

Ф. В. Дегтярёв

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ТРАНСЛОКАЦИИ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ»

*В экспериментальных условиях изучено влияние различных концентраций тяжелых металлов на коэффициенты биологического перехода в системе почва → растение и на изменение морфометрических параметров растений фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.). Установлено влияние трилона Б на коэффициенты биологического перехода в системе почва → растение.*

Все возрастающее внимание к охране окружающей среды вызвало особый интерес к вопросам контроля за содержанием тяжелых металлов в почве и растениях. Выхлопные газы транспортных средств, вывоз в поле или станции очистки сточных вод, орошение сточными водами, отходы, остатки, выбросы при эксплуатации шахт и промышленных площадок и т. д. привели к увеличению концентраций тяжелых металлов в почве и объектах окружающей среды.

Почва является аккумулятором загрязнений, влияет на перераспределение элементов в биосфере. В связи с этим неслучаен интерес к вопросам ремедиации и фитоэкстракции. Последняя заключается в посеве и выращивании в течение определённого периода времени на загрязнённых участках специально подобранных видов сельскохозяйственных растений, извлекающих из почвы тяжёлые металлы и накапливающие их в наземной биомассе, в последующем утилизируемой. Существует ряд исследований, утверждающих, что коэффициент накопления металлов в растениях повышается благодаря внесению в почву эффекторов фитоэкстракции [1].

Цель данной работы состояла в экспериментальном изучении процессов транслокации ионов тяжелых металлов в системе почва → растения. Объектом исследования являлась фасоль обыкновенная (*Phaseolus vulgaris* L.).

Исследование проводили в рамках вегетационного эксперимента с заражением почвы нитратом свинца и нитрата кадмия в дозах соответствующих 1 значению ОДК, 2,5 ОДК и 5 ОДК, что соответствовало следующим концентрациям для ионов:

- 1) для свинца: 50 мг/кг, 125 мг/кг и 250 мг/кг соответственно,
- 2) для кадмия: 1 мг/кг, 2,5 мг/кг и 5 мг/кг [2].

В работе исследована возможность использования в качестве эффектора фитоэкстракции динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (трилона Б), которая вносилась в концентрации 372 мг/кг почвы (1 ммоль/кг почвы).

Методом атомно-адсорбционной спектроскопии установлены концентрации тяжелых металлов в почве и наземной фитомассе фасоли обыкновенной, собранной на стадии созревания семян (таблицы 1–2).

При внесении нитрата свинца его остаточная концентрация в почве по завершении эксперимента возрастает в 2–6 раз по сравнению с контролем. Тогда как при совместном внесении трилона Б и свинца концентрация элемента в почве увеличивается в среднем в 6 раз. Отмечено, что при совместном внесении нитрата кадмия и трилона Б уменьшается количество кадмия в почве в 1,5 раза, по сравнению с контролем.

Таблица 1 – Содержание элементов в почве (мг/кг)

Условия опыта	Определяемые показатели			
	Zn	Cu	Pb	Cd
Cd 1 ОДК	89,06	5,54	8,63	0,13
Cd 2,5 ОДК	97,22	5,69	7,45	0,33
Cd 5 ОДК	101,93	4,75	6,96	0,32
Cd 1 ОДК + трилон Б	47,84	4,73	5,08	0,07
Cd 2,5 ОДК + трилон Б	30,85	4,37	5,33	0,07
Cd 5 ОДК + трилон Б	45,21	4,85	5,47	0,12
Pb 1 ОДК	96,47	5,81	7,53	0,14
Pb 2,5 ОДК	98,07	5,31	29,99	0,13
Pb 5 ОДК	85,97	5,64	85,87	0,12
Pb 1 ОДК + трилон Б	56,06	4,46	80,77	0,09
Pb 2,5 ОДК + трилон Б	41,47	4,06	4,50	0,06
Pb 5 ОДК + трилон Б	29,93	3,86	74,19	0,05
Трилон Б	52,58	4,71	23,40	0,07
Контроль	77,49	5,00	13,40	0,10

