

УДК 504.45.054-034

## ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА НИКЕЛЯ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ

Е. Г. Крылова

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН  
Россия, 1525742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок  
E-mail: panova@ibiw.yaroslavl.ru*

Поступила в редакцию 12.04.09 г.

**Влияние сульфата никеля на прорастание семян водных растений.** – Крылова Е. Г. – Изучено влияние сульфата никеля на прорастание семян и начальные этапы развития проростков водных растений, относящихся к разным экологическим группам. У гелофитов нормальное развитие проростков наблюдалось при концентрациях 1 – 25 мг/л, при концентрациях 50 и 100 мг/л проявлялись признаки некроза и изменений процессов фотосинтеза. У гигрофитов выявлено полное отсутствие прорастания при концентрациях 25 – 500 мг/л.

*Ключевые слова:* сульфат никеля, водные растения, прорастание семян, развитие проростков.

**Nickel sulfate effect on seed germination of aquatic plants.** – Krylova Ye. G. – The effect of nickel sulfate on seed germination and initial stages of growth of some aquatic plant seedlings belonging to several ecological groups was studied. A regular growth of helophyte seedlings was observed at concentrations within 1 – 25 mg/l; at concentrations of 50 and 100 mg/l, necrosis signs and changes in photosynthesis were marked. No seedlings of hygrophytes emerged at concentrations within 25 – 500 mg/l.

*Key words:* nickel sulfate, aquatic plants, helophyte seedlings.

Многие тяжелые металлы (ТМ) при концентрациях, превышающих физиологические потребности растений, проявляют токсические свойства, поэтому рассматриваются как стрессовый фактор (Косицин, Алексеева-Попова, 1983; Малева и др., 2004). Уровень устойчивости при нарастающем действии стрессора зависит от видовых особенностей растений, а также от режима воздействия (Таланова и др., 2001). Многие устойчивые популяции отличаются усиленным поглощением ТМ. В основе устойчивости к действию ТМ лежит совокупность клеточно-молекулярных механизмов, поддерживающих гомеостаз и целостность клетки, организма и популяции в условиях токсического действия ТМ (Устойчивость к тяжелым металлам..., 1991; Bergmann, 1992).

Никель является одним из основных компонентов загрязнения окружающей среды ТМ. ПДК никеля в воде 0.1 мг/л. Имеются сообщения о стимуляции прорастания семян низкими концентрациями (от 0 до  $5 \times 10^{-5}$  М), но для большинства растений он токсичен. Никель легко поглощается и довольно свободно перемещается в растениях. Высокие дозы его вызывают угнетение роста и продуктивности, подавляют интенсивность фотосинтеза, вызывают хлорозы и некрозы на листьях, побурение и торможение роста главного корня и образование корней первого и второго порядков, они ингибируют деление и растяжение клеток корневой системы проростков (Серегин и др., 2003).

## ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА НИКЕЛЯ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН

Цель работы – изучить влияние сульфата никеля на прорастание семян и начальные этапы развития проростков водных растений разных экологических групп.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследовано влияние растворов  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  на прорастание семян поручейника широколистного (*Sium latifolium* L.), частухи подорожниковой (*Alisma plantago-aquatica* L.), сусака зонтичного (*Butomus umbellatus* L.) – гелофитов, обычных в прибрежной зоне и на влажных берегах, и камыша лесного (*Scirpus sylvaticus* L.) – гигрофита, встречающегося по берегам водоемов, на заболоченных лугах, а также в пионерных ценозах (Лисицина и др., 1993).

Семена собирали в августе – сентябре, затем, после холодной влажной стратификации в течение 4 – 5 месяцев, их проращивали в люминостате в чашках Петри при температуре 20–25°C на фильтровальной бумаге, смоченной растворами  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  в разных концентрациях (Героновский и др., 1974). Повторность опытов трехкратная, освещенность 3200 лк, фотопериод 9/15. Контроль – дистиллированная вода. Длительность экспериментов 15 дней. Определяли конечное прорастание – процент проросших семян в конце эксперимента, и проводили наблюдения за развитием проростков. За нормальное развитие мы принимали состояние проростков, их листьев и корней, свойственное конкретным видам, без каких-либо повреждений и нарушений окраски. Результаты по прорастанию семян были обработаны с использованием программы «Статистика 6.0».

