

НАУКИ ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

ВЛИЯНИЕ ГУМУСОВЫХ КИСЛОТ НА РЕМЕДИАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РАСТЕНИЙ

Курдей Т.А.

*Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К.Беляева,
г. Иваново, Россия*

Аннотация. Исследование ремедиационной способности растений в условиях постоянных концентраций тяжелых металлов показали перспективность использования препаратов гумусовых кислот в фиторемедиационных технологиях в качестве эффекторов фитоэкстракции. Гумусовые кислоты снизили токсичность меди, кадмия и свинца, в результате чего ремедиационная способность растений пшеницы возросла в 2-8 раз.

Ключевые слова: фиторемедиация, тяжелые металлы, гумусовые кислоты, пшеница.

Введение

Опасность загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) обусловлена их высокой токсичностью для живых организмов в относительно низких концентрациях, мутагенными, канцерогенными, тератогенными свойствами, способностью к биоаккумуляции. При избыточном поступлении в окружающую среду ТМ ведут себя как экотоксиканты, негативно воздействующие не только на отдельные организмы, но и на экосистему в целом. Накопление ТМ в экосистемах вызывает снижение видового разнообразия, общей биомассы и численности организмов, способствует развитию техногенной сукцессии и может стать причиной деградации и полного разрушения экосистем.

В устойчивости экосистем значительная роль принадлежит гуминовым веществам – уникальным природным соединениям, связывающим живые организмы и абиотическую среду, выполняющим глобальные функции и обеспечивающим само существование биосферы [1]. Наиболее реакционноспособной частью гуминовых веществ являются гумусовые кислоты (ГФК) – гуминовые (ГК) и фульвокислоты (ФК). Взаимодействуя с ТМ, ГФК изменяют формы их существования и влияют тем самым на биодоступность и токсичность металлов, процессы аккумуляции и геохимической миграции в почвенных и водных экосистемах. Комплексообразующие свойства наиболее сильно выражены у ГК, связывающих металлы в прочные комплексы в основном с помощью кислородосодержащих карбоксильных и фенольных групп [1, 2]. Растворимые ГФК, напротив, способствуют миграции ТМ по профилю и повышают биодоступность металлов.

Взаимодействуя с металлами, ГФК могут как снизить, так и увеличить их накопление растениями [3,4], что обусловлено, по-видимому, образованием растворимых или нерастворимых солей. Связывание токсикантов приводит к снижению их биодоступности и, как следствие, уменьшению биоаккумуляции и усилению роста растений. Существуют свидетельства повышения доступности ТМ и усиления их токсичности в присутствии ГФК, особенно при высоких концентрациях ТМ [5,6].

Использование препаратов ГФК в фиторемедиационных технологиях практически не

исследовано. Фиторемедиация - технологии очистки почвы, воды от загрязнителей с помощью растений [7,8]. Преимущества фиторемедиации заключаются в безопасности для окружающей среды, относительно низкой себестоимости, высокой эффективности. Для повышения фитоэкстракции ТМ растениями, не являющимися гипераккумуляторами, используют синтетические хелаторы (например, этилендиаминтетрауксусную кислоту - ЭДТА), которые повышают подвижность ТМ и их поглощение растениями. Однако синтетические эффекторы фитоэкстракции или их комплексы с металлами могут вызывать загрязнение окружающей среды и проявлять токсичность в отношении живых организмов. В то же время, в немногочисленных экспериментах получены свидетельства повышения накопления растениями ТМ под влиянием экологически безопасных природных комплексообразователей - ГФК [3,4,9].

Таким образом, представляет интерес исследование влияния гумусовых кислот на ремедиационный потенциал растений.

