

## Тяжелые металлы в зеленой массе кустарников южных тундр полуострова Ямал

И. В. Плотников ✉

Южный федеральный университет, Российская Федерация  
(344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42)

**Аннотация.** Цель исследования – выявление особенностей фонового накопления тяжелых металлов в растениях, характерных для ненарушенных территорий южной тундры Ямала, и установление межвидовых различий поглощения тяжелых металлов кустарниковыми растениями в данном регионе.

**Материалы и методы.** Рассматриваются особенности распределения и накопления тяжелых металлов (Ni, Cu, Cd, Mn, Zn, Pb) в зеленой массе кустарников *Betula nana* (Берёза карликовая), *Salix lanata* (Ива мохнатая), *Vaccinium uliginosum* (Голубика обыкновенная), *Ledum decumbens* (Багульник стелющийся). Исследования проводились в южных тундрах полуострова Ямал, на участке, удаленном от объектов антропогенного воздействия.

**Результаты и обсуждение.** Наибольшая степень абсолютного поглощения ТМ из 4 изученных видов растений характерна для *Vaccinium uliginosum*, наименьшая – для *Ledum decumbens*. Для некоторых из изученных видов кустарниковой растительности южной тундры Ямала характерно аномально высокое для растительности суши содержание кадмия, никеля и марганца. Высокие относительные концентрации никеля и кадмия обнаружены в зеленой массе карликовой березы, ивы мохнатой и голубики, а марганца – в зеленой массе багульника и голубики. Концентрации меди и свинца для всех исследованных видов тундровых кустарников на исследованном участке не превышают кларкового значения.

**Выводы.** Среди изученных видов кустарников южных тундр *Betula nana* и *Salix lanata* являются наиболее подходящими для индикации загрязнения и изучения накопления в зеленой массе комплекса тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, *Betula nana*, фитогеохимия, тундра, *Salix lanata*.

**Для цитирования:** Плотников И. В. Тяжелые металлы в зеленой массе кустарников южных тундр полуострова Ямал // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2024, № 1, с. 128-134. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/1/128-134>

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших экологических проблем, связанных с деятельностью человека, является загрязнение окружающей среды. Среди поступающих от антропогенных источников токсичных веществ значительную часть составляют тяжелые металлы (ТМ). В результате тяжелые металлы накапливаются в различных компонентах окружающей среды и поглощаются живыми организмами. Для растений характерны межвидовые различия в особенностях накопления тяжелых металлов в органах, отражаемые в коэффициентах биологического поглощения. Отдельные виды растений могут в большей степени испытывать негативный эффект от накопления ТМ в организме, однако некоторые тяжелые металлы в небольших количествах выступают в роли микроэлементов, необходимых растениям для нормального функционирования. В организм растений тяжелые металлы как попадают фолитарным путем из атмосферы, так и поглощаются корнями из почвы и осадков. На накопление тяжелых металлов в организме растений может влиять плотность сообщества, в условиях нарушенной целостности кустарникового покрова может отмечаться повышенная степень накопления тяжелых металлов [3, 8, 12, 15, 18, 20].

Цель фитогеохимических исследований, представленных в данной статье – выявление особенностей накопления тяжелых металлов в растениях, характерных для ненарушенных территорий южной тундры Ямала, и установление межвидовых различий поглощения тяжелых металлов кустарниковыми растениями в данном регионе.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследовательских работ был выбран участок южной тундры, удаленный от источников антропогенного воздействия, без признаков нарушений растительного покрова и локального химического загрязнения. Координаты центра участка – 67°39'00"С, 68°25'30"В, площадки расположены в пределах радиуса 7 км. На рисунке 1 представлена карта-схема расположения исследовательского участка.

В ходе научных полевых работ, производимых в июле 2020 года, на исследовательском участке были заложены 12 пробных площадок, где произведен отбор образцов зеленой массы кустарниковых растений.