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Семена поручейника широколистного прорастали неравномерно. Процент конечного прорастания был близок к контролю в растворах с концентрациями 1, 25 и 50 мг/л, в половину ниже – с концентрацией 100 мг/л и совсем низким – в остальных вариантах. Наблюдаемые закономерности статистически достоверны (рисунок). При дальнейшем развитии проростки в контроле, вариантах с концентрациями 1 и 10 мг/л зазеленели, в варианте с концентрацией 25 мг/л отстали в развитии, в вариантах с концентрациями 50 и 100 мг/л наблюдалось только проклевывание корешком зародыша покровов семени. В середине эксперимента (по времени) в контроле и вариантах с концентрациями 1 – 25 мг/л шло нормальное развитие проростков, появились семядольные листья, в варианте с концентрацией 50 мг/л проростки зазеленели, но семядольных листьев не образовали, в остальных вариантах проростки начали отмирать (табл. 1).

Семена частухи подорожниковой начали прорастать одновременно почти во всех вариантах. Конечное прорастание было наибольшим в растворах с концентрациями 1 и 10 мг/л, высоким в растворах с концентрациями 25 – 250 мг/л. Наблюдаемые закономерности статистически достоверны (рисунок). Проростки зазеленели быстро как в контроле, так и в вариантах с концентрациями 1 – 100 мг/л. Длина их в это время была разная – в контроле, в вариантах с концентрациями 1 и 10 мг/л – до 7 мм, в вариантах с концентрациями 25 – 100 мг/л – до 3 мм. В остальных растворах наблюдалось только проклевывание корешком зародыша по-

кровов семени. В вариантах с концентрациями 1 – 25 мг/л при появлении семядольных листьев сразу проявились небольшие изменения в их окраске, сопровождающиеся разрушением хлорофилла. В варианте с концентрацией 100 мг/л проростки зазеленели, но семядольных листьев не образовали, некоторые семена образовали только корешок. В вариантах с концентрациями 250 и 500 мг/л семена проросли, но дальнейшего развития не наблюдалось. Отмирание проростков началось раньше в вариантах с концентрациями 100 – 500 мг/л, позже в вариантах с концентрациями 25 и 50 мг/л. В варианте с концентрацией 10 мг/л отмирали кончики корней. Нормальное развитие наблюдали только в контроле и варианте с концентрацией 1 мг/л (см. табл. 1).

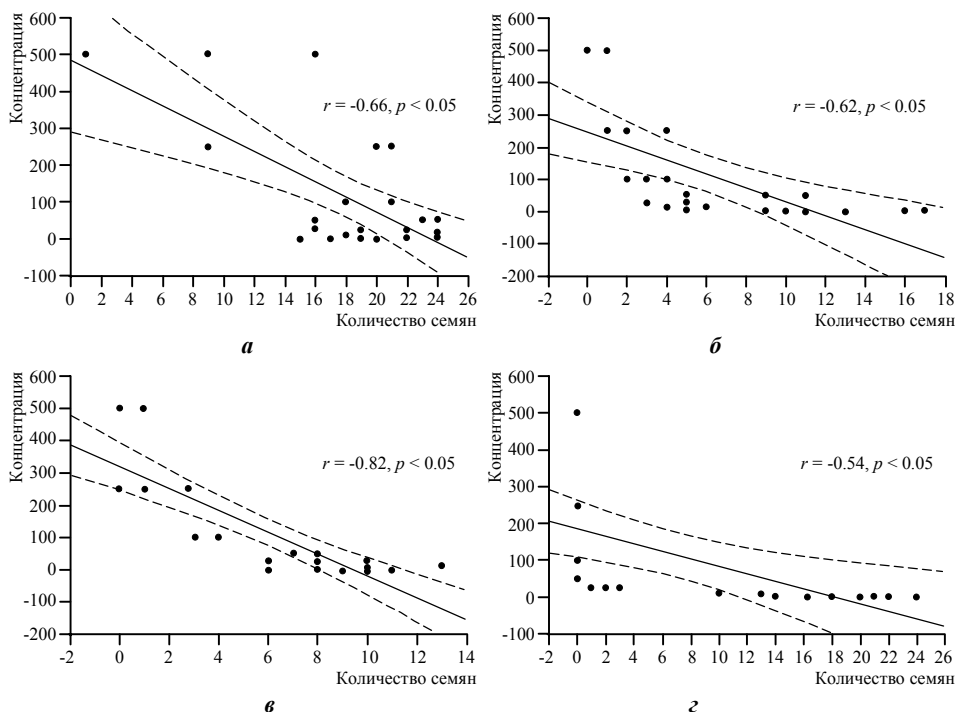
**Таблица 1**

Основные показатели прорастания семян и развития проростков гелофитов  
(среднее для трёх повторностей)

