

## ВЛИЯНИЕ МЕДИ И СВИНЦА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ *ANETHUM GRAVEOLENS* L.

Семенова И.Н.<sup>1,2</sup>, Сингизова Г.Ш.<sup>2</sup>, Зулкарнаев А.Б.<sup>2</sup>, Ильбулова Г.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГАНУ Институт региональных исследований, г. Сибай Республики Башкортостан, Сибай, Россия (453830, Сибай Республика Башкортостан, ул. К.Цеткин, 2), e-mail: alexa-94@mail.ru

<sup>2</sup>Сибайский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет» Сибай, Россия (453830, Сибай Республика Башкортостан, ул. Белова, 21)

В условиях микроделяночного опыта на черноземе обыкновенном тяжелого механического состава изучено влияние различных концентраций тяжелых металлов (Pb и Cu) в почвах на рост и развитие укропа огородного *Anethum graveolens* L. Опыт закладывали в трехкратной повторности в следующих вариантах: 1) контроль (без внесения в почвы тяжелых металлов), 2) внесение Cu в количестве 1, 5 и 10 ПДК, 3) внесение Pb в количестве 1, 5 и 10 ПДК, 4) совместное внесение Cu и Pb в количестве 1, 5 и 10 ПДК. Измерение показателей *Anethum graveolens* L. (высота растения, длина наиболее крупных листьев, количество листьев, длина осевого корня, сухая биомасса) проводилось 5 раз за вегетацию с интервалом 10 дней, начиная с 24-го дня. Степень воздействия изученных тяжелых металлов на укроп огородный определялась их свойствами и концентрацией в почве, а также зависела от вегетационного периода растения. На 54-й день роста на растениях, растущих на почвах с внесением тяжелых металлов, появились небольшие признаки хлороза. Свинец по сравнению с медью обладал более выраженным фитотоксическим эффектом. Растения на участке, содержащем 10 ПДК Pb, после 54-го дня вегетации практически прекращали свой рост. Внесение в почвы Cu в количестве 1 ПДК увеличивало биомассу растений. Присутствие меди несколько снижало токсический эффект Pb в отношении длины листьев и биомассы.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, *Anethum graveolens* L., фитотоксичность, чернозем обыкновенный

## EFFECTS OF COPPER AND LEAD TO GROWTH AND DEVELOPMENT OF PLANTS FOR EXAMPLE *ANETHUM GRAVEOLENS* L.

Semenova I.N.<sup>1,2</sup>, Singizova G.S.<sup>2</sup>, Zulkarnaev A.B.<sup>2</sup>, Ilbulova G.R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Autonomous Scientific Enterprise (SASE) Institute of Regional Studies, Sibai, Republic of Bashkortostan (2, K.Zetkin Str., Sibai, 453830), e-mail: alexa-94@mail.ru

<sup>2</sup>Sibaisky Institute (branch) «The Bashkir state University», Sibay, Republic of Bashkortostan, Russia (453838, Sibay, Belova street, 21)

It has studied the effect of different concentrations of heavy metals (Pb and Cu) in soil on the growth and development of the *Anethum graveolens* L. in heavy texture ordinary chernozem. The experiment was performed in triplicate in the following ways: 1) control sample (no application heavy metals in soil), 2) application of Cu in excess of 1, 5 and 10 the maximum allowable concentration (MAC), 3) application of Pb in amount 1, 5 and 10 MAC, 4) application of either Cu and Pb in an amount 1, 5 and 10 MAC. Measuring *Anethum graveolens* L. (plant height, length of the largest leaf, number of leaves, length of axial root, dry biomass) was carried out 5 times during the growing season at intervals of 10 days, starting from the 24th day. The impact of the heavy metals on the *Anethum graveolens* L. determined on their properties and concentrations in the soil, as well as dependent on the growing season of the plant. On the 54th day there were small signs of chlorosis on plants growing on soils with the introduction of heavy metals. Lead compared with copper has a more pronounced phytotoxic effect. Plants almost stopped its growth on a soil containing lead in excess 10 MAC after a 54-day of growth. Adding Cu to the soil in an amount 1 MAC was increased plant biomass. The presence of copper is reduced toxic effect of Pb mildly as for the length of leaves and biomass.

