

32. Dicke R.H. Coherence in Spontaneous Radiation Processes // Phys. Rev. – 1954. – Vol. 93. – P. 99–100.
33. Li K.H. Coherence in Physics and Biology / K.H. Li // Recent Advances in Biophoton Research; Tds Popp [et al.]. – Singapore: World Sci. Publ., 1992. – P. 113–156.
34. Кузин А.М. Невидимые лучи вокруг нас. – М.: Наука, 1979. – 151 с.
35. Luchkey T.D. Hormesis with Ionizing Radiation. – Boca Raton: CRC Press Inc., – 1980. – 169 p.
36. Кершенгольц Б.М. К вопросу о влиянии естественной радиации на иммунный статус и здоровье человека в Якутии / Б.М. Кершенгольц, А.Н. Журавская, П.Г. Петрова, Д.А. Захарова, Н.В. Радзевичуте // Радиационное загрязнение территории РС(Я): проблемы радиационной безопасности. – Якутск, 1993. – С. 61–63.
37. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – N.Y.: United Nations, 1958. – P. 49–60.
38. Гераськин С.А. Концепция биологического действия малых доз ионизирующего излучения на клетки // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1995. – Т. 35, вып. 5. – С. 571–580.
39. Ларионов В. П. Главный приоритет – новые технологии / В.П. Ларионов, В.Е. Михайлов, А.М. Иванов // Наука и образование. – 1998. – № 4. – С. 10–13.
40. Журавская А.Н. Влияние биохимических адаптаций ольхи кустарниковой (*Duschecia fruticosa* (Rupr) к повышенному естественному радиационному фону на выживаемость проростков и радиочувствительность ее семян / А.Н. Журавская, Э.В. Филиппов, Б.М. Кершенгольц // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2000. – Т. 40, № 3. – С. 254–260.
41. Бурлакова Е.Б. Воздействие химических агентов в сверхмалых дозах на биологические объекты / Е.Б. Бурлакова, А.А. Кондратов, И.В. Худяков // Изв. РАН. Сер. Биол. – 1990. – № 2. – С. 184–193.
42. Бурлакова Е.Б. Действие сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов / Е.Б. Бурлакова, А.А. Кондратов, Е.Л. Мальцева // Химическая физика. – 2003. – Т. 22, № 2. – С. 21–40.

Поступила в редакцию 24.03.2016

УДК: 576.3.08:633.88

## Влияние малых концентраций ионов тяжелых металлов на цитологические характеристики проростков ромашки лекарственной (*Matricaria chamomilla* L.)

Г.В. Филиппова, А.А. Шеин, И.А. Прокопьев, Э.В. Филиппов

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск*

*Исследовано действие ионов свинца и кадмия в концентрациях  $3 \div 120$  мкМ на цитологические характеристики апикальной меристемы корешков проростков ромашки лекарственной (*Matricaria chamomilla* L.) сорта «Подмосковная». Установлена тенденция к возрастанию дестабилизации структур хромосом в клетках апикальной меристемы корешков ромашки лекарственной (число клеток с микроядрами составляло от 0,2 до 2,3%) на ранних стадиях прорастания при увеличении концентрации ионов  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и их совместного присутствия, при этом частота формирования микроядер в изученном диапазоне концентраций  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  имела бимодальный характер. Отмечено снижение митотического индекса во всем диапазоне микромолярных концентраций свинца (кроме концентрации 3 мкМ) и стимуляционное действие ионов  $Cd^{2+}$  в концентрациях 30 и 60 мкМ на деление меристематических клеток корня.*

Ключевые слова: *Matricaria chamomilla* L., ионы свинца и кадмия, апикальная меристема, митотический индекс, микроядра.

---

ФИЛИППОВА Галина Валерьевна – к.б.н., с.н.с.; e-mail: nureeva@yandex.ru; ШЕИН Алексей Анатольевич – к.б.н., уч. секр., e-mail: bg98saa@yandex.ru; ПРОКОПЬЕВ Илья Андреевич – к.б.н., с.н.с., e-mail: ilya.a.prokopiev@gmail.com; ФИЛИППОВ Эдуард Васильевич – к.б.н., с.н.с., e-mail: Edy73@mail.ru.

