УДК 502.37

ФИТОЭКСТРАКЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ БАРХАТЦАМИ ПРЯМОСТОЯЧИМИ ИЗ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ НОРИЛЬСКА

PHYTOEXTRACTION OF HEAVY METALS FROM CONTAMINATED SOILS IN NORILSK TAGETES ERECTA

Чукаева Мария Алексеевна
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник НЦ «Экосистема»,
Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II
shellx@bk.ru

Аннотация. Исследован уровень загрязнения почв г. Норильск тяжелыми металлами. Дана оценка эффективности использования метода фиторемедиации для восстановления загрязненных почв. Установлено положительное влияние использования гуминовых кислот на рост биомассы бархатцев прямостоячих и снижение суммарного накопления тяжелых металлов в ней. Результаты исследования могут быть использованы для очистки загрязненных тяжелыми металлами почв в промышленных районах Арктической зоны.

Ключевые слова: тяжелые металлы, г. Норильск, загрязнённые почвы, фиторемедиация, бархатцы, гуминовые кислоты.

Chukaeva Maria Alekseevna
Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher of the SC «Ecosystem»
St. Petersburg Mining University
of Empress Catherine II
shellx@bk.ru

Annotation. The article studies the level of heavy metal pollution of soils in Norilsk. The efficiency of phytoremediation method for the restoration of contaminated soils sampled in Norilsk is evaluated. The positive effect of humic acid use on the growth of biomass of erect barhats and reduction of total accumulation of heavy metals in it was established. The results of the study can be used for cleaning of soils contaminated with heavy metals in industrial areas of the Arctic zone.

Keywords: heavy metals, Norilsk, polluted soils, phytoremediation, Tagetes erecta, humic acids.

Арктические экосистемы чрезвычайно чувствительны как к естественным, так и к антропогенным воздействиям и обладают низкой способностью к самовосстановлению. Норильск - один из крупнейших промышленных центров Арктики. В результате промышленных выбросов предприятий часть нарушенных экосистем находится на необратимых стадиях вырождения. Восстановление загрязненных почв в Норильске – это одна из главных задач в области экологической безопасности региона.

Целью исследования была разработка метода фиторемедиации загрязненных тяжелыми металлами почв г. Норильск. В задачи работы входили оценка уровня загрязнения почв г. Норильск тяжелыми металлами и проведение экспериментальных исследований по определению эффективности использования бархатцев прямостоячих (Tagetes erecta) и стрессопротекторных добавок в виде гуминовых кислот для восстановления загрязненных почв в промышленных районах Арктической зоны. Бархатцы прямостоячие обладают высокой устойчивостью к воздействию разных токсикантов, могут быстро расти, что важно в условиях северного короткого вегетационного периода [1].

Для активации роста и повышения устойчивости растений к воздействию тяжёлых металлов применяют гуминовые кислоты, защитная функция которых обусловлена способностью к связыванию тяжелых металлов в среде в стабильные комплексы [2, 3]. Кроме того внесение гуминовых кислот повышает pH почв.

Для проведения опыта было установлено 12 пробных площадок в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83. С учётом общего неравномерного загрязнения почв тяжёлыми металлами и основного направления ветра (юго-восточный 31 %) пробные площадки были намечены в зоне воздействия различных техногенных объектов, расположенных в северо-западном направлении от г. Норильск, по координатной сетке с неравномерными расстояниями между линиями (табл. 1).

Отбор проб почв осуществлялся в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017. Пробоподготовка почв для анализа проводилась в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017. Определение pH почв выполнялось в соответствии с ГОСТ 26423-85. Определение валовых и подвижных форм металлов проводилось в соответствии с М-МВИ-80-2008 на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой.

Растительным объектом для проведения вегетационного эксперимента послужил сорт бархатцев прямостоящих Инка II Mix. Растения выращивали в течение 21 суток. Временной интервал для опыта был выбран исходя из работы [4]. Рабочая концентрация ГК для использования в опыте составила 0,025 %, исходя из минимально рекомендованных доз применения данных соединений в естественных условиях [3]. По окончании опыта, полученную зеленую биомассу растений срезали, про-

мывали в дистиллированной воде, высушивали и взвешивали. Анализ содержания накопленных металлов проводили в растворах, полученных после мокрого озоления проб растений смесью азотной кислоты и перекиси водорода, методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой [5].

