

ГИПЕРАККУМУЛЯТОРЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАЗРАБОТКЕ СТРАТЕГИИ ВОСТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

HYPERACCUMULATORS OF HEAVY METALS IN THE DEVELOPMENT OF STRATEGIES TO RESTORE SOIL COVER OF URBANIZED TERRITORIES

Е. В. Журавков, Р. О. Бондарчик, Н. В. Гончарова
Y. Zhuravkov, R. Bondarchik, R. Goncharova

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
goncharova@iseu.by
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В условиях почвенной культуры исследована возможность использования для фиторемедиации урбанизированных почв пастушьей сумки и люцерны синей. Установлено, что при выращивании их на дерново-подзолистых почвах: супесчаной и суглинистой, никель накапливается в больших количествах в ризосфере, как пастушьей сумки, так и люцерны синей, а вынос никеля из суглинистой почвы исследуемыми видами растений происходит в 2–3 раза эффективней, чем из супесчаной. При совместном выращивании пастушьей сумки с бобовыми растениями (синтезирующими полисахаридами), повышается доступность тяжелых металлов в ризосфере и их экстракция из почвы. Полученные результаты явятся базой для разработки рекомендации очистки загрязненных тяжелыми металлами территорий, а предложенный способ очистки почв от тяжелых металлов позволит снизить их накопление в продуктах питания и повысить экономическую и социальную эффективность сельскохозяйственного производства.

In the conditions of soil culture the possibility of use for phytoremediation of urban soils of shepherd's purse and alfalfa blue was investigated. It was found that when grown on sod-podzolic soils: sandy loam and loamy, Nickel accumulates in large quantities in the rhizosphere, as a shepherd's purse and alfalfa blue, and removal of Nickel from loamy soil investigated plant species is 2–3 times more effective than from sandy loam. With the joint cultivation of a shepherd's bag with legumes (synthesizing polysaccharides), the availability of heavy metals in the rhizosphere and their extraction from the soil increases. The received results will be the basis for the development of recommendations for the treatment of contaminated areas of heavy metals, and the proposed method of soil purification from heavy metals will reduce their accumulation in food and improve the economic and social efficiency of agricultural production.

Ключевые слова: фиторемедиация, ризосфера, тяжелые металлы, вегетативные органы, бактерии.

Keywords: phytoremediation, rhizosphere, heavy metals, vegetative organs, bacteria.

Цель работы – изучение возможности использования травянистых растений люцерны синей (*Medicago sativa* L.) и – пастушьей сумки (*Capsella bursa-pastoris*) для фиторемедиации почв сельскохозяйственного назначения (дерново-подзолистых: супесчаных и суглинистых). Для оценки токсического влияния ионов никеля на рост и развитие растений учитывали энергию прорастания, лабораторную всхожесть и рост как растения гипераккумулятора, так и бобового растения, синтезирующего экзогенные полисахариды. В качестве контроля использовали семена, прорастающие на водопроводной воде.

Таблица 1 – Влияние ионов Ni^{2+} на энергию прорастания
и лабораторную всхожесть семян пастушьей сумки и люцерны синей

Вариант	Пастушья сумка (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)		Люцерна синяя (<i>Medicago sativa</i> L.)	
	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %
Контроль(вода)	82,0±1,15	93,0±1,13	84,0±1,70	90,6±1,12
0,5 ПДК	84,0±1,09	96,0±1,02	83,0±1,06	90,0±1,11
1 ПДК	81,0±1,02	93,0±1,05	85,0±1,10	92,0±1,32
3 ПДК	81,0±1,05	91,0±1,20	87,0±1,22	90,0±1,11

Данные, представленные в табл. 1, достоверно свидетельствуют о том, что по тестам «энергия прорастания» и «лабораторная всхожесть» исследуемые растения как пастушьей сумки, так и люцерны синей чувствительность к ионам никеля не проявили. Процент энергии прорастания и лабораторной всхожести для обоих видов растений оставался на уровне контроля – 82,0±1,15 – 84,0±1,70 и 93,0±1,13 – 90,6±1,12 соответственно.

