

<https://doi.org/10.47183/mes.2025-335>

УДК 613.2.099:613.26:614.8.084



СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯХ ПОБЕРЕЖЬЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В.П. Андреев, Е.С. Мартынова, Ж.В. Плахотская[✉], Е.Ф. Сороколетова

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

Введение. Использование дикорастущих растений в производстве пищевых продуктов, добавок, ингредиентов и биологически активных веществ требует оценки сырья на содержание тяжелых металлов (ТМ). Это важно учесть и в связи с использованием дикоросов в пищу при выживании после аварий, катастроф или боевых действий на море.

Цель. Оценить потенциальную опасность употребления в пищу прибрежной флоры, способной аккумулировать ТМ, в местах возможной высадки экипажей судов, терпящих бедствие в акватории морей Российской Федерации.

Материалы и методы. Объектами исследования служили прибрежные водоросли и высшие растения, произрастающие на побережье Финского залива. Образцы растений собраны на участках побережий Финского залива: о-ва Большой Березовый, о-ва Гогланд, а также Кургальского п-ова. До проведения элементного анализа образцы всех растений досушивали при 80 °С до постоянного веса и оценивали их сухую массу с точностью до 1 мг. Оценку сырой массы осуществляли, опираясь на данные по сухой массе и условно принимая, что содержание воды в нативных листьях деревьев составляет 75%, в листьях трав — 85%, а в слоевищах *F. vesiculosus* — 70%. Минерализацию высушенного материала осуществляли в СВЧ-минерализаторе МС-6 («Вольта», Россия). Элементный анализ выполняли на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915М. Результаты измерений обрабатывали с помощью пакета прикладных программ Statistica for Windows 7.

Результаты. Содержание меди и свинца у изученных растений были в границах ПДУ. Допустимый уровень кадмия был превышен в 2–4 раза у *A. ptarmica*, *C. angustifolium* и *U. dioica* на п-ове Кургальский, что определяет риск использования их в пищу. Минимальные величины содержания марганца (менее 20 мг/кг сухой массы) характерны для двух видов растений (*L. japonicus* и *Salix sp.*) с о-ва Березовый и для *A. podagraria* с п-ова Кургальский. Токсическое действие марганца (Mn) начинается при превышении нормы суточного потребления 2 мг/сут, в то время как максимальное содержание Mn у изученных объектов составляло 11,9 мг/кг. Высокое содержание Zn характерно для всех растений о-ва Гогланд, а также *T. repens* и *A. podagraria* с п-ова Кургальский и *Salix sp.* и *L. japonicus* с о-ва Большой Березовый. Было рассчитано предельное количество растительного материала, которое можно без-опасно употребить в пищу; оно составило приблизительно 0,17 кг/сут сырой массы листьев.

Выводы. Отсутствие в нормативных документах ВДУ суточного потребления эссенциальных элементов затрудняет оценку тяжести последствий использования растительного сырья для пищевых и лекарственных целей и применение риск-ориентированного подхода в оценке безопасности питания. Высокая степень опасности использования в пищу растений п-ова Кургальский (*A. ptarmica*, *C. angustifolium* и *U. dioica*) обусловлена существенным превышением ПДУ по Cd. Содержание Cu, Pb во всех изученных растениях ниже ПДУ, т.е. опасность по этим элементам отсутствует. Содержание Zn является безопасным, поскольку для обеспечения суточной потребности в нем необходимо употреблять более 1 кг сырой массы листьев ежедневно, что в реальных условиях практически невозможно.

Ключевые слова: дикорастущие растения; пищевое применение дикоросов; микронутриенты; тяжелые металлы

Для цитирования: Андреев В.П., Мартынова Е.С., Плахотская Ж.В., Сороколетова Е.Ф. Содержание тяжелых металлов в растительности побережья Балтийского моря в Российской Федерации. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2025;27(3):295–302. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-335>

Финансирование: исследование выполнено без спонсорской поддержки.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

✉ Плахотская Жанна Вячеславовна zannapl@yandex.ru

Статья поступила: 02.12.2024 **После доработки:** 31.03.2025 **Принята к публикации:** 01.04.2025 **Online first:** 20.08.2025

HEAVY METAL CONTENTS IN PLANTS GROWING IN THE RUSSIAN BALTIC COASTAL AREA

Vladimir P. Andreev, Elena S. Martynova, Zhanna V. Plakhotskaya[✉], Elena F. Sorokoletova

Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

Introduction. Prior to use in the production of food additives, ingredients, and biologically active substances, wild plants should be assessed in terms of heavy metal (HM) accumulation. This task is also relevant because wild plants can be consumed by the survived after accidents, disasters, or military operations at sea.

Objective. To assess the HM-related danger of coastal flora in the areas of potential landing of shipwrecked crews in the seas of the Russian Federation.

Materials and methods. The study objects were coastal algae and higher plants growing in the coastal area of the Gulf of Finland. Plant samples were collected in the Bolshoy Beryozovy Island, Hogland Island, and the Kurgalsky Peninsula. Prior to elemental analysis, the samples were dried at 80°C to a constant weight; their dry weight was estimated with an accuracy of 1 mg. The raw mass was estimated based on the dry weight data and the assumption that the water content in native tree leaves comprises 75%, in grass leaves — 85%, and in *F. vesiculosus* thalli — 70%. The dried material was mineralized by an MS-6 microwave sample preparation system (Volta, Russia). Elemental analysis was performed using an MGA-915M atomic absorption spectrometer. The measurement results were processed using the Statistica software.

