

**КРЫЛОВА Елена Геннадьевна***Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН**адрес: 152742, Ярославская область, Некоузский район, пос. Борок; e-mail: panova@ibiw.yaroslavl.ru***ЛАПИРОВ Александр Григорьевич***Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН**адрес: 152742, Ярославская область, Некоузский район, пос. Борок; e-mail: lapir@ibiw.yaroslavl.ru***БЕРДНИК Ксения Александровна***Санкт-Петербургский государственный университет**адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. д. 7–9; e-mail: ksyusha-berdник@yandex.ru*

### **УСТОЙЧИВОСТЬ НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПОВ ОНТОГЕНЕЗА *VIDENS CERNUA* (ASTERACEAE) К ДЕЙСТВИЮ АЦЕТАТОВ НИКЕЛЯ И МЕДИ**

Некоторые тяжелые металлы, в т. ч. никель и медь, в микродозах жизненно необходимы, однако если концентрация их доступных форм превышает определенные пределы, они оказывают отрицательное влияние на развитие растений. Ответная реакция растений при их действии на наиболее важные и уязвимые начальные этапы онтогенеза представляет особый интерес. В статье приведены результаты изучения влияния ацетатов никеля и меди в концентрациях 1–1000 мг/л на прорастание семян и начальные этапы развития проростков гигрофита *Bidens cernua*. В ходе эксперимента мы доказали устойчивость прорастания семян к действию изученных солей, т. к. они не вызывали полного угнетения процесса прорастания и предела токсичности для них не выявлено. Определили пороговые концентрации, при которых начинает проявляться токсическое действие исследованных солей: для ацетата никеля – 25 мг/л, для ацетата меди – 50 мг/л. При высоких концентрациях (500–1000 мг/л) ацетат меди токсичнее ацетата никеля, о чем свидетельствуют значительное уменьшение лабораторной всхожести и изменения в характере прорастания. После проклеивания корешком покровов семян, развитие проростков наблюдалось в растворах с концентрациями 1–25 мг/л ацетата никеля и 1–100 мг/л ацетата меди. При этом угнетение онтогенетического развития растений происходило при более низких концентрациях ацетата никеля (10–25 мг/л), чем ацетата меди (50–100 мг/л). Между тем оба металла угнетали развитие главного корня, достоверно уменьшали размеры придаточных корней и гипокотили, вызывали изменение окраски семядолей. Снижение содержания хлорофилла в листьях проявлялось в виде хлорозов. В целом рост надземной части оказался более устойчивым к действию ацетатов (особенно ацетата меди) по сравнению с ростом главного корня.

**Ключевые слова:** *Bidens cernua*, ацетат никеля, ацетат меди, прорастание семян, развитие проростков.

Изучению влияния тяжелых металлов (ТМ) на водные организмы в последнее время уделяется большое внимание. Однако работ, посвященных их действию на начальные этапы онтогенеза высших водных растений, крайне мало. Подобные исследования позволили бы выявить виды, которые можно рекомендовать к использованию в качестве тест-объектов. Ранее мы показали, что именно гигрофиты чувствительны к ТМ [1–3]. Ярво выраженная гигрофильность *Bidens cernua* L., сопряженная с приживанием проростков на хорошо увлажненном субстрате, в совокупности с высокой пластичностью репродуктивной сферы, связанной со способностью изменять число и размеры семян в соцветии, делает этот вид интересным в токсикологических исследованиях [4, 5]. Именно поэтому мы постоянно выбираем *Bidens cernua* в качестве объекта исследований [6–9].

В течение последних десятилетий медь и никель стали одними из самых опасных загрязнителей биоты [10, 11]. В то же время Cu и Ni – незаменимые микроэлементы для высших растений [12], которые являются токсичными для них в высоких концентрациях [13]. Хотя никель не играет такой существенной роли в метаболизме, как медь, но при его отсутствии некоторые растения не могут завершить свой жизненный цикл [13].

Имеются данные, указывающие на то, что степень окисления основного элемента аниона может влиять на токсичность солей ТМ. Ранее в экспериментах мы использовали неорганические соли ТМ (сульфаты и хлориды никеля и меди). Целью настоящей работы было выявление устойчивости начальных этапов онтогенеза *B. cernua* к действию органических солей (ацетатов никеля и меди) для определения их степени токсичности.