В течение 7 дней в водной культуре вели наблюдение за ростом проростков и корневой системы исследуемых растений. Установлено, что с увеличением концентрации ионов никеля в среде выращивания растения, ростовые процессы у растения пастушьей сумки замедляются: снижается как высота растения, так и длина корешка (табл. 2). В варианте с люцерной синей, наоборот, с повышением концентрации ионов никеля в растворе – обнаружена тенденция к росту корневой системы. (табл. 3).

Таблица 2 – Влияние ионов Ni^{2+} на ростовые процессы проростков пастушьей сумки (*Capsella bursa-pastoris*) в водной культуре

Вариант (Ni)	Высота проростка, см	Длина корешка, см
Контроль (вода)	2,40±1,14	3,06±0,89
0,5 ПДК	1,53±0,25	1,93±0,20
1 ПДК	1,40±0,10	1,83±0,12
3 ПДК	1,13±0,15	1,7±0,20

Таблица 3 – Влияние ионов Ni^{2+} на ростовые процессы проростков люцерны синей (*Medicago sativa*L) в водной культуре

Вариант (Ni)	Высота проростка, см	Длина корешка, см
Контроль (вода)	2,10±1,04	3,24±0,56
0,5 ПДК	1,13±0,05	3,26 ±0,19
1 ПДК	1,10±0,09	3,53±0,12
3 ПДК	1,03±0,06	3,83±0,20

Результаты лабораторных опытов в водной культуре достоверно демонстрируют устойчивость как пастушьей сумки, так и люцерны синей к ионам никеля на ранних этапах онтогенеза.

Вегетационные опыты в горшках. После 8 недель выращивания растений их срезали, почву отделяли от корней и определяли в ней содержание никеля. Содержание никеля исследовали также в корнях и надземной массе растений (табл. 4).

Таблица 4 – Распределение никеля в органах растения и остаток в почве после выращивания гипераккумулятора – пастушьей сумки (*Capsella bursa-pastoris*)

Фракция	Содержание Ni, мг/кг воздушно-сухой массы			
	Супесчаная почва		Суглинистая почва	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Почва	12,1±0,1	0,8±0,1	23,7±0,1	2,9±0,2
Вегетативная масса	–	4,4±0,3	–	2,2±0,1
Корневая система	–	6,1±0,3	–	18,1±0,8

В контрольных сосудах (без растений), в течение периода проведения опыта поддерживали оптимальный уровень влажности. Установлен высокий вынос никеля вегетативной и корневой системами растений как гипераккумулятором – пастушьей сумкой, так и растением семейства бобовых – люцерной синей из суглинистой почвы по сравнению с супесчаной почвой в 2,0 и 2,5 раза соответственно (табл. 4, 5). Обращает на себя внимание и тот факт, что при совместном выращивании пастушьей сумки и бобового растения – люцерны синей – вынос никеля как в супесчаной, так и в суглинистой почвах увеличился в 3–3,5 раза (табл. 6).

Таблица 5 – Распределение никеля в органах растения и остаток в почве после выращивания бобового растения люцерны синей (*Medicago sativa* L.)

Фракция	Содержание Ni, мг/кг воздушно-сухой массы			
	Супесчаная почва		Суглинистая почва	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Почва	12,1±0,1	0,8±0,1	23,7±0,1	2,9±0,2
Вегетативная масса	–	5,4±0,3	–	3,6±0,1
Корневая система	–	10,1±0,2	–	12,1±0,4

Таблица 6 – Распределение никеля в органах растения и остаток в почве после совместного выращивания бобового растения – люцерны синей (*Medicago sativa* L.) + гипераккумулятор - пастушьей сумки (*Capsella bursa-pastoris*)

Фракция	Содержание Ni, мг/кг воздушно-сухой массы			
	Супесчаная почва		Суглинистая почва	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Почва	12,1±0,1	0,8±0,1	23,7±0,1	2,9±0,2
Вегетативная масса	–	12,4±0,1	–	10,1±0,4
Корневая система	–	24,1±0,2	–	48,1±0,6

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, при совместном выращивании гипераккумуляторов тяжелых металлов с бобовыми растениями, в ризосфере происходит активное накопление и фиксация никеля.

