

Виктория Андреевна Медведева

Красноярский государственный аграрный университет, магистрант кафедры экологии и природопользования, Россия, Красноярск, e-mail: medvedeva_victoriya@mail.ru

Ирина Сергеевна Коротченко

Красноярский государственный аграрный университет, доцент кафедры экологии и природопользования, кандидат биологических наук, Россия, Красноярск, e-mail: kisaspi@mail.ru

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НУТА ДЛЯ ОЧИСТКИ СРЕДЫ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Цинк и свинец являются приоритетными токсическими металлами, поступающими в окружающую природную среду в результате антропогенного воздействия, в том числе и от предприятий сельского хозяйства. Цель исследования – оценка воздействия ионов цинка и свинца на всхожесть семян, морфометрические показатели растений и состояние пигментного комплекса листьев нута, накопление металлов в биомассе для выявления возможности применения нута в технологии фиторемедиации. Представлен эксперимент в гидропонике, в котором изучали воздействие цинка и свинца на всхожесть семян, морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов растений нута. Установили, что минимальным содержанием хлорофиллов а и b и каротиноидов характеризовались листья в варианте с внесением цинка в раствор в дозе 10 ПДК, наибольший показатель концентрации изучаемых пигментов наблюдался у листьев в контроле. Морфометрические параметры растений нута (длина побега и длина корня) оказались на 70 % больше в варианте с внесением в раствор ионов свинца по сравнению с вариантом с добавлением цинка. Для обоснования применимости нута в технологии фиторемедиации произвели расчет биоконцентрационного фактора. Биоконцентрационный фактор для корней, побегов растений нута в варианте с внесением свинца в раствор в дозе 10 ПДК равен 1223 и 1121 соответственно, данные значения выше по сравнению с контролем и с вариантом с добавлением цинка в раствор в среднем на 80 %. Следовательно, по способности аккумулировать исследуемые металлы нут является растением, которое можно применять в фитофильтрации вод, загрязненных ионами свинца.

Ключевые слова: свинец, цинк, тяжелые металлы, нут, загрязнение, пигменты, фитофильтрация, фиторемедиация, биоконцентрационный фактор.

Victoria A. Medvedeva

Krasnoyarsk State Agrarian University, magistrate student of the chair of ecology and environmental management, Russia, Krasnoyarsk, e-mail: medvedeva_victoriya@mail.ru

Irina S. Korotchenko

Krasnoyarsk State Agrarian University, associate professor of the chair of ecology and environmental management, candidate of biological sciences, Russia, Krasnoyarsk, e-mail: kisaspi@mail.ru

THE ESTIMATION OF THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF CHICKPEA FOR PURIFICATION OF THE ENVIRONMENT FROM HEAVY METALS

Zinc and lead are priority toxic metals entering the environment as a result of anthropogenic impact, including the enterprises of agriculture. The purpose of the study was to assess the impact of zinc and lead ions on seed germination, plant morphometric indicators and the state of the chickpea leaf pigment com-

plex, and the possibility of using chickpea's accumulation of metals in biomass for phytoremediation technology. The experiment in hydroponics in which studied impact of zinc and lead on the viability of seeds, morphometric parameters and the maintenance of photosynthetic pigments of plants of chick-pea was presented. It was found that the minimum content of chlorophylls of a and b and carotenoids were characterized by the leaves for the variant with the introduction of zinc into the solution at a dose of 10 MPC, the highest concentration of the studied pigments was observed in the control leaves. Morphometric parameters of chickpea plants (shoot length and root length) were 70 % higher in the variant with the addition of lead ions to the solution compared to the variant with the addition of zinc. To justify the applicability of chickpeas in phytoremediation technology, the bioconcentration factor was calculated. The bioconcentration factor for roots and shoots of chickpea plants in the variant with the introduction of lead into the solution at a dose of 10 MPC is equal to 1223 and 1121, respectively, these values are higher compared to the control and with the variant with the addition of zinc to the solution by an average of 80 %. Consequently, the ability of chickpeas to accumulate the studied metals makes it the plant applicable in the phytofiltration of waters contaminated with lead ions.

Keywords: *lead, zinc, heavy metals, chickpeas, pollution, pigments, phytofiltration, phytoremediation, bioconcentration factor.*

Введение. В последнее время с развитием технологий все большее внимание исследователей уделяется проблеме загрязнения окружающей природной среды, в частности вопросу загрязнения тяжелыми металлами ввиду их чрезвычайной опасности, которая обусловлена тем, что по пищевым цепям поражаются растения, микроорганизмы, животные, люди. В результате антропогенного воздействия на агро-системы (осадки сточных вод, применение минеральных удобрений, пестицидов и др.) тяжелые металлы попадают в растения. Так, некоторые пестициды содержат цинк, а суперфосфат – свинец, никель, ванадий, хром, медь [1, 2].

