

УДК 502.2.05
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-5-15

Особенности накопления тяжелых металлов растениями на антропогенно-измененных ландшафтах острова Симушир

¹Плотников И.В., ²Пожарская О.Д., ³Дубовицкая В.И.

¹ФГБУ «Объединенная дирекция государственного природного биосферного заповедника «Кедровая падь» и национального парка «Земля леопарда» им. Н.Н. Воронцова

Россия, 690001, г. Владивосток, ул. Дальзаводская, 2, стр. лит. 38-А

²Санкт-Петербургский научный центр РАН

Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 5

³Агрофизический научно-исследовательский институт

Россия, 195220, Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14

iv-44@bk.ru, olesyapozharskaya@yandex.ru, himlabafi@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования, проведенного в 2023 году на острове Симушир (Курильские острова). Изучались общие особенности накопления тяжелых металлов в листьях растений, а также пространственное распределение концентраций на антропогенно-нарушенной территории, активная преобразующая хозяйственная деятельность на острове велась до 1997 года. Выявлялось фоновое содержание тяжелых металлов (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Mn, Fe, Co, Cr) в листьях растений видов: *Betula ermanii* (береза каменная), *Alnus japonica* (ольха японская), *Sasa kurilensis* (бамбучник). Общий ряд накопления растениями тяжелых металлов представлен следующим образом: *Betula ermanii* > *Alnus japonica* > *Sasa kurilensis*. Наблюдается характерное для растений острова Симушир повышенное содержание кадмия и низкое содержание хрома относительно среднего кларка для растений суши. В листьях *Betula ermanii* отмечены максимальные концентрации марганца, цинка, меди, никеля и кадмия. В листьях *Alnus japonica* наибольшее количество железа и хрома, *Sasa kurilensis* в отличие от остальных исследуемых видов, в наибольшей степени накапливает свинец. Содержание тяжелых металлов в листьях ольхи японской и березы каменной также определяли на антропогенно-трансформированной территории. На антропогенно-трансформированных участках наибольшие аномальные относительные концентрации тяжелых металлов наблюдаются в районе заброшенной пристани у бухты Броутона, у *Betula ermanii* в наибольшей степени накапливается Cr (6,3), Zn (5,24), Cd (4,06), Co (3,29), Pb (2,47), Ni (1,80), Mn (1,74), а у *Alnus japonica* Fe (3,28) и Pb (2,47).

Ключевые слова: бамбучник, береза каменная, ольха японская, Симушир, тяжелые металлы, фитогеохимия

Для цитирования: Плотников И.В., Пожарская О.Д., Дубовицкая В.И. 2025. Особенности накопления тяжелых металлов растениями на антропогенно-измененных ландшафтах острова Симушир. Региональные геосистемы, 49(1): 5–15. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-5-15

Accumulation of Heavy Metals by Plants on Modified Landscapes of Simushir Island

¹Ilya V. Plotnikov, ²Olesya D. Pozharskaya, ³Victoria I. Dubovitskaya

¹Federal State Budgetary Institution Joint Directorate of “Kedrovaya Pad” State Biosphere Nature Reserve and “Land of the Leopard” National Park
38-A lit. 2 Dalzavodskaya St, Vladivostok 690068, Russia

²Saint-Petersburg Research Center of the Russian Academy of Science
5 Universitetskaya emb., St. Petersburg 199034, Russia

³Agrophysical Research Institute

14 Grazhdansky ave., St. Petersburg 195220, Russia

iv-44@bk.ru, olesyapozharskaya@yandex.ru, himlabafi@yandex.ru

Abstract. The studies were conducted on Simushir Island, Kuril Archipelago, in 2023. The analysis of heavy metals content in the leaves of species characteristic of the island showed that accumulation of heavy metals was highest in *Betula ermanii*, *Alnus japonica*, *Sasa kurilensis*. *Betula ermanii*, and lowest



in *Sasa kurilensis*. The green mass of *Betula ermanii* had the highest concentrations of manganese, zinc, copper, nickel and cadmium. The leaves of *Alnus japonica* contained the highest amount of iron and chromium, while *Sasa kurilensis*, unlike the other studied species, accumulated lead to the greatest extent. As the island had been an object of an active anthropogenic activity until 1997, the authors analyzed the influence of anthropogenic factors on the content of heavy metals in plant leaves. The highest concentrations of heavy metals were found in the area of the abandoned pier at Broughton Bay, where *Betula ermanii* accumulated chromium and zinc to the greatest extent, and *Alnus japonica* accumulated iron and lead. Excess relative concentrations of heavy metals were also recorded in other areas, for example, in the territory of the abandoned settlement of Kraterny.