## Influence of Low Concentration of Heavy Metals Ions on Cytologic Characteristics of *Matricaria Chamomilla* L. Sprouts

G.V. Filippova, A.A. Shein, I.A. Prokopyev, E.V. Filippov

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk*

*Action of  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  in concentration of 3–120  $\mu\text{mol/l}$  on cytological characteristics of root sprouts apical meristem of *Matricaria chamomilla* L. grade "Podmoskovnaya" is studied. On the early stages of germination at augmentation of  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  concentration destabilizations of chromosomes structures in cells of the apical meristem of *Matricaria chamomilla* L. roots (the number of cells with micronucleus was 0.2 to 2.3%) is observed, at the same time the frequency of micronucleus formation had a bimodal character. Depression of a mitotic index in all range a micromolar concentration of  $Pb^{2+}$  (except concentration of 3  $\mu\text{mol/l}$ ) and stimulation action of  $Cd^{2+}$  in concentration of 30 and 60  $\mu\text{mol/l}$  on division of the root meristem cells is found.*

Key words: *Matricaria chamomilla* L., ions of lead and cadmium, apical meristem, mitotic index, micronucleus.

### Введение

В условиях возрастающего техногенного воздействия на окружающую среду большое внимание уделяется вопросам мониторинга и сохранения состояния биологических систем. С развитием промышленного производства увеличивается количество антропогенных выбросов тяжелых металлов, относящихся к числу наиболее распространенных экотоксикантов. Высокие концентрации тяжелых металлов в окружающей среде ведут к их избыточному поступлению в ткани как растительных, так и животных организмов, вызывая нарушение процессов метаболизма, роста и развития [1,2].

Изучению влияния наиболее распространенных ксенобиотиков свинца (Pb) и кадмия (Cd) на рост и развитие растений посвящено большое количество публикаций, в том числе по влиянию малых концентраций тяжелых металлов на апикальные меристемы корней [3]. Ряд исследователей указывают на менее токсический эффект сочетанного действия ионов тяжелых металлов, чем их раздельное влияние, связывая это с наличием возможной конкуренции между металлами в процессе накопления в органах организмов [4,5]. Ранее нами показано, что более токсическим эффектом в отношении ростовых процессов корешков ромашки лекарственной обладает  $Cd^{2+}$  по сравнению с  $Pb^{2+}$  и совместным действием  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  [6].

Одним из эффективных способов оценки цито- и генотоксичности действия стресс-факторов среды различной природы и интенсивности в отношении растительных организмов является исследование их растущих тканей [7,3].

Цель настоящей работы – исследовать влияние ионов  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$ , их сочетанного действия на цитологические характеристики клеток апикальной меристемы корешков проростков ромашки лекарственной (*Matricaria chamomilla* L.) сорта «Подмосковная».

### Материалы и методы исследований

В качестве тест-культуры использовали ромашку лекарственную (*Matricaria chamomilla* L.) тетраплоидного ( $2n = 36$ ) сорта «Подмосковная». Семена ромашки проращивали в чашках Петри на ватно-фильтровальной подложке, на которую наносили 10 мл дистиллированной воды (контроль), раствор  $PbCl_2$  или  $CdCl_2$  в концентрациях 3, 15, 30, 60, 120 мкМ. В варианте сочетанного действия растворы  $PbCl_2$  и  $CdCl_2$  добавляли в концентрациях 1,5+1,5; 7,5+7,5; 15+15; 30+30; 60+60 мкМ. Проращивание семян производилось в комнатных условиях при температуре 20°C и фотопериоде 16 ч.

Исследование на наличие микроядер проводилось на корешках проростков длиной 0,8 см, которые фиксировали смесью 96% этилового спирта и ледяной уксусной кислоты в соотношении 3:1 в течение 12 часов и далее окрашивали ацетоорсеином. Препараты просматривали под световым микроскопом (Axiostar plus, Carl Zeiss, Германия). Частоту микроядер (МЯ) определяли как отношение числа клеток с микроядрами к общему числу просмотренных клеток. Для определения активности деления клеток использовали показатель митотического индекса (МИ), который определяли отношением числа клеток, находящихся в митозе, от их общего числа. Относительную продолжительность

фаз митоза (%) оценивали от количества делящихся клеток [8].