Таблица 1 – Характеристика пробных площадок с координатами ГИС

№	Описание места отбора	Ширина	Долгота
1	Граница старого хвостохранилища Медного завода	69.345252	88.169119
2	Граница жилой зоны г. Норильск	69.355967	88.167849
3	Граница отвала Медного завода	69.368040	88.168672
4	Отвал Медного завода	69.376853	88.166437
5	Территория пляжа действующего хвостового хозяйства	69.355425	88.138596
6	Рекультивированный отвал Медного завода	69.369536	88.145513
7	Граница пляжа действующего хвостового хозяйства	69.377231	88.148927
8	Территория пляжа старого хвостохранилища	69.354672	88.115352
9	Территория пляжа действующего хвостового хозяйства	69.375715	88.115209
10	Территория промзоны Медного завода	69.357230	88.081642
11	Отвал завода передела никелевых руд	69.369694	88.085496
12	Граница пляжа хвостового хозяйства	69.376239	88.088021

Химический анализ отобранных почв показал превышение предельно допустимых и ориентировочно допустимых концентраций (ПДК и ОДК) по всем элементам, среди которых наиболее значительные по Cr, Cu и Ni (табл. 2). Наибольший процент подвижных форм элементов, потенциально доступных для растений, отмечен для Cu и Ni.

Часть из отобранных проб (№ 6, 7, 11 и 12) отличалась кислой или слабокислой реакцией среды. Обусловлено это выпадением кислотных осадков, что свойственно для данного региона. Поскольку известно, что бархатцы плохо переносят кислотность субстрата ниже 5,8, последние пробы было решено исключить из опыта и не проводить дополнительное известкование, чтобы не изменить фон от влияния добавок в виде ГК.

Таблица 2 – Содержание в отобранных пробах почв основных загрязняющих металлов и уровень pH

Проба / элемент	Cr	Cu	Ni	pH
	Содержание (ppm) металлов: валовая / подвижная формы			Ед. pH
[1]ОДК/ [2]ПДК	6 / н/н	132 / 3	80 / 4,0	н/н
1	1800 / 15	2800 / 2757	3800 / 1555	6,51
2	560 / 2,6	670 / 630	380 / 226	6,78
3	2300 / 3,6	500 / 499	1000 / 544	6,69
4	2200 / 5,3	400 / 383	1000 / 915	5,89
5	1900 / 1,7	1300 / 1263	1200 / 1066	5,94
6	350 / 3,7	1700 / 302	1400 / 1349	3,03
7	170 / 5,9	1000 / 788	1700 / 1640	3,79
8	1600 / 1,7	1200 / 1175	1100 / 970	5,09
9	900 / 5,1	700 / 191	1400 / 543	6,52
10	1400 / 16	3400 / 3351	3300 / 1752	6,81
11	490 / 8,7	1200 / 849	1400 / 1383	3,35
12	1400 / 3,9	1800 / 1748	1900 / 1836	3,99

[1] – значения ПДК приняты в соответствии с ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве»;
[2] – значения ОДК приняты в соответствии с ГН 2.1.7.2511-09 «Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве» $pH_{KCl} > 5,5$; н/н – показатель не нормируется;

Несмотря на оптимальные значения pH было отмечено отсутствие проростков на вариантах № 4, 5 и 8. Вероятно, это связано с тяжелым механическим составом образцов почвы, взятых с данных точек. На оставшихся пробах, несмотря на полиметаллический стресс, растения показали хорошую энергию прорастания (рис. 1). Как видно из рисунка 2, добавка гуминовых кислот способствовала лучшей адаптации и небольшой прибавке в полученной биомассе. Самая лучшая ответная реакция у растений была отмечена на пробе № 10. Увеличение биомассы побегов здесь составило чуть менее 30 %. Интродукция в среду гуминовых кислот также способствовало снижению суммарного накопления в растениях тяжелых металлов (рис. 1). Наиболее значительно это проявилось на варианте № 9. Снижение аккумуляции токсикантов в побегах здесь составило 64,0 %.