Keywords: *Alnus japonica*, *Betula ermanii*, heavy metals, phytogeochemistry, *Sasa kurilensis*, Simushir Island

For citation: Plotnikov I.V., Pozharskaya O.D., Dubovitskaya V.I. 2025. Accumulation of Heavy Metals by Plants on Modified Landscapes of Simushir Island. *Regional Geosystems*, 49(1): 5–15 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-5-15

Введение

Изучение миграции тяжелых металлов (далее ТМ) и их накопление в растительных сообществах является одной из важнейших составляющих фитогеохимических исследований. ТМ поступают в различные части растений естественным образом из окружающей среды, но, помимо естественных концентраций, причиной повышенного содержания ТМ в окружающей среде может являться деятельность человека. Высокая концентрация ТМ в растениях приводит к подавлению процессов фотосинтеза и замедлению роста, развитию хлороза и некроза, а также другим негативным явлениям, вызывающим как разрушение отдельных организмов [Узаков, 2018], так и целых растительных сообществ. Именно поэтому изучение особенностей накопления тяжелых металлов является важнейшей задачей для изучения антропогенно-нарушенных территорий. Различия в накоплении ТМ растениями могут быть связаны как с особенностями поглощения конкретных микроэлементов [Liu, Yu, 2001], так и особенностями условий произрастания. Для растений также характерны межвидовые различия в особенностях накопления ТМ в частях растений, что отражается в коэффициентах биологического поглощения [Медведев, Деревягин, 2017; Авдощенко, Климова, 2020; Плотников, 2022].

Остров Симушир в настоящее время характеризуется отсутствием постоянного населения и какой-либо хозяйственной деятельности. Кроме того, отсутствуют и источники ближнего атмосферного переноса загрязнений, ближайшие крупные промышленные центры расположены более чем в 600 км. Однако в недалеком прошлом на территории острова происходила активная хозяйственная деятельность, в результате чего на острове осталось множество строений и отходов [Пинегина, 2007; Хамина, 2024].

Основные цели исследования:

- определить закономерности распределения концентраций тяжелых металлов в листьях растений в зависимости от их видовой принадлежности;
- изучить возможные пути поступления тяжелых металлов в растительные сообщества, учитывая антропогенное влияние, оставшееся после прекращения хозяйственной деятельности.

Объекты и методы исследования

В рамках 4-го сезона экспедиции Русского географического общества «Восточный Бастион – Курильская гряда» были проведены исследования на острове Симушир. Симушир – остров в средней части Большой гряды Курильских островов. Длина 58 км, ширина 6–10 км, на перешейке Косточко сужен до 2,5 км. Представляет собой цепь вулканических

конусов, слившихся подножиями. Согласно климатическому районированию, остров входит в средний климатический район Курильских островов. Здесь наиболее выражены черты морского климата, которые формируются под воздействием течений Охотского моря и Тихого океана. Среднее количество осадков за год – 1610 мм (остров называют самым «мокрым» среди всех островов архипелага), основная часть которых выпадает в теплый период. Продолжительность безморозного периода – 136 дней. Для холодного периода характерны сильные северо-западные ветры, нередко штормовой силы [Полохин, Сибирина, 2013]. Преобладающей почвой является сухоторфяная океаническая (занимает около 48 % площади). Для исследуемого острова характерны наибольшие кларки концентраций в органогенных почвенных горизонтах для Cu, Co, Cr, Sc, Zn, Ba. Практически тот же набор характерен и для подстилающих пород [Костенков, Ознобихин, 2011; Полохин, Сибирина, 2013; Полохин, 2015].

Интенсивная преобразующая антропогенная деятельность на острове в районе бухты Броутона осуществлялась с 1971 года и прекращена в 1997 году [Пинегина и др., 2007; Хамина, 2024], когда был эвакуирован поселок Кратерный. На рис. 1 представлена фотография территории заброшенного поселка Кратерный на берегу бухты Броутона.