Results. The Cu and Pb content in the studied plants was found to range within permissible limits. The permissible level of cadmium was exceeded by 2–4 times in *A. ptarmica*, *C. angustifolium*, and *U. dioica* on the Kurgalsky Peninsula, indicating the risk of food consumption. The

© В.П. Андреев, Е.С. Мартынова, Ж.В. Плахотская, Е.Ф. Сороколетова, 2025

minimum values of Mn content (less than 20 mg/kg of dry matter) were typical of two plant species (*L. japonicus* and *Salix* sp.) from the Bolshoy Beryozovy Island and *A. podagraria* from the Kurgalsky Peninsula. The toxic effects of Mn begin to appear when the daily intake exceeds 2 mg/day, while the maximum Mn content in the studied objects was 11.9 mg/kg. The high Zn content was typical of all plants on the Hogland Island, as well as *T. repens* and *A. podagraria* from the Kurgalsky Peninsula and *Salix* sp. and *L. japonicus* from the Bolshoy Beryozovy Island. The maximum amount of plant material that can be safely consumed was calculated to be approximately 0.17 kg/day of raw leaf mass.

Conclusions. The absence of daily intake limits for essential elements in regulatory documents makes it difficult to assess the severity of consequences of using plant raw materials for food and medicinal purposes and to apply a risk-based approach to assessing food safety. The high degree of danger associated with the use of plants from the Kurgalsky Peninsula (*A. ptarmica*, *C. angustifolium*, and *U. dioica*) is due to a significant excess of Cd limits. The Cu and Pb levels in all the studied plants was below the limits, indicating the absence of danger associated with these elements. The Zn content can be considered safe, since more than 1 kg of raw leaf mass must be consumed daily to meet the daily requirement, which is practically impossible in actual conditions.

Keywords: wild plants; wild plant-based food; micronutrients; heavy metals

For citation: Andreev V.P., Martynova E.S., Plakhotskaya Z.V., Sorokoletova E.F. Heavy metal contents in plants growing in the Russian Baltic coastal area. *Extreme Medicine*. 2025;27(3):295–302. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-335>

Funding: the study was carried out without sponsorship.

Potential conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

✉ Zhanna V. Plakhotskaya zannapl@yandex.ru

Received: 02 Dec. 2024 **Revised:** 31 Mar. 2025 **Accepted:** 01 Apr. 2025 **Online first:** 20 Aug. 2025

ВВЕДЕНИЕ

Изучение дикорастущих пищевых и лекарственных растений сближает такие на первый взгляд далеко отстоящие друг от друга направления исследований, как поиск ресурсов безопасного питания в условиях выживания человека в природе и разработка инновационных технологий специализированных и функциональных пищевых продуктов, пищевых ингредиентов (пищевых органических кислот, ферментов, пищевых и кормовых добавок, биологически активных веществ и др.). Использование дикоросов невозможно без сопутствующей оценки безопасности новых видов растительного пищевого сырья, получаемого из растений, произрастающих на территориях, не защищенных от распространения разнообразных поллютантов, производимых современной промышленностью, объектами энергетики и транспортом.

К числу наиболее опасных загрязняющих природную среду агентов относятся тяжелые металлы (ТМ). Микроэлементы принято подразделять на неэссенциальные (необязательные для жизнедеятельности) и эссенциальные (микроэлементы или незаменимые факторы питания). Избыточное количество даже эссенциальных элементов, например цинка (Zn), меди (Cu) и марганца (Mn), оказывает токсическое действие на живые организмы, включая человека [1].

Это обусловило необходимость, наряду с разработкой норм физиологических потребностей в микроэлементах, определения верхних допустимых уровней (ВДУ) их потребления^{1,2}. Методические рекомендации (МР), устанавливающие соответствующие нормативные уровни микроэлементов, периодически

пересматриваются, однако показатели суточной потребности в Zn, Cu и Mn сохраняются неизменными и составляют 12, 1 и 2 мг/сут соответственно^{3,4,5}. Напротив, ВДУ Zn и Mn за период 2004–2008 гг. были пересмотрены в сторону уменьшения, а в последней действующей редакции от 2021 г. вовсе не вошли в состав нормируемых показателей⁶.

Такая ситуация в значительной степени затрудняет оценку рисков использования дикорастущих растений для пищевых и лекарственных целей и вступает в конфликт с п. 21в Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, предусматривающей продолжение гармонизации характеристик и параметров качества и безопасности пищевой продукции на основе фундаментальных исследований в области гигиены и науки о питании⁷.

Последнее обстоятельство определяет актуальность исследований, направленных на поиск подходов к экспертной оценке рисков использования для целей питания и (или) лекарственного применения дикорастущих растений ввиду возможного их контаминирования ТМ.

Цель исследования — дать оценку потенциальной опасности употребления в пищу объектов прибрежной флоры, способных аккумулировать тяжелые металлы и произрастающих в местах возможной высадки экипажей судов и кораблей, терпящих бедствие в акваториях морей, относящихся к зоне ответственности Российской Федерации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы растений собраны на участках побережий Финского залива: о-ва Большой Березовый,

¹ МР 2.3.1.2432-08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2009.

² МР 2.3.1.1915-04:2.3.1 Рациональное питание. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. М.: Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации, 2004.

³ МР 2.3.1.2432-08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2009.

⁴ МР 2.3.1.1915-04:2.3.1 Рациональное питание. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. М.: Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации, 2004.

⁵ МР 2.3.1.0253-21 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021.

⁶ Там же.

⁷ Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2020.

находящегося в северной его части, о-ва Гогланд, расположенного в центре акватории, а также Кургальского п-ова, выступающего в Финский залив с юга и разделяющего его Нарвскую и Лужскую губы.