Материалы и методы

Для проведения исследований на основе анализа литературных данных и предварительных экспериментов был выбран препарат гумусовых кислот торфа, представляющий собой водорастворимую соль ГФК. Известно, что препараты ГФК торфа проявляют наибольшую активность в окислительно-восстановительных процессах, обладают высокой поверхностной и антиоксидантной активностью [2]. Препарат получен из низинного торфа древесно-осоковой группы со степенью разложения 35-40% [10]. Являясь относительно молодым геологическим образованием, низинный торф сохраняет в своем составе большое количество биологически активных веществ - продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Биологически активные вещества торфа включают в себя аминокислоты, углеводы, ферменты, антибиотики, витамины и природные стимуляторы роста. Максимальное количество биологически активных веществ приходится на долю гуминовых кислот, содержание которых достигает в среднем 40-50% от сухой массы торфа. Технология производства препарата обеспечивает наиболее полный перевод всех биологически активных веществ (в

особенности гуминовых веществ) в доступное для растений состояние. При этом гуминовые кислоты превращаются в физиологически активные водорастворимые соли – гуматы.

Объектом исследований была яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Приокская. Известно, что злаковые растения отзывчивы на стимулирующее действие ГФК [11]. Культурные растения – «исключатели» ионов ТМ могут иметь преимущества в фиторемедиационных технологиях в связи с высокой скоростью роста и способностью накапливать металлы в корневой системе, что может быть использовано в технологии ризофилтрации.

Модельные вегетационные эксперименты проводили в водной культуре, позволяющей непосредственно создавать заданную концентрацию как гумусовых кислот, так и тяжелых металлов. Семена опытных растений проращивали в чашках Петри при температуре 20-22^o С на фильтровальной бумаге, смоченной растворами солей ТМ (сульфата меди в концентрациях 25, 50, 100, 250, 500 и 1000 мкМ, сульфата кадмия в концентрациях 10, 25, 50, 100, 250, 500 и 1000 мкМ, нитрата свинца в концентрациях 500, 1000 и 2000 мкМ) с добавлением препарата ГФК или без препарата. Гуминовый препарат использовали в концентрации 0.01%, которая выбрана как наиболее физиологически эффективная при проращивании семян. Через 7-14 дней проростки переносили на 1-литровые сосуды с 0.25 нормы раствора Хогланда [12]. По мере роста растений увеличивали норму питательной смеси до 0.5 и 1. На опытных вариантах в раствор добавляли соли ТМ в соответствии со схемой опыта. При изучении действия высоких концентраций меди дополнительно изучали влияние 500 и 1000 мкМ сульфата меди при начале эксперимента в возрасте растений 30 дней, что позволило выяснить влияние ГФК на устойчивость взрослых растений и накопление меди. На всех вариантах опыта растения выращивали с препаратом ГФК или без препарата (0.005%). Контролем служили растения, выращенные без солей ТМ и ГФК в среде.

Растения выращивали при искусственном освещении при длине дня 16 ч. Смену питательного раствора осуществляли каждые 7 дней. Температуру поддерживали 20-22^o С, рН раствора – 5.3 – 5.6. Повторность в опытах 4-кратная, в наблюдениях – 3-х кратная.

В процессе проведения исследований отмечали фазы развития растений, проявление внешних признаков повреждения корней и побегов опытных растений. Учитывали сырую и сухую массу, измеряли длину корней и побегов растений. Содержание ионов ТМ в растениях определяли на атомно-абсорбционном спектрометре "Shimadzu" (Япония), модель 6800 в лаборатории НИИ химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского по общепринятым методикам.

Степень устойчивости растений к ТМ выражали соотношением сухой массы побегов растений на опытных и контрольном вариантах.

За коэффициент биологического накопления (КБН) ионов ТМ в растениях принимали отношение содержания ионов в растениях к их содержанию в среде. Рассчитывали коэффициент фиторемедиационной эффективности ГФК: 1) по накоплению ионов металлов в одном растении – определяли соотношение накопления ионов металлов в растениях, выращенных при использовании ГФК и без ГФК; 2) по коэффициенту биологического накопления – определяли соотношение КБН при использовании ГФК и без ГФК.