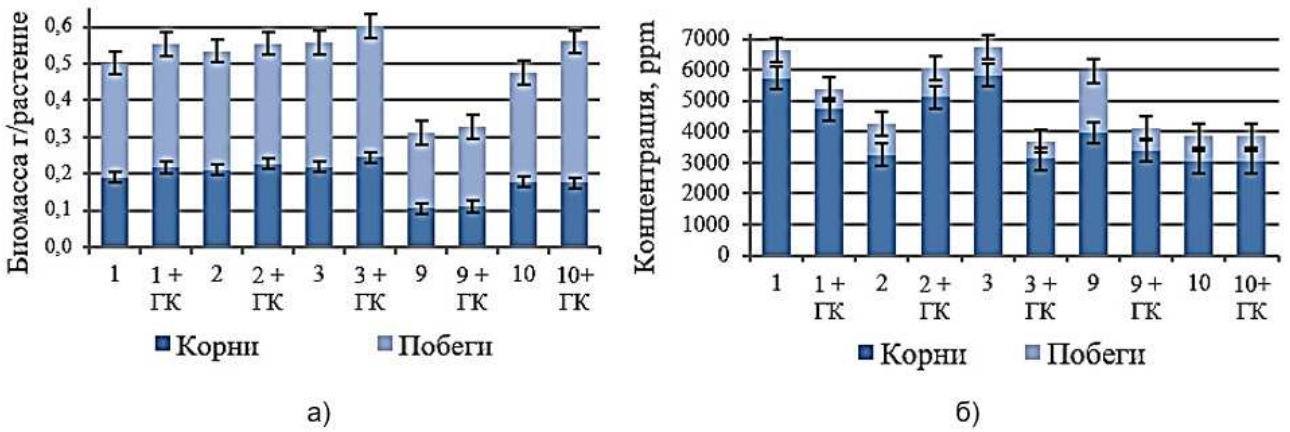

Рисунок 1 – Сухая биомасса растений бархатцев (а) и суммарное накопление тяжелых металлов в побегах и корнях растений бархатцев (б) в конце опыта

Выбранную дозу гуминовых кислот необходимо постепенно повышать с целью поиска оптимальной концентрации, сглаживающей кислотность среды за счет эффекта по типу известкования, для достижения необходимого двойственного эффекта, связанного как с улучшением роста и развития культур бархатцев, при выращивании на сильнозагрязненных почвах вблизи Норильска, так и с увеличением количества экстрагируемых ими металлов.

Исследования выполнены в рамках государственного задания FSRW-2024-0005.

Список литературы:

1. Rocha C.S. Phytoremediation by ornamental plants: a beautiful and ecological alternative / C.S. Rocha, D.C. Rocha, L.Y. Kochi // Environ Sci Pollut Res. – 2022. – Vol. 29. – P. 3336–3354.
2. Minisha T.M. Application of Aztec Marigold for phytoremediation of heavy metal polluted lateritic soil / T.M. Minisha, I.K. Shah // Environmental Chemistry and Ecotoxicology. – 2020. – Vol. 3. – P. 1–21.
3. Yang T. Investigating the use of synthetic humiclike acid as a soil washing treatment for metal contaminated soil / T. Yang, M.E. Hodson // Sci. Total Environ. – 2019. – Vol. 647. – P. 290–300.
4. Ягдарова О.А. Особенности накопления Pb однолетними декоративными растениями в процессе онтогенеза // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. – С. 419.
5. Kacar B. Plant analysis, Nobel Yayin № 1241 / B. Kacar, A. Inal // Fen Bilimleri. – 2008. – Vol. 63.

List of references:

1. Rocha C.S. Phytoremediation by ornamental plants: a beautiful and ecological alternative / C.S. Rocha, D.C. Rocha, L.Y. Kochi // Environ Sci Pollut Res. – 2022. – Vol. 29. – P. 3336–3354.
2. Minisha T.M. Application of Aztec Marigold for phytoremediation of heavy metal polluted lateritic soil / T.M. Minisha, I.K. Shah // Environmental Chemistry and Ecotoxicology. – 2020. – Vol. 3. – P. 1–21.
3. Yang T. Investigating the use of synthetic humiclike acid as a soil washing treatment for metal contaminated soil / T. Yang, M.E. Hodson // Sci. Total Environ. – 2019. – Vol. 647. – P. 290–300.
4. Yagdarova O.A. Features of Pb accumulation by annual ornamental plants in the process of ontogenesis // Modern problems of science and education. – 2013. – Vol. 2. – P. 419.
5. Kacar B. Plant analysis, Nobel Yayin № 1241 / B. Kacar, A. Inal // Fen Bilimleri. – 2008. – Vol. 63.