В результате проведенных исследований было установлено отсутствие первичного токсического действия ионов никеля в концентрации 0,05; 0,1 и 0,3 мг/л (0,5 ПДК, 1 ПДК и 3 ПДК) на жизнеспособность семян пастушьей сумки и люцерны синей. Токсические эффекты никеля не обнаружены на ранних стадиях онтогенеза растений, а, следовательно, меристематические клетки не перестают делиться и растение продолжает расти и накапливать вегетативную массу.

В условиях почвенной культуры исследованы фиторемедиационные свойства пастушьей сумки и люцерны синей. Установлено, что при выращивании гипераккумуляторов на дерново-подзолистых почвах: супесчаной и суглинистой, никель накапливается в больших количествах в ризосфере (для обоих вариантов). Обнаружено, что вынос никеля из суглинистой почвы исследуемыми видами растений происходит более эффективно, чем из супесчаной.

При совместном выращивании пастушьей сумки с бобовыми растениями (синтезирующими полисахариды) повышается доступность тяжелых металлов в ризосфере и их экстракция из почвы, что представляет большой интерес при подготовке будущих специалистов аграрной отрасли по применению технологий очистки загрязненных земель с целью повышения качества сельскохозяйственной продукции, экономической и социальной эффективности производства. Особенно это актуально для территорий, прилегающих к крупным животноводческим комплексам.

Полученные результаты позволяют разработать рекомендации для очистки загрязненных тяжелыми металлами территорий. Предложенный способ очистки почв от тяжелых металлов позволит снизить их накопление в продуктах питания и повысить экономическую и социальную эффективность сельскохозяйственного производства [1–4].

Научные исследования о повышении накопления тяжелых металлов растениями-гипераккумуляторами при совместном культивировании с бобовыми растениями имеют очень важное значение, однако необходимы более глубокие исследования выяснения механизмов гипераккумуляции металлов и роли бактериальных полисахаридов в этих процессах, а также оценка эффективности такой биологической системы для фиторемедиации загрязненных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончарова, Н. В. Растения и антропогенные стрессоры / Н. В. Гончарова. – Минск: Триолета, 2005. – 112 с.
2. Гончарова, Н. В. Растительные компоненты как индикаторы состояния наземных экосистем: процессы регуляции и ремедиации: монография / Н. В. Гончарова. – Минск: МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ, 2016. – 173 с.
3. Гончарова, Н. В. Фиторемедиация как инновационная стратегия использования растений для рекультивации урбанизированного почвенного покрова / Н. В. Гончарова, Е. В. Журавков // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (22–23 марта 2018 г., г. Рязань). – Рязань, 2018. – С. 89–93.
4. Гончарова, Н. В. Инвентаризация и рекультивация почвенного покрова агроландшафтов, загрязненного тяжелыми металлами / Н. В. Гончарова, Е. В. Журавков // 18-я Междунар. науч. конф. «Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века», 17–18 мая 2018 г., Минск. – Минск, 2018. – С. 32–33.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ФАКТОРА ТЕХНОГЕНЕЗА

GEOECOLOGICAL CONDITIONS OF TERRITORIAL DIFFERENTIATION OF NATURAL ENVIRONMENT UNDER EXPOSURE TO THE TECHNOGENESIS FACTOR

А. И. Калашникова^{1,2}, М. Г. Ясоев¹

A. Kalashnikava^{1,2}, M. Yasoveev¹

¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка,
г. Минск, Республика Беларусь
annaand@tut.by

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank,
Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрены объекты среднемасштабного ландшафтного картографирования – ПТК – в рангах родов, подродов и видов. Определены ведущие критерии выделения основных рангов природных и природно-антропогенных ландшафтов. Представлены результаты геоэкологического анализа трансформации ландшафтов в районах с высокой интенсивностью техногенного воздействия дополнительной оценочной категории