Загрязнение тяжелыми металлами носит как региональную, так и глобальную угрозу. Большинство физико-химических методов очистки среды от тяжелых металлов являются очень дорогостоящими, а также сложными в исполнении и имеют ряд недостатков. Более новым методом в настоящее время, как в России, так и за рубежом, признается фиторемедиация, которая основана на использовании зеленых растений для удаления загрязняющих веществ из окружающей среды. Затраты довольно минимальные по сравнению с альтернативными способами. Недостатками могут служить сезонность, а также длительность процесса [3].

Данная технология может быть использована для очистки загрязненными неорганическими и органическими соединениями, которые могут присутствовать в почве, воде, а также в воздухе [4–6].

В данном случае речь идет об очистке воды, т.е. о фитофильтрации – методе удаления токси-кантов из водной среды корнями растений. Такой процесс включает в себя выращивание на гидро-понике растений и пересадку их в металлзагряз-ненные воды, где растения с помощью корней начинают поглощать металлы в тканях.

Исследование состояния пигментов листьев проводят для определения и установления степе-ни вредности поллютантов, возможных путей адаптации к ним растений, а также для нормиро-вания и прогнозирования различных антропоген-ных нагрузок. Поэтому большой интерес вызы-вает изучение влияния тяжелых металлов на пигментный состав растений [7, 8].

Для фиторемедиации широко используют различные растения, относящиеся к группе зер-нобобовых культур, в частности однолетние рас-тения семейства Бобовые: горох, соя, фасоль, люпин. При анализе литературы нами не найде-но работ по применению нута для фиторемеди-ации, тем не менее в последнее время хозяйства многих регионов нашей страны быстро расши-ряют его посевы.

Известно, что зернобобовые – важный и не-обходимый компонент в агро-системах, включае-мый в севообороты, так как способен к азотфик-сации. Способствует экологичности окружающей среды, воздействуя позитивно на режимы и свойства почвы. При низких концентрациях за-грязнителей в биомассе возможно использовать растения в кормопроизводстве, при более высо-ких – утилизировать на получение биотоплива.

Цель исследований. Оценка воздействия тяжелых металлов (Zn, Pb) на всхожесть семян, морфометрические показатели растений и состояние пигментного комплекса листьев нута, возможности применения нута в технологии фиторемедиации.

Объекты и методы исследований. Оценку влияния тяжелых металлов проводили на базе научной лаборатории кафедры экологии и природопользования ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. В исследовании использовали метод фиточистоты, лабораторный эксперимент по выращиванию растений проводили методом гидропоники. Тяжелые металлы вносили в виде солей в пересчете на чистый металл – $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$,

$Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$ в концентрациях 10 ПДК (10 и 0,1 мг/л соответственно), взятых согласно ГН 2.1.5.1315-03. В сосуды объемом 350 мл добавляли раствор минерального удобрения для гидропоники Etisso (5,2 % азот, 5 % фосфор, 4,2 % калий и такие элементы, как железо, цинк, бор, марганец, молибден и многие другие минералы). Раствор готовили из расчета: 3 мл препарата на 1 л воды, регулировали кислотность (рН 5,5–7,0), 1 раз в неделю производили подкормку растений. Растения нута сорта Краснокутский 36 выращивали в течение 4 недель при температуре воздуха 24–26 °С, влажности воздуха 65–75 %, длительности светового дня 10–12 часов (рис. 1).



Рис. 1. Постановка эксперимента (фото авторов)

Концентрацию пигментов определяли на спектрофотометре. Для анализа использовали сформировавшиеся листья. Максимум поглощения каротиноидов определяли при длине волны 440,5 нм, максимум поглощения хлорофиллов *a* и *b* определяли при длинах волн 649 и 665 нм с последующим расчетом концентрации пигментов по уравнениям Ветшттейна и Хольма для 100%-го ацетона.

В каждом из трех вариантов опыта выращивали по 100 растений (20 сосудов на вариант – по 5 растений в каждом сосуде). Первый вариант служил контролем.

Концентрацию металлов (мг/г) в побегах и корнях растений нута определяли для воздуш-

но-сухой массы атомно-абсорбционным методом на спектрометре PinAAcle 900T.