Среди изучаемых видов кустарников выделялись те, что обладают высокой степенью встречаемости в южных тундрах Ямальского региона, присутствовали на

© Плотников И. В., 2024

✉ Плотников Илья Викторович, e-mail: iv-44@bk.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

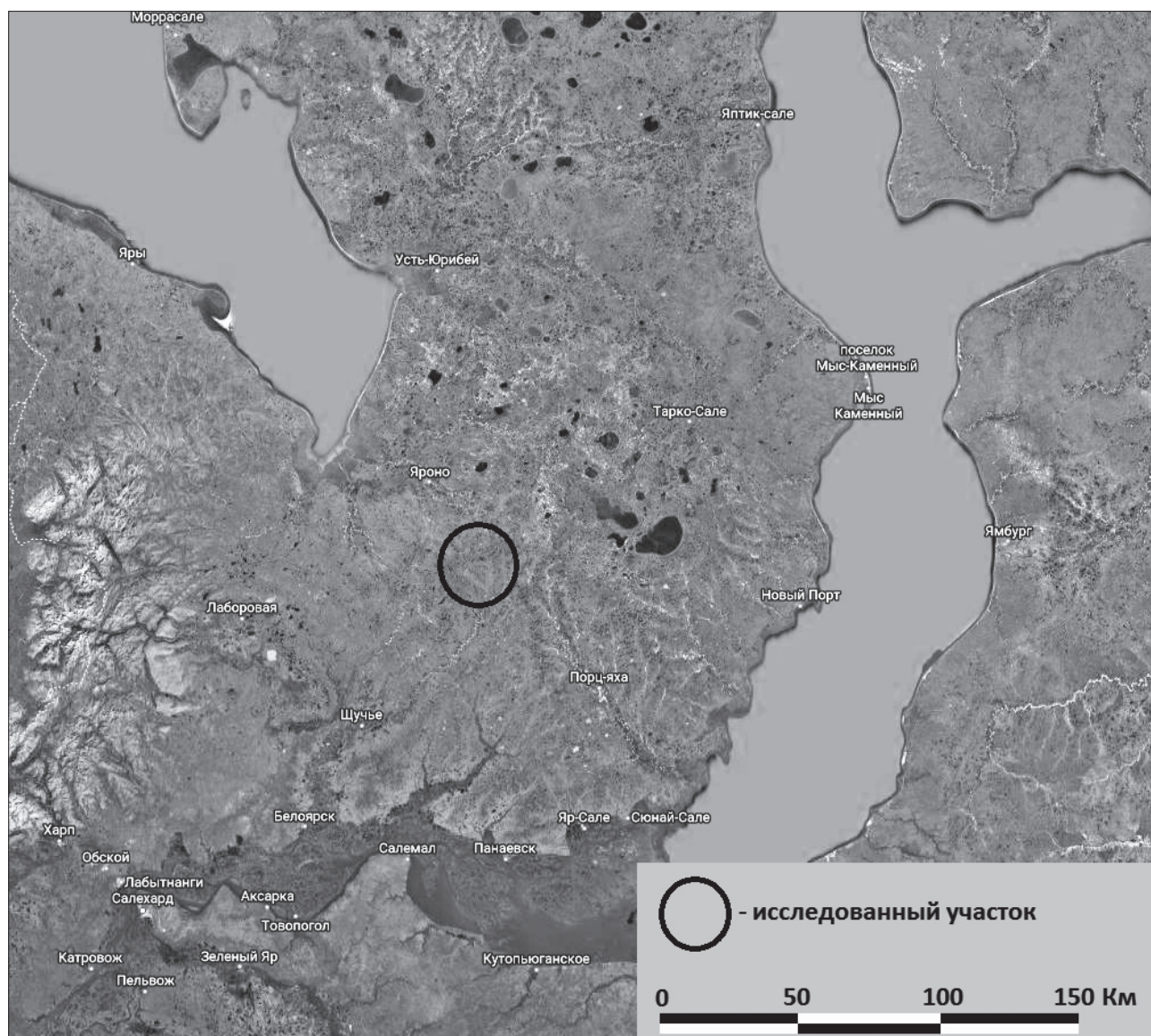


Рис. 1. Карта-схема расположения исследовательского участка [7]  
 [Fig. 1. Map-scheme of the research site location [7]]

всех заложенных исследовательских площадках: *Betula nana* (карликовая береза), *Salix lanata* (ива мохнатая), *Vaccinium uliginosum* (голубика), *Ledum decumbens* (багульник). Данные виды растений широко распространены в южной тундре северного полушария, как следствие, их можно использовать для геоэкологических исследований в различных регионах Арктики. Доминирующим видом кустарникового яруса на всех исследованных площадках участка является карликовая береза [13].