**Материалы и методы.** Семянки *B. cernua* собирали в окрестностях пос. Некоуз Ярославской области в сентябре 2013 года. Методика постановки эксперимента описана в [6]. В эксперименте использовали растворы  $Ni(CH_3COO)_2 \cdot 4H_2O$  и  $Cu(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$  в раз-

ных концентрациях (1, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 750 и 1000 мг/л). По окончании опыта брали по 30 проростков из 4 вариантов: контроль, 1, 10 и 25 мг/л – для ацетата никеля, и из 6 вариантов: контроль, 1, 10, 25, 50 и 100 – для ацетата меди, и измеряли у них морфометрические показатели. При этом все растения мы разделили на группы по признакам выделения онтогенетических состояний [14]: 1-я группа – растения с 2 зелеными семядольными листьями; 2-я – с 2 зелеными семядольными и 1 парой срединных ассимилирующих листьев; 3-я – с 2 зелеными семядольными и 2 парами срединных ассимилирующих листьев.

Данные представили в виде средних и их стандартных отклонений и обработали с применением *t*-критерия (критерия Стьюдента) при  $p > 0,05$ .

**Результаты и обсуждение.** Семянки в эксперименте с ацетатом никеля прорастали практически одновременно: лаг-время имело близкое значение во всех вариантах, что свидетельствует об их нормальном дозревании и способности к прорастанию (табл. 1).

Таблица 1

**ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРАСТАНИЯ  
СЕМЯНОК *BIDENS CERNUA*  
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ  
РАСТВОРОВ АЦЕТАТА НИКЕЛЯ**

Вариант опыта, мг/л	Лаг-время, сут	Период прорастания, сут	Лабораторная всхожесть, %
Контроль	2	5	95,6 ± 5,1
1	2	8	92,2 ± 8,4
10	2	7	77,8 ± 20,4
25	2	6	85,6 ± 3,8*
50	2	5	83,3 ± 3,3*
100	2	6	66,7 ± 6,7*
250	2	5	55,6 ± 1,9*
500	3	6	44,4 ± 8,4*
750	3	3	25,6 ± 18,4*
1000	3	4	35,6 ± 1,9*

Примечание: \* – различия с контролем значимы.

Увеличение периода прорастания наблюдали при низких концентрациях (1–10 мг/л), уменьшение – при высоких (750–1000 мг/л). Изменение длительности периода прорастания свидетельствует о влиянии ТМ на начальные этапы прорастания при набухании семян. При 25 мг/л и выше отмечали значимое уменьшение лабораторной всхожести по сравнению с контрольными значениями (уровень значимости 0,95). Выявленная закономерность показывает постепенное угнетение процесса прорастания при возрастании концентрации исследуемой соли.

Данные по динамике прорастания показали, что основная масса семян *V. cernua* в контрольном варианте и при концентрациях 1–50, 500–1000 мг/л проросла к 5-м суткам, при 100–250 мг/л – к 7-м. Однако при этом не отмечено различий в характере прорастания, а количество проросших семян оказалось наибольшим в контрольном варианте. Несмотря на изменения в некоторых показателях, предела токсичности ацетата никеля для прорастания семян *V. cernua* не выявлено. Ускорение прорастания при 25 и 50 мг/л, возможно, связано с активацией механизмов защиты и детоксикации ТМ [15].

При прорастании семян в опытных растворах ацетата меди лаг-время не отличалось от контрольных показателей (табл. 2).

Изменения продолжительности периода прорастания подобны выявленным при действии ацетата никеля. Однако значимое уменьшение лабораторной всхожести отмечали при более высоких концентрациях (100 мг/л и выше, уровень значимости 0,95).

И, хотя изменение динамики прорастания сходно, при концентрациях 250–1000 мг/л ацетата меди выявлены отличия от контрольного варианта в ее характере. При 1–10 мг/л отмечено превышение контрольных значений количества проросших семян. Наши данные подтверждают имеющиеся в литературе сведения о стимуляции прорастания семян низкими концентрациями ТМ [16]. Несмотря на изменения в некоторых показателях, предела токсич-

ности ацетата меди для прорастания семян *V. cernua* также не выявлено.

