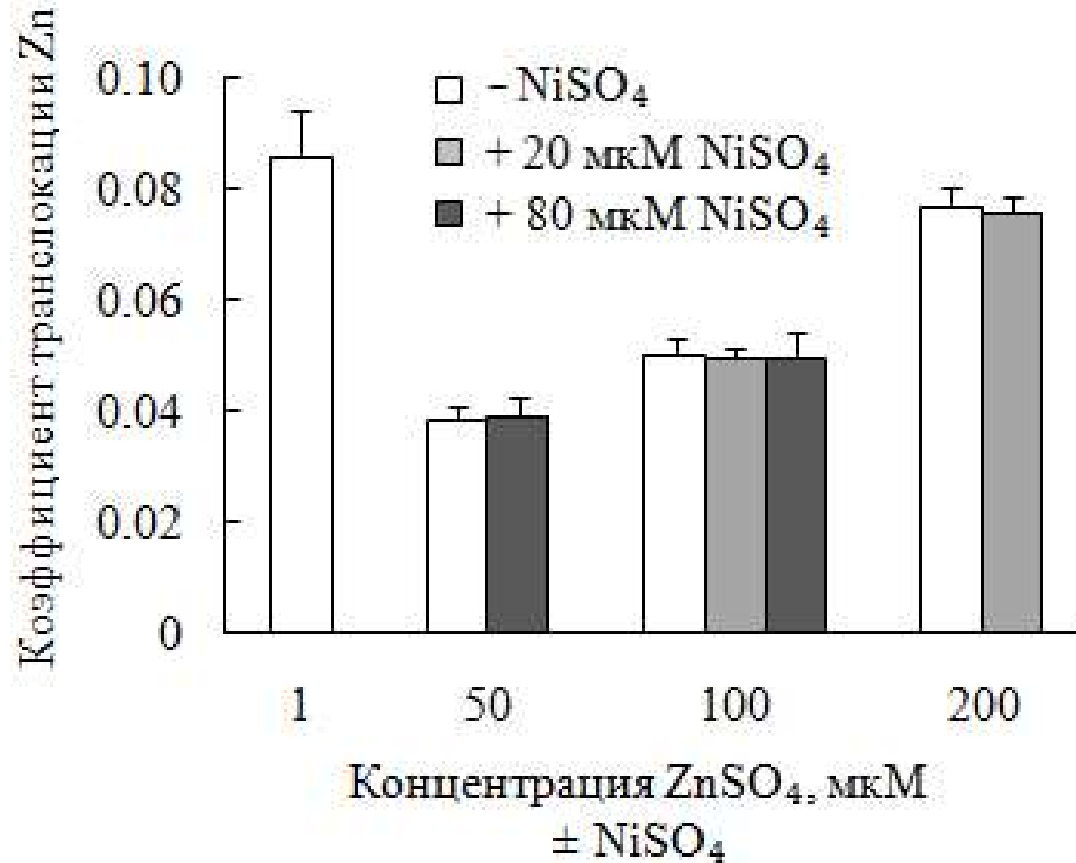


# Транслокация Fe и Ni

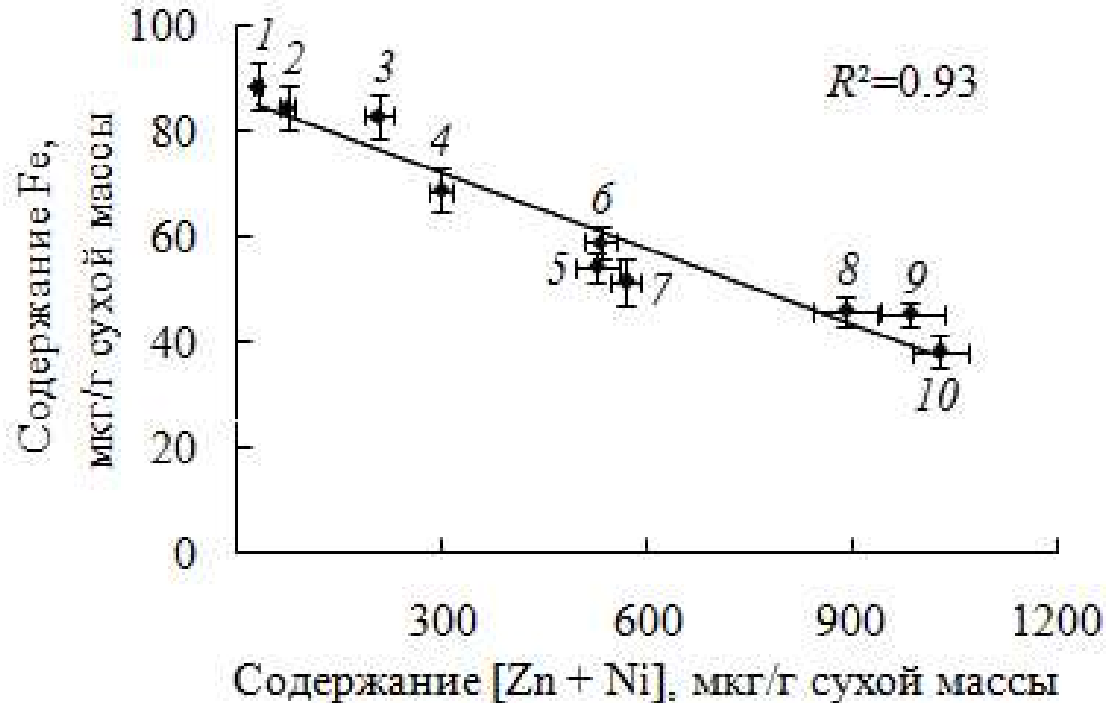




# Транслокация Zn

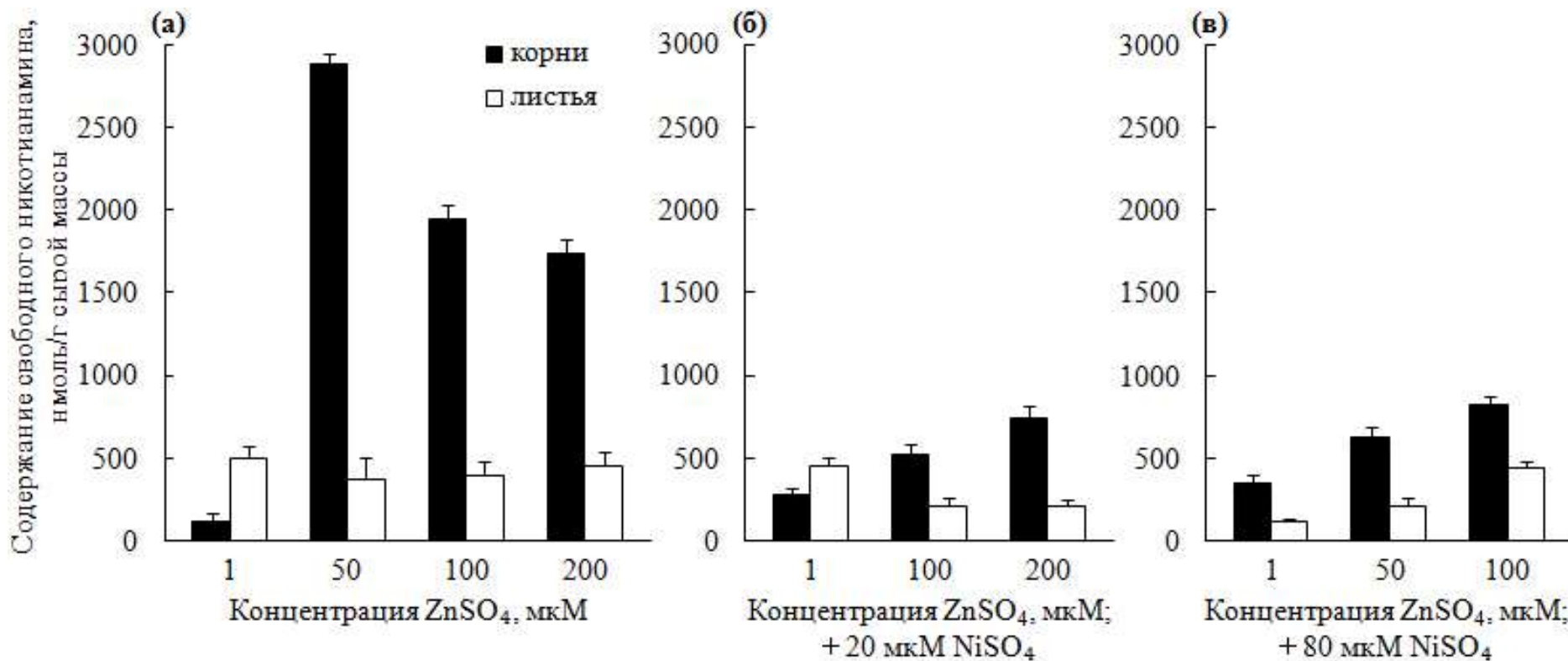


# Корреляция между содержанием Fe и суммарной аккумуляцией Zn и Ni в листьях



- 1 – контроль,
- 2 – 20 мкМ NiSO<sub>4</sub>,
- 3 – 80 мкМ NiSO<sub>4</sub>,
- 4 – 50 мкМ ZnSO<sub>4</sub>,
- 5 – 100 мкМ ZnSO<sub>4</sub>,
- 6 – 80 мкМ NiSO<sub>4</sub> + 50 мкМ ZnSO<sub>4</sub>,
- 7 – 20 мкМ NiSO<sub>4</sub> + 100 мкМ ZnSO<sub>4</sub>,
- 8 – 80 мкМ NiSO<sub>4</sub> + 100 мкМ ZnSO<sub>4</sub>,
- 9 – 200 мкМ ZnSO<sub>4</sub>,
- 10 – 20 мкМ NiSO<sub>4</sub> + 200 мкМ ZnSO<sub>4</sub>.