Сравнение средних значений выборок проводили методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), значимость отличий от контроля определяли, используя критерий Даннета для множественных сравнений при уровне  $p \leq 0,05$ . Расчет проводился с помощью пакета AnalystSoft, StatPlus – программа статистического анализа, v. 2007.

### Результаты и обсуждение

Известно, что  $Cd^{2+}$  и  $Pb^{2+}$  оказывают многообразные токсические эффекты, связанные с множественным действием этих металлов на метаболизм растительных организмов. Считается, что процесс прорастания семян является достаточно устойчивым к действию тяжелых металлов, поскольку ионы металлов локализуются преимущественно в клеточных стенках семенной оболочки. Вместе с тем, на заключительной стадии набухания отмечается проникновение ионов тяжелых металлов через семенную оболочку в клетки зародыша [9,10].

На ранних стадиях развития растений в кончике корня отсутствуют физиологические барьеры для передвижения ионов металлов в апопласте, поэтому  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  легко накапливаются в быстроразмножающихся клетках [11]. Ионы тяжелых металлов способны связывать сульфгидрильные группы, что приводит к изменению активности многих гормонов и ферментов в растительных клетках. В зависимости от их концентрации в апикальной меристеме корешков проростков отмечается как снижение, так и увеличение скорости деления клеток [12,9].

Между тем, различные виды растений обладают разной устойчивостью, обусловленной способностью изолировать тяжелые металлы, синтезировать устойчивые формы ферментов, металлсвязывающие соединения и т. д. [13].

Влияние ионов  $Pb^{2+}$ . В результате проведенных цитологических исследований апикальной меристемы корешков проростков ромашки лекарственной установлено, что проращивание семян в условиях внесения  $Pb^{2+}$  в концентрации 3 мкМ не повлияло на митотическую активность клеток корешков проростков. Прохождение фаз митоза характеризовалось тем, что наряду со статисти-

чески достоверным снижением в 1,3 и 3,2 раза относительной продолжительности профазы и анафазы, соответственно, продолжительность телофазы увеличивалась в 2,8 раза по сравнению с контролем (таблица).

Действие  $Pb^{2+}$  в диапазоне концентраций 15÷120,0 мкМ вызывало снижение в 1,4–2,0 раза митотической активности апикальной меристемы корешков проростков по сравнению с контролем. Статистически достоверного изменения относительной скорости прохождения профазы и метафазы не обнаружено. Количество митотических клеток в фазе расхождения хромосом к полюсам клетки (анафаза) сокращалось в 2,5–3,6 раза (кроме варианта 60 мкМ), а в вариантах 15 и 60 мкМ число клеток в телофазе увеличивалось в 2,2–2,8 раза относительно контроля (таблица).

Полученные результаты согласуются с данными об ингибирующем влиянии  $Pb^{2+}$  на деление клеток, которое может быть следствием нарушения процессов сборки новых микротрубочек, а также общего нарушения метаболизма клеток [14,15].

Замедление прохождения митоза также вызывают с прямым взаимодействием вещества с ДНК, что подтверждалось возрастанием продолжительности клеточного цикла, нарушениями в прохождении митоза и образовании хромосомных aberrаций [16–20]. В результате двойных разрывов цепи ДНК образуются микроядра – ацентрические фрагменты, возникающие при разрыве и отставании хромосом [21]. В наших

Таблица

Влияние ионов  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  на показатели относительной продолжительности фаз митоза и митотического индекса (МИ) клеток апикальной меристеме корешков проростков *Matricaria chamomilla* L.