Для оценки эффективности применения растений нута в технологии фиторемедиации нами был рассчитан биоконцентрационный фактор (БКФ) [9]

$$\text{БКФ} = C_{\text{раст}} / C_{\text{р-р}},$$

где $C_{\text{раст}}$ – концентрация металла в растении, мг/г; $C_{\text{р-р}}$ – концентрация металла в растворе, мг/л.

БКФ рассчитывали отдельно для побегов (БКФ_п) и корней (БКФ_к).

Статистическую обработку результатов проводили при помощи MS Excel 97 для Windows.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате исследований выявлено, что высокая всхожесть семян нута наблюдалась в варианте со свинцом – 100 %, в контроле и варианте с цинком на 24 и 28 % ниже соответствен-

но. Наблюдали уменьшение роста побега растений нута в вариантах с добавлением в раствор свинца и цинка на 7,80 и 22,08 см соответственно по сравнению с контролем. Отметим также уменьшение длины корня растений нута по сравнению с контролем в вариантах со свинцом – на 4,48 см и цинком – на 14,38 см (табл. 1).

Таблица 1

Всхожесть семян и морфометрические параметры растений нута под воздействием солей цинка и свинца

Показатель	Всхожесть, %	Длина побега, см	Длина корня, см
	Контроль		
Среднее	76±32,37	28,4±4,18	19,20±2,98
Минимум	40	25,2	17,4
Максимум	100	32	22,3
V, %	20,3	16,5	19,5
Цинк 10 ПДК			
Среднее	72±37,66	6,32±2,89	4,82±0,91
Минимум	40	3,7	3,9
Максимум	100	9,4	5,8
V, %	14,7	23,7	12,6
Свинец 10 ПДК			
Среднее	100±0	20,58±3,60	14,72±4,03
Минимум	100	18,2	9,9
Максимум	100	24	17,7
V, %	11,9	22,8	18,5

Ранее было показано негативное влияние различных доз и сочетаний тяжелых металлов на пигментный комплекс листьев сельскохозяйственных растений [10].

Содержание пигментов в листьях нута варьируется: хлорофилла *a* в пределах от 0,216 до 0,534 мг/г, хлорофилла *b* от 0,122 до 0,274 мг/г, каротиноидов от 0,161 до 0,458 мг/г сырой массы. Исследования показали, что минимальным содержанием хлорофиллов *a* и *b* и каротинои-

дов у листьев растений нута характеризовался вариант с цинком, наибольший показатель концентрации изучаемых пигментов наблюдался у листьев растений нута в контроле. Среди изученных металлов свинец оказал наименьшее воздействие на пигментный комплекс растений нута, что позволяет говорить о возможности применения нута в фитофильтрации вод с повышенным содержанием свинца в них (табл. 2).

Таблица 2

Содержание пигментов в листьях растений нута, мг/г

Вариант	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Сумма хлорофилла <i>a</i> и хлорофилла <i>b</i>	Отношение хлорофиллов <i>a / b</i>	Сумма каротиноидов
Контроль	0,534±0,02	0,274±0,03	8,310±0,07	1,945±0,06	0,458±0,03
Цинк 10 ПДК	0,216±0,06	0,122±0,04	3,560±0,02	1,768±0,05	0,161±0,04
Свинец 10 ПДК	0,459±0,05	0,234±0,05	7,124±0,04	1,959±0,03	0,304±0,03

Корреляционный анализ полученных данных показал, что между хлорофиллом *b* и длиной побега ($R^2 = 0,966$) существует сильная положительная связь (рис. 2).

Можем сказать, что хлорофилл *b* является маркером состояния растений нута в условиях данного эксперимента.

Биоконцентрационный фактор, рассчитанный для варианта с внесением в раствор свинца, оказался наиболее высоким как для корней,

так и для побегов растений нута по сравнению с контролем и внесением в раствор цинка в дозе 10 ПДК (рис. 3).

Согласно Г.И. Квеситадзе, Г.А. Хатисашвили, Т.А. Садунишвили и др. [9], значение биоконцентрационного фактора более 1000 является критерием для отнесения растения к аккумуляторам металлов. Поэтому можно отметить, что растения нута хорошо подойдут для фито-фильтрации ионов свинца.