# Содержание свободного никотианамина в корнях и листьях



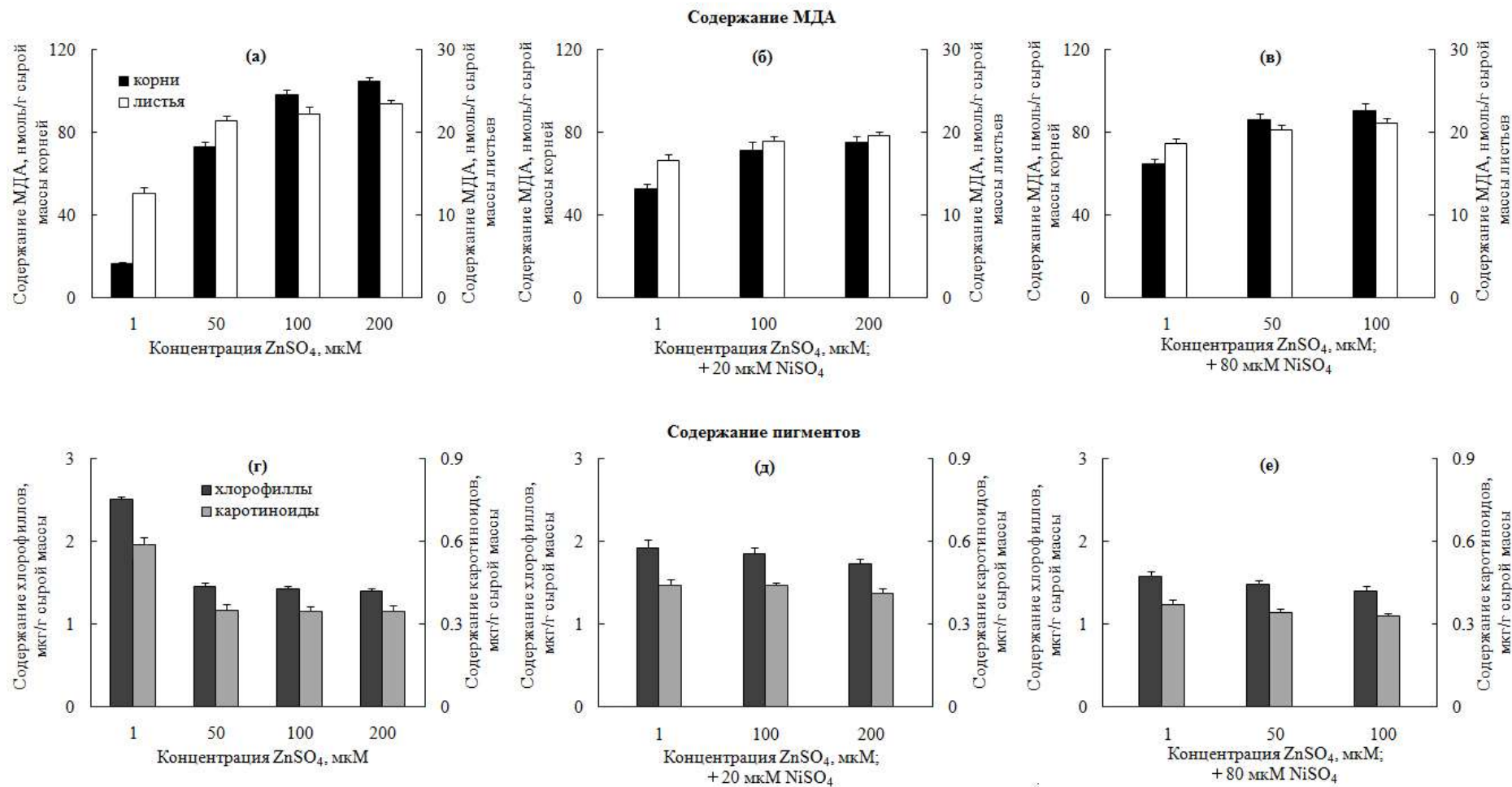
Константы устойчивости комплексов:

Ni–никотианамин  $\log K[\text{Ni–НА}]=16.1$

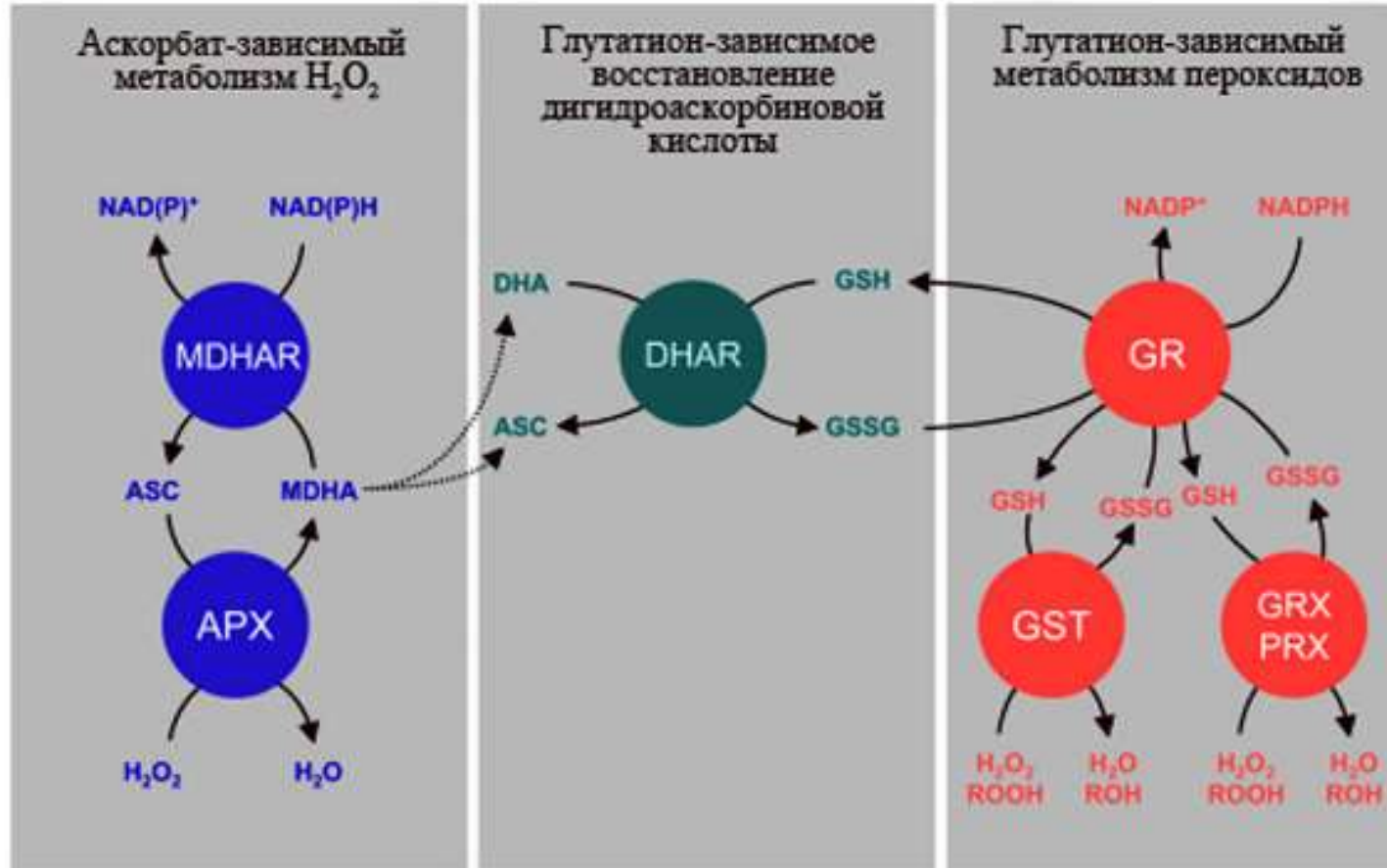
Ni–диметилглиоксим  $\log K[\text{Ni–ДГ}]=14.6$

Башмакова и др., *Физиология растений*, 2015, 62, 814–826.