Статистическую обработку данных проводили при помощи программы Excel с использованием дисперсионного и регрессионного методов анализа.

Результаты исследований

В результате исследований установлено, что ГФК снизили содержание ионов меди в побегах растений при концентрациях до 250 мкМ, кадмия – до 25 мкМ включительно (таблица 1). При 500 мкМ Рb(NO₃)₂ проявилась тенденция снижения накопления свинца в побегах растений под влиянием ГФК. Наиболее высокая эффективность ГФК наблюдалась в присутствии меди – содержание ионов в побегах растений снизилось в 5 раз при 250 мкМ CuSO₄, в присутствии кадмия - в 3 раза при 25 мкМ CdSO₄.

ТАБЛИЦА 1

СОДЕРЖАНИЕ ТМ В РАСТЕНИЯХ (МГ/КГ СУХОЙ МАССЫ) (КОЛОШЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ)

Варианты	Медь		Кадмий		Свинец	
	побеги	корни	побеги	корни	побеги	корни
1.10	-	-	7.4	220.0	-	-
2.10+ГФК	-	-	6.6	135.0	-	-
3.25	57.0	1120.0	76.0	630.0	-	-
4.25+ГФК	50.0	1095.0	26.0	260.0	-	-
5.50	102.0	1670.0	83.0	910.0	-	-
6.50+ГФК	72.0	1640.0	96.0	2260.0	-	-
7.100	66.0	3530.0	-	-	-	-
8.100+ГФК	42.0	660.0	-	-	-	-
9.250	790.0	2890.0	-	-	-	-
10.250+ГФК	140.0	2770.0	-	-	-	-
11.500	90.0*	1890.0*	-	-	100.00	740.00
12.500+ГФК	82.0*	1640.0*	-	-	73.00	1260.00
13.1000	93.0*	2300.0*	-	-	119.40	3381.00

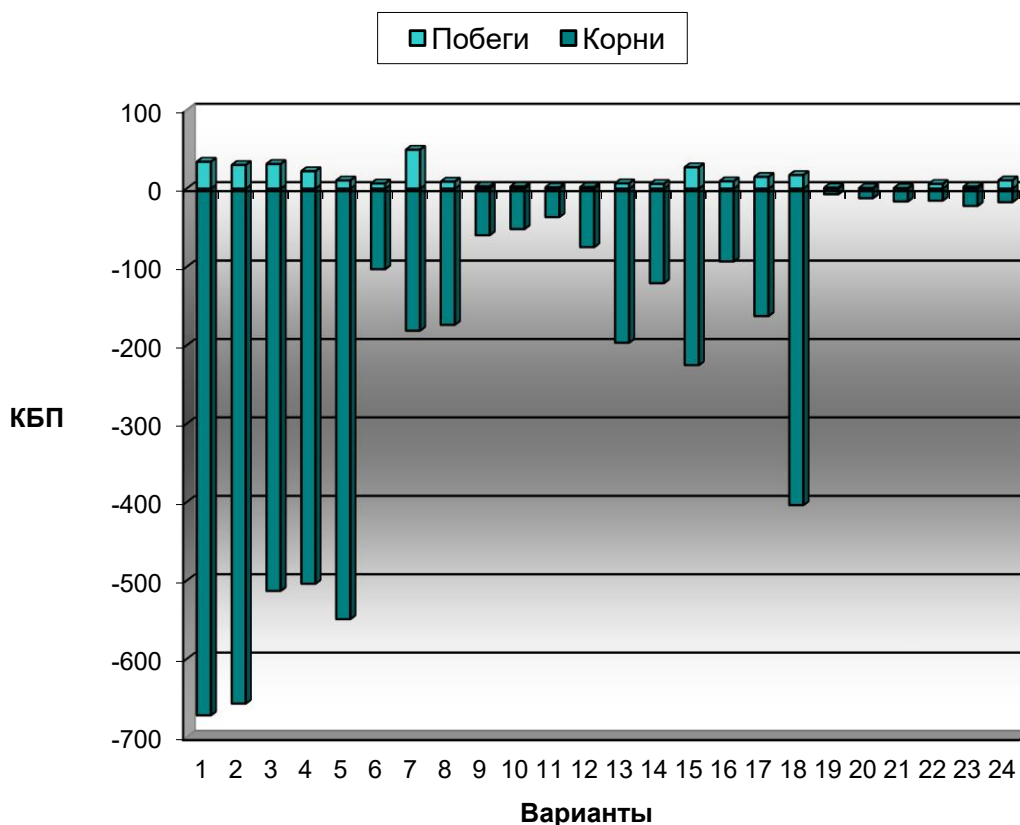
14.1000+ГФК	120.0*	4740.0*	-	-	1212.00	3171.00
15.2000	-	-	-	-	942.60	9128.00
16.2000+ГФК	-	-	-	-	4299.00	7120.00