Результаты эксперимента позволяют предположить, что ацетат меди токсичнее ацетата никеля для прорастания семян исследованного вида при высоких концентрациях (500–1000 мг/л), о чем свидетельствуют значительное уменьшение лабораторной всхожести и изменения в характере прорастания. Экспериментально доказано, что полного угнетения прорастания семян изученного вида ацетаты никеля и меди в исследованных концентрациях не вызывают.

При сравнении действия ацетатов никеля и меди с хлоридами этих ТМ можно однозначно сделать вывод, что ацетаты токсичнее хлоридов. Хлорид никеля не вызывал значимого уменьшения лабораторной всхожести, а хлорид меди значимо уменьшал ее при концентрациях 100–1000 мг/л примерно в 2 раза (уровень значимости 0,95) [6]. Следует также отметить, что в обоих случаях соли меди токсичнее солей никеля. Медь, обладая средней степенью поглощения, вызывает нарушение мембранных барьеров клетки, что, возможно, служит при-

Таблица 2

### ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯНОК *VIDENS CERNUA* ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ РАСТВОРОВ АЦЕТАТА МЕДИ

Вариант опыта, мг/л	Лаг-время, сут	Период прорастания, сут	Лабораторная всхожесть, %
Контроль	2	5	95,6 ± 5,1
1	2	4	97,8 ± 3,8
10	2	4	97,8 ± 3,8
25	2	10	94,4 ± 5,1
50	2	6	87,8 ± 3,8*
100	2	7	86,7 ± 3,3*
250	2	6	52,2 ± 6,9*
500	2	3	41,1 ± 6,9*
750	2	3	16,7 ± 3,3*
1000	2	3	15,6 ± 1,9*

Примечание: \* – различия с контролем значимы.

чиной большего токсического эффекта по сравнению с никелем [17].

После проклеивания корешком покровов семян ткани и органы проростков вступают в непосредственный контакт с ТМ. При действии ацетата никеля развитие проростков *B. cernua* наблюдали при концентрациях 1–25 мг/л. В конце эксперимента в контрольном варианте отмечали 2 группы растений, из них 81 % принадлежал к 1-й группе и 19 % – ко 2-й. Зеленые семядольные листья появились на 3-и, а срединные – на 13-е сутки. Все растения имели хорошо развитый главный корень длиной до 50 мм и гипокотиль. У 70 % растений отмечали 2–3 придаточных корня длиной до 14 мм (табл. 3).

(1 мг/л), возможно, связан с активацией клеточного деления и увеличением размеров клеток. При концентрациях 1–25 мг/л отмечали значимое снижение по сравнению с контрольными значениями длины главного корня, при 10 мг/л – длины придаточных корней, при 25 мг/л – длины гипокотыля. При 25 мг/л не развивались придаточные корни и настоящие листья. Остальные показатели достоверных различий с контролем не имели. У всех растений при 10–25 мг/л некроз затронул кончик главного корня, при 10 и 25 мг/л отмечали точечный некроз семядольных листьев, при 25 мг/л семядоли имели окраску меньшей интенсивности. При 50 мг/л у единичных проростков наблюдали появление из покровов

Таблица 3

**ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ *BIDENS CERNUA* ПОД ВЛИЯНИЕМ РАСТВОРОВ АЦЕТАТА НИКЕЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ**

Морфометрический показатель	Контроль	Концентрация ацетата никеля, мг/л		
		1	10	25
Длина главного корня, мм	47,8 ± 13,2	21,0 ± 7,2*	2,2 ± 0,7*	1,0 ± 0,2*
Длина гипокотыля, мм	20,1 ± 4,2	20,2 ± 2,4	15,3 ± 2,4	4,2 ± 1,2*
Длина семядольных листьев, мм	4,7 ± 0,6	4,4 ± 0,5	4,6 ± 0,4	4,3 ± 0,4
Ширина семядольных листьев, мм	2,5 ± 0,4	2,5 ± 0,4	2,4 ± 0,4	2,2 ± 0,3
Длина эпикотыля, мм	1,1 ± 0,8	0,9 ± 0,5	0,7 ± 0,4	–
Длина 1-го настоящего листа, мм	1,2 ± 0,5	1,1 ± 0,2	0,9 ± 0,1	–
Количество придаточных корней, шт.	2,4 ± 0,9	2,3 ± 0,7	1,3 ± 0,5	–
Длина придаточных корней, мм	8,0 ± 6,7	3,6 ± 2,8	0,3 ± 0,1*	–

Примечание: \* – различия с контролем значимы; прочерк означает отсутствие данных.