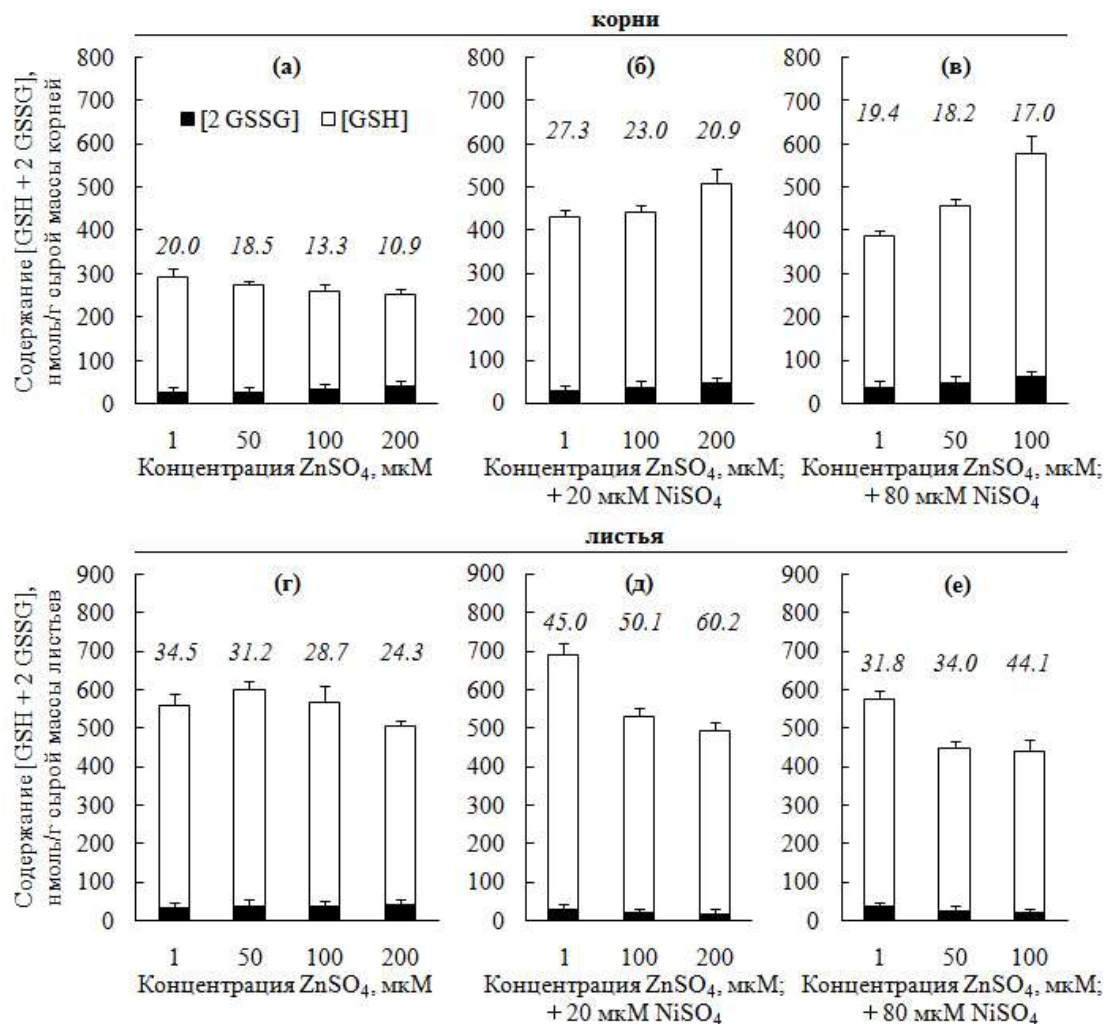
# Содержание малонового диальдегида (МДА) и фотосинтетических пигментов



