

УДК 502.175:581.5

Т.Н. МОТОРЫКИНА

## Содержание тяжелых металлов в растениях зоны строящейся железной дороги в районе поселка Ванино (Хабаровский край)

*Определено содержание тяжелых металлов (марганца, меди, цинка, свинца, ртути, мышьяка и кадмия) в 25 объединенных растительных пробах, собранных в районе пос. Ванино на разном удалении от строящейся железной дороги. Концентрации исследованных элементов в растениях большинства пробных площадок находятся в пределах допустимых значений, нарушений нормального функционирования растений не выявлено. Только на пяти площадках уровень содержания марганца превышает норму, что связано с особенностью кустарников и кустарничков семейства вересковые (Ericaceae) накапливать этот химический элемент.*

*Ключевые слова: тяжелые металлы, биомониторинг, площадки комплексного обследования ландшафтов, растительные пробы, концентрация.*

**Content of heavy metals in the plants growing in the area of the railway under construction near the Vanino village (Khabarovsk Territory).** T.N. MOTORYKINA (Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk).

*The results of the heavy metals content (manganese, copper, zinc, lead, mercury, arsenic and cadmium) in 25 joint vegetable samples collected from the test sites in the village of Vanino at different distances from the railway under construction are presented. The concentration of the investigated elements in the plants of most of the studied sites is within the permissible values and does not disturb the normal functioning of plants. Only at five sites the manganese content exceeds the norm, which is due to the peculiarities of shrubs and shrubs of the vacciniaceous plants (Ericaceae) to accumulate this chemical element.*

*Key words: heavy metals, biomonitoring, sites of complex survey of landscapes, vegetable samples, concentration.*

Постоянно возрастающее техногенное и антропогенное воздействие на природу приводит к значительному загрязнению окружающей среды, в частности почв, тяжелыми металлами (ТМ): железом, кадмием, калием, кальцием, кобальтом, магнием, марганцем, медью, мышьяком, никелем, ртутью, свинцом, хромом и цинком, которые отличаются высокой токсичностью, канцерогенностью и способностью накапливаться в разных объектах [10]. Среди приоритетных загрязнителей выделяют кадмий, медь, свинец, цинк, причем в природных объектах и промышленных водах они часто встречаются вместе в разных сочетаниях [15].

Для оценки уровня загрязнения тяжелыми металлами часто используются методы биомониторинга. Биологический мониторинг – исследование состояния природных сред с помощью живых организмов, по реакциям которых можно определить характер и степень загрязнения той или иной среды [6]. Одним из наиболее чутких индикаторов загрязнения ТМ почв являются растения в силу неизбирательного поглощения химических

---

МОТОРЫКИНА Татьяна Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск). E-mail: tanya-motorykina@yandex.ru

элементов. Часть из них необходима для обменных процессов в растениях, однако увеличение их концентрации становится токсичным, другие, такие как свинец и кадмий, токсичны даже в низких концентрациях [22].

Накопление соединений ТМ в растениях определяется их видовыми особенностями, уровнем загрязнения почв, расстоянием от техногенного источника, количеством атмосферных выпадений и проявляется на различных уровнях организации биологических систем [5, 20]. Повышенные концентрации соединений ТМ содержатся в корнях и листьях растений [17, 18].

В настоящее время сохранить почву в первозданном виде в современных условиях практически невозможно, так как вся поверхность земли подвержена техногенному воздействию, которое в настоящее время имеет тенденцию к возрастанию. В связи с этим проблема растений и тяжелых металлов в окружающей среде является очень актуальной и требует изучения. А знание природных концентраций ТМ в растениях дает возможность судить о состоянии чистоты или загрязненности определенного участка территории в связи с антропогенным воздействием на окружающую среду.

С целью оценки экологического состояния зоны прокладки железной дороги у пос. Ванино (Хабаровский край) проведено изучение валового содержания в растениях тяжелых металлов – марганца, меди, цинка, свинца, ртути, мышьяка и кадмия как характерных природно-антропогенных загрязнителей среды. Именно этот перечень ТМ используется многими авторами в литературных источниках по влиянию ТМ на почвы, дикорастущие и лекарственные растения [7, 8, 12].