Объектами исследования служили прибрежные водоросли и высшие растения, произрастающие на побережье Финского залива, относительно которых имеется многовековой опыт употребления в пищу и известна практика использования в качестве лекарственного сырья:

Atriplex prostrata Boucher — лебеда простертая. Распространена в европейской части РФ, на Алтае, в Восточной и Западной Сибири. Листья представителей рода содержат витамины А, Е, Р, РР, рутины, белки, эфирное масло, клетчатку, минералы. Являются сытным компонентом салатов, горячих и холодных овощных супов, гарниров, омлетов. Употребляют до начала цветения. Представители рода содержат комплекс веществ, обладающих антиоксидантным и кардиопротекторным действием [2].

Achillea ptarmica L. — тысячелистник птармика. В России распространен на европейской части, как заносное встречается в Западной Сибири. Листья имеют терпковатый, пряный вкус с легкой горчинкой, а также приятный травяной аромат. Настой снижает аппетит и понижает уровень сахара в крови. Свежую зелень добавляют в готовые блюда. Изучение фитохимии и биологической активности веществ, экстрагируемых из разных видов рода *Achillea*, показало перспективность их использования в пищевой и фармацевтической промышленности [3].

Aegopodium podagraria L. — сныть обыкновенная. Широко встречается на европейской части РФ, кроме Крайнего Севера. В пищу пригодны молодые светло-зеленые листья. К осени концентрация витамина С повышается, иногда до 60–100 мг. Содержит клетчатку, яблочную и лимонную кислоты, холин, бета-каротин, флавоноиды, кумарины, минеральные соли и эфирные масла, в заметных количествах железо, магний, калий [4]. По антиоксидантной активности экстракты *Aegopodium podagraria* L. превосходят таковые других изученных видов [5].

Chamaenerion angustifolium L. — кипрей узколистный, иван-чай, копорский чай. Распространен в холодном и умеренном поясе РФ, встречается на Кавказе, в Сибири и на Дальнем Востоке, преимущественно на песчаных и супесчаных легких почвах. Чай из кипрея богат железом, медью, калием и кальцием. Надземная масса содержит в пересчете на сухое вещество 18,8% протеина, 5,95% жира, 50,44% безазотистых экстрактивных веществ, 16,62% клетчатки, 8,14% золы, 0,75% кальция, 0,43 % фосфора [6].

Fucus vesiculosus L. — фукус пузырчатый. В морских водах РФ обильно произрастает в приливно-отливной зоне Белого моря, южной части Баренцева и западных районах Балтийского моря, включая побережье о-ва Гогланд. Используется для приготовления салатов и как богатая клетчаткой добавка к морской рыбе. В настоящее время рассматривается как перспективный источник биологически активных веществ [7].

Lathyrus japonicus Wild — чина японская, чина алеутская. Широко распространена на северных территориях РФ и в районах с умеренным климатом. Является условно съедобным растением. Употребляют в пищу

на постоянной основе нельзя ввиду присутствия оксалилдиаминопропионовой кислоты, обладающей нейротоксичностью. Надземные части растений (стебли, листья, семена) находят пищевое применение, а отвары используют для лечения сердечно-сосудистых заболеваний [8]. Чина японская богата витаминами (А, В₁, В₂, В₃, В₄, В₆, В₇, В₉, С) и минеральными веществами (сера, хлор, фосфор, калий, кальций, натрий, магний, титан, никель, кобальт, кремний, бор, молибден, селен, марганец, медь, цинк, йод, железо).

Polygonum aviculare L. — горец птичий, спорыш. В РФ встречается повсеместно, за исключением Арктики. Молодые листья можно употреблять в пищу в салатах, супах, а также как материал для приготовления рагу. Изучены антиоксидантные, противовоспалительные, противомикробные, противоопухолевые и противодиабетические свойства экстрактов этого растения [9]. Настой травы применяется в народной медицине как противовоспалительное средство, способствует отхождению конкрементов из камней в почках и в мочевом пузыре. Используется также как кровоостанавливающее, гипотензивное, диуретическое, вяжущее средство. Входит в состав травяных сборов, применяемых при хроническом гастрите, язве желудка, бронхите, почечнокаменной болезни, маточных кровотечениях, цистите, туберкулезе легких и других заболеваниях [10]. При этом экстракты *Polygonum aviculare* обладают наибольшим потенциалом по сравнению с другими видами горца по фармацевтическому действию на почки и мочевыводящие пути [11].

Plantago media L. — подорожник средний. Распространен в европейской части РФ и в разных регионах Сибири. Молодые листья богаты клетчаткой, биофлавоноидами, полисахаридами, содержат витамины и микроэлементы, в связи с чем рекомендованы для питания веганов и вегетарианцев путем добавления в каши, соусы, смузи, соки и другие напитки. Можно есть в сыром виде (добавлять в салаты или холодные супы), отваривать, консервировать [12].

Salix L. — ива. Род растений, включающий около 350 видов. Распространены в РФ от субтропиков до Арктики и от западных границ на восток, включая Камчатку и Приморский край. Листья ивы, являющиеся источником клетчатки, растительного белка, органических кислот и витамина С, можно отваривать или употреблять в пищу без тепловой обработки, но после разминания и последующей ферментации в ходе вылеживания в течение 8–12 часов [13].

Trifolium repens L. — клевер ползучий. В РФ распространен практически повсеместно. Свежие листья молодых растений добавляются в овощные салаты, супы, а также тушеные гарниры для блюд из овощей, мяса и морепродуктов. В сушеном и измельченном виде их используют при изготовлении соусов, сыров, хлебопекарной муки. Результаты исследований антихолинэстеразных и антирадикальных активностей экстрактов из *T. repens* указывают на возможность их применения при лечении нейродегенеративных заболеваний [14]. Установлено, что сумма флавоноидов клевера снижает внутричерепное и артериальное давление, купирует головокружения, улучшает слух, снижает уровень шума в ушах [15].

Urtica dioica L. — крапива двудомная. В РФ растет в европейской части и Западной Сибири, занесена

в Восточную Сибирь и на Дальний Восток. Молодые побеги и свежие листья используют после ошпаривания для приготовления витаминных зеленых салатов. Побеги и листья применяют для приготовления супов. Пюре из листьев используют для изготовления омлетов и запеканок. Листья крапивы можно солить, квасить, мариновать. *U. dioica* является лекарственным растением, широко применяемым в разных странах для лечения гипертонии [16]. Она способна снижать содержание глюкозы и регулировать уровень липидов в крови, оказывать противовоспалительное и антиоксидантное действие [17].

Растения собирали в открытой морской акватории, имитируя ситуацию выживания на побережье, когда помощи приходится ждать исключительно с моря. Видовую принадлежность наземных растений определяли в местах их сбора по Определителю растений Ленинградской области [18].

Для анализа использовали молодые листья из верхушечной части побега. Собранные листья высушенных растений помещали между листами обеззоленной фильтровальной бумаги и высушивали в гербарном прессе. С фрагментов слоевищ бурой водоросли *F. vesiculosus* перед помещением в гербарный пресс удаляли влагу обеззоленной фильтровальной бумагой. До проведения элементного анализа образцы всех растений досушивали при 80 °C до постоянного веса и оценивали их сухую массу с точностью до 1 мг. Оценку сырой массы осуществляли косвенно, опираясь на данные по сухой массе и условно принимая, что содержание воды в нативных листьях деревьев составляет 75%, в листьях трав — 85%, а в слоевищах *F. vesiculosus* — 70%. Минерализацию высушенного материала осуществляли в СВЧ-минерализаторе МС-6 («Вольта», Россия) по стандартной методике [19]: в три этапа, с подъемом температуры и давления от 120 °C и 15 атм до 180 °C и 25 атм. Общее время процесса 12 мин.

Элементный анализ выполняли на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915М («Люмэкс», Россия) при длине волны, соответствующей спектральной линии атома изучаемого элемента, с использованием государственных стандартных образцов (ГСО) для элементного анализа⁸. Содержание всех элементов определяли в параллельных измерениях одних и тех же минерализованных образцов.

Результаты измерений обрабатывали с помощью пакета прикладных программ Statistica for Windows 7. Выборки формировали путем объединения образцов растений по видовой принадлежности и по пунктам их сбора. Объем выборки (4–6 экземпляров) определялся доступностью и количеством материала в точке высадки. Тип распределения образцов выборок оценивали с помощью теста Шапиро – Уилка, что определило в итоге использование параметрических методов. В качестве результатов приведены средние значения с указанием величин доверительных интервалов для уровня значимости $p = 0,05$. Исходя из последней величины, полученные путем прямых измерений, округлены до трех значащих цифр. Данные по содержанию элементов в сырой массе, являющиеся результатом пересчета исходных значений на сухую

массу, содержат после запятой столько же знаков, как и исходные величины.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования содержания тяжелых металлов выделены группы растений, в пределах каждой из которых значимые различия между членами соответствующих выборок не обнаруживали. Например, высокое содержание марганца (более 40 мг/кг сухой массы) было характерно для трех растений (*L. japonicus*, *A. prostratum*, *P. aviculare*), произрастающих на о-ве Гогланд, и трех (*P. minuta*, *A. ptarmica* и *U. dioica*), собранных на п-ове Кургальский. Минимальные величины содержания марганца (менее 20 мг/кг сухой массы) характерны для двух видов растений (*L. japonicus* и *Salix sp.*) с о-ва Березовый и для *A. podagraria* с п-ова Кургальский. Средние значения содержания марганца (менее 40 мг/кг, но более 20 мг/кг) идентифицированы в слоевище *F. vesiculosus* и растениях (*Salix sp.*, *C. angustifolium*, *T. repens*) п-ова Кургальский, а также *C. angustifolium* с о-ва Большой Березовый (табл. 1).

По содержанию цинка растения распределяются в две группы. Высокое содержание элемента (более 30 мг/кг сухой массы) характерно для всех растений о-ва Гогланд. Сюда же отнесены *T. repens* и *A. podagraria* с п-ова Кургальский, а также *Salix sp.* и *L. japonicas* с о-ва Большой Березовый. Остальные растения содержат Zn около 20 мг/кг сухой массы и значимых различий между собой не обнаруживают.

Наибольшее содержание свинца (свыше 0,4 мг/кг) обнаружено в *L. japonicus* с о-ва Гогланд и в *P. aviculare* с о-ва Большой Березовый, а также в *A. ptarmica* и *U. dioica*, собранных на п-ове Кургальский. В шести растениях свинец либо не был обнаружен (*A. prostratum*, *T. repens*, *A. podagraria*), либо его содержание оценивали как низкое, не более 0,1 мг/кг (*F. vesiculosus*, *P. minuta*, и *Salix sp.* с о-ва Большой Березовый). У остальных трех растений уровень элемента укладывался в интервал 0,2–0,4 мг/кг (*Salix sp.* с п-ова Кургальский и *C. angustifolium* из обоих местообитаний), т.е. они характеризовались средней концентрацией элемента.

Сравнивать растения по содержанию меди и кадмия сложно в связи со значительным разбросом данных в рассматриваемых выборках. Однако использование средних значений для построения рядов убывания содержания элементов в растениях (табл. 2) показало, что медь устойчиво занимает третью позицию, уступая ее лишь уровню содержания свинца в *P. Aviculare* и *L. japonicas* с о-ва Большой Березовый. Уровень содержания кадмия почти всегда уступает свинцу. Преобладающие последовательности в рядах убывания элементов выглядят следующим образом: $Mn \geq Zn > Cu > Pb \geq Cd$.

В группе растений с о-ва Гогланд отмечены наиболее близкие концентрации Mn и Zn по сравнению с остальными местообитаниями. Например, два растения (*L. japonicus* и *Salix sp.*) с о-ва Большой Березовый и *A. podagraria* с п-ова Кургальский накапливали существенно больше Zn, нежели Mn.

⁸ М 04-64-2017. Продукты пищевые и сырье продовольственное. Корма, комбикорма и сырье для их производства. Методика измерений массовой доли кадмия, мышьяка, олова, ртути, свинца, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией модификаций МГА-915, МГА-915М, МГА-915МД, МГА-1000. Санкт-Петербург, 2017. 40 с.

Таблица 1. Содержание элементов в растениях различных мест произрастания

Место произрастания	Растения	Содержание элементов, мг/кг сухой массы (верхние значения), мг/кг сырой массы (нижние значения)				
		Mn*	Zn*	Cu*	Pb*	Cd*
о-в Гогланд	<i>A. prostratum</i>	46,7 ± 20,4	42,3 ± 9,3	0,327 ± 0,485	не обн.	0,019 ± 0,013
		7,0 ± 3,1	6,3 ± 1,4	0,049 ± 0,072	не обн.	0,003 ± 0,002
	<i>F. vesiculosus</i>	37,3 ± 8,8	37,0 ± 11,2	1,66 ± 2,30	0,070 ± 0,046	0,306 ± 0,413
		11,2 ± 2,6	11,1 ± 3,4	0,49 ± 0,69	0,021 ± 0,013	0,091 ± 0,124
	<i>L. japonicus</i>	55,5 ± 9,4	69,3 ± 36,1	0,881 ± 0,931	0,506 ± 0,192	0,030 ± 0,025
		8,3 ± 1,5	10,4 ± 5,4	0,132 ± 0,139	0,076 ± 0,029	0,004 ± 0,004
	<i>P. aviculare</i>	79,2 ± 42,8	53,3 ± 30,4	0,073 ± 1,34	0,479 ± 0,158	0,007 ± 0,004
		11,9 ± 6,4	8,0 ± 4,6	0,011 ± 0,201	0,072 ± 0,024	0,001 ± 0,001
о-в Большой Березовый	<i>C. angustifolium</i>	30,6 ± 9,8	30,6 ± 9,8	1,99 ± 0,35	0,299 ± 0,042	0,106 ± 0,045
		4,6 ± 1,5	4,6 ± 0,3	0,30 ± 0,05	0,045 ± 0,006	0,016 ± 0,007
	<i>L. japonicus</i>	17,6 ± 3,5	47,2 ± 4,6	0,548 ± 0,025	0,585 ± 0,143	0,007 ± 0,002
		2,6 ± 0,5	7,1 ± 0,7	0,082 ± 0,003	0,088 ± 0,021	0,010 ± 0,000
	<i>Salix sp.</i>	17,2 ± 10,0	39,1 ± 7,1	0,544 ± 0,068	0,102 ± 0,021	0,025 ± 0,018
		4,3 ± 2,5	9,8 ± 1,8	0,136 ± 0,017	0,026 ± 0,005	0,006 ± 0,004
п-ов Кургальский	<i>A. ptarmica</i>	57,4 ± 13,4	25,6 ± 2,6	2,26 ± 0,43	0,870 ± 0,324	0,870 ± 0,340
		8,6 ± 2,0	3,8 ± 0,4	0,339 ± 0,064	0,130 ± 0,049	0,130 ± 0,051
	<i>A. podagraria</i>	3,7 ± 3,5	34,1 ± 3,7	0,562 ± 0,410	не обн.	0,010 ± 0,006
		0,6 ± 0,5	5,1 ± 0,6	0,084 ± 0,061	не обн.	0,002 ± 0,001
	<i>C. angustifolium</i>	34,0 ± 4,6	21,1 ± 2,1	1,01 ± 0,43	0,213 ± 0,072	0,551 ± 0,231
		5,1 ± 0,7	3,2 ± 0,3	0,152 ± 0,064	0,032 ± 0,011	0,083 ± 0,035
	<i>P. minuta</i>	74,9 ± 12,5	21,2 ± 3,9	2,91 ± 2,06	0,040 ± 0,028	0,041 ± 0,029
		11,2 ± 1,9	3,2 ± 0,6	0,44 ± 0,31	0,006 ± 0,004	0,006 ± 0,004
	<i>Salix sp.</i>	31,2 ± 4,0	19,9 ± 7,1	2,09 ± 0,35	0,311 ± 0,049	0,054 ± 0,059
		7,8 ± 1,0	5,0 ± 1,8	0,52 ± 0,09	0,078 ± 0,012	0,013 ± 0,015
	<i>T. repens</i>	36,0 ± 7,8	42,7 ± 18,4	2,40 ± 1,78	не обн.	0,007 ± 0,003
		5,4 ± 1,2	6,4 ± 2,8	0,36 ± 0,27	не обн.	0,001 ± 0,000
	<i>U. dioica</i>	65,7 ± 28,2	22,9 ± 1,4	4,16 ± 0,82	0,440 ± 0,060	0,395 ± 0,107
		9,9 ± 4,2	3,4 ± 0,2	0,62 ± 0,12	0,066 ± 0,009	0,059 ± 0,016

Таблица составлена авторами

Примечание: * суточная потребность в элементах для человека⁹ (мг): Mn = 2; Zn = 12; * предельно допустимые уровни содержания элементов¹⁰ в мг/кг сырой массы: Cu = 5; Pb = 0,5; Cd = 0,03.

Содержание меди и свинца во всех изученных растениях не превышало ПДУ¹¹. Комментарии требуют концентрации цинка и кадмия. Последний обладает высокой токсичностью не только для животных

⁹ МР 2.3.1.0253-21 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021.

¹⁰ Технический регламент Таможенного союза. ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» от 9.12.2011 № 880.

¹¹ М 04-64-2017. Продукты пищевые и сырье продовольственное. Корма, комбикорма и сырье для их производства. Методика измерений массовой доли кадмия, мышьяка, олова, ртути, свинца, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией модификаций МГА915, МГА-915М, МГА-915МД, МГА-1000. Санкт-Петербург, 2017.

Таблица 2. Ряды убывания элементов в растениях

Место произрастания	Растения	Ряды убывания элементов в растениях
о-в Гогланд	<i>A. prostratum</i>	$Mn \geq Zn > Cu > Cd$
	<i>F. vesiculosus</i>	$Mn = Zn > Cu > Cd \geq Pb$
	<i>L. japonicus</i>	$Zn \geq Mn > Cu > Pb > Cd$
	<i>P. aviculare</i>	$Mn \geq Zn > Pb > Cu > Cd$
о-в Большой Березовый	<i>C. angustifolium</i>	$Mn \geq Zn > Cu > Pb > Cd$
	<i>L. japonicus</i>	$Zn > Mn > Pb \geq Cu > Cd$
	<i>Salix sp.</i>	$Zn > Mn > Cu > Pb > Cd$
п-ов Кургальский	<i>A. ptarmica</i>	$Mn > Zn > Cu > Pb = Cd$
	<i>A. podagraria</i>	$Zn > Mn > Cu > Cd$
	<i>C. angustifolium</i>	$Mn > Zn > Cu > Cd > Pb$
	<i>P. minuta</i>	$Mn > Zn > Cu > Pb = Cd$
	<i>Salix sp.</i>	$Mn > Zn > Cu > Pb > Cd$
	<i>T. repens</i>	$Zn \geq Mn > Cu > Cd$
	<i>U. dioica</i>	$Mn > Zn > Cu > Pb \geq Cd$

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание: ряды убывания элементов в растениях построены с использованием среднего значения и стандартной ошибки среднего значения ($M \pm m$).

и человека, но и для растений, в том числе служащих пищевым и фармацевтическим сырьем [20].

При сопоставлении фактического содержания кадмия с величиной предельно допустимого уровня (ПДУ) установлено, что концентрация последнего была превышена в 2–4 раза в растениях п-ова Кургальский (*A. ptarmica*, *C. angustifolium* и *U. dioica*). В листьях остальных 11 растений концентрация кадмия была в пределах ПДУ либо его превышение было статистически не значимо. Это относится также к листьям ивы, наиболее известного аккумулятора кадмия [21, 22].

Учитывая, что содержание Zn в 1 кг сырой растительной массы любого из изученных растений нами было установлено на уровне ниже показателей его суточной потребности, пищевое применение этих растений по данному элементу является безопасным.

Нормативно-правовыми документами РФ не предусмотрено нормирование концентрации марганца (ПДУ) в растениях, в связи с этим оценку безопасного применения по этому элементу проводили в соответствии с нормами суточной физиологической потребности¹², которая для марганца составляет 2 мг/сут. Поскольку максимальное содержание марганца, отмеченное у изученных растительных объектов, составляло 11,9 мг/кг, отнесение к этой величине позволило определить количество растительного материала, которое можно безопасно употребить в пищу, а именно до 0,17 кг/сут сырой массы листьев. Однако уровень суточной потребности не совпадает с максимально

допустимым, и чтобы оценить максимально безопасное суточное потребление Mn, необходимо иметь информацию о темпах выведения этого элемента из организма. Величина ВДУ¹³ составляет 5 мг/сут, что позволяет предположить, что безопасное потребление составит 0,42 кг/сут. К сожалению, полученную величину приходится признать недостоверной, поскольку она опирается на данные из нормативного источника, утратившего силу. В связи с этим становится актуальным вопрос о возвращении ВДУ в число нормируемых параметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно констатировать, что отсутствие в нормативных документах ВДУ суточного потребления эссенциальных элементов затрудняет оценку тяжести последствий использования растительного сырья для пищевых и лекарственных целей и применение риск-ориентированного подхода в оценке безопасности питания.

Mn является фактором опасности при умеренных суточных дозах приема растительного материала, если превышает уровень суточной потребности в этом элементе.

Установлена высокая степень опасности использования в пищу растений (*A. ptarmica*, *C. angustifolium* и *U. dioica*) с п-ова Кургальский, для которых показано существенное превышение ПДУ по Cd. Содержание Cu

¹² МР 2.3.1.0253-21 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021.
¹³ МР 2.3.1.1915-04:2.3.1 Рациональное питание. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. М.: Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации, 2004.

и Pb во всех изученных растениях ниже ПДУ, т.е. опасность по этим элементам отсутствует. Содержание Zn можно считать безопасным, поскольку для обеспечения суточной потребности в данном элементе необходимо ежедневно употреблять свыше 1 кг сырой массы листьев, что в реальных условиях выживания практически невозможно.

Поскольку универсальных накопителей тяжелых металлов среди собранных растений не обнаружено, исключение монофагии при питании дикоросами может быть надежным средством профилактики металлотоксикозов в условиях самоспасания на морском побережье.

При оценке пригодности природных растений тех или иных местообитаний служить сырьем в производстве специализированных пищевых продуктов, БАД и напитков, обогащенных эссенциальными элементами, следует не только обращать серьезное внимание на содержание элементов, обладающих свойствами микроэлементов, но и определять возможно полный спектр сорбируемых тяжелых металлов.

Полученные результаты предлагается учитывать при создании пособий по выживанию, рекомендующих к употреблению в пищу дикорастущие растения.

Литература / References

- Скугорева СГ, Ашихмина ТЯ, Фокина АИ, Лялина ЕИ. Химические основы токсического действия тяжелых металлов (обзор). *Теоретическая и Прикладная Биология*. 2016;1:4–13. Skugoreva SG, Ashikhmina Tla, Fokina AI, Lialina EI. Chemical bases of toxic effects of heavy metals (review). *Theoretical and Applied Biology*. 2016;1:4–13 (In Russ.). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2016-1-014-019>
- Kumorkiewicz-Jamro A, Gorska R, Krok-Borkowicz M, Mielczarek P, Popena Ł, Lystvan K, et al. Unveiling alternative oxidation pathways and antioxidant and cardioprotective potential of amaranthin-type betacyanins from spinach-like *Atriplex hortensis* var. "Rubra". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2023;71(41):15017–34. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c03044>
- Salehi B, Selamoglu Z, Sevindik M, Fahmy NM, Al-Sayed E, El-Shazly M, et al. *Achillea* spp.: A comprehensive review on its ethnobotany, phytochemistry, phytopharmacology and industrial applications. *Cellular and Molecular Biology*. 2020;66(4):78–103. <https://doi.org/10.14715/cmb/2020.66.4.13>
- Федотов СВ. Сныть обыкновенная — новое эфиромасличное растение, ее хозяйственное и медицинское значение (обзор). *Ароматкоррекция психофизического состояния человека. Сборник материалов V международной научно-практической конференции*. Ялта; 2015. Fedotov SV. *Aegopodium podagraria* L. — a new essential oil plant, its economic and medical significance (review). *Aromacorection of a person's psychophysical state. Collection of materials of the V International scientific and practical conference*. Yalta; 2015 (In Russ.). EDN: [YUNCTKL](https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-1-95-101)
- Yılmaz Saraltın S, Cicek Polat D, Yalcın CÖ. Cytotoxic and antioxidant activities and phytochemical analysis of *Smilax excelsa* L. and *Aegopodium podagraria* L. *Food Bioscience*. 2023;52:102359. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102359>
- Сапарклычева СЕ, Пояркова НМ. Иван-чай узколистый [*Chamerion angustifolium* (L.) Holub]. *Аграрное Образование и Наука*. 2019;4:15. Saparklycheva SE, Poiarkova NM. The chameron angustifolia [*Chamerion angustifolium* (L.) Holub]. *Agricultural Education and Science*. 2019;4:15 (In Russ.). EDN: [YSMMJS](https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-1-95-101)
- Подкорытова АВ, Рощина АН. Морские бурые водоросли — перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения. *Труды ВНИРО*. 2021; 86(4):156–72. Podkorytova AV, Roshchina AN. Marine brown algae is a promising source of BAS for medical, pharmaceutical and food applications. *Trudy VNIRO*. 2021;186(4):156–72 (In Russ.).
- Калинкина ВА. Развитие *Lathyrus Japonicas willd.* (сем. Fabaceae) в первый год жизни в условиях культуры. *Вестник ТвГУ. Серия: Биология и экология*. 2016;4:184–94. Kalinkina VA. The development of *Lathyrus Japonicas willd.* (Fabaceae) in the first year of life in the cultivated condition. *TvGU Bulletin. Series: Biology and Ecology*. 2016;4:184–94 (In Russ.). EDN: [XHLPHV](https://doi.org/10.36038/2307-3497-2021-186-156-172)
- Uçar Esra. *Polygonum aviculare* L.'s biological activities: investigating its anti-proliferative, antioxidant, chemical properties supported by molecular docking study. *Inorganic Chemistry Communications*. 2024;162:11–2. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2024.112228>
- Петрук АА, Высочина ГИ. Фенольные соединения *Polygonum aviculare* L. (*Polygonaceae*) из географически отдаленных популяций. *Известия Вузов. Прикладная Химия и Биотехнология*. 2019;9(1):95–101. Petruk AA, Vysochina GI. *Polygonum aviculare* L. (*Polygonaceae*) phenol compounds in geographically distant populations. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2019;9(1):95–101 (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-1-95-101>
- Шайымов БК, Саркисова ЕЮ, Сахетдурдыева Г. Виды рода Горец (*Polygonum* L.) флоры Туркменистана с нефропротекторными и диуретическими свойствами. *Молодой Ученый*. 2022; 45(440):65–9. Shaiymov BK, Sarkisova Elu, Sakhetdurdyeva G. Species of the genus Highlander (*Polygonum* L.) flora of Turkmenistan with nephroprotective and diuretic properties. *Young Scientist*. 2022;45(440):65–9 (In Russ.).
- Ториков ВЕ. *Лекарственная ценность овощных, плодово-ягодных, полевых растений и дикоросов*. Брянск: Изд-во: Брянской ГСХА; 2013. Torikov VE. *Medicinal value of vegetable, fruit and berry, field plants and wild plants*. Bryansk: Publishing house of the Bryansk State Agricultural Academy; 2013 (In Russ.). EDN: [TUJVPZ](https://doi.org/10.1007/s00217-019-03416-8)
- Андреев ВП, Андриянов АИ. *Пищевые ресурсы береговой зоны Северных морей*. СПб: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена; 2014. Andreev VP, Andriianov AI. *Food resources of the coastal zone of the Northern Seas*. St. Petersburg: Publishing House of RGPU named after A.I. Herzen; 2014 (In Russ.).
- Ahmad S, Zeb A, Ayaz M, Murkovic M. Characterization of phenolic compounds using UPLC-HRMS and HPLC-DAD and anti-cholinesterase and anti-oxidant activities of *Trifolium repens* L. leaves. *European Food Research and Technology*. 2020;246:485–96. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03416-8>

15. Абрамчук АВ, Карпукхин МЮ. Эффективность применения клевера (*Trifolium L.*) в лечении различных заболеваний. *Вестник Биотехнологии*. 2019;3(20):16. Abramchuk AV, Karpukhin ML. The effectiveness of the clover (*Trifolium L.*) in the treatment of various diseases. *Bulletin of Biotechnology*. 2019;3(20):16 (In Russ.). <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2023.100835>
16. Ekici M, Tuncay OH, Akalin E, Yaman Bucak A, Üresin AYa. Evaluation of the efficacy, safety, and mechanism of action of plants traditionally used in the treatment of hypertension in Turkey. *Journal of Herbal Medicine*. 2024;43:100835. <https://doi.org/10.1016/j.jhermed.2023.100835>
17. Chehri A, Yarani R, Yousefi Z, Novin Bahador T, Shakouri SK, Ostadrahimi A. Anti-diabetic potential of *Urtica Dioica*: current knowledge and future direction. *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders*. 2022;21(1):931–40. <https://doi.org/10.1007/s40200-021-00942-9>
18. Аверьянов ЛВ, Буданцев АЛ, Гельтма ДВ, Конечная ГЮ, Крупкина ЛИ, Сеников АН. *Иллюстрированный определитель растений Ленинградской области*. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2006. Averianov LV, Budantsev AL, Geltma DV, Konechnaia GL, Krupkina LI, Sennikov AN. *Illustrated determinant of plants of the Leningrad region*. Moscow: Association of Scientific Publications of the KMK; 2006 (In Russ.).
19. Андреев ВП, Плахотская ЖВ. Сравнительный анализ накопления меди и кадмия макрофитами губы Чупа Кандалакшского залива Белого моря. *Биология Внутренних Вод*. 2019;1:96–9. Andreev VP, Plakhotskaia ZhV. Comparative analysis of accumulation of copper and cadmium by macrophytes of the Chupa Bay of the Kandalaksha Bay of the White Sea. *Biology of Inland Waters*. 2019;1:96–9 (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0320965219010029>
20. Zulfiqar U, Hussain S, Ahmad M, Ishfaq M, Jiang W, Xiukang W, et al. Cadmium phytotoxicity, tolerance, and advanced remediation approaches in agricultural soils; a comprehensive review. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:773815.22. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.773815>
21. Родькин ОИ. Оценка эффективности использования быстрорастущих древесных культур для фиторемедии загрязненных экосистем. *Вестник ИРГСХА*. 2018;84:40–50. Rodkin OI. Assessment of the effectiveness of using fast-growing tree crops for phytoremediation of polluted ecosystems. *Bulletin of the IrGSHA*. 2018;84:40–50 (In Russ.). EDN: [MANZON](https://doi.org/10.22328/2413-5747-2020-6-1-56-63)
22. Андреев ВП, Закревский ЮН, Мартынова ЕС, Плахотская ЖВ. Пищевая безопасность по тяжелым металлам образцов растительности, собранных на маршруте комплексной экспедиции Северного флота «Новая Земля-2018». *Морская Медицина*. 2020;6(1):56–63. Andreev VP, Zakrevsky YuN, Martynova ES, Plakhotskaya ZhV. Food safety on heavy metals of vegetation samples from a route of the Northern Fleet's complexed expedition «Novaya Zemlya-2018». *Marine Medicine*. 2020;6(1):56–63 (In Russ.). <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2020-6-1-56-63>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: В.П. Андреев — разработка протокола исследования, сбор материала, определение видовой принадлежности растений, обработка и интерпретация результатов, утверждение окончательного варианта рукописи; Е.С. Мартынова — утверждение протокола исследования, проведение элементного анализа на атомно-абсорбционном спектрометре, редактирование рукописи; Ж.В. Плахотская — сбор материала, редактирование текста; Е.Ф. Сороколетова — поиск и анализ источников, подготовка черновика рукописи.

ОБ АВТОРАХ

Андреев Владимир Павлович, канд. биол. наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0002-9072-2845>
vpandreev@mail.ru

Мартынова Елена Сергеевна
<https://orcid.org/0009-0000-7211-5171>
lois89@yandex.ru

Плахотская Жанна Вячеславовна
<https://orcid.org/0000-0002-9045-721X>
zannapl@yandex.ru

Сороколетова Елена Федоровна, канд. биол. наук
<https://orcid.org/0000-0002-9645-3391>
helensoroc@yandex.ru