При концентрациях 1 и 10 мг/л развивались растения как 1-й (35 и 86 % соответственно), так и 2-й (65 и 14 %) группы, при 25 мг/л – растения только 1-й группы. Т. е. ацетат никеля при 1 мг/л стимулировал онтогенетическое развитие растений, при 10–25 мг/л – угнетал его. Подобный эффект низких концентраций ТМ

семянки главного корня (длиной 2 мм) и части гипокотыля, а также маленьких семядольных листьев, некротированных к 7-м суткам. При 100–1000 мг/л развития растений не отмечено. При 50–1000 мг/л на 5-е сутки участки главного корня были полностью некротированы.

## ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ *VIDENS CERNUA* ПОД ВЛИЯНИЕМ РАСТВОРОВ АЦЕТАТА МЕДИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ

Морфометрический показатель	Контроль	Концентрации ацетата меди, мг/л				
		1	10	25	50	100
Длина главного корня, мм	47,8 ± 13,2	40,5 ± 11,8	0,7 ± 0,2*	0,4 ± 0,1*	0,4 ± 0,1*	0,3 ± 0,1*
Длина гипокотыля, мм	20,1 ± 4,2	19,7 ± 2,8	12,9 ± 2,9*	10,4 ± 1,9*	3,8 ± 1,4*	1,7 ± 0,6*
Длина семядольных листьев, мм	4,7 ± 0,6	4,5 ± 0,4	4,3 ± 0,4	4,1 ± 0,3	3,5 ± 0,5*	3,0 ± 0,4*
Ширина семядольных листьев, мм	2,5 ± 0,4	2,3 ± 0,4	2,3 ± 0,3	2,1 ± 0,3	1,9 ± 0,3	1,7 ± 0,2*
Длина эпикотыля, мм	1,1 ± 0,8	1,4 ± 0,8	1,2 ± 0,7	0,5 ± 0,4	0,4 ± 0,2	–
Длина 1-го настоящего листа, мм	1,3 ± 0,5	1,1 ± 0,2	1,3 ± 0,5	1,0 ± 0,3	0,8 ± 0,2	–
Количество придаточных корней	2,4 ± 0,8	2,7 ± 1,2	4,8 ± 0,7*	4,1 ± 1,0	2,5 ± 0,9	–
Длина придаточных корней, мм	8,0 ± 6,8	8,1 ± 5,6	1,5 ± 1,2	0,7 ± 0,6*	0,3 ± 0,1*	–

Примечание: \* – различия с контролем значимы; прочерк означает отсутствие данных.

В растворах ацетата меди развитие проростков наблюдали при концентрациях 1–100 мг/л (табл. 4).

При 1 мг/л наблюдали 11 % растений 1-й группы, 89 % – 2-й; при 10 и 25 мг/л – 7 % 1-й группы и 93 % 2-й; при 50 мг/л – 33 % 1-й группы и 67 % – 2-й, при 100 мг/л отмечены растения только 1-й группы. Т. е. растворы ацетата меди при 1–25 мг/л стимулировали онтогенетическое развитие растений, при 50–100 мг/л – угнетали его. При 10–100 мг/л отмечали достоверное уменьшение длины главного корня и гипокотыля, при 10 мг/л – количества придаточных корней, при 25 и 50 мг/л – их длины, при 50 и 100 мг/л – длины семядольных листьев, при 100 мг/л – их ширины. Остальные показатели достоверных различий с контролем не имели. Необходимо отметить, что концентрация 1 мг/л (в отличие от ацетата никеля) не оказывала токсического воздействия на развитие проростков: все морфометрические показатели сходны с контрольными значениями. При

10–100 мг/л некроз кончиков корней начинался уже на 4-е сутки, в это же время при 25 мг/л отмечали небольшое изменение интенсивности окраски семядолей. Появившиеся при 50–100 мг/л семядоли значительно отличались по окраске от контрольного варианта. К 8-м суткам при 50–100 мг/л участки главного корня были некротированы полностью. Некроза семядолей ни в одном из вариантов не отмечали.