Keywords: heavy metals, *Anethum graveolens* L., phytotoxicity, ordinary chernozem

В последние годы ведутся широкие исследования по изучению влияния тяжелых металлов (ТМ) на отдельные физиологические процессы растений. Многие из ТМ относятся к эссенциальным химическим элементам, которые в следовых количествах необходимы для метаболизма, роста и развития растений, являясь составной частью различных ферментов.

Они активно участвуют в метаболизме, но при избытке в среде могут проявлять сильное токсическое действие [1,4,5,10]. В частности, медь (Cu), являясь наиболее токсичным ТМ, в растениях входит в состав пластоцианина, участвующего в фотосинтезе, и некоторых других медьсодержащих белков и окислительных ферментов. Она повышает засухо-, морозо- и жароустойчивость растений [7]. Однако интервал концентраций Cu, при которых этот металл не проявляет своего токсического действия, очень небольшой. Даже двукратное превышение оптимальных концентраций Cu может вызвать негативное действие. Так, токсическое действие меди в повышенных концентрациях проявлялось в снижении накопления фитомассы, уменьшении оводненности тканей и содержания хлорофилла, ингибировании поглощения ионов некоторых других металлов и их транслокации по растению рапса [3]. Высокие концентрации этого металла приводят к развитию металлотоксикозов (хлорозы, некрозы, ингибирование роста корней и побегов), вплоть до полной гибели растений. Механизмы адаптации растений к токсическому действию Cu основаны на функционировании общих (низкомолекулярные органические стресс-протекторные соединения, защитные макромолекулы и антиоксидантные системы) и специализированных механизмов устойчивости (хелатирование, секвестеризация и компартментация ТМ) [8, 9].

Токсичное действие свинца (Pb) на растения связано, главным образом, с нарушением фотосинтеза, а также роста растений. В основном свинец накапливается в корнях растений [1,4,5]. Однако следует отметить, что фитотоксичность этого металла менее выражена по сравнению с многими другими ТМ. Это объясняется тем, что в почве катионы металла быстро связываются с образованием малорастворимых соединений, а также достаточно прочно удерживаются почвенными коллоидами. Вследствие этого Pb становится малоподвижным и утрачивает свою доступность для растений [1]. Еще одним объяснением пониженной фитотоксичности Pb является наличие в растениях действующей системы инактивации [2]. Вместе с тем в присутствии высоких концентраций Pb в почве происходит выраженное ингибирование процессов роста и развития растения [4, 6].

Целью данного исследования явилось изучение влияния различных концентраций тяжелых металлов (Pb и Cu) в почвах на рост и развитие укропа огородного *Anethum graveolens* L.

Исследования проводились в рамках стационарного микрополевого опыта на территории экспериментального комплекса лаборатории экологии и рационального природопользования Государственного автономного научного учреждения «Институт региональных исследований Республики Башкортостан». Опыт закладывали в трехкратной повторности в следующих вариантах: 1) контроль (без внесения в почву ТМ), 2) внесение Cu в количестве 1, 5 и 10 ПДК, 3) внесение Pb в количестве 1, 5 и 10 ПДК, 4) совместное

внесение Cu и Pb в количестве 1, 5 и 10 ПДК. Почвы опытного участка представлены черноземами обыкновенными тяжелого механического состава. Закладка опыта производилась на микроделянках размером 100 x 100 см, разделенных между собой полиэтиленовой пленкой до глубины 40 см с целью предотвращения миграции ТМ. Перед закладкой почву разрыхляли, очищали от остатков растений и выравнивали. Cu и Pb в почвы вносились в форме растворимых солей – ацетатов. Посев семян *Anethum graveolens* L. был произведен рядовым способом. Норма высева составляла 100-150 штук семян на 1 м<sup>2</sup>.