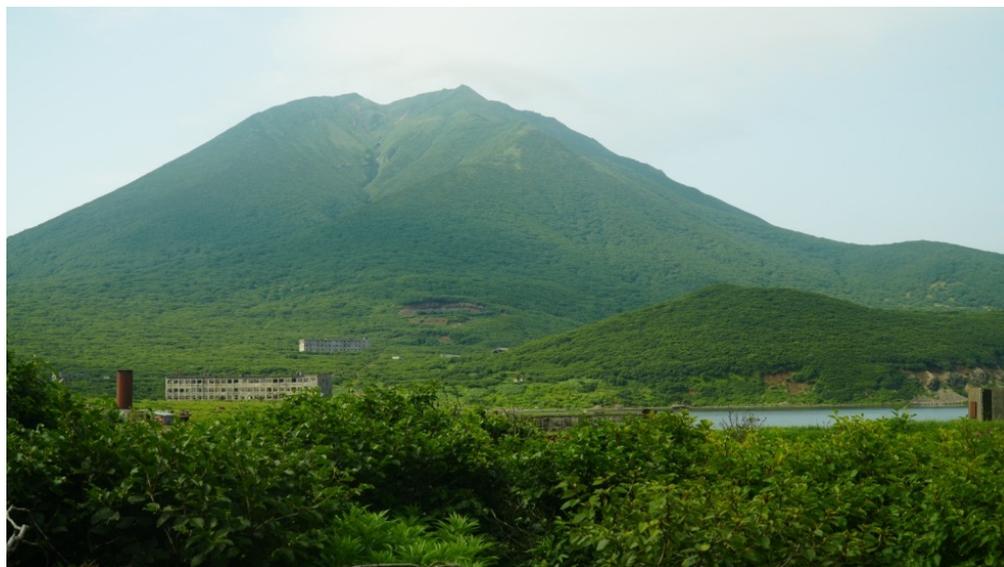


Рис. 1. Здания бывшего поселка на берегу бухты Броутона (Фото Мушкариной Д.С.)
Fig. 1. Buildings of the former settlement on the shore of Broughton Bay (Photo by D.S. Mushkarina)

В настоящее время на территории поселка находится много металлического мусора, в том числе в ходе разведки местности был обнаружен медный и свинцовый лом. Также присутствуют бочки из-под горюче-смазочного материала (далее ГСМ), обнаружено подземное топливозохранилище.

В районе мыса Косякова располагалась военная база противовоздушной обороны, в настоящее время здесь находится свалка металлолома, большое количество бочек из-под ГСМ, остатки техники и строений [Хамина, 2024].

В районе исследований проведен сбор растительного материала для последующего анализа. Отбор листьев растений производился в северной части острова Симушир, в районе бухты Броутона в период 28–31 июля 2023 года. На рис. 2 представлен спутниковый снимок острова Симушир, бухта Броутона расположена на северо-востоке острова.



Рис. 2. Спутниковый снимок острова Симушир, исследование происходило на северо-востоке острова (красный круг) [Данные ООО ИТЦ «СКАНЭКС», 2022]
Fig. 2. Satellite image of Simushir Island, the studies were carried out in the northeast of the island (red circle) [Data of ITC LLC «SCAEX», 2022]

Для изучения содержания ТМ в растительных сообществах были собраны образцы листьев (как аккумулирующей части) видов: *Betula ermanii* (береза каменная), *Alnus japonica* (ольха японская). Выбранные виды растений являются доминирующими видами в растительности острова, образующими плотный растительный покров, что делает данные виды универсальными для исследования как на острове Симушир, так и во всем районе Курильских островов [Гришин, 2008; Баркалов, 2009]. На фоновой территории для сравнения и выявления межвидовых различий фитогеохимических особенностей, дополнительно были отобраны образцы листьев вида *Sasa kurilensis* (бамбучник), данный вид также широко распространен на острове, однако находится на периферии своего ареала, граница которого проходит по острову Китой, в 25 км от исследованного участка [Воробьев, 1968; Богатов, 2002]. Для отбора материала закладывалась исследовательская площадка размером 20 на 20 м, на которой отбирался растительный материал (листья). Каждый образец массой 0,5–1 кг формировался объединением 8–10 точечных проб с отдельных растений, распределенных по площадке [Методические указания, 1992]. Фоновая площадка закладывалась на удалении 500 м к северо-востоку от края антропогенно-измененной территории. Повторяемость юго-западных ветров (в направлении от основного источника загрязнения к фоновой площадке) по данным Дальневосточного регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института для острова Симушир [Федеральное Государственное ..., 2025] составляет 2,21 %. На рис. 3 представлена схема расположения заложенных исследовательских площадок с указанием границ территорий поселка Кратерный и прилегающих зон со значительным антропогенным изменением ландшафта.



Рис. 3. Схема расположения пробных участков и территорий с антропогенно-нарушенными ландшафтами [Данные ООО ИТЦ «СКАНЭКС», 2022]
Fig. 3. Scheme of sample plots and areas with anthropogenically disturbed landscapes [Data of ITC LLC «SCAEX», 2022]

Для определения содержания ТМ растительный материал высушивали при комнатной температуре, измельчали и навеску массой 1 г переносили в фарфоровый тигель, предварительно высушенный, и озоляли при 520 °С в течение 4 ч. После того как тигель и проба остыли, полученную золу растворяли соляной кислотой, разведенной 1:1 и переносили в мерную колбу объемом 50 мл и разбавляли дистиллированной водой. В полученном растворе измеряли концентрации тяжелых металлов (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Mn, Fe, Co, Cr) на атомно-абсорбционном спектрометре *Varian AA240FS* с системой *Fast Sequential* с пламенной ионизацией по ранее установленной градуировочной зависимости. Пробоподготовка и анализы проводились на базе научно-исследовательской лаборатории Биохимии почвенно-растительных систем Агрофизического научно-исследовательского института в г. Санкт-Петербурге [Yargholi et al, 2008].