Таким образом, анализ полученных данных показал, что ацетаты обоих металлов значительно угнетали развитие главного корня при разных концентрациях: ацетат никеля – при 1–25 мг/л, ацетат меди – при 10–100 мг/л. Кроме того, наблюдалось достоверное снижение длины придаточных корней при 10 мг/л (ацетат никеля) и 25–50 мг/л (ацетат меди). При этом количество придаточных корней значительно возрастало по сравнению с контролем при действии ацетата меди в концентрациях 10 и 25 мг/л. По-видимому, защитной реакцией, проявляющейся в увеличении общей площа-

ди корневой системы, проростки уменьшали токсическое влияние ацетатов. На гипокотиль большее токсическое действие оказывал ацетат никеля, стимуляции эпикотиля не отмечали. Снижение содержания хлорофилла в листьях проявлялось в виде хлорозов (изменения окраски) из-за недостатка железа и магния, а также ингибирования синтеза хлорофилла. Токсическое действие ТМ на ряд других метаболических процессов может усиливать их прямое влияние на фотосинтез. Следует отметить, что рост надземной части оказался более устойчивым к действию ацетатов (особенно ацетата меди) по сравнению с ростом главного корня. Корень является барьером на пути поступления ТМ в надземные органы. При повышении концентрации защитные барьеры испытывают токсическое воздействие и не справляются со своей задачей [18, 19]. В целом же для развития проростков ацетат меди менее токсичен, чем ацетат никеля.

Сравнение действия ацетатов и хлоридов никеля и меди на развитие проростков не дает однозначного ответа о том, что токсичнее. Так, ацетат никеля токсичнее его хлорида, но токсическое действие проявлялось по-разному. Хлорид никеля в концентрации 1 мг/л значительно угнетал развитие проростков, однако повышение его концентрации до 25 мг/л стимулировало онтогенетическое развитие. В случае действия ацетата никеля угнетение шло постепенно и к концу эксперимента проявилось в большей степени. Хлорид меди токсичнее ацетата, при его действии развитие проростков наблюдали лишь при концентрациях 1–25 мг/л. Действие

обеих солей происходило постепенно. Из наших экспериментов следует, что, по-видимому, для токсического действия солей важны оба иона, как считал Mathews [цит. по: 20]. Для подтверждения этого необходимо провести подобные исследования для других видов водных и прибрежно-водных растений.

**Выводы.** Исследование влияния ацетатов никеля и меди (1–1000 мг/л) на прорастание семян и начальные этапы развития проростков *B. cernua* позволило сделать следующие выводы:

1) предела токсичности изученных солей ТМ для прорастания семян не выявлено, что позволяет говорить об их высокой устойчивости;

2) ацетат меди токсичнее ацетата никеля для прорастания семян при высоких концентрациях (500–1000 мг/л), о чем свидетельствуют значительное уменьшение лабораторной всхожести и изменения в характере прорастания;

3) ацетат никеля токсичнее ацетата меди для развития проростков. При действии первого проростки развивались при 1–25 мг/л, при действии второго – при 1–100 мг/л. Оба металла угнетали развитие главного корня, достоверно снижали размеры придаточных корней и гипокотиля, вызывали изменение окраски семядолей;

4) действие на прорастание семян ацетатов никеля и меди токсичнее, чем хлоридов этих металлов. Однозначного ответа при сравнении их влияния на развитие проростков дать нельзя. Для объяснения этого требуются дальнейшие исследования.

## Список литературы

1. Крылова Е.Г. Влияние солей никеля, меди и цинка на прорастание семян и начальные этапы онтогенеза поручейника широколистного (*Sium latifolium* L.) и камыша лесного (*Scirpus sylvaticus* L.) // Биология внутренних вод. 2011. № 4. С. 72–78.
2. Крылова Е.Г. Влияние сульфатов никеля и меди на начальные этапы онтогенеза представителей рода *Scirpus* (Сурегасеае) // Токсикол. вестн. 2012. № 6. С. 39–42.
3. Крылова Е.Г. Влияние различных концентраций сульфата никеля на прорастание семян *Lysimachia vulgaris* (Primulaceae) // Растит. ресурсы. 2013. Т. 49, вып. 3. С. 390–394.