Как показали исследования, степень воздействия ТМ на укроп огородный определяется их свойствами и содержанием в почве, а также зависит от вегетационного периода растения.

На 24-й день вегетации высота растений *Anethum graveolens* L. была примерно одинаковой на всех пробных площадках, как загрязненных солями металлов, так и контрольной, что может свидетельствовать об отсутствии выраженного негативного воздействия на изучаемые растения на данном этапе их роста со стороны внесенных в почву ТМ (рис. 1).

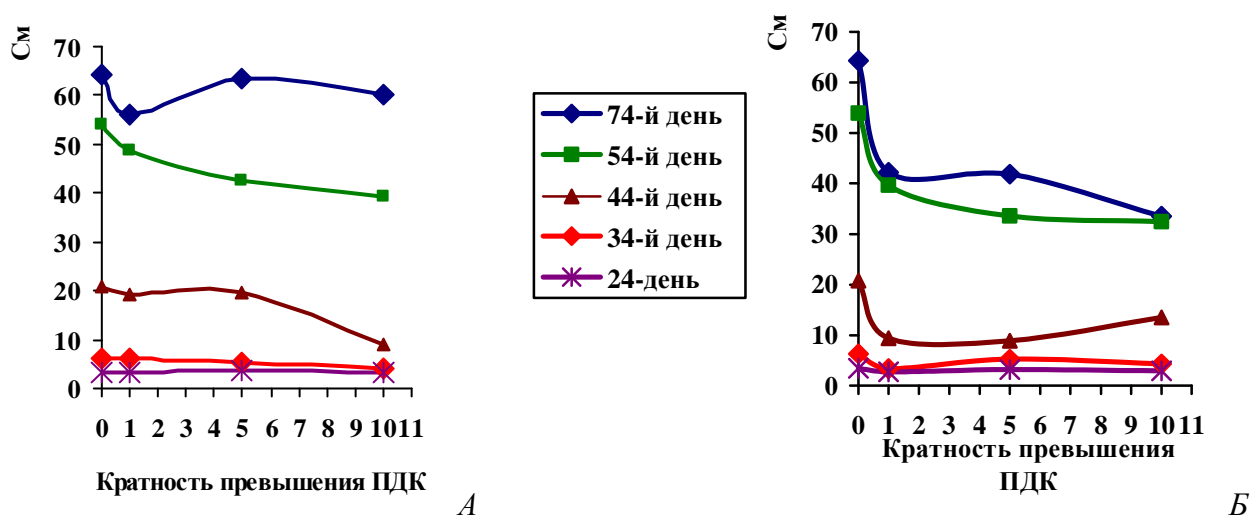


Рис. 1. Влияние разных концентраций Cu (А) и Pb (Б) в почве на динамику роста *Anethum graveolens* L.

Примерно через 40 дней вегетации начинали проявляться различия в высоте *Anethum graveolens* L., усиливающиеся по мере роста растения. На 54-й день роста на растениях, растущих на почвах с внесением ТМ, появились небольшие признаки хлороза. Высота растения на участках, загрязненных медью была выше по сравнению с растениями, выросшими на почвах со свинцом. Этот результат, по-видимому, свидетельствует о большей фитотоксичности свинца по сравнению с медью.

К концу вегетационного периода на 74-й день роста высота растений *Anethum graveolens* L., произрастающих на почве, содержание меди в которой превышало ПДК в 5 раз, практически сравнялась с контрольными показателями. Подобный эффект стимуляции

роста в присутствии меди был отмечен также для растений, произрастающих на пробной площадке, содержащей 10 ПДК Cu, однако в данном случае он был менее выражен. Смена токсического эффекта на стимулирующее действие меди, по всей видимости, связано с адаптационными механизмами растений, с помощью которых они инактивировали избыточное количество ионов ТМ.