Результаты и их обсуждение

По результатам проведенного анализа была получена информация о содержании металлов (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Mn, Fe, Co, Cr) в листьях растений видов *Betula ermanii* (береза каменная), *Alnus japonica* (ольха японская) и *Sasa kurilensis* (бамбучник). На основании полученных данных можно проследить межвидовые особенности накопления ТМ в листьях растений. На рис. 4 представлен график концентраций тяжелых металлов в листьях различных видов на фоновой территории.

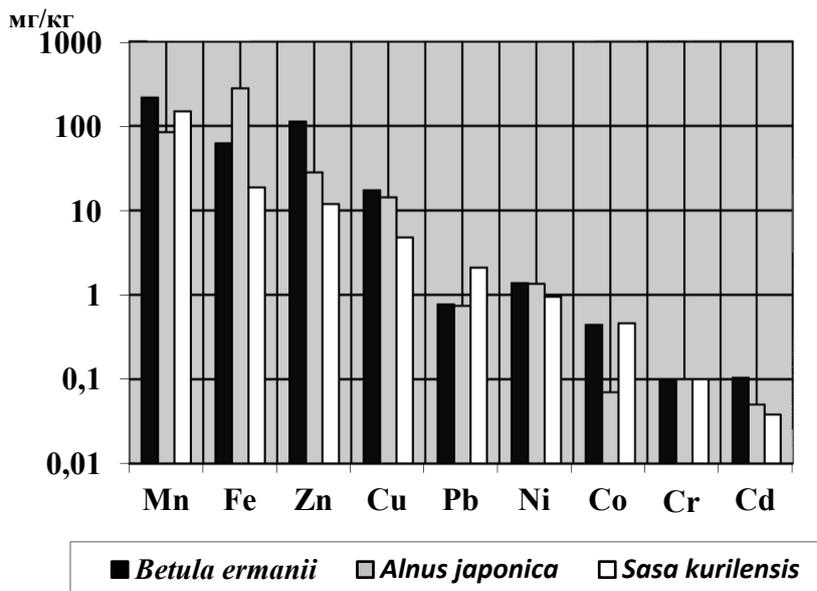


Рис. 4. Средняя концентрация ТМ в листьях растений видов *Betula ermanii*, *Alnus japonica*, *Sasa kurilensis* на фоновой площадке острова Симушир
 Fig. 4. Average concentration of heavy metals in the green mass of plants of *Betula ermanii*, *Alnus japonica*, *Sasa kurilensis* species at the background site of Simushir Island

Таким образом, выделяются следующие ряды концентрации тяжелых металлов:

- 1) Для бамбучника ряд значений концентрации представлен: $Mn > Fe > Zn > Cu > Pb > Ni > Co > Cr > Cd$,
- 2) Для березы каменной – $Mn > Zn > Fe > Cu > Ni > Pb > Co > Cr > Cd$,
- 3) Для ольхи японской – $Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Cr > Co > Cd$.

По общей интенсивности накопления тяжелых металлов исследуемые виды расположены в ранговом порядке: *Betula ermanii* > *Alnus japonica* > *Sasa kurilensis*. Береза каменная интенсивнее остальных изученных видов накапливает медь, цинк, марганец, кобальт, никель, кадмий. Ольха японская наиболее сильно накапливает железо и хром, а бамбучник – свинец. Особенность менее интенсивного накопления тяжелых металлов бамбучником относительно листовенных древесных растений в схожих условиях произрастания также отмечается в работах других авторов [Добровольский и др., 2006, Фураев, 2013]. По всем исследованным растениям зафиксировано многократное превышение содержания кадмия относительно кларкового содержания, приведенного для сухой зеленой массы растений суши [Добровольский, 2003]. При этом для вулканических почв Курильских островов и Камчатки не характерно естественное высокое содержание кадмия [Ермакова, 2022, Опекунова и др., 2022], однако его высокое содержание отмечается в растительности Камчатского региона, в том числе каменной березе, что может свидетельствовать о естественной гиперконцентрации данного элемента в листьях изучаемых растений [Авдощенко, Климова, 2020].

Для установления влияния антропогенной деятельности на растительность были вычислены коэффициенты аномальной концентрации тяжелых металлов для районов острова с антропогенными нарушениями, относительно фонового участка. В таблице представлены ряды концентраций элементов с аномальным накоплением в листьях растений, относительно фонового участка (более чем в 1,5 раз).

Относительные концентрации ТМ для вида *Betula ermanii* выделяются на всех изученных участках, где имеются следы антропогенной деятельности и в сумме значительно превосходят относительные концентрации для *Alnus japonica*.