Отобранные пробы растительного материала сушились, перетирались, а в дальнейшем с помощью волнодисперсионно-рентгенофлуоресцентного спектрометра Спектроскан МАКС – GV был произведен анализ проб на содержание тяжелых металлов (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Mn). Пробоподготовка и анализы проводились на базе научно-исследовательской лаборатории «Мониторинга биосферы» Академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского ЮФУ [12].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам анализа были получены информация о содержании тяжелых металлов (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Mn) в сухой зеленой массе четырех видов кустарников, произрастающих на 12 исследованных площадках. Статистическая обработка полученных результатов представлена в таблице 1.

Наибольший коэффициент вариации характерен для полученных значений концентрации кадмия в зеленой массе *Betula nana*, *Ledum decumbens*, *Vaccinium uliginosum*, а также значений концентраций свинца в зеленой массе *Salix lanata*. Наименьшая вариация была выявлена для значений содержания меди в зеленой массе *Betula nana*, содержания цинка в зеленой массе *Salix lanata*, содержания марганца в зеленой массе *Vaccinium uliginosum*, содержания никеля в зеленой массе *Ledum decumbens*.

На рисунке 2 представлен график средних концентраций тяжелых металлов в зеленой массе кустарников

Статистические параметры содержания тяжелых металлов в сухой зеленой массе изученных видов кустарников  
 [Table 1. Statistical parameters of the heavy metals content in the dry green mass of the studied shrub species]

Вид растения / Plant type	Параметр / Parameter	Mn мг/кг	Zn мг/кг	Ni мг/кг	Cu мг/кг	Cd мг/кг	Pb мг/кг
<i>Betula nana</i> (Берёза карликовая)	Среднее	265,4	21,41	9,88	4,26	0,168	0,369
	Минимум	41,24	7,625	1,709	1,586	0,085	0,0036
	Максимум	571,29	59,617	16,65	5,829	0,687	0,772
	Стандартное отклонение	223,9	14,18	4,74	0,98	0,197	0,321
	Коэффициент вариации	84,4	66,25	47,98	23,00	117,4	86,99
<i>Salix lanata</i> (Ива мохнатая)	Среднее	114,74	20,59	15,30	4,272	0,521	0,243
	Минимум	7,299	13,657	3,76	2,044	0,213	0,0036
	Максимум	390,733	65,111	35,447	8,496	0,748	0,722
	Стандартное отклонение	64,6	5,94	12,72	1,88	0,165	0,29
	Коэффициент вариации	56,30	28,85	83,14	44,01	31,67	119,34
<i>Vaccinium uliginosum</i> (Голубика обыкновенная)	Среднее	881,5	42,3	31,48	6,88	0,2065	0,0055
	Минимум	262,4	12,1	11,05	3,19	0,07	0,0036
	Максимум	1292,7	84,76	55,12	11,41	0,416	0,0076
	Стандартное отклонение	366,75	21,35	17,12	3,06	0,14	0,002258
	Коэффициент вариации	41,60	50,48	54,39	44,49	65,41	41,05
<i>Ledum decumbens</i> (Багульник стелющийся)	Среднее	815,9	36,6	1,36	4	0,04375	0,005
	Минимум	210,1	8,98	0,456	2,11	0,011	0,0036
	Максимум	1231,8	77,89	3,31	9,02	0,154	0,0136
	Стандартное отклонение	329,358	22,491	0,946	2,355	0,052	0,00350
	Коэффициент вариации	40,37	61,45	69,57	58,88	118,50	69,94

различных видов. На основе статистических данных о средних концентрациях тяжелых металлов в зеленой массе выделяются ряды общей абсолютной массы накопленных тяжелых металлов. Выявлены ряды абсолютных значений содержания тяжелых металлов характерные для изученных ценопопуляций южной части полуострова Ямал. Для березы карликовой и голубики обыкновенной ряд абсолютных значений концентрации представлен следующим образом:  $Mn > Zn > Ni > Cu > Pb > Cd$ , для ивы мохнатой –  $Mn > Ni > Zn > Cu > Pb > Cd$ , для багульника стелющегося –  $Mn > Zn > Cu > Ni > Cd > Pb$ . По общей относительной интенсивности поглощения ТМ исследуемые растения располагаются в следующем порядке: *Vaccinium uliginosum* > *Salix lanata* > *Betula nana* > *Ledum decumbens*.

На основании полученных данных о концентрациях ТМ в сухой зеленой массе кустарников можно сделать выводы о межвидовых различиях биологического поглощения изученных элементов: *Betula nana* наиболее активно накапливает Zn и Pb при относительно низкой концентрации Cd; *Salix lanata* в большей степени, чем

*Betula nana* накапливает Ni и Cd, при относительно низких коэффициентах накопления Mn, Zn, Cu; *Vaccinium uliginosum* обладает высокими поглощающими свойствами к Cu, Zn Mn, Ni, Cu, Cd при низких значениях для Pb; *Ledum decumbens* интенсивно концентрирует Mn при относительно слабом поглощении Ni и Pb.