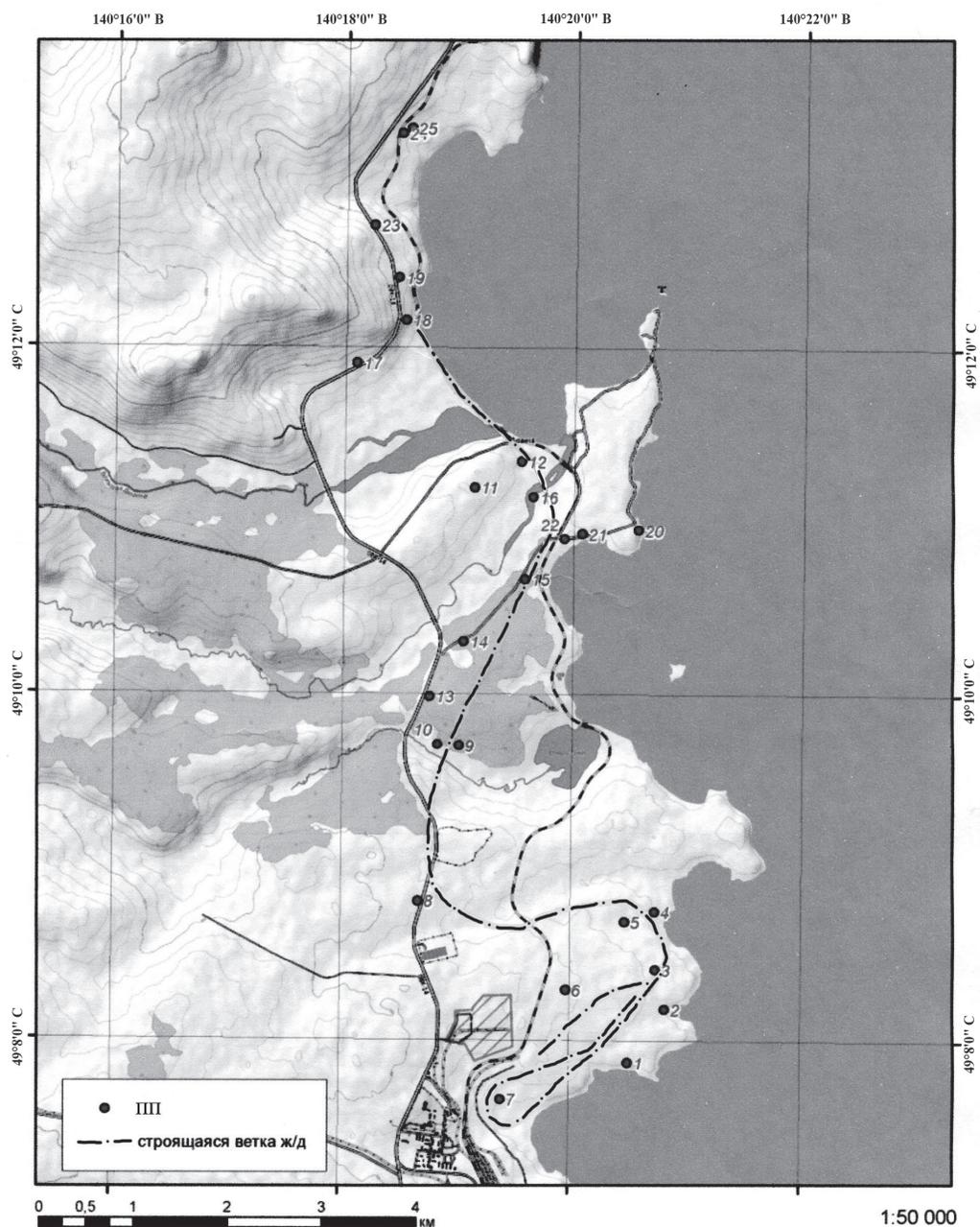
На момент исследования проводилась отсыпка земляного полотна. В связи с этим основными источниками воздействия на растительный покров являлись строительные и транспортные машины (пылевая завеса, выброс выхлопных газов в атмосферу, загрязнение территории горюче-смазочными материалами).

Растительный материал для определения химического состава отбирали в июне–июле 2017 г. с 25 заложённых пробных площадок (ПП) в 2-километровой полосе – по 1 км с каждой стороны от объектов строительства. В зависимости от расстояния до них было выделено четыре категории ПП. К первой категории (удаленность 10–100 м) отнесены 13 ПП: № 2–10, 14–16, 18; ко второй (100–200 м) – 5 ПП: № 12, 19, 22, 24, 25; к третьей (200–400 м) – 4 ПП: № 1, 13, 21, 23, к четвертой (400–1000 м) – 3 ПП: № 11, 17, 20. Наиболее удаленные ПП четвертой категории могут служить контролем, так как влияние объектов строительства на них наименьшее (см. рисунок).