Ряды концентраций элементов с аномальным накоплением в листьях кустарников на территориях с антропогенной нагрузкой (в скобках указан коэффициент концентрации)
Concentration series of elements with abnormal accumulation in the green mass of shrubs in areas with anthropogenic impact (concentration coefficient is given in brackets)

Источники антропогенной нагрузки	<i>Betula ermanii</i>	<i>Alnus japonica</i>
I. Берег бухты Броутона, рядом с местом выхода грунтовых вод	Co (6,57)	–
II. Мыс Косякова	Co (3,86) > Zn (2,45) > Cd (1,66)	–
III. Территория бывшей жилой зоны заброшенного поселка Кратерный	Co (5,14) > Pb (1,78) > Cd (1,74)	Pb (2,84)
IV. Район пристани в бухте Броутона	Cr (6,3) > Zn (5,24) > Cd (4,06) > Co (3,29) > Pb (2,47) > Ni (1,80) > Mn (1,74)	Fe (3,28) > Pb (2,47)

Наибольшее число выявленных металлов, нехарактерных для естественного фона, с аномально высокими концентрациями в листьях обнаружены в районах заброшенной пристани. Это свидетельствует о наибольшем химическом загрязнении во время функционирования пристани в прошлом, также элементы могут мигрировать из мест накопления твердых коммунальных отходов, разрушенного крупного металлического мусора и строительных материалов [Устинова, Жилина, 2001; Пугин и др., 2016; Милютин и др., 2020]. Участки на мысе Косякова и в поселке Кратерный имеют аномальные концентрации кобальта и кадмия. На исследуемом участке в поселке у *Betula ermanii* также зафиксировано высокое содержание свинца, а на мысе Косякова – цинка. Для вида *Alnus japonica* отмечаются два участка на острове, где наблюдается аномальное превышение фоновых концентраций свинца и один участок с повышенным содержанием железа.

Аномальное накопление свинца характерно для двух изученных видов, произрастающих на территории бывшего поселка Кратерный и района пристани у бухты Броутона. Поступление свинца в растительность может быть связано с разливами ГСМ и выбросами при сгорании топлива, содержащего тетраэтилсвинец, который в свою очередь способен создавать полосы с аномальными концентрациями вдоль транспортных путей [Петрова, Райхерт, 2013; Корчагина 2014; Семенова 2020]. Можно сделать вывод о том, что антропогенная деятельность, существовавшая в регионе до 1997 года, оказывает влияние на современную растительность, а тяжелые металлы проникают из загрязненных почв через корневую систему в листья [Мудрый, 1997].

Заключение

Для видов *Betula ermanii*, *Alnus japonica*, *Sasa kurilensis*, произрастающих на острове Симушир, выявлено повышенное содержание кадмия и низкое содержание хрома относительно среднего кларка для растений суши. Среди трех изученных видов растений ряд суммарной интенсивности накопления тяжелых металлов выглядит следующим образом: *Betula ermanii* > *Alnus japonica* > *Sasa kurilensis*. В листьях *Betula ermanii* отмечены максимальные концентрации марганца, цинка, меди, никеля и кадмия. В листьях *Alnus japonica* наибольшее количество железа и хрома, *Sasa kurilensis* в наибольшей степени накапливает свинец.

Самые высокие аномальные относительные концентрации тяжелых металлов, относительно фона, в листовенной массе растительности острова наблюдаются в районе заброшенной пристани у бухты Броутона. На данном участке у *Betula ermanii* в наибольшей



степени накапливается Cr (6,3), Zn (5,24), Cd (4,06), Co (3,29), Pb (2,47), Ni (1,80), Mn (1,74), а у *Alnus japonica* Fe (3,28) и Pb (2,47). Данная территория также наиболее нарушена в ландшафтном отношении, присутствует большое количество металлического мусора, в том числе цветных металлов, что, вероятно, может являться источником ТМ для растительности.

На территории бывшего поселка Кратерный выявлена высокая относительная концентрация Co (5,14), Pb (1,78), Cd (1,74) в листьях *Betula ermanii* и Pb (2,84) в листьях *Alnus japonica*. Данный участок также имеет высокую степень преобразования ландшафта, включая большое количество металлического мусора.

На территории у мыса Косякова в листьях *Betula ermanii* отмечается аномальное накопление Co (3,86), Zn (2,45), Cd (1,66), при этом для вида *Alnus japonica* аномальных концентраций на данном участке не выявлено.

На побережье бухты Броутона в районе выхода грунтовых вод на поверхность отмечается наибольшая концентрация кобальта в листьях *Betula ermanii* (для данного вида высокая относительная концентрация кобальта обнаружена для всех исследованных площадок со следами антропогенной деятельности).