Содержание металла, мг/л	Конечное прорастание семян, %	Проклевывание корешком зародыша покровов семени, дни	Позеленение семядолей, дни	Появление семядольных листьев, дни	Отмирание листьев и корней, дни
<b>Поручейник широколистный</b>					
Контроль	33.0	3	5	8	Нет
1	36.0	3	5	8	То же
10	44.0	2	5	8	«
25	32.0	2	7	9	«
50	29.0	2	8	Нет	«
100	13.2	5	Нет	То же	8
250	1.2	8	То же	«	8
500	1.2	8	«	«	8
<b>Частуха подорожниковая</b>					
Контроль	65.2	2	3	4	Нет
1	84.0	2	3	4	То же
10	85.2	2	3	6	12
25	76.0	2	3	6	9
50	81.0	2	3	8	9
100	76.0	2	3	Нет	7
250	66.8	3	Нет	То же	6
500	34.8	3	То же	«	6
<b>Сусак зонтичный</b>					
Контроль	45.2	2	3	6	Нет
1	56.0	2	3	6	То же
10	20.0	2	9	Нет	«
25	14.8	3	9	То же	12
50	33.2	2	Нет	«	8
100	12.0	2	То же	«	8
250	9.2	2	«	«	6
500	2.6	3	«	«	6

## ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА НИКЕЛЯ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН

Семена сусака зонтичного начали прорастать одновременно во всех вариантах. Проростки в контроле и варианте с концентрацией 1 мг/л стали зеленеть быстро, при этом в них и в вариантах с концентрациями 10 – 50 мг/л продолжалось активное прорастание семян. В вариантах с концентрациями 100 – 500 мг/л наблюдалось лишь единичное проклевывание корешком зародыша покровов семени. В контроле и варианте с концентрацией 1 мг/л у проростков развивались нормальные корни, шло активное появление семядольных листьев. В вариантах с концентрациями 10 – 50 мг/л проростки не зазеленели, корней не образовали. К концу эксперимента в вариантах с концентрациями 50 – 500 мг/л проростки начали отмирать (см. табл. 1). При этом конечное прорастание было высоким в контроле и в растворах с концентрациями 1 и 50 мг/л. Наблюдаемые закономерности для конечного прорастания семян статистически достоверны (см. рисунок).



Зависимость количества проросших семян частухи подорожниковой (*a*), сусака зонтичного (*б*), поручейника широколистного (*в*) и камыша лесного (*з*) от концентрации никеля

Таким образом, у гелофитов влияние растворов соли никеля проявилось поразному. Самое высокое конечное прорастание отмечено у частухи. Оно увеличивалось в растворах с концентрациями 1 и 10 мг/л, в остальных вариантах постепенно снижалось. Подобная закономерность характерна и для поручейника, при этом в растворах с концентрациями 250 и 500 мг/л семена совсем не проросли.

Для сусака наблюдалось высокое прорастание в контроле, повышение его в растворе с концентрацией 1 мг/л, снижение при дальнейшем повышении концентрации раствора и резкое повышение в растворе с концентрацией 50 мг/л как реакция на стресс. В дальнейшем происходило резкое угнетение прорастания в растворах с концентрациями 250 и 500 мг/л. Возможно, такая реакция сусака связана с маленькими размерами семян, по сравнению с семенами других исследованных видов, что сделало их более доступными влиянию раствора сульфата никеля. Нормальное развитие проростков наблюдалось для всех указанных видов в контроле и растворах с концентрациями 1, 10 и 25 мг/л, в растворе с концентрацией 50 мг/л и у некоторых 100 мг/л проявлялись признаки некроза и разрушения хлорофилла в листьях – изменение интенсивности окраски и пятна.