Абсолютные показатели концентрации элементов не всегда информативны в рамках геоэкологических исследований из-за разного природного содержания тяжелых металлов в компонентах окружающей среды, а также из-за наличия факторов дальнего переноса с сопутствующим глобальным и региональным загрязнением [1, 6]. Поэтому для сравнения и получения данных об общих тенденциях накопления ТМ в кустарниковых ценопопуляциях южной тундры Ямала, были рассчитаны коэффициенты концентрации. Основанием коэффициентов служат значения общего кларка для наземных растений [7]. Полученные ряды относительной концентрации ТМ в зеленой массе на исследованном ненарушенном участке представлены в виде (в скобках указан коэффициент концентрации относительно кларка содержания в наземных

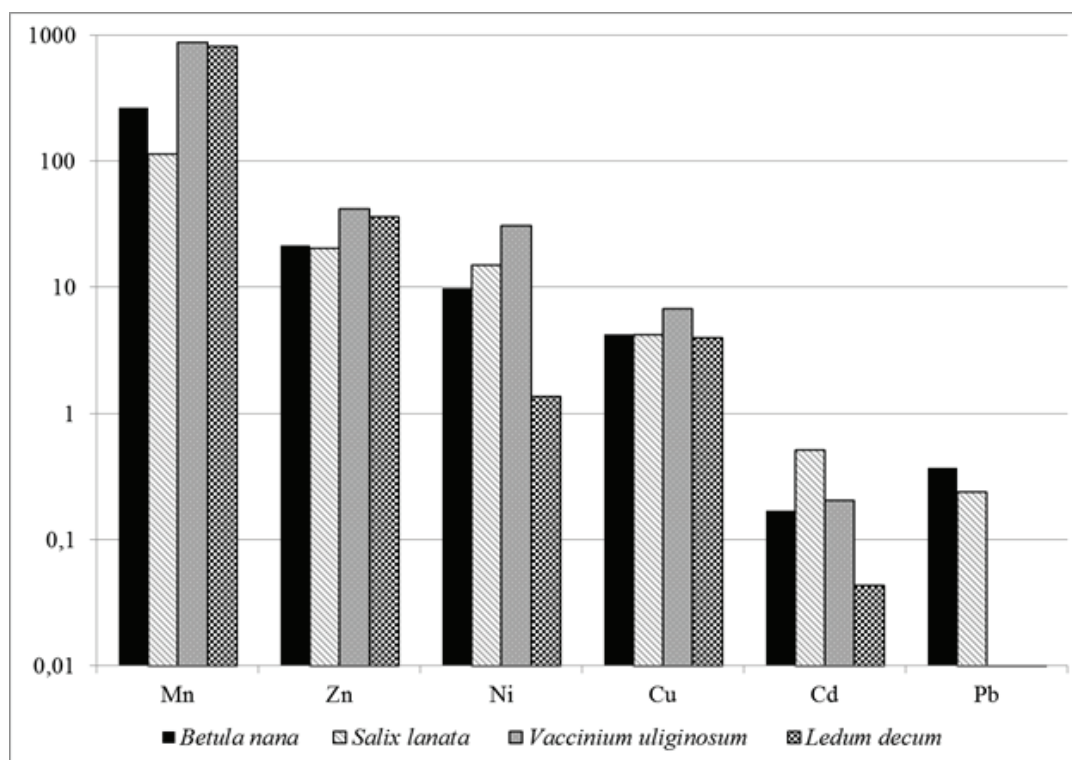


Рис. 2. Концентрации ТМ в зеленой массе кустарников различных видов на исследованных ненарушенных площадках [Fig. 2. HMs concentrations in the green mass of shrubs of various species on the studied undisturbed sites]

растениях): *Betula nana* – Ni (4,94) > Cd (4,8) > Mn (1,29) > Zn (0,71) > Cu (0,53) > Pb (0,30) [6]; *Salix lanata* – Cd (14,89) > Ni (7,65) > Zn (0,69) > Mn (0,56) > Cu (0,53) > Pb (0,19); *Vaccinium uliginosum* – Ni (15,74) > Cd (5,9) > Mn (4,3) > Zn (1,41) > Cu (0,86) > Pb (0,0044); *Ledum decumbens* – Mn (3,98) > Cd (1,25) > Zn (1,22) > Ni (0,68) > Cu (0,5) > Pb (0,004).

Таким образом, для некоторых видов кустарниковых растений характерно аномальное накопление никеля, кадмия и марганца. Высокие относительные концентрации никеля и кадмия обнаружены в зеленой массе березы карликовой, ивы мохнатой и голубики обыкновенной, а марганца – в зеленой массе багульника и голубики. Концентрации меди и свинца для всех исследованных видов тундровых кустарников на исследованном участке не превышают кларкового значения.

В работах других авторов также отмечаются характерные для кустарников тундры высокие коэффициенты биологического поглощения Cd и Mn [6, 16, 19]. В статье Опекуновой М.Г. отмечаются относительно схожие (с разницей не более чем в 2 раза) показатели содержания Mn, Cd, Cu, Zn, Ni для вида *Ledum decumbens*, на территориях в бассейне реки Пур [6]. Однако по сравнению с полученными данными в работе Опекуновой М.Г. заметна разница в накоплении Pd видом *Ledum decumbens*, концентрация которого в бассейне рек Пур многократно превышает значения, выявленные в южной части полуострова Ямал, что может быть связано с разным уровнем промышленного освоения территорий [9]. В исследованиях Московченко Д. В., проведенных в районе Бованенковского место-

рождения полуострова Ямал, также делается вывод о высоком уровне поглощения Mn растительностью тундры [10]. В исследованиях Московченко Д. В. выделяются более высокие концентрации Zn и Pb в растениях вида *Betula nana*: содержание цинка в 9,34 раза выше, содержание Pb в 5,15 раз выше [10].

Поступление же Ni в природную среду региона объясняется дальним атмосферным переносом от выбросов Норильского промышленного района, а также фактором общего регионального загрязнения [11, 19]. Отмечаются в повышенных концентрациях Ni, Mn в почвенном покрове региона, что свидетельствует об общем высоком ландшафтном региональном фоне данных тяжелых металлов в северной части Западно-Сибирской равнины [2, 9, 14, 17].

Полученные результаты могут быть использованы для сравнения с другими участками, в том числе для выявления техногенного загрязнения и изучения дальнего атмосферного переноса тяжелых металлов. Изучение накопления тяжелых металлов в растительности полуострова Ямал важно в связи с тем, что на данной территории производится выпас оленей, в результате чего состояние растительности региона влияет как на экономику региона, так и на здоровье его жителей [5].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом для кустарниковой растительности южной тундры Ямала характерно накопление кадмия, никеля и марганца. Наибольшая концентрация никеля и марганца отмечается для голубики обыкновенной, кадмия для ивы мохнатой. Также для всех изученных видов расте-

ний выявлено относительно низкое содержание меди и свинца. В зеленой массе голубики обыкновенной в наибольшей степени концентрируются Mn (881,5 мг/кг), Zn (42,3 мг/кг), Ni (31,48 мг/кг), Cu (6,88 мг/кг). Наибольшее содержание Cd (0,521 мг/кг) характерно для ивы мохнатой, а Pb (0,369 мг/кг) – для березы карликовой. Наибольшая суммарная степень абсолютного поглощения ТМ из 4 изученных видов растений характерна для *Vaccinium uliginosum*, наименьшая – для *Ledum decumbens*. Высокое содержание Ni в растениях, объясняется дальним атмосферным переносом, связанным с Норильским промышленным районом [11]. В отличие от работ других авторов на исследовательском участке не были выявлены аномальные содержания Zn в растительности, а также отмечаются значительно более низкие концентрации свинца, что может быть связано с разным уровнем и способом промышленного освоения территорий [6, 10].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агбалян Е.В., Шинкарук Е.В. Содержание ртути в крови жителей Ямало-Ненецкого автономного округа // *Гигиена и санитария*, 2018, № 97 (9), с. 799-802.
2. Алексеев И.И., Абакумов Е.В. Тяжелые металлы в почвах природных и урбанизированных ландшафтов Ямало-Ненецкого автономного округа // *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*, 2019, № 1 (102), с. 89-92.
3. Ветчинникова Л.В., Кузнецова Т.Ю., Титов А.Ф. Особенности накопления тяжелых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях Севера // *Труды КарНЦ РАН*, 2013, № 3, с. 68-72.
4. Добровольский В.В. *Основы биогеохимии*. Москва: Издательский центр «Академия», 2003. 400 с.
5. Журба О.М. Биомониторинг содержания тяжелых металлов в волосах детского населения на территории арктической зоны России / О.М. Журба, Н.В. Ефимова, А.В. Меринов, А.Н. Алексеенко // *Экология человека*, 2018, № 5, с. 16-21.
6. Использование методов биоиндикации и биотестирования в оценке экологического состояния территории газоконденсатных месторождений севера Западной Сибири М.Г. Опекунова / А.Ю. Опекунов, И.Ю. Арестова, С.Ю. Кукушкин и др. // *Вестник СПбГУ. Науки о Земле*, 2018, № 3, с. 326-344.
7. Картографические данные. Google, 2021. Данные Image Landsat. – URL: <https://www.google.com/maps> (дата обращения: 21.01.2023). – Текст: электронный.
8. Медведев И.Ф., Деревягин С.С. *Тяжелые металлы в экосистемах*. Саратов: «Ракурс», 2017. 178 с.
9. Московченко Д.В., Романенко Е.А. Особенности элементного состава почв Пур-Тазовского междуречья // *Бюллетень Почвенного института*, 2020, № 103, с. 178.
10. Московченко Д.В., Романенко Е.А. Микроэлементный состав кормовых растений оленьих пастбищ полуострова // *Растительные ресурсы*, 2021, т. 57, № 4, с. 370-381.
11. Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в ЯНАО / А.Ю. Опекунов, М.Г. Опекунова, С.Ю. Кукушкин, А.Г. Ганул // *Вестник СПбГУ, Науки о Земле*, 2012, № 4, с. 87-101.
12. Плотников И.В. Особенности накопления тяжелых металлов в зеленой массе кустарников вида *Betula nana* (береза карликовая) в условиях повышенной антропогенной нагрузки // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*, 2022, № 3, с. 70-78.
13. Плотников И.В. Особенности радиального прироста кустарничков *Betula nana* и *Salix lanata* на различных элементах профиля рельефа в южной тундре Ямала // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*, 2021, № 3, с. 74-79.
14. Подвижные формы металлов в почвах Надым-Пуровского междуречья (Западная Сибирь) / Е.А. Романенко, Д.В. Московченко, А.А. Кудрявцев, Г.Н. Шигабаева // *Вестник НВГУ*, 2020, № 2, с.136-145.
15. Семенова В.В. *Аккумуляция тяжелых металлов предстателями рода тысячелистник (*Achillea L.*) в условиях высотной зональности северо-восточного Кавказа*: дисс. кандидата биол. наук. Нижний Новгород, 2020. 199 с.
16. Тентюков М.П. *Экогеохимия районов промышленного освоения Большеземельской тундры и Ямала*: дисс. доктора г.-м. наук. Сыктывкар, 2016. 336 с.
17. Томашунас В.М., Абакумов Е.В. Содержание тяжелых металлов в почвах полуострова Ямал и острова Белый // *Гигиена и санитария*, 2014, № 6, с. 26-31.
18. Узиков З.З. Тяжелые металлы и их влияние на растения // *Символ науки*, 2018, № 1-2, с. 52-53.
19. Neitlich P.N., Berryman S., Geiser L.H. et al. Impacts on tundra vegetation from heavy metal-enriched fugitive dust on National Park Service lands along the Red Dog Mine haul road, Alaska // *PLoS One*, 2022, 17 (6).
20. Węgiel A., Polowy K., Bielinis E. Heavy metals accumulation in Scots pine stands of different densities growing on not contaminated forest area (northwestern Poland) // *Jahrgang, Heft 3*, 2018, pp. 259-281.

**Конфликт интересов:** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи

Поступила в редакцию: 27.01.2023  
Принята к публикации: 01.03.2024

## Heavy Metals in the Green Mass of Shrubs of the Southern Tundra of the Yamal Peninsula

I. V. Plotnikov 

*Southern Federal University, Russian Federation  
(105/42, Bolshaya Sadovaya str., Rostov-on-Don, 344006)*

**Abstract.** The purpose of the study is to identify the features of the background accumulation of heavy metals in plants characteristic of the undisturbed territories of the southern tundra of Yamal, and to establish interspecific differences in the absorption of heavy metals by shrub plants in this region.

**Materials and methods.** The features of the distribution and accumulation of heavy metals (Ni, Cu, Cd, Mn, Zn, Pb) in the green mass of shrubs *Betula nana* (dwarf birch), *Salix lanata* (hairy willow), *Vaccinium uliginosum* (blueberry), *Ledum decumbens* (ledum) are considered. The studies were carried out in the southern tundra of the Yamal Peninsula, at a site remote from objects of anthropogenic impact.

**Results and discussion.** The highest degree of absolute absorption of HMs out of the 4 studied plant species is typical for *Vaccinium uliginosum*, the lowest for *Ledum decumbens*. Some of the studied species of shrub vegetation of the southern tundra of Yamal are characterized by an anomalously high content of cadmium, nickel, and manganese for land vegetation. High relative concentrations of nickel and cadmium were found in the green mass of dwarf birch, hairy willow and blueberry, and manganese in the green mass of wild rosemary and blueberry. The concentrations of copper and lead for all the studied species of tundra shrubs in the studied area do not exceed the Clarke value.

**Conclusion.** Among the studied shrub species of the southern tundra, *Betula nana* and *Salix lanata* are the most suitable for indicating pollution and studying the accumulation of heavy metals in the green mass.


**Key words:** heavy metals, *Betula nana*, phytogeochemistry, tundra, *Salix lanata*.

**For citation:** Plotnikov I. V. Heavy Metals in the Green Mass of Shrubs of the Southern Tundra of the Yamal Peninsula. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija. Geoecologia*, 2024, no. 1, pp. 128-134 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/1/128-134>

### REFERENCES

1. Agbaljan E. V., Shinkaruk E. V. Soderzhanie rtuti v krovi zhitel'ev Jamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga [Mercury content in the blood of residents of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug]. *Gigiena i sanitarija*, 2018, no. 97 (9), pp. 799-802. (In Russ.)
2. Alekseev I. I., Abakumov E. V. Tjzhelye metally v pochvah prirodnyh i urbanizirovannyh landshaftov Jamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga [Heavy metals in soils of natural and urban landscapes of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug]. *Nauchnyj vestnik Jamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga*, 2019, no. 1 (102), pp. 89-92. (In Russ.)
3. Vetchinnikova L. V., Kuznecova T. Ju., Titov A. F. Osobennosti nakoplenija tjzhelyh metallov v list'jah drevesnyh rastenij na urbanizirovannyh territorijah v uslovijah Severa [Features of the accumulation of heavy metals in the leaves of woody plants in urban areas in the North]. *Trudy KarNC RAN*, 2013, no. 3, pp. 68-72. (In Russ.)
4. Dobrovol'skij V. V. *Osnovy biogeohimii* [Basics of biogeochemistry]. Moscow: *Izdatel'skij centr «Akademija»*, 2003. 400 p. (In Russ.)
5. Zhurba O. M. Biomonitoring sodержanija tjzhelyh metallov v volosah detskogo naselenija na territorii arkticheskoj zony Rossii [Biomonitoring of the content of heavy metals in the hair of children in the Arctic zone of Russia] / O. M. Zhurba, N. V. Efimova, A. V. Merinov, A. N. Alekseenko. *Jekologija cheloveka*, 2018, no. 5, pp. 16-21. (In Russ.)
6. Ispol'zovanie metodov bioindikacii i biotestirovanija v ocenke jekologicheskogo sostojanija territorii gazokondensatnyh mestorozhdenij severa Zapadnoj Sibiri M. G. Opekunova [Use of bioindication and biotesting methods in assessing the ecological state of the territory of gas condensate fields in the north of Western Siberia] / A. Ju. Opekunov, I. Ju. Arestova, S. Ju. Kukushkin i dr. *Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle*, 2018, no. 3, pp. 326-344. (In Russ.)
7. Map data. Google, 2021. Image Landsat data. – URL: <https://www.google.com/maps> (accessed 21.01.2023). – Text: electronic. (In Russ.)
8. Medvedev I. F., Derevjagin S. S. *Tjzhelye metally v jekosistemah* [Heavy metals in ecosystems]. Saratov: «Rakurs», 2017. 178 p. (In Russ.)
9. Moskovchenko D. V., Romanenko E. A. Osobennosti jelementnogo sostava pochv Pur-Tazovskogo mezhdurech'ja [Features of the elemental composition of soils in the Pur-Taz interfluv]. *Bjulleten' Pochvennogo instituta*, 2020, no. 103, pp. 178. (In Russ.)
10. Moskovchenko D. V., Romanenko E. A. Mikrojelementnyj sostav kormovyh rastenij olen'ih pastbishh poluostrova [Microelement composition of forage plants of reindeer pastures of the peninsula]. *Rastitel'nye resursy*, 2021, vol. 57, no. 4, pp. 370-381. (In Russ.)
11. Ocenka jekologicheskogo sostojanija prirodnoj sredy rajonov dobychi nefi i gaza v JaNAO [Assessment of the ecological state of the natural environment in oil and gas production areas in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug] / A. Ju. Opekunov, M. G. Opekunova, S. Ju. Kukushkin, A. G. Ganul. *Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle*, 2012, no. 4, pp. 87-101. (In Russ.)
12. Plotnikov I. V. Osobennosti nakoplenija tjzhelyh metallov v zelenoj masse kustarnikov vida *Betula nana* (bereza karliko-