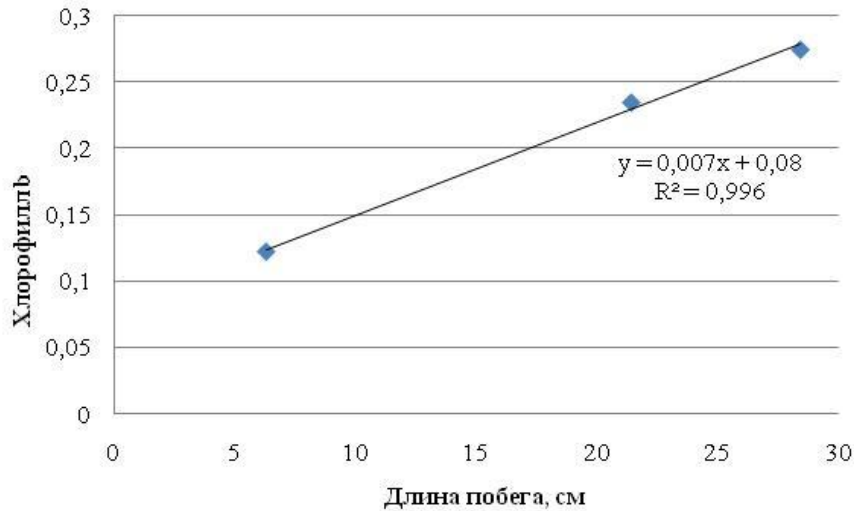


Рис. 2. Корреляционная связь между хлорофиллом *b* и длиной побега

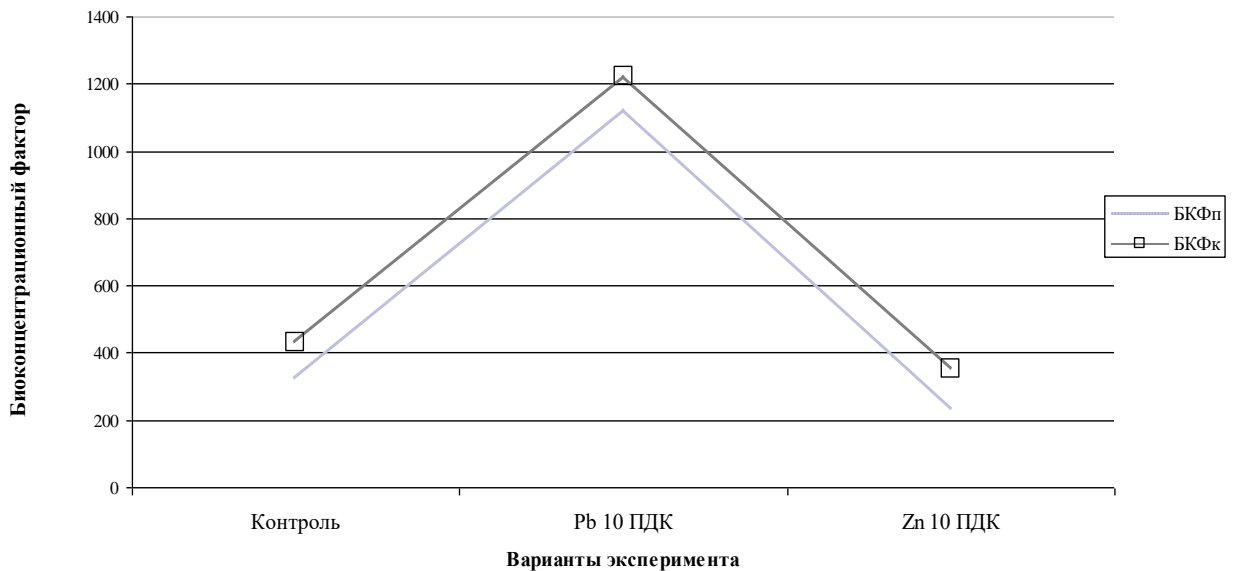


Рис. 3. Биоконцентрационный фактор для растений нута в условиях воздействия растворов солей свинца и цинка: БКФ_п – для побегов, БКФ_к – корней

Выводы

1. На начальных этапах роста растений выявлена наибольшая всхожесть семян нута в варианте с внесением свинца в дозе 10 ПДК.

2. Содержание пигментов на 28-й день вегетации нута под воздействием ионов свинца и цинка оказалось ниже на 60 % по сравнению с контролем.

3. Воздействие исследуемых металлов не имело стимулирующего влияния на морфометрические параметры растений нута по сравнению с контролем, тем не менее ионы свинца не оказали существенного негативного влияния на рост растений нута в отличие от ионов цинка. Возможно, это связано с тем, что свинцу не свойственна та или иная известная физиологическая функция в жизненном цикле растений, а цинк является важным элементом для растений, и при его избыточном поступлении происходит «отравление». Также поведение металлов зависит от вида растения и стадии его развития.

4. Биоконцентрационный фактор показал эффективность применения растений нута для фиточистки свинца.