Варианты опыта	Профаза, %	Метафаза, %	Анафаза, %	Телофаза, %	МИ, %
Контроль	46,1±6,7	29,6±6,5	15,0±5,6	8,7±3,7	5,1±0,4
<b><math>Pb^{2+}</math></b>					
3,0 мкМ	35,3±3,4*	36,0±5,4	4,7±1,6*	24,0±8,1*	5,3±0,9
15,0 мкМ	47,6±6,9	36,0±5,4	5,9±2,2*	10,5±3,6	3,2±0,5*
30,0 мкМ	38,5±3,3	33,0±11,0	4,2±2,6*	24,4±11,6*	2,7±0,6*
60,0 мкМ	52,8±6,4	27,3±6,0	5,4±4,3	14,5±4,5	3,6±0,8*
120,0 мкМ	51,6±4,9	24,3±6,4	5,0±2,3*	19,1±5,5*	3,7±0,6*
<b><math>Cd^{2+}</math></b>					
3,0 мкМ	47,9±8,4	25,5±5,7	8,5±2,6	18,1±3,0*	3,3±1,2*
15,0 мкМ	45,9±1,5	36,1±5,6	3,1±1,3*	14,9±5,1	4,5±1,2
30,0 мкМ	43,5±5,9	36,9±6,3	5,0±1,4*	14,6±0,9	7,2±1,1*
60,0 мкМ	32,6±8,0	40,5±5,0	8,1±3,1	18,9±5,1*	6,3±0,7*
120,0 мкМ	37,3±9,4	34,5±5,3	5,0±2,3*	23,2±3,8*	4,3±1,0
<b><math>Pb^{2+}+Cd^{2+}</math></b>					
1,5 + 1,5 мкМ	47,3±5,1	21,8±4,9	8,1±2,4	22,7±7,9*	4,1±0,5*
7,5 + 7,5 мкМ	37,8±5,2	36,6±6,5	5,1±2,4*	20,5±7,7*	3,9±0,9
15,0 + 15,0 мкМ	48,8±7,6	29,7±2,6	7,9±5,6	13,5±6,3	2,0±0,6*
30,0 + 30,0 мкМ	47,1±7,5	25,4±1,9	11,3±3,9	16,1±3,5*	4,7±0,9
60,0 + 60,0 мкМ	39,7±3,5	32,6±6,8	3,5±1,2*	24,3±6,0*	5,2±0,8

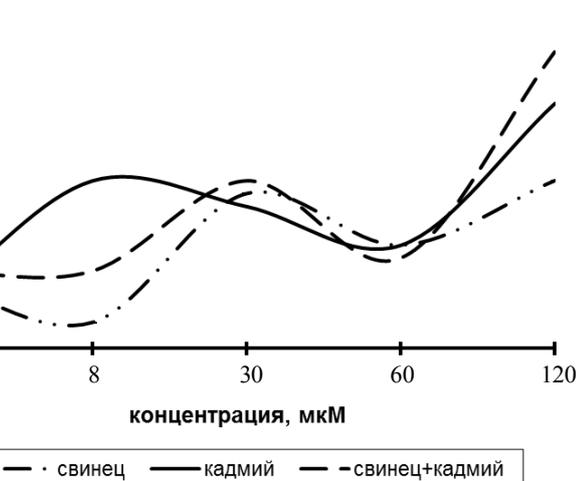
\* – Различия статистически значимы по сравнению с контролем при  $p \leq 0,05$ .

## ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

опытах, во всем диапазоне концентраций свинца, было отмечено наличие клеток с микроядрами (МЯ). По мере повышения концентрации  $Pb^{2+}$  наблюдалась тенденция к увеличению числа клеток с микроядрами, причем частота формирования МЯ имела бимодальный характер с максимумами в точках 30 мкМ (1,2%) и 120 мкМ (1,3%) (рисунок). Внесение аликвоты раствора хлорида свинца концентрацией 30 мкМ и выше вызывало в апикальной меристеме проростков увеличение числа клеток с двумя и более МЯ. Необходимо отметить, что ацентрические фрагменты относятся к нестабильным хромосомным перестройкам, которые со временем подвергаются элиминации [21].

Вместе с тем, в ранее проведенных нами исследованиях было показано, что воздействие свинца в таком же диапазоне концентраций не повлияло на параметр длины корешка 12 дневных проростков ромашки лекарственной [6]. Возможно, ионы  $Pb^{2+}$ , вызывающие ингибирование деления меристематических клеток апикальной меристемы в начале прорастания, в процессе онтогенеза подвергаются иммобилизации в клеточные стенки, не вызывая снижения их эластичности, и соответственно к переводу их в неактивную форму. Считается, что образование комплекса с пектинами клеточной стенки является одним из основных механизмов, препятствующих поступлению ионов кадмия и свинца в цитоплазму клеток корней [9].