# Роль глутатиона в метаболизме пероксидов

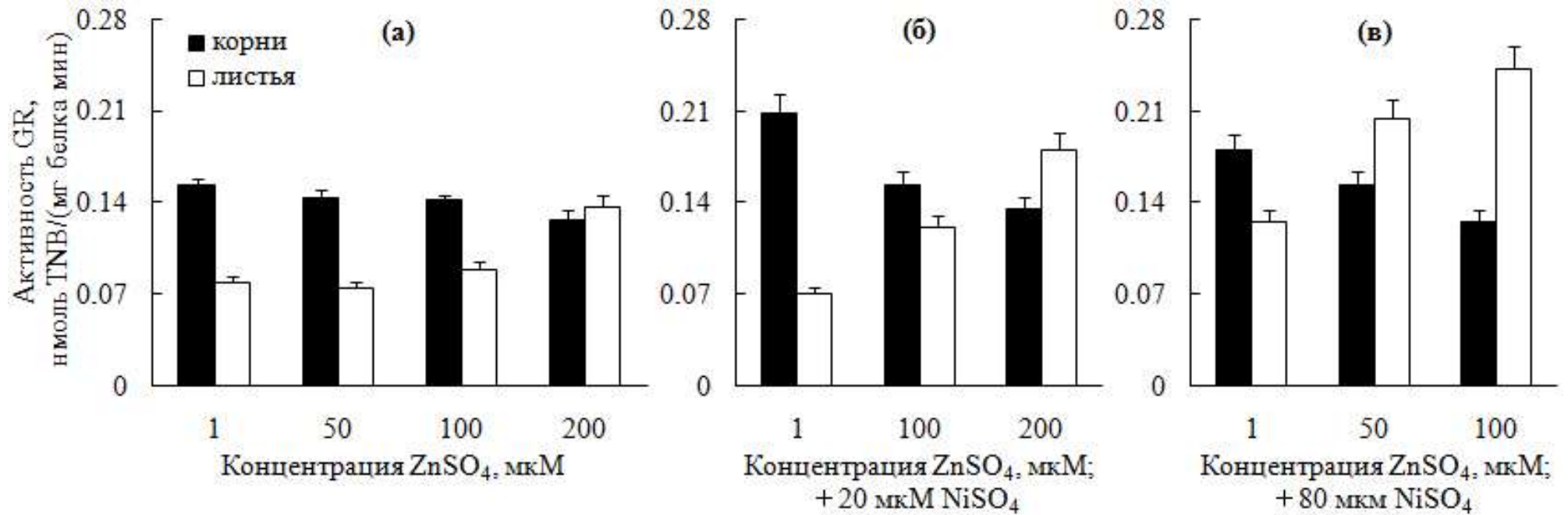


# Содержание и статус глутатиона в корнях и листьях

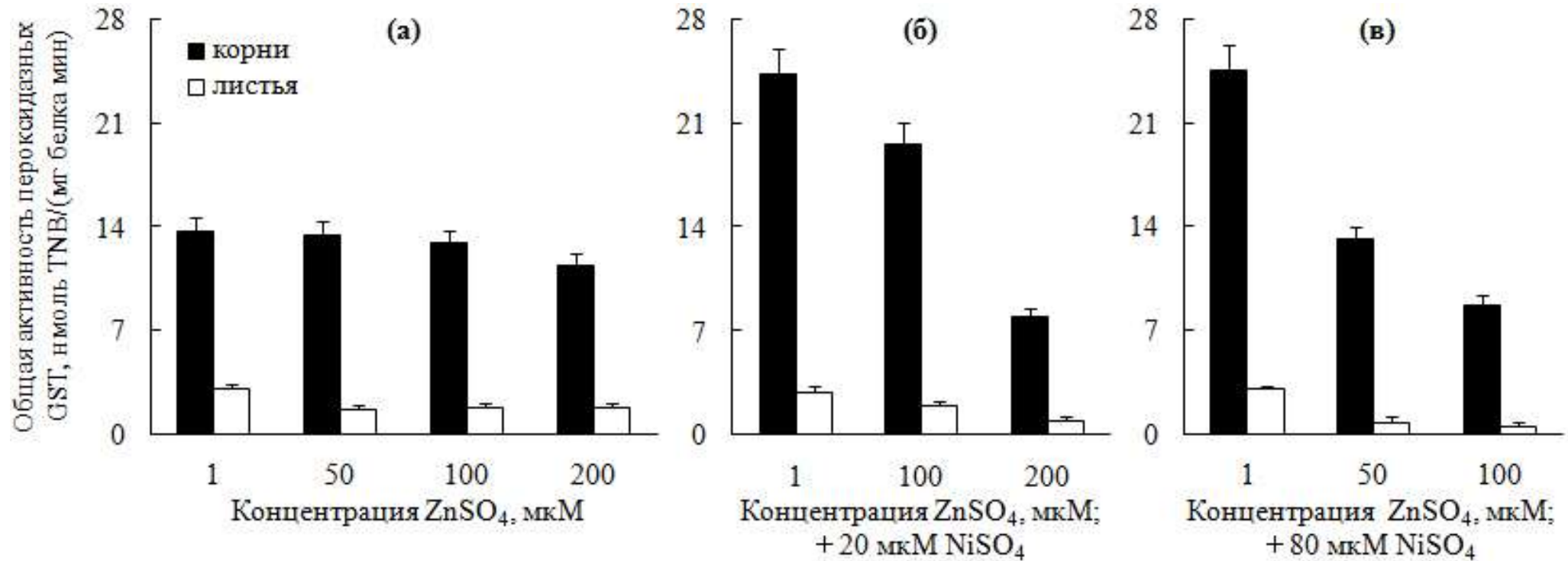




# Активность глутатион редуктазы (GR) в корнях и листьях



# Общая активность пероксидазных глутатион-S-трансфераз (GST) в корнях и листьях



*Благодарю за внимание*