Примечания: * начало действия меди в возрасте растений 30 дней; жирным шрифтом выделено статистически доказанное снижение содержания ТМ под влиянием ГФК; жирным шрифтом и курсивом выделено статистически доказанное увеличение содержания ТМ под влиянием ГФК

По накоплению ТМ побегами в расчете на одно растение изучаемые ТМ располагаются в убывающий ряд: Pb > Cu > Cd, корнями - Cu > Pb > Cd (.

Ремедиационные свойства растений характеризует коэффициент биологического накопления (КБН). В результате исследований установлено, что КБН свинца в корнях растений

превысил КБН в побегах в 7-28 раз, кадмия – в 8-30 раз, меди – в 4-53 раз (рисунок 1). Несмотря на то, что абсолютные значения накопления свинца были выше, чем меди и кадмия, КБН изученных металлов как для побегов, так и для корней растений располагается в следующий убывающий ряд: Cu>Cd>>Pb.



1. CuSO₄ 25 мкМ 2. CuSO₄ 25+ГФК 3. CuSO₄ 50 мкМ 4. CuSO₄ 50+ГФК 5. CuSO₄ 100 мкМ 6. CuSO₄ 100+ГФК 7. CuSO₄ 250 мкМ 8. CuSO₄ 250 мкМ +ГФК 9. *CuSO₄ 500 мкМ 10. *CuSO₄ 500 +ГФК 11.*CuSO₄ 1000 мкМ 12. *CuSO₄ 1000 +ГФК 13. CdSO₄ 10 мкМ 14.CdSO₄ 10 мкМ +ГФК 15.CdSO₄ 25 мкМ 16.CdSO₄ 25 мкМ +ГФК 17.CdSO₄ 50мкМ 18.CdSO₄ 50 мкМ +ГФК 19. Pb(NO₃)₂ 500 мкМ 20. Pb(NO₃)₂ 500 мкМ+ГФК 21. Pb(NO₃)₂ 1000 мкМ 22. Pb(NO₃)₂ 1000 мкМ + ГФК 23. Pb(NO₃)₂ 2000мкМ 24. Pb(NO₃)₂ 2000мкМ +ГФК (*-начало действия ТМ в возрасте растений 30 дней)

Рисунок 1 – Коэффициент биологического накопления ТМ

Накопление ТМ в расчете на одно растение лучше отражает ремедиационную способность растений, так как учитывается изменение массы растений (таблица 2). По накоплению ТМ побегами в расчете на одно растение изучаемые ТМ располагаются в убывающий ряд: Pb > Cu > Cd,

корнями - Cu > Pb > Cd. Причем накопление меди относительно взрослыми растениями – при начале эксперимента в возрасте 30 дней – возрастает в сравнении с растениями, выращенными в условиях высоких концентраций меди с начала онтогенеза.