4. Марков М.В., Ключникова Н.М. Гетерокарпия и некоторые другие биологические особенности популяционной биологии двух видов из рода *Bidens* L. (Compositae) // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 1994. Т. 99, вып. 1. С. 89–94.
5. Brändel M. The Role of Temperature in the Regulation of Dormancy and Germination of Two Related Summer-annual Mudflat Species // Aquatic Botany. 2004. Vol. 79. P. 15–32.
6. Крылова Е.Г., Бердник К.А., Лапиров А.Г. Влияние хлоридов никеля и меди на начальные этапы онтогенеза *Bidens cernua* (Asteraceae) // Растит. ресурсы. 2014. Т. 50, вып. 2. С. 227–235.
7. Крылова Е.Г., Васильева Н.В. Прорастание семян и развитие проростков представителей рода *Bidens* (Asteraceae) в растворах сульфата меди // Вестн. Томск. гос. ун-та. 2011. № 352. С. 207–210.
8. Крылова Е.Г., Васильева Н.В. Действие сульфата никеля на начальные этапы онтогенеза растений трех видов рода *Bidens* (Asteraceae) // Растит. ресурсы. 2011. Т. 47, вып. 1. С. 65–71.
9. Лапиров А.Г. Влияние некоторых тяжелых металлов на прорастание семян и развитие проростков *Alisma plantago-aquatica* (Alismataceae) и *Bidens tripartita* (Asteraceae) // Растит. ресурсы. 2008. Вып. 4. С. 98–106.
10. Yusuf M., Fariduddin Q., Hayat S., Ahmad A. Nickel: an Overview of Uptake, Essentiality and Toxicity in Plants // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 2011. Vol. 86, iss. 1. P. 1–17.
11. Иванов Ю.В., Савочкин Ю.В., Шумейко Е.В., Кузнецов Вл.В. Реализация раннего этапа онтогенеза сосны обыкновенной на фоне токсичных концентраций ионов меди // Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология. 2013. № 1(21). С. 103–117.
12. Hänsch R., Mendel R.R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl) // Current Opinion in Plant Biology. 2009. Vol. 12, iss. 3. P. 259–266.
13. Серегин И.В., Кожевникова А.Д. Физиологическая роль никеля и его токсическое действие на высшие растения // Физиология растений. 2006. Т. 53, № 2. С. 285–308.
14. Марков М.В., Ключникова Н.М. Биологическая флора Московской области. Вып. 13. М., 1997. 237 с.
15. Розенцвет О.А., Мурзаева С.В., Гущина И.А. Аккумуляция меди и ее влияние на метаболизм белков, липидов и фотосинтетических пигментов в листьях *Potamogeton perfoliatus* L. // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2003. Т. 5, № 2. С. 305–311.
16. Алексеева-Попова Н.В. Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. Л., 1991. 214 с.
17. Демидчик В.В., Соколик А.И., Юрин В.М. Токсичность избытка меди и толерантность к нему растений // Успехи соврем. биологии. 2001. Т. 121, № 5. С. 511–525.
18. Нестерова А.Н. Действие тяжелых металлов на корни растений // Биол. науки. 1989. Вып. 9(309). С. 72–86.
19. Титов А.Ф., Таланова В.В., Лайдинен Г.Ф., Казнина Н.М. Влияние тяжелых металлов на растения: эколого-физиологические аспекты // Наземные и водные экосистемы Северной Европы: Управление и охрана. Петрозаводск, 2003. С. 152–157.
20. Левина Э.М. Общая токсикология металлов. М., 1972. 184 с.

### References

1. Krylova E.G. Vliyanie soley nikelya, medi i tsinka na prorastanie semyan i nachal'nye etapy ontogeneza porucheynika shirokolistnogo (*Sium latifolium* L.) i kamysha lesnogo (*Scirpus sylvaticus* L.) [Influence of Nickel, Copper and Zinc Salts on Seed Germination and the Initial Stages of Ontogenesis of Water Parsnip (*Sium latifolium* L.) and Woodland Bulrush (*Scirpus sylvaticus* L.)]. *Biologiya vnutrennikh vod* [Inland Water Biology], 2011, no. 4, pp. 72–78.
2. Krylova E.G. Vliyanie sul'fatov nikelya i medi na nachal'nye etapy ontogeneza predstaviteley roda *Scirpus* (Cyperaceae) [Effect of Nickel and Copper Sulfate at the Initial Stages of Ontogenesis of the Genus *Scirpus* (Cyperaceae) Species]. *Toksikologicheskiy vestnik* [Toxicological Review], 2012, no. 6, pp. 39–42.
3. Krylova E.G. Vliyanie razlichnykh kontsentratsiy sul'fata nikelya na prorastanie semyan *Lysimachia vulgaris* (Primulaceae) [The Effect of Different Concentrations of Nickel Sulfate on the Seed Germination of *Lysimachia vulgaris* (Primulaceae)]. *Rastitel'nye resursy*, 2013, vol. 49, no. 3, pp. 390–394.
4. Markov M.V., Klyuchnikova N.M. Geterokarpiya i nekotorye drugie biologicheskie osobennosti populyatsionnoy biologii dvukh vidov iz roda *Bidens* L. (Compositae) [Heterocarpy and Some Other Biological Features of Population Biology of Two Species of the *Bidens* L. (Compositae) Genus]. *Byullyuten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologii* [Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series], 1994, vol. 99, no. 1, pp. 89–94.