Список источников

- Данные ООО ИТЦ «СКАНЭКС», Includes IKONOS, 2022. Электронный ресурс. URL: <https://yandex.ru/maps/geo> (дата обращения: 24.10.2024).
- Добровольский В.В. 2003. Основы биогеохимии. Москва, Академия, 400 с.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. 1992. Москва, ЦИНАО, 57 с.
- Пинегина Т.К., Чирков С.А., Кравчуновская Е.А. 2007. Обследование макросейсмических эффектов Симуширских землетрясений. Южно-Сахалинск, СФ ГС РАН, 17 с.
- Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение «Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт» (ФГБУ «ДВНИГМИ»): Симушир. Двумерная многолетняя повторяемость по скорости и направлению ветра. Электронный ресурс. URL http://rus.ferhri.ru/okhotsk/Meteo/Vind_Povt_Kuril/Simushir.htm (дата обращения: 01.02.2025).

Список литературы

- Авдошенко В.Г., Климова А.В. 2020. Содержание тяжелых металлов в растениях города Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) в 2017–2018 гг. Вестник Камчатского государственного технического университета, 54: 48–64. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2020-54-48-64>
- Баркалов В.Ю. 2009. Флора Курильских островов. Владивосток, Дальнаука, 468 с.
- Богатов В.В. 2002. Растительный и животный мир Курильских островов. Владивосток, Дальнаука, 163 с.
- Воробьев Д.П. 1968. Дикорастущие деревья и кустарники Дальнего Востока. Ленинград, Наука, 277 с.
- Гришин С.Ю. 2008. География растительного покрова Курильских островов (к карте растительности архипелага). Известия Русского географического общества, 140(5): 8–15.
- Добровольский В.В., Рощина И.А., Фураев Е.А. 2006. Геохимические особенности ландшафтов острова Кунашир (Курильские острова). В кн.: Геохимия природных и техногенно измененных биосистем. Москва, Научный мир: 159–178.
- Ермакова С.В. 2022. Содержание тяжелых металлов почв сельскохозяйственных угодий юго-восточной Камчатки на территории Елизовского района. В кн.: Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция, Петропавловск-Камчатский, 29–30 марта 2022. Петропавловск-Камчатский, Камчатский государственный технический университет: 169–172.

- Корчагина К.В. 2014. Оценка загрязнения городских почв тяжелыми металлами с учетом профильного распределения их объемных концентраций. Дис. ... канд. биол. наук. Москва, 145 с.
- Костенков Н.М., Ознобихин В.И. 2011. Почвенно-географическое районирование Курильских островов. Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН, 1: 77–83.
- Медведев И.Ф., Деревягин С.С. 2017. Тяжелые металлы в экосистемах. Саратов, Ракурс. 178 с.
- Милютин Н.О., Осмоловская Н.Г., Политаева Н.А., Куриленко В.В. 2020. Анализ миграции тяжелых металлов в системе “почва–растение” при эколого-геологической оценке окружающей среды вокруг полигона ТКО в г. Тамбов. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 3: 55–63. <https://doi.org/10.31857/S086978092003008X>
- Мудрый И.В. 1997. Тяжелые металлы в системе почва–растение–человек (обзор). Гигиена и санитария, 1: 16–19.
- Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Сомов В.В., Кукушкин С.Ю., Арестова И.Ю., Лисенков С.А., Никулина А.Р. 2022. Природные и антропогенные факторы формирования химического состава почв о. Шикотан (Курильские острова). Почвоведение, 12: 1592–1609. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22100343>
- Петрова Е.Е., Райхерт Е.В. 2013. Влияние автотранспорта на накопление цинка и свинца в почвах и их биологическое поглощение пшеницей мягкой (*triticum aestivum*) в придорожных агроценозах (в условиях Алейского района Алтайского края). Известия Алтайского государственного университета, 3–2(79): 42–46. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2013\)3.2-07](https://doi.org/10.14258/izvasu(2013)3.2-07)
- Плотников И.В. 2022. Особенности накопления тяжелых металлов в зеленой массе кустарников вида *Betula nana* (береза карликовая) в условиях повышенной антропогенной нагрузки. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 3(215): 70–78. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2022-3-70-78>
- Полохин О.В. 2015. Содержание микроэлементов в вулканических почвах острова Симушир (Курильские острова). В кн.: Отражение био-гео-антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. V Международная научная конференция, посвященная 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв, Томск, 07–11 сентября 2015. Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет: 84–87.
- Полохин О.В., Сибирина Л.А. 2013. Почвы и растительность острова Симушир (Курильские острова). Фундаментальные исследования, 10–8: 1766–1769.
- Пугин К.Г., Вайсман Я.И., Бояршинов М.Г. 2016. Математическое моделирование эмиссии тяжелых металлов в водные объекты из строительных материалов, полученных на основе отходов производства. Вестник МГСУ, 1: 105–117.
- Семенова В.В. 2020. Аккумуляция тяжелых металлов представителями рода тысячелистник (*Achillea L.*) в условиях высотной зональности северо-восточного Кавказа. Дисс. ... канд., биол. наук. Нижний Новгород, 199 с.
- Узаков З.З. 2018. Тяжелые металлы и их влияние на растения. Символ науки: международный научный журнал, 1–2: 52–54.
- Устинова В.Н., Жилина Е.Н. 2001. Геоэкологические проблемы Сибирского региона. Вопросы географии Сибири: 365–376.
- Фураев Е.А. 2013. Геохимия ландшафтов острова Кунашир (Курильские острова). Москва, Прометей, 180 с.
- Хамина Н.В. 2024. Экономико-географическая оценка о. Симушир: анализ результатов исследования по итогам комплексной экспедиции «Восточный бастион–Курильская гряда». Международный научно-исследовательский журнал, 2(140): 1–5. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.59>
- Liu J., Yu J. 2001. Analysis of Biological Geochemistry of Chemical Elements in *Betula ermanii* Forest in Changbai Mountains, China. Chinese Geographical Science, 11(4): 350–355. <https://doi.org/10.1007/s11769-001-0051-z>
- Yargholi B., Azimi A.A., Baghvand A., Liaghat A.M., Fardi G.A. 2008. Investigation of Cadmium Absorption and Accumulation in Different Parts of Some Vegetables. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 3(3): 357–364.