Как было отмечено выше, свинец по сравнению с медью обладал более выраженным токсическим действием. Растения на участке, содержащем 10 ПДК Pb, оказались наиболее слабыми и низкорослыми, обладали признаками хлороза. Их рост после 54-го дня вегетации практически прекратился.

Совместное внесение Cu и Pb также отрицательно сказалось на увеличении длины растений. При этом высота растений на всех пробных площадках (1, 5, 10 ПДК Pb+Cu) была приблизительно одинаковой при каждом измерении, а в конце вегетационного периода отставание в росте по сравнению с контролем составило 1,5 раза.

Периодические измерения длины наиболее крупных листьев показали, что отдельное загрязнение почв медью и свинцом, так же как и их совместное внесение, отрицательно влияет на этот показатель. При этом в почве с солями свинца растения были угнетены в большей степени по сравнению с контролем. Так, на участках, содержащих 5 и 10 ПДК Pb, листья оказались короче в 2 раза (рис. 2). Совместное внесение солей свинца и меди несколько снижало токсический эффект Pb в отношении длины листьев.

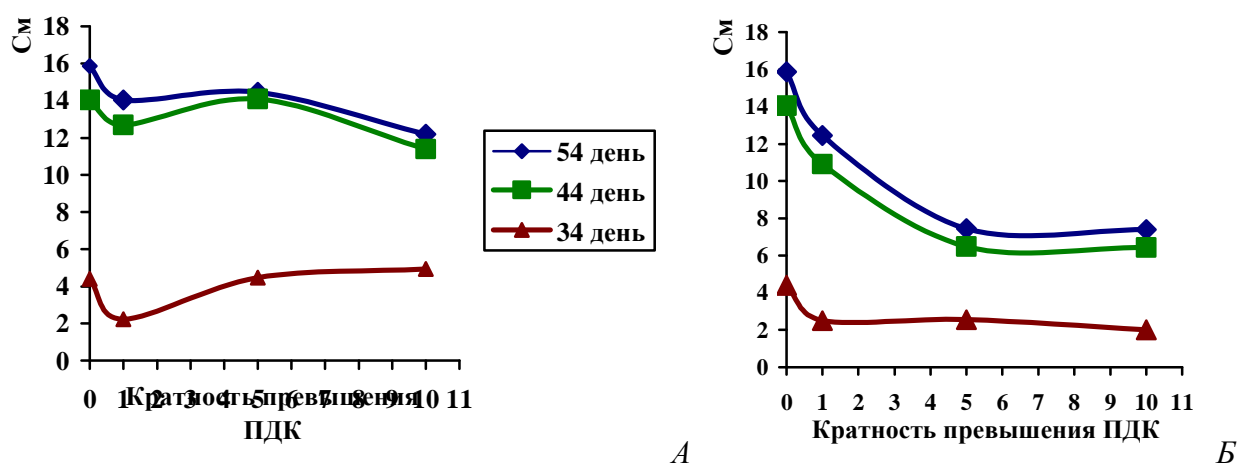


Рис. 2. Зависимость длины листьев *Anethum graveolens* L. от концентрации Cu (А) и Pb (Б) в почве

В конце вегетационного периода было подсчитано количество листьев на каждом растении. Внесение в почву Cu в количестве 1 ПДК привело к небольшому повышению этого показателя, дальнейшее увеличение концентрации металла способствовало его незначительному снижению по сравнению с контролем. В опытах со свинцом, а также при

совместном внесении Cu и Pb наблюдалось снижение количества листьев в зависимости от концентрации металла в почве (рис. 3).