5. Brändel M. The Role of Temperature in the Regulation of Dormancy and Germination of Two Related Summer-Annual Mudflat Species. *Aquatic Botany*, 2004, vol. 79, pp. 15–32.
6. Krylova E.G., Berdnik K.A., Lapirova A.G. Vliyanie khloridov nikelya i medi na nachal'nye etapy ontogeneza *Bidens cernua* (Asteraceae) [Influence of Nickel and Copper Chlorides in the Initial Stages of Ontogenesis of *Bidens cernua* (Asteraceae)]. *Rastitel'nye resursy*, 2014, vol. 50, no. 2, pp. 227–235.
7. Krylova E.G., Vasil'eva N.V. Prorastanie semyan i razvitie prorostkov predstaviteley roda *Bidens* (Asteraceae) v rastvorakh sul'fata medi [Seed Germination and Seedling Development of the Genus *Bidens* (Asteraceae) Species in a Copper Sulfate Solution]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Tomsk State University Journal], 2011, no. 352, pp. 207–210.
8. Krylova E.G., Vasil'eva N.V. Deystvie sul'fata nikelya na nachal'nye etapy ontogeneza rasteniy trekh vidov roda *Bidens* (Asteraceae) [Effect of Nickel Sulphate on the Initial Stages of Plant Ontogenesis of Three Species of the Genus *Bidens* (Asteraceae)]. *Rastitel'nye resursy*, 2011, vol. 47, no. 1, pp. 65–71.
9. Lapirova A.G. Vliyanie nekotorykh tyazhelykh metallov na prorastanie semyan i razvitie prorostkov *Alisma plantago-aquatica* (Alismataceae) i *Bidens tripartita* (Asteraceae) [Influence of Some Heavy Metals on Seed Germination and Seedling Development of *Alisma plantago-aquatica* (Alismataceae) and *Bidens tripartita* (Asteraceae)]. *Rastitel'nye resursy*, 2008, no. 4, pp. 98–106.
10. Yusuf M., Fariduddin Q., Hayat S., Ahmad A. Nickel: an Overview of Uptake, Essentiality and Toxicity in Plants. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 2011, vol. 86, iss. 1, pp. 1–17.
11. Ivanov Yu.V., Savochkin Yu.V., Shumeyko E.V., Kuznetsov V.I. Realizatsiya rannego etapy ontogeneza sosny obyknovnoy na fone toksichnykh kontsentratsiy ionov medi [The Implementation of the Early Stage of Ontogenesis of Scots Pine on the Background of Toxic Concentrations of Copper Ions]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Tomsk State University Journal. Biology], 2013, no. 1(21), pp. 103–117.
12. Hänsch R., Mendel R.R. Physiological Functions of Mineral Micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 2009, vol. 12, iss. 3, pp. 259–266.
13. Seregin I.V., Kozhevnikova A.D. Fiziologicheskaya rol' nikelya i ego toksicheskoe deystvie na vysshie rasteniya [Physiological Role of Nickel and Its Toxic Effect on the Higher Plants]. *Fiziologiya rasteniy*, 2006, vol. 53, no. 2, pp. 285–308.
14. Markov M.V., Klyuchnikova N.M. *Biologicheskaya flora Moskovskoy oblasti* [The Biological Flora of Moscow Region]. Moscow, 1997, no. 13. 237 p.
15. Rozentsvet O.A., Murzaeva S.V., Gushchina I.A. Akkumulyatsiya medi i ee vliyanie na metabolizm belkov, lipidov i fotosinteticheskikh pigmentov v list'yakh *Potamogeton perfoliatus* L. [Accumulation of Copper and Its Effect on the Metabolism of Proteins, Lipids and Photosynthetic Pigments in the Leaves of *Potamogeton perfoliatus* L.]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2003, vol. 5, no. 2, pp. 305–311.
16. Alekseeva-Popova N.V. *Ustoychivost' k tyazhelym metallam dikorastushchikh vidov* [Resistance of Wild Species to the Heavy Metals]. Leningrad, 1991. 214 p.
17. Demidchik V.V., Sokolik A.I., Yurin V.M. Toksichnost' izbytko medi i tolerantnost' k nemu rasteniy [The Excess Copper Toxicity and Plant Tolerance]. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2001, vol. 121, no. 5, pp. 511–525.
18. Nesterova A.N. Deystvie tyazhelykh metallov na korni rasteniy [The Effect of the Heavy Metals on the Roots of Plants]. *Biologicheskie nauki*, 1989, no. 9(309), pp. 72–86.
19. Titov A.F., Talanova V.V., Laydinen G.F., Kaznina N.M. Vliyanie tyazhelykh metallov na rasteniya: ekologo-fiziologicheskie aspekty [The Impact of the Heavy Metals on Plants: Ecological and Physiological Aspects]. *Nazemnye i vodnye ekosistemy Severnoy Evropy: Upravlenie i okhrana* [Terrestrial and Aquatic Ecosystems of the Northern Europe: Management and Protection]. Petrozavodsk, 2003, pp. 152–157.
20. Levina E.M. *Obshchaya toksikologiya metallov* [General Toxicology of Metals]. Moscow, 1972. 184 p.