При отборе материала руководствовались требованиями к репрезентативности проб. Для этого на каждой ПП с помощью специальной рамки выделяли 6–10 типичных участков площадью 1 м<sup>2</sup> каждая, равномерно расположенных на участке. Растения скашивали в сухую погоду на высоте 3–5 см, составляли объединенную пробу. Из нее после тщательного перемешивания отбирали средний образец массой 1,5 кг. Растительная масса помещалась в чистые бумажные мешки, хранилась до проведения химических анализов в свежем состоянии.

По этой единой методике с 25 ПП отобрано 25 объединенных растительных проб, в которых были представлены: вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorfi* (Link) Trin.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt), майник широколистный (*M. dilatatum* (Wood) Nels. et Macbr.), василистник скрученный (*Thalictrum contortum* L.), волжанка двудомная (*Aruncus dioicus* (Malt.) Fern.), синюха рыхлоцветковая (*Polemonium laxiflorum* (Regel) Kitam.), багульник болотный (*Ledum palustre* L.), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.), мытник лапландский (*Pedicularis lapponica* L.), шикша узколепестная (*Empetrum stenopetalum* V. Vassil.), голубика (*Vaccinium uliginosum* L.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), осоки (*Carex* sp.).

Валовые содержания тяжелых металлов дают представление о степени техногенного загрязнения [3], они определялись в каждой объединенной растительной пробе. Анализ проводили в испытательной лаборатории Центра агрохимической службы «Хабаровский»:



Месторасположение пробных площадок (ПП) в районе пос. Ванино (Хабаровский край)

ртути – методом атомно-абсорбционной спектрометрии «холодного пара» по стандартной методике М-МВИ-80-2008 [14] с использованием спектрометра атомно-абсорбционного с пламенной атомизацией Квант-2АТ; марганца, меди, цинка, свинца, мышьяка и кадмия – атомно-эмиссионным методом с ионизацией в индуктивно связанной аргоновой плазме по стандартной методике ЦВ 5.18, 19.01-2005 [13] с использованием эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой Agilent 720 ICP-OES. Количественные показатели содержания ТМ в растениях сведены в таблицу.

*Марганец* относится к числу элементов, находящихся во всех без исключения живых организмах. Он способствует ускорению процессов роста и развития растений, накоплению

**Валовое содержание тяжелых металлов в растениях (мг/кг сухой массы), произрастающих в зоне строящейся железной дороги в районе пос. Ванино**

№ ПП	Mn	Cu	Zn	Pb	Hg	As	Cd
1	94,20	3,40	13,40	<0,1	<0,005	0,10	<0,05
2	55,50	2,50	10,10	<0,1	0,005	<0,1	<0,05
3	68,50	2,70	11,10	<0,1	<0,005	0,10	<0,05
4	56,20	2,20	8,40	<0,1	0,006	0,20	<0,05
5	90,30	3,30	10,80	<0,1	<0,005	<0,1	<0,05
6	60,50	2,40	8,90	<0,1	0,005	0,10	<0,05
7	39,40	2,30	22,80	<0,1	0,005	<0,1	<0,05
8	36,40	2,30	8,80	<0,1	0,006	0,20	<0,05
9	89,50	3,00	10,60	<0,1	0,006	<0,1	<0,05
10	15,50	3,50	6,80	<0,1	0,007	0,10	<0,05
11	28,10	3,50	13,10	<0,1	0,005	<0,1	<0,05
12	38,40	2,00	14,00	<0,1	<0,005	0,10	<0,05
13	14,90	1,60	5,30	<0,1	<0,005	<0,1	<0,05
14	43,90	2,00	11,10	<0,1	<0,005	<0,1	<0,05
15	73,70	3,00	12,80	<0,1	<0,005	<0,1	<0,05
16	92,10	3,60	10,90	<0,1	<0,005	0,20	<0,05
17	44,20	2,60	8,20	<0,1	0,006	<0,1	<0,05
18	15,00	3,70	16,10	<0,1	<0,005	<0,1	<0,05
19	11,20	2,00	6,50	<0,1	<0,005	0,10	<0,05
20	27,30	2,20	10,70	<0,1	<0,005	0,10	<0,05
21	27,40	1,90	12,50	<0,1	<0,005	<0,1	<0,05
22	28,70	1,60	<5,0	<0,1	<0,005	0,10	<0,05
23	25,60	2,00	6,40	<0,1	<0,005	<0,1	<0,05
24	22,00	2,60	7,70	<0,1	<0,005	<0,1	<0,05
25	36,40	2,30	8,80	<0,1	<0,005	0,20	<0,05