Таблица 2 – Содержание элементов в надземной фитомассе растений (мг/кг)

Условия опыта	Определяемые показатели			
	Zn	Cu	Pb	Cd
Cd 1 ОДК	57,66	3,40	1,47	0,09
Cd 2,5 ОДК	59,49	2,13	1,29	0,08
Cd 5 ОДК	61,11	2,33	1,72	0,08
Cd 1 ОДК + трилон Б	95,51	2,79	1,86	0,14
Cd 2,5 ОДК + трилон Б	74,54	1,79	1,11	0,14
Cd 5 ОДК + трилон Б	88,37	1,91	2,22	0,23
Pb 1 ОДК	53,84	4,15	3,52	0,05
Pb 2,5 ОДК	55,10	3,01	1,90	0,07
Pb 5 ОДК	73,19	1,87	2,70	0,07
Pb 1 ОДК + трилон Б	61,36	1,87	10,21	0,06
Pb 2,5 ОДК + трилон Б	89,49	2,64	10,22	0,11
Pb 5 ОДК + трилон Б	94,55	2,45	22,89	0,13
Трилон Б	102,55	2,60	1,84	1,12
Контроль	58,08	0,94	1,13	0,08

При дополнительном внесении нитрата кадмия существенных отличий в накоплении кадмия в растительном материале, в сравнении с контролем, не наблюдается. Однако уже при совместном внесении нитрата кадмия и трилона Б концентрация кадмия в надземной фитомассе возрастает в 2–3 раза.

В надземной фитомассе фасоли обыкновенной содержание свинца в 2–20 раз больше, чем в контроле, особенно при совместном внесении нитрата свинца и трилона Б. Это указывает на влияние комплексона на процесс транслокации свинца, вероятно, за счет образования устойчивых растворимых комплексов, облегчающих их поступление в растение.

Исходя из полученных данных, были рассчитаны следующие показатели: коэффициенты перехода из почвы в надземную часть растения (таблица 3) и относительный вынос элементов в надземную фитомассу (таблица 4).

Таблица 3 – Коэффициенты перехода элементов из почвы в надземную фитомассу

Условия опыта	Zn	Cu	Pb	Cd
Cd 1 ОДК	0,65	0,61	0,17	0,68
Cd 2,5 ОДК	0,61	0,37	0,17	0,24
Cd 5 ОДК	0,60	0,49	0,25	0,25
Cd 1 ОДК + трилон Б	2,00	0,59	0,37	1,93
Cd 2,5 ОДК + трилон Б	2,42	0,41	0,21	2,01
Cd 5 ОДК + трилон Б	1,96	0,39	0,41	1,94
Pb 1 ОДК	0,56	0,71	0,47	0,33
Pb 2,5 ОДК	0,56	0,57	0,06	0,53
Pb 5 ОДК	0,85	0,33	0,03	0,59
Pb 1 ОДК + трилон Б	1,09	0,42	0,13	0,69
Pb 2,5 ОДК + трилон Б	2,16	0,65	2,27	1,79
Pb 5 ОДК + трилон Б	3,16	0,64	0,31	2,89
Трилон Б	1,95	0,55	0,08	16,06
Контроль	0,75	0,19	0,09	0,78

Коэффициенты перехода свинца в надземную фитомассу снижаются при возрастании дозы вносимого в почву токсиканта, что может быть связано с активацией защитных механизмов растений. Отмечается повышение коэффициента перехода при совместном внесении нитрата свинца и трилона Б в 1,5–26 раз по сравнению с контролем.

По показателям коэффициентов биологического перехода элементы образуют следующие последовательности: Zn > Cd > Pb > Cu при внесении соли металла и эффектора; Cd > Zn > Cu > Pb – в контрольной группе. Таким образом, подтверждается влияние эффектора фитоэкстракции на коэффициенты биологического перехода.