Влияние ионов  $Cd^{2+}$ . При действии ионов  $Cd^{2+}$  в концентрации 3 мкМ отмечено снижение в 1,4 раза митотического индекса (МИ) апикальной меристемы корешков проростков, а концентрации 30 и 60 мкМ вызывали стимуляционный эффект, выражающийся в увеличении МИ в 1,2–1,4 раза относительно контроля. Прохождение фаз митоза характеризовалось достоверным снижением числа клеток в анафазе в 4,8 раза для варианта 15 мкМ и в 3,0 раза для вариантов с концентрациями 30 и 120 мкМ. Кроме того, число клеток в телофазе статистически достоверно увеличивалось в вариантах 3 мкМ (в 2,1 раза), 60 мкМ (в 2,2 раза) и 120 мкМ (в 2,7 раза) по сравнению с контролем. Достоверного изменения относительной скорости прохождения профазы и метафазы во всем диапазоне концентраций (3–120 мкМ) не обнаружено (таблица). Считается, что в основе нарушений клеточного деления, прежде всего, лежит способность связывания ионов металлов с сульфгидрильными группами белков и ферментов, ответственных за прохождение митоза, в результате чего эти белки, с одной стороны, могут потерять свою активность, с другой стороны, в результате модификации повысить каталитическую активность [9].



Зависимость частоты образования микроядер (МЯ, %) в клетках апикальной меристемы корешков проростков *Matricaria chamomilla* L. от концентрации ионов тяжелых металлов

дрильными группами белков и ферментов, ответственных за прохождение митоза, в результате чего эти белки, с одной стороны, могут потерять свою активность, с другой стороны, в результате модификации повысить каталитическую активность [9].

Ионы  $Cd^{2+}$  во всем исследуемом диапазоне микромолярных концентраций 3–120 в клетках апикальной меристемы корешков ромашки лекарственной вызывали образование МЯ. С ростом концентрации  $Cd^{2+}$  прослеживалось увеличение числа клеток с микроядрами (от 0,4 до 1,9%), которое сопровождалось бимодальным распределением в изученном диапазоне концентраций (рисунок). Начиная с концентрации 15 мкМ, было отмечено наличие клеток с двумя и более МЯ.

Вместе с тем, по ранее полученным данным, действие  $Cd^{2+}$  во всем диапазоне концентраций вызывало статистически достоверное уменьшение длины корешков 12 дневных проростков ромашки лекарственной по сравнению с контролем [6]. Возможно, это обусловлено ингибированием растяжения клеток корешков, в первую очередь за счет снижения эластичности клеточных стенок, так как в исследуемом диапазоне концентраций кадмия не наблюдалось снижения клеточного деления апикальной меристемы корешков (кроме варианта 3 мкМ). Известно, что ионы некоторых металлов обладают большим сродством к SH-группам и способны образовывать прочные связи с белками, входящими в состав клеточной стенки, тем самым препятствуя ее растяжению [9].

Сочетанное влияние ионов  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$ . Процессы деления и растяжения в корне зависят не только от концентрации металла в растворе и

времени инкубации, но и от присутствия ионов-конкурентов. Например, отмечено существенное уменьшение накопления Pb, Ni и Sr в тканях апикального участка корня в присутствии других ионов металлов [18].

В наших опытах сочетанное действие  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  в концентрациях 3 и 30 мкМ вызывало снижение в 1,3 и 2,6 раза МИ меристематических клеток корешков проростков ромашки лекарственной, относительно контрольного варианта, соответственно. Число клеток в анафазе статистически достоверно снижалось в 2,9 и 4,3 раза в вариантах 15 и 120 мкМ соответственно, относительно контроля. Увеличение в 1,8–2,8 раза относительной скорости прохождения телофазы было отмечено во всех вариантах, за исключением концентрации 30 мкМ. Достоверного изменения относительной скорости прохождения профазы и метафазы во всем диапазоне концентраций (3÷120 мкМ) не обнаружено (таблица).