и передвижению ассимилятов, повышению активности ферментативных систем [19, 21]. В зависимости от видовой принадлежности и места обитания растения в своей наземной части накапливают марганца от единиц до сотен миллиграммов на 1 кг сухой массы. При концентрации этого элемента в растениях от 20 до 70 мг/кг организмы животных функционируют нормально. М.А. Мальгин с соавторами полагают, что содержание марганца в растениях в пределах этих величин считается нормой [12]. Высокие концентрации этого элемента присущи растениям из семейства вересковые *Ericaceae* – багульнику болотному (590–2083 мг/кг) и бруснике обыкновенной (163–1587 мг/кг), которые относятся к группе манганофилов – растений, способных поглощать и концентрировать марганец в своих тканях в больших количествах, и это свойство является наследственно закрепленным; довольно много Mn накапливает шикша узколистная из семейства водяниковые *Empetraceae* (56–611 мг/кг) [11].

Высоким содержанием марганца отличаются пробы с пяти ПП, что объясняется произрастанием на них багульника (№ 9, 15), багульника и шикши (№ 1), брусники (№ 5) и голубики, тоже из семейства вересковые (№ 16). На остальных ПП концентрация марганца находится в пределах нормальных значений для функционирования растений.

*Медь* выполняет многообразные биохимические функции в растениях. Она присутствует в составе многих ферментов, комплексных соединений, играет важную роль в процессах фотосинтеза, дыхания, оказывает влияние на механизмы, определяющие устойчивость растений к заболеваниям [16]. Концентрация меди в растениях из незагрязненных регионов разных стран колеблется от 1 до 10 мг/кг сухой массы [1]. На всех изученных ПП уровень содержания меди в растениях находится в этом диапазоне.

*Цинк*. Основные функции цинка в растениях связаны с метаболизмом углеводов, протеинов и фосфатов, а также с образованием дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК)

и рибосом. Цинк играет важную роль в формировании генеративных органов и плодоношении [21]. Содержание цинка в травах находится в пределах 12–47 мг/кг сухой массы [9]. Уровень концентрации цинка в растениях на всех исследованных ПП (25) находится в пределах значений, не нарушающих нормального функционирования растений.

*Свинец.* Его избыток вызывает нарушения метаболизма у растений, основным симптомом его токсического действия является торможение роста и накопления биомассы [2]. Естественные уровни содержания свинца в растениях из незагрязненных и безрудных областей находятся в пределах 0,1–10,0 мг/кг сухой массы [9]. На всех изученных ПП концентрация свинца в растениях составляет <0,1 мг/кг.

*Ртуть* в небольших количествах всегда присутствует в растениях, так как даже в незагрязненных почвах ее содержание колеблется от 0,005 до 0,05 мг/кг [9]. Ртуть в растениях на исследованных ПП было в основном <0,005 мг/кг. Это значение даже меньше, чем нижний предел нормы.

*Мышьяк* входит в состав растений, но его биохимическая роль практически не изучена. Его содержание в растениях варьирует в широком диапазоне, например: от <0,05 до 0,33 мг/кг на Северном Алтае и от <0,05 до 0,625 мг/кг в Центральном Алтае [12], в растениях на незагрязненных почвах, по данным В.С. Гамаюровой, колеблется от 0,01 до 5 мг/кг [4]. На исследованных ПП мышьяка в растениях от <0,1 до 0,20 мг/кг, что говорит, согласно В.С. Гамаюровой, о незагрязненности почв исследуемой территории этим элементом [4].

*Кадмий* – элемент чрезвычайно высокой токсичности. Его ионы обладают большой подвижностью в почвах, легко поглощаются растениями, накапливаются в них. Нормальным считается содержание кадмия в тканях растений в пределах 0,05–0,2 мг/кг, а максимально допустимым – 3 мг/кг [9]. Концентрация кадмия в растениях на всех исследованных ПП была <0,05 мг/кг, т.е. оказалась даже меньше допустимой.