Таблица 4 – Относительный вынос элементов из почвы в надземную фитомассу, %

Условия опыта	Pb	Zn	Cu	Cd
Cd 1 ОДК	0,18	1,25	1,14	0,10
Cd 2,5 ОДК	0,16	1,26	0,70	0,04
Cd 5 ОДК	0,11	0,68	0,40	0,01
Cd 1 ОДК + трилон Б	0,18	1,64	0,74	0,12
Cd 2,5 ОДК + трилон Б	0,07	0,76	0,28	0,04
Cd 5 ОДК + трилон Б	0,15	1,00	0,34	0,04
Pb 1 ОДК	0,04	0,83	0,99	0,39
Pb 2,5 ОДК	0,01	0,84	0,71	0,62
Pb 5 ОДК	0,01	1,36	0,54	0,85
Pb 1 ОДК + трилон Б	0,08	0,76	0,36	0,66
Pb 2,5 ОДК + трилон Б	0,04	0,97	0,44	1,51
Pb 5 ОДК + трилон Б	0,09	1,54	0,62	3,65
Трилон Б	0,17	1,65	0,65	20,02
Контроль	0,09	0,84	0,21	0,87

В условиях эксперимента эффективность индуцируемой фитоэкстракции невелика, о чем свидетельствуют значения относительного выноса элементов. Максимальный вынос в условиях эксперимента отмечали для цинка (0,8–1,7 %), что может быть

обусловлено его значительной физиологической ролью. В случае свинца и кадмия значения относительных выносов находились в пределах 0,01–0,18 % и 0,01 – 1,50 % соответственно.

Данные по содержанию элементов в почве были подвергнуты статистической обработке. Результаты определения значений парных коэффициентов корреляции представлены в таблице 5. Корреляционная связь между содержанием элементов в почве и коэффициентами перехода сильно варьирует ($r = -0,10 - -0,94$) от слабой (никель, медь, свинец) до сильной (цинк). У кадмия корреляционная зависимость с коэффициентами перехода из почвы в растения средняя ($r = -0,32$). У всех элементов корреляционная связь обратная и достоверная при уровне значимости значительно меньше 0,05.

Таблица 5 – Коэффициенты парной корреляции между содержанием тяжелых металлов в почве и коэффициентами перехода их в надземную фитомассу растения

Переменная	Pb в почве, мг/кг	Cu в почве, мг/кг	Zn в почве, мг/кг	Cd в почве, мг/кг	K _{перехода}
Pb в почве, мг/кг	1	-0,14	-0,11	-0,28	-0,28
Cu в почве, мг/кг	-0,14	1	0,83	0,49	-0,14
Zn в почве, мг/кг	-0,11	0,83	1	0,71	-0,94
Cd в почве, мг/кг	-0,28	0,49	0,71	1	-0,32
K _{перехода}	-0,28	-0,14	-0,94	-0,32	1

Таким образом, при увеличении количества элементов в почве коэффициенты перехода снижаются, следовательно, снижается и поступление тяжелых металлов в растение. На основании чего можно сделать предположение, что при увеличении концентрации подвижных форм тяжелых металлов в почве активируются защитные механизмы растения, препятствующие их переходу из почвы в растение.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

- 1) При внесении соединений свинца и кадмия в концентрациях 1–5 ОДК коэффициенты биологического перехода для меди возрастают в 1,7–3,8 раза; для цинка и кадмия уменьшаются при отдельном внесении соединений свинца и кадмия в концентрациях 1–5 ОДК, в 1,1–1,3 раза и в 1,4–3,2 раза соответственно.
- 2) Внесение 2,5 ОДК и 5 ОДК нитрата свинца заметно снижает коэффициент перехода тяжелых металлов из почвы в растение, по сравнению с контролем, что может быть обусловлено активацией защитных механизмов растения в условиях эксперимента.
- 3) Трилон Б увеличивает коэффициенты биологического перехода из почвы в надземную фитомассу растения на стадии созревания семян в 1,1–3 раза по сравнению с контролем.