Сочетанное действие  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  во всех вариантах концентраций вызывало дестабилизацию структур хромосом. Так, отмечено образование микроядер, с максимумами в вариантах 30 и 120 мкМ, что составляло 1,3 и 2,3%, соответственно (рисунок). В условиях проращивания семян ромашки лекарственной в водном растворе  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  в концентрациях 60 и 120 мкМ, в апикальной меристеме корешков проростков были отмечены клетки с двумя и более МЯ (рисунок).

Отмеченные на ранних этапах прорастания ромашки лекарственной дестабилизация структур хромосом и замедление клеточного деления корневой меристемы, вызванные сочетанным действием свинца и кадмия, в силу, по-видимому, иммобилизации тяжелых металлов в процессе онтогенеза растений, не вызывают токсического эффекта, о чем свидетельствуют ранее полученные нами данные об отсутствии достоверного снижения длины корешков 12 дневных проростков по сравнению с контролем [6].

### Заключение

Установлено, что ионы  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и их совместное действие во всем изученном микромолярном диапазоне концентраций (3÷120 мкМ) на ранних стадиях прорастания вызывали дестабилизацию структур хромосом в клетках апикальной меристемы корешков ромашки лекарственной (число клеток с микроядрами составляло от 0,2 до 2,3%). По мере повышения концентрации  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и их совместного действия отмечена тенденция к увеличению числа клеток с микроядрами. Частота формирования микроядер в клетках имела бимодальный харак-

тер, который достаточно часто отмечается для биологических систем при условии постепенного увеличения дозы действующего фактора. Максимальное количество клеток с микроядрами (2,3%) в меристеме корешков ромашки лекарственной было зафиксировано при сочетанном действии свинца и кадмия в концентрации 120 мкМ.

Показано, что митотический индекс в апикальной меристеме статистически достоверно снижался под действием всего диапазона концентраций свинца (кроме концентрации 3 мкМ), кадмия в концентрации 3 мкМ и их сочетанного действия в концентрациях 3 и 30 мкМ. Кроме того, было отмечено стимулирующее действие  $Cd^{2+}$  в концентрациях 30 и 60 мкМ на деление меристематических клеток корня.

По-видимому, ингибирующее влияние тяжелых металлов на деление клеток апикальной меристемы ромашки лекарственной на ранних этапах прорастания является следствием увеличения продолжительности клеточного цикла, нарушения прохождения митоза (ана- и/или телофазы), а также общего нарушения метаболизма клеток.

*Работа выполнена в рамках НИР VI. 56. 1. 5. «Физиолого-биохимические механизмы формирования адаптивного потенциала, устойчивости и продуктивности растительных компонентов экосистем Южной и Центральной Якутии» (№ государственной регистрации – 01201282194).*

### Литература

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 150 с.
3. Казнина Н.М. Влияние свинца и кадмия на рост, развитие и некоторые другие физиологические процессы однолетних злаков: ранние этапы онтогенеза: дис. ... канд. биол. наук / Н.М. Казнина. – Петрозаводск, 2003. – 143 с.
4. Pandya C.D. Effect of lead and cadmium co-exposure on testicular steroid metabolism and antioxidant system of adult male rats / C. D. Pandya, P. P. Pillai, L. P. Nampoothiri [et al. ] // *Andrologia*. – 2012. – Vol. 44, № 1. – P. 813–822.
5. Pandya C. D. Lead and cadmium co-exposure mediated toxic insults on hepatic steroid metabolism and antioxidant system of adult male rats / C. D. Pandya, P. P. Pillai, S. S. Gupta // *Biol. Trace Elem. Res.* – 2010. – Vol. 134, № 3. – P. 307–317.
6. Филиппов Э.В. Влияние малых концентраций ионов свинца и кадмия на развитие проростков ромашки лекарственной (*Matricaria chamomilla* L.) / Э.В. Филиппов, А.А. Шеин,

И.А. Прокопьев, Г.В. Филиппова // Наука и образование. – 2014. – № 3. – С. 95–99.

7. *Wilkins D.A.* The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth // *New Phytol.* – 1978. – № 80. – P. 623–633.

8. *Паушева З.П.* Практикум по цитологии растений. – М.: Колос, 1974. – 288 с.