Проведенный анализ показал, что в районе начавшейся прокладки железной дороги у пос. Ванино концентрации меди, цинка, свинца, ртути, мышьяка и кадмия в растениях на всех ПП находятся в пределах допустимых значений, даже на ПП первой категории, наиболее близких (10–100 м) к объекту строительства. Выделяются пять ПП (№ 1, 5, 9, 15, 16) с незначительным превышением содержания в растениях марганца. Это связано со способностью произрастающих там багульника болотного, брусники обыкновенной и некоторых других видов накапливать этот химический элемент.

Необходимы дальнейшие исследования содержания тяжелых металлов в растениях на исследуемых площадках уже на этапе прокладки рельс.

Автор благодарит сотрудников ИВЭП ДВО РАН в.н.с., к.б.н. Л.А. Антонову, м.н.с. М.И. Вернослову за помощь в полевых работах и с.н.с., к.г.н. А.В. Остроухова за картографическое оформление материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
2. Алексеева-Попова Н.В. Накопление цинка, марганца и железа при разном уровне меди в среде // Растения в экстремальных условиях минерального питания. Л., 1983. С. 54–64.
3. Водяницкий Ю.Н. Изучение тяжелых металлов в почвах. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2005. 109 с.
4. Гамаюрова В.С. Мышьяк в экологии и биологии. М.: Наука, 1993. 208 с.
5. Дроздова И.В., Алексеева-Попова Н.В., Беляева А.И., Калимова И.Б. Влияние меди, никеля и кадмия на рост и некоторые физиологические параметры семян *Pinus silvestris* и *Picea abies* (Pinaceae) // Растит. ресурсы. 2014. Т. 50, № 4. С. 554–566.
6. Евстифеева Т.А., Фабарисова Л.Г. Биологический мониторинг. Оренбург: ОГУ, 2012. 120 с.
7. Ельчинина О.А., Рождественская Т.А., Черных Е.Ю. Микроэлементы-биофилы и тяжелые металлы в лекарственных растениях Северного Алтая // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее: материалы междунар. конф. Горно-Алтайск: Горно-Алтайский гос. ун-т, 2008. С. 51–55.

8. Зубарев В.А. Исследование содержания тяжелых металлов пойменных почв районов проведения сельскохозяйственной осушительной мелиорации (на примере Еврейской автономной области) // Регион. проблемы. 2012. Т. 15, № 1. С. 63–68.
9. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
10. Кустанович И.М. Спектральный анализ. М., 1967. 391 с.
11. Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае. Новосибирск: Наука, 1978. 272 с.
12. Мальгин М.А., Пузанов А.В., Ельчинова, Горюнова Т.А. Тяжелые металлы и мышьяк в дикорастущих лекарственных растениях Алтая // Сиб. экол. журн. 1995. № 6. С. 510–514.
13. Методика выполнения измерений массовой доли тяжелых металлов в твердых пробах (почвы, пробы растительного происхождения) методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. М., 2005. 31 с.
14. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-адсорбционной спектрометрии. СПб., 2008. 16 с.
15. Мосталыгина Л.В., Костин А.В., Бухтояров О.И., Мосталыгин А.Г. Sorption of copper, cadmium and zinc ions on bentonite clay from the solution at the individual and joint presence // Конденсированные среды и межфазные границы. 2014. Т. 16, № 3. С. 304–309.
16. Рождественская Т.А., Ельчинова О.А., Пузанов А.В. Элементный химический состав растений Горного Алтая и факторы, его определяющие // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее: материалы междунар. конф. Горно-Алтайск: Горно-Алтайский гос. ун-т, 2008. С. 110–114.
17. Семенова И.Н., Сингизова Г.Ш., Зулкарнаев А.Б., Ильбулова Г.Ш. Влияние меди и свинца на рост и развитие растений на примере *Anethum graveolens* L. // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. – <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19568> (дата обращения: 24.05.2018).
18. Серегин И.В., Кожевникова А.Д. Физиологическая роль никеля и его токсическое действие на высшие растения // Физиология растений. 2006. Т. 5, № 2. С. 285–308.
19. Физиология растительных организмов и роль металлов / под ред. Н.М. Чернавской. М.: Изд-во МГУ, 1988. 157 с.
20. Чукина Н.В., Борисова Г.Г. Структурно-функциональные показатели высших водных растений из местообитаний с разным уровнем антропогенного воздействия // Биология внутренних вод. 2010. № 1. С. 49–56.
21. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 342 с.
22. Baker A.J.M. Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals // J. Plant Nutr. 1981. Vol. 3, N 1–4. P. 643–654.