***Krylova Elena Gennad'evna***

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences  
Borok settl., Nekouz district, Yaroslavl region, 152742, Russian Federation;  
*e-mail: panova@ibiw.yaroslavl.ru*

***Lapirov Aleksandr Grigor'evich***

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences  
Borok settl., Nekouz district, Yaroslavl region, 152742, Russian Federation;  
*e-mail: lapir@ibiw.yaroslavl.ru*

***Berdnik Kseniya Aleksandrovna***

Saint Petersburg State University  
Universitetskaya nab., 7–9, St. Petersburg, 199034, Russian Federation;  
*e-mail: ksyusha-berdnik@yandex.ru*

### **STABLE INITIAL STAGES OF ONTOGENESIS OF *BIDENS CERNUA* (ASTERACEAE) TO THE EFFECT OF NICKEL AND COPPER ACETATES**

Micro doses of some heavy metals, including nickel and copper, are vital. However, they have a negative effect on the development of plants if the concentration of their available forms exceeds a certain limit. The plant response at their effect on the most important and sensitive initial stages of ontogeny is of particular interest. The article presents the results of studying the effect of nickel and copper acetates in concentrations of 1–1000 mg/l on the germination of achenes and the initial stages of the seedling development of a hygrophyte *Bidens cernua*. The experiment proved the resistance of the achene germination to the effect of the studied salts, as they did not cause a complete inhibition of the germination and the toxicity limit was not identified for it. Threshold concentrations at which a toxic effect of the investigated salts appeared were determined: for nickel acetate – 25 mg/l, for copper acetate – 50 mg/l. At high concentrations (500–1000 mg/l) copper acetate was more toxic than nickel acetate. This fact is proved out by a significant decrease of the laboratory germination and changes in the germination behavior. After the root emergence through the achene covers, the seedling development was observed in the solutions with concentrations of 1–25 mg/l of nickel acetate and 1–100 mg/l of copper acetate. Thus, the inhibition of the ontogenetic development of plants was observed at lower concentrations of nickel acetate (10–25 mg/l) in comparison with copper acetate (50–100 mg/l). Meanwhile, both metals inhibited the development of the main root, significantly reduced the sizes of adventitious roots and hypocotyl, and caused a color change of the cotyledons. Decreasing the chlorophyll content in the leaves appeared in the form of chlorosis. The herb growth was more resistant to the effect of acetates (especially, of copper acetate) in comparison with the growth of the main root.

**Keywords:** *Bidens cernua*, nickel acetate, copper acetate, seed germination, seedling development.