9. *Титов А.Ф.* Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам. металлам: учеб. пособие / А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Н.М. Казнина. – Петрозаводск: Карел.науч. центр РАН, 2011. – 77 с.

10. *Титов А.Ф.* Тяжелые металлы и растения / А.Ф. Титов, Н.М. Казнина, В.В. Таланова. – Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2014. – 194 с.

11. *Серегин И.В.* Роль тканей корня и побега в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция / И.В. Серегин, А.Д. Кожевникова // *Физиология растений.* – 2008. – Т. 55. – С. 3–26.

12. *Нестерова А.Н.* Действие тяжелых металлов на корни растений: Поступление свинца, кадмия и цинка в корни, локализация металлов и механизмы устойчивости растений // *Биол. науки.* – 1989. – № 9. – С. 72–86.

13. *Козаренко А.Е.* Свинец в растениях // Свинец в окружающей среде / под ред. В.В. Добровольского. – М.: Наука, 1987. – С. 71–76.

14. *Wierzbicka M.* Disturbances in Cytokinesis Caused by Inorganic Lead // *Environ. Exp. Bot.* – 1989. – Vol. 29. – P. 123–133.

15. *Eun S.O.* Lead Disturbs Microtubule Organization in the Root Meristem of *Zea mays* / *S.O. Eun, H.S. Youn, Y. Lee* // *Physiol. Plant.* – 2000. – Vol. 110. – P. 357–365.

16. *Borboa L.* The Genotoxicity of Zn(II) and Cd(II) in *Allium cepa* Root Meristematic Cells / *L. Borboa, C. Delatorre* // *New Phytol.* – 1996. – Vol. 134. – P. 481–486.

17. *Wierzbicka M.* The Effect of Lead on the Cell Cycle in the Root Meristem of *Allium cepa* L. // *Protoplasma.* – 1999. – Vol. 207. – P. 186–194.

18. *Кожевникова А.Д.* Влияние нитратов свинца, никеля и стронция на деление и растяжение клеток корня кукурузы / А.Д. Кожевникова, И.В. Серегин, Е.И. Быстрова, А.И. Беляева, М.Н. Катаева, В.Б. Иванов // *Физиология растений.* – Т. 56, № 2. – 2009. – С. 267–277.

19. *Wierzbicka M.* Resumption of Mitotic Activity in *Allium cepa* Root Tips during Treatment with Lead Salts // *Environ. Exp. Bot.* – 1994. – Vol. 34. – P. 173–180.

20. *Lui D.* Evaluation of Metal Ion Toxicity on Root Tip Cells by the Allium Test / *D. Lui, W. Jiang, W. Wang, L. Zhai* // *Israel J. Plant Sci.* – 1995. – Vol. 43. – P. 125–133.

21. *Ильинских Н.Н.* Микроядерный анализ и цитогенетическая нестабильность / Н.Н. Ильинских, И.Н. Ильинских, В.В. Новицкий, Н.Н. Ванчугова. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1992. – 272 с.

Поступила в редакцию 06.04.2016

УДК 577.1:633.2.031(571.56–191.2)

## Биохимические особенности естественного разнотравно-злакового фитоценоза при разных уровнях питания в условиях Центральной Якутии

Н.В. Барашкова, В.В. Устинова

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск*

*Изучены биохимический и минеральный состав кормовых трав и их зависимость от степени увлажнения и режима питания в условиях мерзлотных пойменных слоистых почв Центральной Якутии. Впервые установлено поступление, потребление элементов питания и коэффициент использования удобрений (КИУ) для разнотравно-злакового фитоценоза в условиях средней поймы р. Лены.*

*Установлено, что при органоминеральном режиме питания и оптимальной увлажненности содержание сырого протеина в разнотравно-злаковом фитоценозе было повышенным до 14,8 на 6,5%, сырой золы на 1,6%, содержание сырой клетчатки, наоборот, пониженным на 1,6% по сравнению с*

---

БАРАШКОВА Наталья Владимировна – д. с.-х. н., зав. лаб., e-mail: BNW-07@yandex. ru; УСТИНОВА Васена Васильевна – к. с.-х. н., н. с.