ТАБЛИЦА 2

НАКОПЛЕНИЕ ТМ РАСТЕНИЯМИ ПШЕНИЦЫ В ФАЗУ КОЛОШЕНИЯ (В РАСЧЕТЕ НА ОДНО РАСТЕНИЕ)

Варианты	Содержание ТМ, мг/растение	
	побеги	корни
Медь		
1. CuSO ₄ 25 мкМ	0.068	0.728
2. CuSO ₄ 25 мкМ +ГФК	0.079	1.029
3. CuSO ₄ 50 мкМ	0.067	0.852
4. CuSO ₄ 50 мкМ +ГФК	0.071	1.312
5. CuSO ₄ 100 мкМ	0.031	0.918
6. CuSO ₄ 100 мкМ +ГФК	0.027	0.264
7. CuSO ₄ 250 мкМ	0.229	0.202
8. CuSO ₄ 250 мкМ +ГФК	0.081	0.665
9. *CuSO ₄ 500 мкМ	0.281	1.399
10. *CuSO ₄ 500 мкМ +ГФК	0.287	1.246
11. *CuSO ₄ 1000 мкМ	0.199	1.104
12. *CuSO ₄ 1000 мкМ +ГФК	0.210	1.706
Кадмий		
13. CdSO ₄ 10 мкМ	0.031	0.242
14. CdSO ₄ 10 мкМ +ГФК	0.033	0.165
15. CdSO ₄ 25 мкМ	0.079	0.491
16. CdSO ₄ 25 мкМ +ГФК	0.035	0.244
17. CdSO ₄ 50 мкМ	0.015	0.246
18. CdSO ₄ 50 мкМ +ГФК	0.055	0.520
Свинец		
19. Pb(NO ₃) ₂ 500 мкМ	0.205	0.185
20. Pb(NO ₃) ₂ 500 мкМ +ГФК	0.177	0.353
21. Pb(NO ₃) ₂ 1000 мкМ	0.215	0.676
22. Pb(NO ₃) ₂ 1000 мкМ + ГФК	1.891	0.571
23. Pb(NO ₃) ₂ 2000 мкМ	0.923	1.004
24. Pb(NO ₃) ₂ 2000 мкМ +ГФК	2.966	0.570

Коэффициент фиторемедиационной эффективности ГФК показывает, во сколько раз повышается накопление ионов металлов в сравнении с вариантами без ГФК. Коэффициент фиторемедиационной эффективности ГФК, рассчитанный с учетом изменения массы растений, лучше отражает фиторемедиационную способность растений (таблица 3). Очевидно, что

гумусовые кислоты снижают токсичность ТМ, в результате чего увеличивается масса и фиторемедиационная способность растений. Препарат ГФК повысил накопление меди корнями растений пшеницы в 1.4-3.2 раза, кадмия – в 2.1 раза (при 50 мкМ/л CdSO₄), побегами – кадмия в 3.7 раза (при 50 мкМ/л), свинца – в 3.2 и почти в 9 раз при 2000 и 1000 мкМ/л Pb(NO₃)₂ соответственно.

ТАБЛИЦА 3

КОЭФФИЦИЕНТ ФИТОРЕМЕДИЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГФК

Концентрация солей ТМ, мкМ/л	По накоплению ТМ одним растением		По КБН	
	побеги	корни	побеги	корни
Медь				
1. 25	1.16	1.41	0.88	0.98
2. 50	1.06	1.54	0.71	0.98
3. 100	0.87	0.29	0.64	0.19
4. 250	0.35	3.29	0.18	0.96
5. *500	1.02	0.89	0.91	0.87
6. *1000	1.06	1.55	1.29	2.06
Кадмий				
7. 10	1.06	0.68	0.89	0.61
8. 25	0.44	0.50	0.34	0.41
9. 50	3.67	2.11	1.16	2.48
Свинец				
10. 500	0.86	1.91	0.73	1.70
11. 1000	8.80	0.84	10.15	0.94
12. 2000	3.21	0.57	4.56	0.78

Таким образом, исследование ремедиационной способности растений в условиях постоянных концентраций ТМ показали перспективность использования препаратов гумусовых кислот в фиторемедиационных технологиях в качестве эффекторов фитоэкстракции. Гумусовые кислоты снизили токсичность меди, кадмия и свинца, в результате чего ремедиационная способность растений пшеницы возросла в 2-8 раз. Культурные растения – «исключатели» ионов ТМ могут иметь преимущества в фиторемедиационных технологиях в связи с высокой скоростью роста и способностью накапливать металлы в корневой системе, что может быть использовано в технологии ризофилтрации.