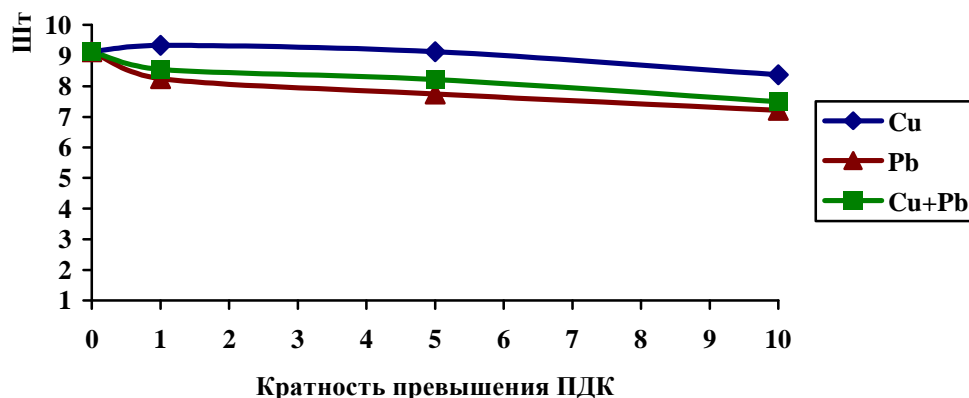


Рис. 3. Зависимость количества листьев *Anethum graveolens L.* от концентрации Cu и Pb в почве

После сбора растений была измерена длина их осевого корня. Искусственное загрязнение почв ТМ угнетало рост осевого корня растений в длину. Свинец в данном случае также оказался более токсичным. В меньшей степени пострадали растения на участках, загрязненных одновременно Cu и Pb. Так, при 5 ПДК Cu+Pb длина корней ничем не отличалась от контрольного варианта, а при 1 и 10 ПДК ее значения были немного ниже по сравнению с контролем (рис. 4).

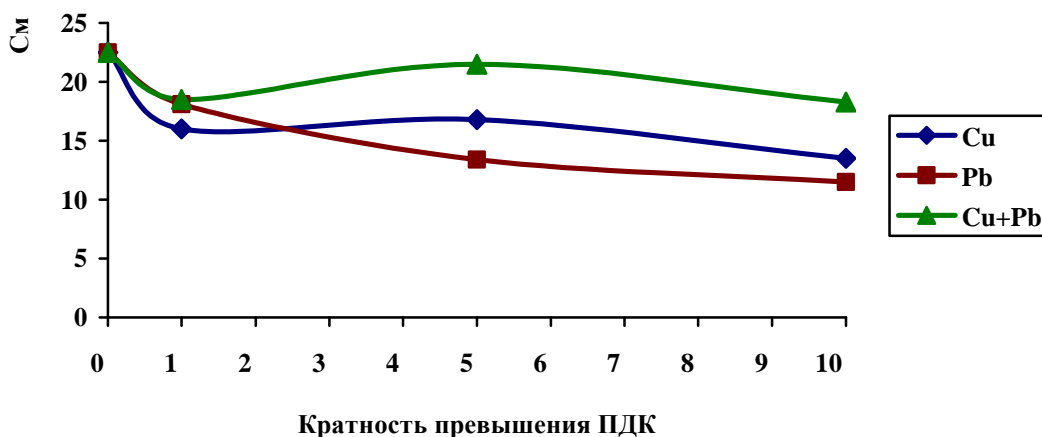


Рис. 4. Зависимость длины осевого корня *Anethum graveolens L.* от концентрации Cu и Pb в почве

Следующим изученным показателем растений *Anethum graveolens L.* явилась их сухая биомасса. Внесение в почвы солей меди в количестве 1 ПДК положительно сказалось на этом показателе. По сравнению с контрольным вариантом (6,12 мг/кг) биомасса несколько повысилась и составила 6,61 мг/кг (рис. 5).