Таким образом, фиторемедиация с помощью нута является перспективным и требующим дальнейших исследований направлением, так как может обеспечить доочистку сточных вод, вод, содержащих повышенные концентрации свинца с целью повышения продуктивности и качества урожая сельскохозяйственных растений.

Литература

1. Накопление тяжелых металлов у некоторых видов рода бузина в условиях юго-запада Центрального Черноземья / В.Н. Сорокопудов, М.В. Евтухова, Ю.Ю. Иванова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2020. № 3. С. 75–81.
2. Содержание меди и цинка в системе почва–растение на примере Октябрьского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / А.В. Синдирева, Д.О. Пузанов, А.В. Букин [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6. С. 99–104.
3. Коротченко И.С., Львова В.А. Миграция кадмия и никеля в растениях-фиторемеди-

антах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 11-2. С. 251–254.

4. Коротченко И.С. Горох и соя – растения-фиторемедианты в условиях модельного загрязнения почвы нефтепродуктами // Проблемы современной аграрной науки. Красноярск, 2018. С. 37–40.
5. Полонский В.И., Полонская Д.Е. Фторидное загрязнение почвы и фиторемедиация (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2013. Т. 48. № 1. С. 3–14.
6. Muhammad H.S., Shafaqat A., Muzammal R. [et al.]. Jute: A Potential Candidate for Phytoremediation of Metals—A Review // Plants. 2020, 9(2), 258. DOI: 10.3390/plants9020258.
7. Белова Т.А., Краснопивоцева А.Н. Функциональная перестройка пигментного аппарата растений в условиях увеличенного светового периода // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 11-1. С. 99–101.
8. Белова Т.А., Краснопивоцева А.Н. Физиологические основы адаптации пигментной системы древесных растений к условиям светового климата городской среды // Auditorium. 2016. № 4 (12). С. 10–13.
9. Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях / Г.И. Квесцатадзе, Г.А. Хатисашвили, Т.А. Садунишвили [и др.]. М.: Наука, 2005. 199 с.
10. Коротченко И.С. Влияние тяжелых металлов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях моркови // Вестник КрасГАУ. 2011. № 4. С. 86–91.

Literatura

1. Nakoplenie tzhzhelyh metallov u nekotoryh vidov roda buzina v usloviyah jugo-zapada Central'nogo Chernozem'ja / V.N. Sorokopudov, M.V. Evtuhova, Ju.Ju. Ivanova [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2020. № 3. S. 75–81.
2. Soderzhanie medi i cinka v sisteme pochva–rastenie na primere Oktjabr'skogo rajona Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga – Jugry / A.V. Sindireva, D.O. Puzanov, A.V. Bukin [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2020. № 6. S. 99–104.

3. *Korotchenko I.S., L'vova V.A.* Migracija kadmija i nikelja v rastenijah-fitoremediantah // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij.* 2015. № 11-2. S. 251–254.
4. *Korotchenko I.S.* Goroh i soja – rastenija-fitoremedianty v uslovijah model'nogo zagriznenija pochvy nefteproduktami // *Problemy sovremennoj agrarnoj nauki.* Krasnojarsk, 2018. S. 37–40.
5. *Polonskij V.I., Polonskaja D.E.* Ftoridnoe zagriznenie pochvy i fitoremediacija (obzor) // *Sel'skohozjajstvennaja biologija.* 2013. T. 48. № 1. S. 3–14.
6. *Muhammad H.S., Shafaqat A., Muzammal R.* [et al.]. Jute: A Potential Candidate for Phytoremediation of Metals—A Review // *Plants.* 2020, 9(2), 258. DOI: 10.3390/plants9020258.
7. *Belova T.A., Krasnopivceva A.N.* Funkcional'naja perestrojka pigmentnogo apparata rastenij v uslovijah uvelichenogo svetovogo perioda // *Sovremennye tendencii razvitija nauki i tehnologij.* 2016. № 11-1. S. 99–101.
8. *Belova T.A., Krasnopivceva A.N.* Fiziologicheskie osnovy adaptacii pigmentnoj sistemy drevesnyh rastenij k uslovijam svetovogo klimata gorodskoj sredy // *Auditorium.* 2016. № 4 (12). S. 10–13.
9. *Metabolizm antropogennyh toksikantov v vysshih rastenijah / G.I. Kvesitadze, G.A. Hatisashvili, T.A. Sadunishvili* [i dr.]. M.: Nauka, 2005. 199 s.
10. *Korotchenko I.S.* Vlijanie tjazhelyh metallov na sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov v list'jah morkovi // *Vestnik KrasGAU.* 2011. № 4. S. 86–91.