Список литературы

1. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.:1. Мир. 1990. -325 с.
2. Перминова И. В. Анализ, классификация и прогноз свойств гуминовых кислот : дис....доктора химических наук. – МГУ, 2000. – 359 с.
3. Halim M., Conte P., Piccolo A. Potential availability of heavy metals to phytoextraction from contaminated soils induced by exogenous humic substances // Chemosphere. 2003. V. 52, no. 1, pp. 265-275.
4. Evangelou M. W. H., Daghan H., Schaeffer A. The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil//Chemosphere. 2004. V. 57, no. 3, pp. 207-213.
5. Антонова О.И., Зубченко Е. Б., Скокова О.В. Эффективность использования гуматов при загрязнении почв тяжелыми металлами// Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003. Т.10. № 2. С. 21-26.
6. Bandiera M., Mosca G., Vamerli T. Humic acids affect root characteristics of fodder radish (Raphanus sativus L. var. oleiformis Pers.) in metal-polluted wastes //Desalination.-2009. vol. 246, no. 1, pp. 78-91.
7. Прасад М.Н. Практическое применение растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами//Физиология растений. Обзор. 2003. Т. 50. № 5. С. 764-780.
8. Pilon-Smits E.A.H. Phytoremediation // Ann. Rev. Plant Biol. 2005. V. 56. P. 15–39.
9. Кирдей Т.А. Перспективы использования гуминовых веществ в фиторемедиации сточных вод//Вода: химия и экология. -2017. -№ 8. С. 27-33.
10. Пат. № 2310633, Российская Федерация. МПК C05F11/02, C10F7/00. Способ получения жидких торфяных гуматов / Ю.А. Калинин, И.Ю. Вашурина, Т.А. Кирдей; заявитель и патентообладатель ООО НПФ «Недра». № 2006120883/04, заявл. 15.06.2006, опубл. 20.11.2007. Бюл. N 32.
11. Христева Л.А. Действие физиологически активных гуминовых кислот на растения при неблагоприятных внешних условиях// Гуминовые удобрения: Теория и практика их применения. Днепропетровск, 1973. Т.4. С. 15-23.
12. Hoagland D. R. The water culture method for growing plants without soil// D. R. Hoagland, D. E. Arnon //Calif. Agric. Expt. Stn. Cir. - 1950. - P. 347.

МЕТОДЫ КЛАССИФИКАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО СТЕПЕНИ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Цгоев Таймураз Федорович

доцент, к.т.н.,

*Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(Государственный технологический университет), г. Владикавказ*

Теблов Роланд Антонович

профессор, к.т.н.,

*Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(Государственный технологический университет), г. Владикавказ*

METHODS OF CLASSIFICATION OF ENTERPRISES BY THE DEGREE OF THEIR IMPACT ON THE ENVIRONMENT

Tsgoev Mr F.

associate Professor, Ph. D.,

*North Caucasus mining and metallurgical Institute
(State technological University), Vladikavkaz*

Teblov Roland Antonovich

Professor, Ph. D.,

*North Caucasus mining and metallurgical Institute
(State technological University), Vladikavkaz*

Аннотация. В статье дается краткий анализ методов диагностики предприятий на степень их воздействия на окружающую природную среду и их использование в системе экологического менеджмента. Методы экологического ранжирования использованы для определения степени опасности основных предприятий г. Владикавказ и могут быть применены при управлении экологической безопасностью в городе.