Литература

- 1 Elizabeth Pilon-Smits. Phytoremediation. // Annu Rev Plant Biol. – 2005. – Р. 15–39.
- 2 ГН 2.1.7.12 -1-2004. Перечень предельно-допустимых концентраций ПДК и ориентировочно-допустимых концентраций ОДК химических веществ в почве. Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 25 февраля 2004 года № 28: Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2004. – Введен

Д. А. Дмитриева, И. Ю. Железнякова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ МИНЕРАЛОВ И ГОРНЫХ ПОРОД (НА ПРИМЕРЕ ОБРАЗЦОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ КАФЕДРЫ ГЕОЛОГИИ)

В статье приведены результаты лабораторных исследований естественной радиоактивности минералов и горных пород геологического музея кафедры геологии и разведки полезных ископаемых. В магматических породах имеется тенденция к увеличению радиоактивности с ростом содержания кремнезема в ряду ультраосновные – основные – средние – кислые – щелочные породы.

Экспериментальные исследования по изучению естественной радиоактивности минералов и горных пород проводились в геологическом музее ГГУ им. Ф. Скорины. Всего было изучено 235 образцов. Среди них 120 представителей разных минеральных классов и 115 образцов горных пород.

Рассмотрим каждый минеральный класс отдельно.

Фосфаты. Для изучения радиоактивности данного класса исследовались образцы вивианита, апатита (оз. Байкал), апатита с Кольского полуострова, керченита и бирюзы. Среди представленных минералов по повышенной интенсивности гамма-излучения выделяется апатит (6,3 мкР/ч) с Ошурковского месторождения (вблизи озера Байкал), в то время как апатит с Кольского полуострова отличается значительно меньшей интенсивностью гамма-излучения (1,5 мкР/ч). Данное различие возможно обусловлено наличием в апатите (оз. Байкал) примесей Sr, ⁴⁰K или редкоземельных элементов, процентное содержание которых, иногда достигает 10 %. Рассмотрев особенности геологического строения месторождения, следует отметить, что содержание примесей радиоактивных элементов в исследуемом минерале может быть связано с нахождением его в парагенезисе с радиоактивными рудами.

У бирюзы также наблюдается повышенная радиоактивность (2,8 мкР/ч), вероятно обусловленная специфическими особенностями её генезиса, т. е. образованием в условиях выветривания под воздействием меденосных растворов на породы, содержащие глинозем и фосфор (в виде апатита).

Сульфиды. Среди изученных минералов по повышенной интенсивности гамма-излучения выделяется киноварь (2,9 мкР/ч) и марказит (2,5 мкР/ч). Повышенная радиоактивность киновари возможно связана с наличием в механических примесях радиоактивных элементов семейств U и Th, а так же их изотопов. Радиоактивность марказита связана с нахождением его в парагенезисе с лимонитом, который в свою очередь обладает повышенной интенсивностью гамма-излучения.

Фториды и хлориты. Интенсивность гамма-излучения минералов класса относительно не высока и колеблется в пределах 1,3–2,4 мкР/ч. Однако, следует отметить, что радиоактивность галита с неравномерно распределённой по объёму интенсивно синей окраской (2,4 мкР/ч) и бесцветного галита (1,0 мкР/ч) резко отличается. Данное различие может быть связано с синей окраской минерала, которая возникает в результате облучения радиоактивным излучением, источником которого является ⁴⁰K, входящий в состав парагенетического галиту минерала – сильвина (КСI).

Силикаты. Подкласс островные силикаты. Аномально высокое значение радиоактивности наблюдается у эпидота (139 мкР/ч). Химический состав эпидота очень изменчив и элементы входящие в него могут легко заменяться другими. Так с