Семена камыша лесного начали прорастать одновременно в контроле и вариантах с концентрациями 1 – 25 мг/л и единично в варианте с концентрацией 50 мг/л (табл. 2). В вариантах с концентрациями 50 – 500 мг/л семена не прорастали. Наблюдаемые закономерности для конечного прорастания семян статистически достоверны (см. рисунок).

В дальнейшем в контроле и вариантах с концентрациями 1 – 10 мг/л семена продолжали активно прорастать и начали зеленеть проростки, затем появились семядольные листья, хорошо были развиты корни. Однако по размерам растения в вариантах с концентрациями 1 – 10 мг/л были меньше контрольных. В варианте с концентрацией 25 мг/л после проклевывания дальнейшего развития не наблюдалось. К концу эксперимента в варианте с концентрацией 10 мг/л проростки сначала бледнели, у них стали отмирать кончики корней, а затем погибли. Нормальное развитие продолжалось только в контроле и варианте с концентрацией 1 мг/л, у них же было высоким и конечное прорастание (см. табл. 2).

**Таблица 2**

Основные показатели прорастания семян и развития проростков гидрофита  
(среднее для трёх повторностей)

Содержание металла, мг/л	Конечное прорастание семян, %	Проклевывание корешком зародыша покровов семени, дни	Позеленение семядолей, дни	Появление семядольных листьев, дни	Отмирание листьев и корней, дни
Камыш лесной					
Контроль	82.8	5	6	8	Нет
1	76.0	5	6	8	То же
10	48.0	5	6	8	13
25	8.0	6	Нет	Нет	8
50	0	Нет	То же	То же	–
100	0	То же	«	«	–
250	0	«	«	«	–
500	0	«	«	«	–

У гидрофита наблюдается резкое снижение конечного прорастания с концентрации 1 мг/л и отсутствие прорастания в растворах с концентрациями 25 – 500

## ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА НИКЕЛЯ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН

мг/л. При этом показатели для камыша лесного в контроле и вариантах с концентрациями 1 – 25 мг/л были близки по значению. Нормальное же развитие проростков было лишь в контроле и варианте с концентрацией 1 мг/л. Проростки были с семядольными листьями и нормально развитыми корнями. В варианте с концентрацией 10 мг/л шло разрушение хлорофилла в листьях, сопровождающееся изменением их окраски, и постепенно отмирала корневая система.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. У гелофитов влияние растворов соли никеля проявляется по-разному. Нормальное развитие проростков наблюдалось в контроле и растворах с концентрациями 1 – 25 мг/л, в растворах с концентрациями 50 и 100 мг/л проявлялись признаки некроза и разрушения хлорофилла в листьях.

2. У гигрофита наблюдалось усиление прорастания в варианте с концентрацией 1 мг/л, резкое снижение его в варианте с концентрацией 10 мг/л и отсутствие прорастания в растворах с концентрациями 25 – 500 мг/л.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Героновский И. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф.* Краткий справочник по химии. 4-е изд. Киев : Наук. думка, 1974. 992 с.

*Косицин А. В., Алексеева-Попова Н. В.* Растения в экстремальных условиях минерального питания. Эколого-физиологические исследования. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1983. С. 5 – 10.

*Лисицина Л. И., Папченко В. Г., Артеменко В. И.* Флора водоемов волжского бассейна. Определитель цветковых растений. СПб. : Гидрометеиздат, 1993. 220 с.

*Малева М. Г., Некрасова Г. Ф., Безель В. С.* Реакция гидрофитов на загрязнение среды тяжелыми металлами // Экология. 2004. № 4. С. 266 – 272.

*Серегин И. В., Кожеевникова А. Д., Казюмина Е. М., Иванов В. Б.* Токсическое действие и распределение никеля в корнях кукурузы // Физиология растений. 2003. Т. 50, № 5. С. 793 – 800.

*Таланова В. В., Титов А. Ф., Боева Н. П.* Влияние возрастающих концентраций тяжелых металлов на рост проростков ячменя и пшеницы // Физиология растений. 2001. Т. 48, № 1. С. 119 – 123.

Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов / под ред. Н. В. Алексеевой-Поповой. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1991. 214 с.

*Bergmann W.* Nutritional disorders of plants-development, visual and analytical diagnosis. Heidelberg : G. Fisher, 1992. P. 106 – 108.