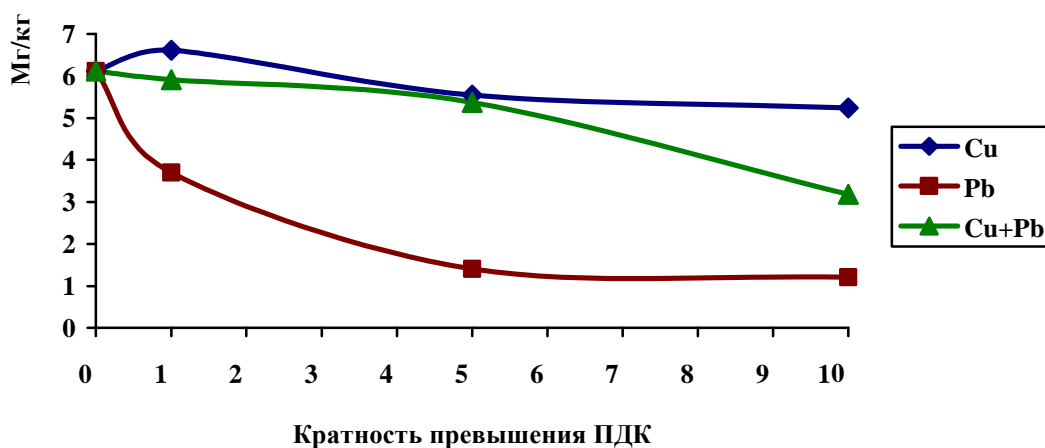


Рис. 5. Зависимость сухой биомассы *Anethum graveolens* L. от концентрации Cu и Pb в почве

При повышении концентрации меди в почвах до 5ПДК и 10ПДК сухая фитомасса снижалась до 5,50 мг/кг и 5,24 мг/кг, соответственно. Присутствие солей свинца в почве в количестве 1ПДК приводило к снижению биомассы растений *Anethum graveolens* L. в два раза (3,12 мг/кг), а при увеличении концентрации этого металла в почве до 5 и 10 ПДК наблюдалось снижение изучаемого показателя до 4 раз по сравнению с контролем. При совместном внесении Cu и Pb медь оказывала стимулирующее воздействие на развитие растений, что отразилось и на их биомассе. При этом токсический эффект свинца снижался в 2 раза на участке с 10ПДК и в 3,5 раза – с 5 ПДК.

Таким образом, проведенные исследования доказывают негативное влияние высоких концентраций меди и, в особенности, свинца в почвах на рост и развитие растений. Действие ТМ на растение может отличаться на разных стадиях его развития. При этом могут наблюдаться морфологические изменения, которые проявляется в укороченности стеблей, листьев и корней, уменьшении количества листьев и общей биомассы растений, появлении хлорозов и некрозов. При этом присутствие одного металла может снижать фитотоксичность другого.

### Список литературы

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 170 с.
2. Гармаш Г.А. Распространение тяжелых металлов в почвах в зоне воздействия металлургических предприятий // Почвоведение. — 1985. - №2. — С. 27-32.
3. Иванова Е.М. Токсическое действие меди и механизмы ее детоксикации растениями рапса: Автореф. дис. канд. биол. наук. — М., 2011. — 26 с.

4. Ильин Б. В. Тяжелые металлы в системе почва – растение. — Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1991. — 151 с.
5. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. — М.: Мир, 1989. — 439 с.
6. Титов А.Ф., Лайдинен Т.Ф., Казнина Н.М. Влияние ионов свинца на рост и морфологические показатели растений ячменя и овса // Физиология и биология культурных растений. — 2001. — Т.33, №1. — С. 33-37.
7. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. — М.: Наука, 1974. — 324 с.
8. Clemens S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis/ S. Clemens // Planta. — 2001. - № 212. — P. 475-486.
9. Hall J.L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance / J.L. Hall // J. Exp. Bot. — 2002. - № 53. — P. 1-11.
10. Hall J., Williams E. Transition metal transporters in plants / J.Hall, E. Williams // J. Exp. Bot. . — 2003. - №54. — P. 2601-2613.

**Рецензенты:**

Суюндуков Я.Т., д.б.н., профессор, директор ГАНУ Институт региональных исследований, г. Сибай;

Янтурин С.И., д.б.н., профессор, профессор кафедры экологии Сибайского института (филиала) Башгосуниверситета, г. Сибай.