References

- Avdoshchenko V.G., Klimova A.V. 2020. Contents of Heavy Metals in the Plants of Petropavlovsk-Kamchatsky (Kamchatka Territory) in 2017–2018. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 54: 48–64 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2020-54-48-64>
- Barkalov V.Yu. 2009. *Flora Kuril'skikh ostrovov [Flora of the Kuril Islands]*. Vladivostok, Publ. Dal'nauka, 468 p.
- Bogatov V.V. 2002. *Flora and Fauna of Kuril Islands*. Vladivostok, Publ. Dal'nauka, 163 p. (in Russian).
- Vorob'ev D.P. 1968. *Dikorastushchie derev'ya i kustarniki Dal'nego Vostoka [Wild Trees and Shrubs of the Far East]*. Leningrad, Publ. Nauka, 277 p.
- Grishin S.Yu. 2008. Geography of the Land Cover of Kuril Islands. *Proceedings of the Russian Geographical Society*, 140(5): 8–15 (in Russian).
- Dobrovolskiy V.V., Roshchina I.A., Furaev E.A. 2006. Geohimicheskie osobennosti landshaftov ostrova Kunashir (Kuril'skie ostrova) [Geochemical Features of Landscapes of Kunashir Island (Kuril Islands)]. In: *Geohimiya prirodnykh i tekhnogenno izmenennykh biogeosistem [Geochemistry of Natural and Technogenically Modified Biogeosystems]*. Moscow, Publ. Nauchnyj mir: 159–178.
- Ermakova S.V. 2022. Heavy Metal Content in Soils of Agricultural Land in South-Eastern Kamchatka on the Territory of the Yelizovsky District. In: *Natural Resources, Their Current State, Protection, Commercial and Technical Use. National (All-Russian) scientific and practical conference, Petropavlovsk-Kamchatsky, 29–30 March 2022*. Petropavlovsk-Kamchatsky, Publ. Kamchatka State Technical University: 169–172 (in Russian)
- Korchagina K.V. 2014. Ocenka zagryazneniya gorodskikh pochv tyazhelymi metallami s uchetom profil'nogo raspredeleniya ih obemnykh koncentracij [Assessment of Pollution of Urban Soils with Heavy Metals Taking into Account the Profile Distribution of Their Volume Concentrations]. *Dis. ... cand. boil. sciences*. Moscow, 145 p.
- Kostenkov N.M., Oznobihin V.I. 2011. Geographic Areas and Soil Zones of the Kuril Islands. *Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch*, 1: 77–83 (in Russian).
- Medvedev I.F., Derevyagin S.S. 2017. *Heavy Metals in Ecosystems*. Saratov, Publ. Rakurs, 178 p. (in Russian).
- Milyutina N.O., Osmolovskaya N.G., Politaeva N.A., Kurilenko V.V. 2020. Analysis of Heavy Metal Migration in Soil-Plant System Upon the Ecological-Geological Assessment of the Environment Around the Municipal Solid Waste Landfill in Tambov. *Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*, 3: 55–63 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S086978092003008X>
- Mudryj I.V. 1997. Tyazhelye metally v sisteme pochva-rastenie-chelovek (obzor) [Heavy Metals in the Soil-Plant-Human System (Review)]. *Gigiena i sanitariya*, 1: 16–19.
- Opekunova M.G., Opekunov A.Yu., Somov V.V., Kukushkin S.Yu., Arestova I.Yu., Lisenkov S.A., Nikulina A.R. 2022. Natural and Anthropogenic Factors of Soils Chemical Composition on Shikotan Island (Kuril Islands). *Eurasian Soil Science*, 55(12): 1891–1908. <https://doi.org/10.1134/s1064229322700077>
- Petrova E.E., Raikhert E.V. 2013. Effect of Vehicles on the Accumulation of Lead and Zinc in Soils and Their Biological Absorption by Soft Wheat (*Triticum Aestivum*) in Roadside Agricultural Lands (in the Alei Zone, Altai Territory). *Izvestiya of Altai State University*, 3–2(79): 42–46 (in Russian). [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2013\)3.2-07](https://doi.org/10.14258/izvasu(2013)3.2-07)
- Plotnikov I.V. 2022. Features of Accumulation of Heavy Metals in the Green Mass of *Betula Nana* Shrubs Under Conditions of Increased Anthropogenic Impact. *Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskii Region. Natural Science*, 3(215): 70–78 (in Russian). <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2022-3-70-78>
- Polokhin O.V. 2015. The Amount of Trace Elements of Volcanic Soils of Simushir Island (Kuril Island). In: *Reflection of Bio-Geo-Anthropospheric Interactions in Soils and Soil Cover. V International scientific conference dedicated to the 85th anniversary of the Department of Soil Science and Soil Ecology, Tomsk, 7–11 September 2015*. Tomsk, Publ. National Research Tomsk State University: 84–87 (in Russian).
- Polokhin O.V., Sibirina L.A. 2013. Soil and Vegetation Simushir Island (Kuril Island). *Fundamental research*, 10–8: 1766–1769 (in Russian).