© Plotnikov I. V., 2024

 Ilia V. Plotnikov, e-mail: [iv-44@bk.ru](mailto:iv-44@bk.ru)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

vaja) v uslovijah povyshennoj antropogennoj nagruzki [Features of the accumulation of heavy metals in the green mass of shrubs of the species *Betula nana* (dwarf birch) under conditions of increased anthropogenic load]. *Izvestija vuzov. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki*, 2022, no. 3, pp. 70-78. (In Russ.)

13. Plotnikov I. V. Osobennosti radial'nogo prirosta kustarnic-hkov *Betula nana* i *Salix lanata* na razlichnyh jelementah profilja rel'efa v juzhnoj tundre Jamala [Features of radial growth of shrubs *Betula nana* and *Salix lanata* on various elements of the relief profile in the southern tundra of Yamal]. *Izvestija vuzov. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki*, 2021, no. 3, pp. 74-79. (In Russ.)

14. Podvizhnye formy metallov v pochvah Nadym-Purovskogo mezhdurech'ja (Zapadnaja Sibir') [Mobile forms of metals in the soils of the Nadym-Purov interfluvium (Western Siberia)] / E. A. Romanenko, D. V. Moskovchenko, A. A. Kudrjavcev, G. N. Shigabaeva. *Vestnik NVGU*, 2020, no. 2, pp. 136-145. (In Russ.)

15. Semenova V. V. *Akkumuljacija tjazhelyh metallov predstaviteljami roda tysjachelistnik (Achillea L.) v uslovijah vysotnoj zonal'nosti severo-vostochnogo Kavkaza* [Accumulation of heavy metals by representatives of the genus yarrow (*Achillea L.*) in the altitudinal zonality of the northeastern Caucasus]: diss. kandidata biol. nauk. Nizhnij Novgorod, 2020. 199 p. (In Russ.)

16. Tentjukov M. P. *Jekogeohimija rajonov promyshlennogo osvoenija Bol'shezemel'skoj tundry i Jamala* [Ecogeochemistry

of industrial development areas of the Bolshezemel'skaya tundra and Yamal]: diss. doktora g.-m. nauk. Syktyvkar, 2016. 336 p. (In Russ.)

17. Tomashunas V. M., Abakumov E. V. Soderzhanie tjazhelyh metallov v pochvah poluostrova Jamal i ostrova Belyj [Content of heavy metals in soils of the Yamal Peninsula and Bely Island]. *Gigiena i sanitarija*, 2014, no. 6, pp. 26-31. (In Russ.)

18. Uzakov Z. Z. Tjazhelye metally i ih vlijanie na rastenija [Heavy metals and their effect on plants]. *Simvol nauki*, 2018, no. 1-2, pp. 52-53. (In Russ.)

19. Neitlich P. N., Berryman S., Geiser L. H. et al. Impacts on tundra vegetation from heavy metal-enriched fugitive dust on National Park Service lands along the Red Dog Mine haul road, Alaska. *PLoS One*, 2022, 17 (6).

20. Węgiel A., Polowy K., Bielinis E. Heavy metals accumulation in Scots pine stands of different densities growing on not contaminated forest area (northwestern Poland). *Jahrgang, Heft 3*, 2018, pp. 259-281.

**Conflict of interests:** The author declares no information of obvious and potential conflicts related to the publication of this article.

Received: 27.01.2023

Accepted: 01.03.2024

Плотников Илья Викторович

младший научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», п. Радужный, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-1279-4111, e-mail: iv-44@bk.ru

Ilia V. Plotnikov

Junior Researcher at the All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga", Raduzhny settlement, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-1279-4111, e-mail: iv-44@bk.ru