- Pugin K.G, Vaysman Ya.I., Boyarshinov M.G. 2016. Mathematical Modeling of the Emission of Heavy Metals into Water Bodies from Building Materials Derived from Production Waste. Vestnik MGSU, 1: 105–117 (in Russian).
- Semenova V.V. 2020. Akkumulyaciya tyazhelyh metallov predstavatelyami roda tysyachelistnik (*Achillea L.*) V usloviyah vysotnoj zonal'nosti severo-vostochnogo Kavkaza [Accumulation of Heavy Metals by Representatives of the Genus Yarrow (*Achillea L.*) in the Conditions of Altitudinal Zonality of the North-Eastern Caucasus]. Diss. ... cand. biol. sciences. Nizhniy Novgorod, 199 p.
- Uzakov Z.Z. 2018. Tyazhelye metally i ih vliyanie na rasteniya [Heavy Metals and Their Effects on Plants]. Simvol nauki: mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal, 1–2: 52–54.
- Ustinova V.N., Zhilina E.N. 2001. Geoekologicheskie problemy Sibirskogo regiona [Geocological Problems of the Siberian Region]. Voprosy geografii Sibiri: 365–376.
- Furaev E.A. 2013. Geohimiya landshaftov ostrova Kunashir (Kuril'skie ostrova) [Geochemistry of Landscapes of Kunashir Island (Kuril Islands)]. Moscow, Publ. Prometey, 180 p.
- Khamina N.V. 2024. An Economic and Geographical Assessment of Sumishir Island: An Analysis of the Study Results of the Eastern Bastion-Kuril Ridge Complex Expedition. International Research Journal, 2(140): 1–5. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.59>
- Liu J., Yu J. 2001. Analysis of Biological Geochemistry of Chemical Elements in *Betula ermanii* Forest in Changbai Mountains, China. Chinese Geographical Science, 11(4): 350–355. <https://doi.org/10.1007/s11769-001-0051-z>
- Yargholi B., Azimi A.A., Baghvand A., Liaghat A.M., Fardi G.A. 2008. Investigation of Cadmium Absorption and Accumulation in Different Parts of Some Vegetables. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 3(3): 357–364.

Поступила в редакцию 02.12.2024;
поступила после рецензирования 23.12.2024;
принята к публикации 09.03.2025

Received December 02, 2024;
Revised December 23, 2024;
Accepted March 09, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Плотников Илья Викторович, младший научный сотрудник отдела науки и экологического мониторинга, ФГБУ «Объединенная дирекция государственного природного биосферного заповедника «Кедровая падь» и национального парка «Земля леопарда» им. Н.Н. Воронцова, г. Владивосток, Россия

Пожарская Олеся Дмитриевна, младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела, Санкт-Петербургский научный центр РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Дубовицкая Виктория Игоревна, научный сотрудник лаборатории опытного отдела, Агрофизический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ilya V. Plotnikov, Junior Researcher, Department of Science and Environmental Monitoring, Federal State Budgetary Institution Joint Directorate of Kedrovaya Pad State Biosphere Nature Reserve and Land of the Leopard National Park, Vladivostok, Russia

Olesya D. Pozharskaya, Junior Researcher, Research Department, Saint Petersburg Research Center of the Russian Academy of Science, St. Petersburg, Russia

Victoria I. Dubovitskaya, Researcher, Experimental Department Laboratory, Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia