

СОДЕРЖАНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ *VACCINIUM VITIS-IDAEA* (ERICACEAE) В ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ

© 2025 г. В. П. Макаров

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия

e-mail: vm2853@mail.ru

Поступила в редакцию 25.04.2024 г.

После доработки 14.06.2024 г.

Принята к публикации 10.11.2024 г.

Исследования содержания 47 химических элементов в листьях брусники обыкновенной *Vaccinium vitis-idaea* L. на территории Восточного Забайкалья выявили особенности их накопления из почвы. Образцы листьев и верхнего (0–20 см) горизонта почвы собраны на 15 пробных площадях, расположенных на разном удалении от горнодобывающих предприятий; в качестве контроля выбран фоновый участок в районе Ингодинского научного стационара. Содержание элементов в растительных и почвенных образцах проанализировано масс-спектрометрическим методом. Установлено, что в листьях *V. vitis-idaea* преобладают эссенциальные элементы – K, Ca, Mg и P; среди микроэлементов доминируют Mn, Fe, Al и Ba. Особенностью элементного состава листьев исследуемого вида на обследованной территории является относительно низкое содержание жизненно необходимых макро- и микроэлементов, а также Sr, Rb, Ti, Ni, Pb, V, Li, Zr, Ga и Y по сравнению с другими регионами России. Значимая корреляция концентрации всех исследованных элементов в растениях и их валового содержания в почве отсутствует. Листья *V. vitis-idaea*, произрастающей вблизи горнодобывающих предприятий, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к лекарственному сырью по содержанию Pb, Cd, Hg, а на большинстве пробных площадей и по содержанию As.

Ключевые слова: *Vaccinium vitis-idaea*, макро- и микроэлементы, Восточное Забайкалье, горнодобывающие предприятия

DOI: 10.31857/S0033994625010086, **EDN:** EGLQIS

Брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – небольшой вечнозеленый кустарничек высотой 5–25 см из семейства Ericaceae. В лесных и лесостепных районах Восточного Забайкалья брусника является постоянным компонентом травяно-кустарникового покрова в большинстве типов леса. Растение отличается очень широкой экологической амплитудой, особенно по отношению к влаге. Встречается как на сухих, так и на заболоченных участках, часто растет на бедных и сильнокислых почвах. Средняя урожайность листьев брусники в Восточном Забайкалье довольно высокая (58–65 г/м²) [1].

Брусника представляет ценность не только как пищевое, но и как лекарственное растение. Известно, что цельные листья брусники и порошок из них используют в качестве мочегонного средства и при мочекаменной болезни [2].

Листья брусники имеют antimикробные, вяжущие и противовоспалительные свойства

благодаря содержанию в них флавоноидов, витаминов и дубильных веществ. Препараты, изготовленные на их основе, оказывают вяжущее и капилляроукрепляющее действие, а также повышают эффективность антибиотиков, стимулируют фагоцитоз и другие защитные силы организма, при этом действуют на организм щадящие [3].

Листья *V. vitis-idaea* являются важным источником фармацевтических ингредиентов с очень высоким антиоксидантным потенциалом. Их экстракты могут ингибировать экспрессию вируса гепатита С и рост клеток, чувствительных к промиелоцитарному лейкозу человека. Листья используются для снижения уровня холестерина и лечения расстройств желудка, ревматических заболеваний, инфекций мочевого пузыря и почек [4].

Фармакологическая активность растений зависит не только от наличия органических

компонентов, но и от уровня концентрации биологически важных микроэлементов и их комплексов. Оценка качества лекарственного сырья и возможности его использования в пищевых и лекарственных целях имеет особенную важность при сборах на территориях, подверженных техногенному воздействию [5]. Например, в южной части Польши в органах брусники на загрязненных участках вблизи цинкового завода были обнаружены повышенные по сравнению с более чистыми участками концентрации Cd, Pb, Zn и Fe. Накопление тяжелых металлов в бруснике приводило к увеличению содержания аскорбиновой кислоты, активности антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы). Накопление марганца вызывало снижение антиоксидантной реакции [6].

Вблизи крупного медеплавильного завода на Среднем Урале содержание Cu, Pb, Zn, Cd в плодах *V. vitis-idaea* в 4–18 раз превышало ПДК. Превышение содержания Cd и Pb в плодах было отмечено также и на расстоянии 30–60 км от завода [7]. В Республике Коми, в зоне воздействия выбросов целлюлозно-бумажного производства, в листьях брусники обнаружено увеличение, по сравнению с другими районами, содержания калия, фосфора и магния [8]. В условиях длительного атмосферного загрязнения выбросами медно-никелевого комбината «Североникель» (г. Мончегорск, Мурманская область) листья брусники характеризовались существенным снижением концентраций Mn и Zn [9].

Несмотря на то, что в литературе есть сведения об элементном составе брусники для многих регионов России и зарубежных стран, в пределах Восточного Забайкалья таких исследований не проводили.

Цель работы – провести сравнительный анализ содержания химических элементов в листьях *V. vitis-idaea* на фоновой территории Забайкальского края и в условиях влияния горнодобывающих предприятий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования были листья *Vaccinium vitis-idaea*, произрастающей в условиях техногенного воздействия 2-х горнодобывающих предприятий Забайкальского края: Быстрина ГОКа и Дарасунского рудника и вблизи Ингодинского научного стационара ИПРЭК

СО РАН – на фоновой территории, отдаленной от промышленного загрязнения (рис. 1).

Быстрина полиметаллическое месторождение (медь, железо, золото и серебро) находится в 16 км к востоку от пос. Газимурский Завод. Дарасунское месторождение золота находится в районе пос. Вершино-Дарасунский, Тунгокоченского района. Приоритетными загрязнителями почв являются: Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, As [10]. Ингодинский научный стационар ИПРЭК СО РАН расположен в 40 км южнее г. Чита, в лесной зоне, вдали от горнодобывающих предприятий.

Большая часть пробных площадей (ПП) для отбора листьев брусники расположена в районе Быстрина ГОКа (рис. 2, табл. 1). Абсолютная высота расположения пробных площадей находится в пределах 756–932 м над уровнем моря (табл. 1). Рельеф горный. Почвы преимущественно суглинистые, на территории Быстрина ГОКа представлены горные дерновые лесные; дерновые лесные насыщенные; темно-серые лесные; лугово-черноземные; луговые; лугово-болотные типы почв. Среднее содержание гумуса находится в пределах 4.17–15.3%, рН водный 5.9–6.9 [11].

Время отбора листьев в районе Быстрина ГОКа – вторая декада июня (фаза бутонизации), в районе рудника Дарасун – в первой декаде, а в районе Ингодинского стационара – в третьей декаде июля 2023 г. (не обнаружено цветков и плодов).

Для отбора растительных образцов верхнюю часть побегов брусники срезали секатором, по возможности равномерно на выделенной учетной площади 25 x 25 м. Количество мест отбора растительных образцов на площади составляло 10–15. Срезанные стебли объединяли в одну пробу и помещали в тканевый мешок с этикеткой, соответствующей месту отбора. Масса срезанных побегов составляла около 200 г. В полевых условиях образцы подсушивали в тени, чаще вне помещения. В лабораторных условиях листья отделяли от стеблей и подсушивали до воздушно-сухого состояния, затем измельчали с помощью кофемолки до порошкообразного состояния.

Образцы почвы отбирали одновременно на тех же площадях в слое 0–20 см методом конверта в пяти точках площадки. Почва представляла смесь органогенного и верхнего



Рис. 1. Расположение районов исследования (отмечено квадратом). Примечание. I – Ингодинский стационар; II – Дарасунский рудник; III – Быстринский ГОК.

Fig. 1. Location of the study areas (marked with a square). Note. I – Ingodinsky research station; II – Darasun mine; III – Bystrinsky MPP.

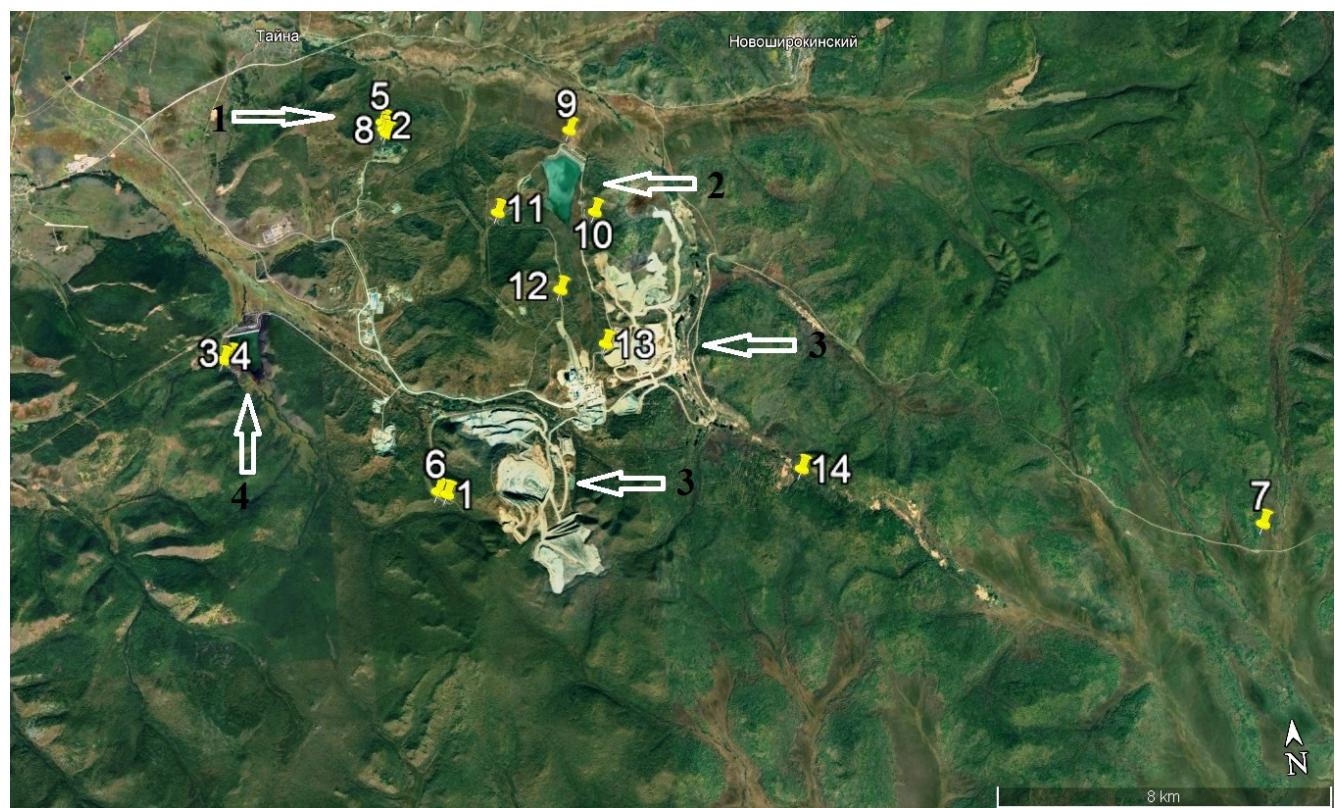


Рис. 2. Расположение пробных площадей в районе Быстринского ГОКа.

Примечание. 1 – полигон твердых отходов; 2 – хвостохранилище; 3 – карьер; 4 – водохранилище.

Fig. 2. Location of sample plots in the Bystrinsky Mining and Processing Plant (MPP) area.

Note. 1 – waste dump; 2 – tailings reservoir; 3 – open-pit mine; 4 – water reservoir.

Таблица 1. Характеристика мест произрастания *Vaccinium vitis-idaea*
Table 1. The characteristics of *Vaccinium vitis-idaea* growth locations

Номер пробной площади Sample plot	Координаты, ° Geographic position, °	Абсолютная высота, м True altitude, m	Рельеф Surface topography	Растительное сообщество Plant community
Быстринский ГОК Bystrinsky MPP				
1	51.47536 118.50482	915	склон юго-западный, пологий south-west slope, gentle	Лиственничник рододендроновый Larch-rhododendron
2	51.55979 118.49168	787	склон северо-восточный, пологий north-east slope, gentle	Березово-лиственничное разнотравное Birch-rhododendron-herbs
3	51.51003 118.43141	766	склон северо-восточный, пологий north-east slope, gentle	Мелколиственное бруснично-багульниковое Small-leaved-lingonberry-ledum
4	51.50961 118.42845	771	склон северо-восточный, пологий north-east slope, gentle	Мелколиственное бруснично-багульниковое Small-leaved-lingonberry-ledum
5	51.56144 118.49125	777	склон северо-восточный, пологий north-east slope, gentle	Березняк брусничный Birch-lingonberry
6	51.47610 118.50172	932	склон южный, пологий south slope, gentle	Лиственничник рододендроновый, бруснично-разнотравный Larch-rhododendron-lingonberry-herb
7	51.452614 118.790655	832	склон восточный, пологий east slope, gentle	Березняк разнотравный Birch-herb
8	51.55869 118.49244	763	Плоский flat	Березово-лиственничное бруснично-багульниковое Birch-larch-lingonberry-herb
9	51.55577 118.55978	756	мелко западинный	Лиственничник разнотравно-багульниковый Larch-herb-ledum
10	51.53607 118.56632	832	склон западный, 10–15° west slope, 10–15°	Березняк разнотравный Birch-herb
11	51.53790 118.53096	836	склон восточный, пологий east slope, gentle	Березово-лиственничное Разнотравное Birch-larch-herb
12	51.51881 118.55124	868	склон восточный, пологий east slope, gentle	Березово-лиственничное Разнотравное Birch-larch-herb
13	51.50562 118.56578	860	мелко западинный	Березово-лиственничное разнотравное Birch-larch-herb
14	51.47390 118.63081	908	склон северо-восточный, 5–10° north-east slope, 10–15°	Березово-лиственничное Разнотравное Birch-larch-herb
Ингодинский научный стационар Ingodinsky research station				
16	51.8158406 113.1769884	709	склон северо-восточный, пологий north-east slope, gentle	Березняк разнотравный Birch-herb
Дарасунский рудник Darasun mine				
18	52.34620 115.57760	783	склон северо-восточный, 5–10° north-east slope, 10–15°	Березняк разнотравный Birch-herb

минерального слоя без лесной подстилки. Затем образцы почвы объединяли в одну пробу и помещали в полиэтиленовый пакет, снабженный этикеткой. Масса пробы – не менее 1 кг. В лабораторных условиях почву высушивали до воздушно-сухого состояния, просеивали через сито с ячейкой 1.0 мм, затем измельчали с помощью ступки до порошкообразного состояния.

Анализ почвенных и растительных образцов проводили в лаборатории физико-химических методов исследования Института тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина на масс-спектрометре ICP-MS Elan 9000 (Канада), согласно общепринятой методике [12]. В образцах определяли содержание 47 химических элементов. Коэффициент биологического поглощения (КБП) рассчитывали как отношение содержания химического элемента в листьях бруслики к его концентрации в почве.

Для статистической обработки полученных данных использовали методы описательной статистики и корреляционного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почва. По среднему валовому содержанию в почвах на исследованных пробных площадях химические элементы составляют следующий ряд (в порядке убывания): Al > Fe > K > Na > Ca > Mg > Ti > Mn > P > Ba > Sr > Zn > Rb > V > Ce > Cr > Zr > Li > Pb > La > Cu > As > Ni > B > Sb > Y > Ga > Cs > Co > Sc > Pr > Th > Nb > W > Sn > U > Be > Ge > Mo > Ag > Ta > Bi > Tl > Te > Hg > Cd > Se (табл. 2).

Содержание большинства (68%) элементов ниже кларка земной коры [14]. Меньше 50% кларка составляет среднее валовое содержание в почве следующих элементов (в порядке возрастания): Y, Zr, Ca, Ta, Nb, Mg, Na, Ti, Ni, Tl, Be, Th и Fe. От 50 до 100% от кларка земной коры составляет (в порядке возрастания) содержание Rb, Sr, Co, Cr, Al, V, Pr, Sc, Ga, U, K, Ba, Mo, Ge, Sn, La, Li, Se. Валовое содержание в почве Zn, P, Mn, B, Cd, Ce, W, Pb, Hg, Cs, Ag, As, Sb, Bi и Te превышает кларк земной коры. Очень высоким, на 1000–34000% выше кларка является валовое содержание Ag, As, Sb, Bi и Te.

Наиболее существенно варьирует содержание в почве P, Sb, W, Ag, Bi, Cd и Se ($C_V = 131–208\%$) (табл. 2). Максимальное количество химических

элементов (19) с их высоким содержанием зарегистрировано на ПП14, которая расположена вблизи территории, нарушенной в результате добычи золота, в пойме р. Тайна. И, напротив, максимальное число (36) элементов с минимальным содержанием выявлено на ПП9, в районе плотины хвостохранилища.

Почва в районе Ингодинского научного стационара (ПП16) отличается максимально высоким содержанием K и Na (табл. 2). В районе Дарасунского рудника (ПП18) выявлено максимальное содержание Al, Ti, Sr, Ga и Nb в почве. Максимальное содержание исследуемых химических элементов в почве в районе Быстринского ГОК варьирует на различных пробных площадях: так, например, на ПП14 почвы характеризуются максимальным содержанием Fe, P, Zn, V, Ce, Zr, Pb, As, Co, Sc, Pr, Th, W, Sn, Be, Ge, Te, Hg, Cd, в то время как на ПП9 максимальные концентрации в почве отмечены лишь для Ca, U, Se.

Сравнение содержания ряда токсических элементов в исследуемых почвах с их ПДК показало, что на всей обследованной территории содержание As значительно превышает его ПДК, в том числе и в районе Ингодинского научного стационара, который рассматривается в качестве контроля (табл. 2). Максимальное содержание данного элемента обнаружено в почве ПП14, где превышение ПДК составляет свыше 28 крат. Только на этой единственной ПП наблюдается повышенное содержание Cd, незначительно превышающее его ПДК, и 2-кратное превышение ПДК по Zn. Лишь на ПП13 в почве зарегистрировано некоторое превышение ПДК по Ni, а на ПП5 отмечено почти 2-кратное превышение ПДК по Cu. Содержание в почвах Pb превышает его ПДК в районе Быстринского ГОКа на ПП3, 5 и 14, а также на ПП18 в окрестностях Дарасунского рудника. Содержание Hg в исследуемых почвах нигде не превышает ПДК. Из других перечисленных выше приоритетных загрязнителей (Fe, Ag, Au) содержание Fe в среднем превышает его фоновое содержание не более чем в 2–4 раза. Содержание Ag может быть как существенно меньше фонового (на ПП9 в 120 раз), так и значительно превышать его (на ПП5 более чем в 38 раз).

Следует отметить, что на ПП18 уровень загрязнения почвы Pb, Zn, As, Cd существенно

Таблица 2. Валовое содержание химических элементов в почве на пробных площадях, мг/кг
Table 2. Total content of chemical elements in the soils of sample plots, mg/kg

Эле- мент Element	Инго- динский научный стационар (16) Ingodinsky research station (16)	Быстринский ГОК												Дарасунский Рудник (18) Darasun mine (18)	ПДК МРС PDK MPC	$C_{\text{ср}}\%$ %			
		Быстрикский МРР																	
		Номер пробной площади Sample plot number																	
Al	55625	66616	55839	64957	48321	55750	56149	12889	4956	55066	39712	57697	47207	50567	69358	38			
Fe	9975	28231	25232	26628	21261	19620	21679	6556	3637	25112	24806	25587	27717	37420	26383	38			
K	39765	20748	18803	22350	13015	22810	20207	3456	1756	24523	17079	20766	22054	19137	24675	40			
Na	23972	8182	7798	9391	6585	11757	10204	1280	646	12410	5070	8482	11397	7870	21194	58			
Ca	7705	3445	4894	3980	5930	3580	3986	15050	22002	4002	6739	5490	5409	13697	10122	72			
Mg	24443	6957	5743	6084	5299	5498	5459	3265	3308	5294	5728	6396	12458	7132	6960	35			
Ti	1517	2267	2010	1902	1516	2089	1761	401	183	2371	1414	1913	2231	2193	2492	39			
Mn	184	1656	1901	1000	2350	749	1580	328	223	986	380	1379	897	3161	906	66			
P	165	652	1538	615	6686	403	693	562	507	442	1009	504	821	972	537	143			
Ba	567	505	733	524	720	581	601	176	110	573	361	482	518	518	732	37			
Sr	297.5	125	183	135	150	141	108	306	159	157	150	133	132	334	40				
Zn	40.4	79.1	101	84.8	95.9	62.5	87.9	29.0	39.9	64.5	104	86.2	74.2	230	89.5	110			
Rb	84.3	101	93.0	101	77.8	99.8	83.5	18.8	7.4	81.0	76.3	85.0	91.9	76.3	75.5	37			
V	25.7	76.8	68.1	76.9	55.3	64.7	65.2	16.5	8.5	66.8	63.2	75.7	80.7	86.8	63.7	36			
Ce	42.8	67.42	44.2	74.3	49.7	48.5	51.3	25.8	5.9	61.7	48.1	52.2	36.3	86.0	76.1	40			
Cr	9.6	56.4	56.3	45.2	40.6	40.6	54.0	13.5	6.5	39.1	47.6	51.3	166	75.5	32.1	72			
Zr	23.0	53.74	40.2	43.8	33.6	40.9	42.6	12.2	4.3	45.2	29.4	35.2	36.7	60.8	30.1	40			
Li	13.4	33.9	57.8	35.0	47.5	26.0	33.5	7.6	2.3	26.7	31.0	42.8	32.8	33.0	30.0	45			
Pb	14.1	31.29	23.9	48.7	53.9	24.0	19.1	14.2	13.8	18.5	29.5	25.4	17.6	59.0	33.6	32			
La	22.3	32.82	19.1	41.5	26.8	23.1	24.4	16.4	3.0	29.2	30.9	24.6	16.2	45.9	44.4	44			
Cu	7.2	22.86	26.9	22.0	64.4	12.5	17.5	8.4	6.4	14.7	24.9	19.3	17.6	64.3	24.8	33			
As	2.5	21.41	24.2	48.0	52.1	14.5	9.7	4.2	2.6	12.0	8.3	38.2	9.6	56.8	44.0	2.0			
Ni	4.0	40.3	26.7	20.9	27.4	26.0	27.4	8.9	3.5	16.0	24.8	21.0	48.0	31.6	16.3	40			
B	5.9	19.0	23.7	21.9	19.9	13.3	13.8	10.0	23.0	16.5	21.6	20.5	12.2	21.9	10.6	27			
Sp	0.59	1.66	2.7	35.88	101	2.26	1.9	1.23	0.86	1.55	1.1	1.65	2.33	78.97	2.61	194			
Y	11.5	19.38	10.2	27.2	13.2	12.0	12.4	10.1	1.9	8.8	21.2	15.3	8.0	26.5	18.3	49			

Таблица 2. Окончание

Эле- мент Element	Быстринский ГОК Bystrinsky MPP										Дарасунский Рудник (18) Darasun mine (18)				ПДК MPC	$C_{\text{v}}\%$		
	Номер пробной площади Sample plot number																	
	Инго- динский научный стационар (16) Ingodinsky research station (16)	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
Ga	15.8	18.17	15.8	17.4	11.7	15.2	15.0	3.6	1.4	15.4	15.8	16.2	16.3	17.6	19.3	37		
Cs	3.29	16.4	11.1	17.7	10.24	9.4	7.6	2.2	1.0	8.5	19.5	11.6	8.3	10.1	3.7	56		
Co	2.5	12.9	12.6	9.2	9.5	8.1	11.5	3.4	1.5	8.5	7.6	9.9	15.9	17.2	9.7	43		
Sc	2.8	10.1	8.5	10.5	7.8	6.6	7.7	2.4	0.3	7.2	8.3	8.1	7.3	11.3	7.3	40		
Pr	5.2	7.54	4.3	10.5	5.3	5.2	5.6	3.7	0.7	7.2	8.0	6.2	3.6	10.6	9.4	45		
Th	3.33	8.8	6.5	8.7	5.6	5.4	7.2	1.8	0.14	7.7	4.9	7.2	6.2	10.9	5.4	45		
Nb	5.3	7.92	6.0	5.7	4.5	6.4	5.4	0.8	0.001	7.4	3.4	5.0	5.4	6.2	14.2	60		
W	0.56	1.5	3.9	1.0	7.6	0.87	0.87	0.11	0.42	0.88	0.76	1.0	1.9	10.6	1.2	131		
Sn	1.3	2.5	1.8	2.1	3.4	1.9	1.7	0.37	0.24	1.9	1.8	2.0	1.8	5.9	2.3	64		
U	1.4	2.34	1.4	2.4	2.8	1.6	1.8	1.2	3.0	1.6	1.8	2.1	1.2	2.2	1.7	29		
Be	2.1	2.1	1.5	2.0	1.3	1.6	1.5	0.6	0.2	1.6	1.7	1.6	1.3	2.3	1.8	37		
Ge	1.1	1.4	1.3	1.4	1.1	1.3	0.3	0.1	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4	1.3	36			
Mo	0.3	1.5	0.8	1.1	1.1	0.9	0.5	0.4	0.8	0.7	1.2	1.2	1.0	0.6	33			
Ag	0.12	0.58	0.35	0.33	4.6	1.14	0.4	0.14	0.001	0.17	0.32	0.2	0.14	1.22	0.77	157		
Ta	0.52	1.6	0.94	0.95	0.77	0.77	0.62	0.17	0.04	0.57	0.44	0.43	0.47	0.49	0.75	60		
Bi	0.01	0.55	0.45	0.45	5.1	0.4	0.25	0.15	0.09	0.14	0.16	0.26	0.19	0.57	0.23	202		
Пt	0.38	0.72	0.5	0.57	0.37	0.51	0.41	0.03	0.001	0.41	0.45	0.39	0.55	0.27	49			
Te	0.51	0.28	0.23	0.24	0.1	0.15	0.55	0.001	0.001	0.39	0.34	0.39	0.35	1.1	0.54	82		
Hg	0.03	0.1	0.29	0.1	0.47	0.05	0.04	0.23	0.08	0.08	0.45	0.13	0.16	0.65	0.25	2.1		
Cd	0.03	0.07	0.2	0.13	0.32	0.08	0.1	0.11	0.1	0.05	0.25	0.11	0.05	1.4	0.07	1.0		
Se	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.14	0.33	0.001	0.001	0.001	0.001	0.28	0.001	208			
Сумма Sam	142569	140138	125370	138386	112676	123565	123075	44290	37774	131512	103095	129514	131566	143946	164365			

Примечание. Жирным шрифтом выделены максимальные значения; курсивом – минимальные значения; ПДК – предельно допустимая концентрация [13].

Note. Maximum values are given in bold; minimum values are given in italics; MPC is the maximum permissible concentration [13].

повышен по сравнению с фоновым содержанием этих металлов в почве в районе Ингодинского научного стационара (табл. 2). Однако их содержание значительно меньше приводимых концентраций в почве поселка Вершино-Дарасунский, где зарегистрировано значительное превышение ПДК по этим металлам, и уровень загрязнения этими металлами оценивается от допустимой до чрезвычайно опасной категории загрязнения [10].

На территории Газимуро-Заводского административного района Забайкальского края для Быстринского ГОКа была выполнена оценка экологического состояния почв на основе расчета показателя суммарного химического загрязнения (Z_c) [11]. Она показала, что в местах размещения опытно-промышленных карьеров уровень загрязнения почвы доходит до чрезвычайно опасного. В местах размещения отвалов наблюдается закономерность – чем ближе к карьеру, тем выше степень загрязнения – от чрезвычайно опасной степени до допустимой, остальная территория имеет допустимую степень загрязнения. Согласно данным авторов [11], основными тяжелыми металлами, выявленными в повышенных концентрациях в целом для территории, являются Cu, Cr, As, W, которые образуют геохимические ореолы комплексного оруденения и свойственны для горных пород территории. В горных дерновых лесных почвах наблюдаются повышенные содержания Cu (0.5–2.0 ПДК), Cr (0.7–3.0 ПДК), W (0.0–10.0 ПДК), As встретился в одной пробе, но с очень высоким превышением ПДК (в 35 раз). В темно-серых лесных почвах зафиксировано небольшое превышение Cu (до 1.2 ПДК) и во всех пробах высокое содержание As (35–50 ПДК). Полученные нами результаты в целом хорошо согласуются с данными, приведенными в работе А. А. Котович с соавторами [11].

Листья *Vaccinium vitis-idaea*. Среднее содержание химических элементов в листьях брусники располагается в уменьшающемся ряду: K > Ca > Mg > P > Mn > Fe > Al > Ba > Zn > Sr > Ag > B > Na > Cu > Ti > Rb > Cr > Ni > Sb > As > Pb > Ce > W = V = Mo > Li > La = Co > Zr > Y > Ga > Cs = Cd = Pr > Bi = Se = U = Hg = Nb = Ta = Th > Te > Sn = Be > Ge = Tl = Sc (табл. 3).

На всех пробных площадях среди жизненно необходимых макроэлементов максимальное

содержание в листьях *V. vitis-idaea* зарегистрировано для K и Ca, концентрация Mg и P была в 3–5 раз ниже. В районе рудника Дарасунский выявлено наиболее высокое содержание K и P, в 2–4 раза превышающее соответствующие величины на остальных пробных площадях. Содержание Na в листьях *V. vitis-idaea* варьировало в очень широком диапазоне от 0.001 до 25.9 мг/кг и в среднем составляло 5.4 мг/кг. Известно, что среднее содержание Na в растениях колеблется от 0.008 до 2.5% сухой массы. Некоторые авторы относят Na к микроэлементам в связи с тем, что он необходим лишь некоторым высшим растениям [16].

Жизненно необходимые микроэлементы по убыванию их содержания в листьях *V. vitis-idaea* образуют следующий ряд: Mn > Fe > Zn > Cu > Cr > Mo > Co > Se.

Содержание Cd, Pb и Hg в исследованных образцах листьев *V. vitis-idaea* не превышало их ПДК, установленных для лекарственного сырья [15]. Содержание As в листьях брусники на ПП4 и ПП10 было выше ПДК (табл. 3).

В районе Ингодинского стационара содержание Rb в листьях *V. vitis-idaea* в 2 раза, Li – в 2.3 раза больше среднего значения. Листья *V. vitis-idaea*, произрастающей в районе рудника Дарасунский, отличались наиболее высокими концентрациями Zn, Na, Sb и Pb (табл. 3).

Корреляционный анализ данных не выявил ни одного значимого коэффициента корреляции между концентрацией элементов в листьях *V. vitis-idaea* и их валовым содержанием в почве при $p = 0.01$. Исключением является связь концентрации Вi с валовым содержанием при $p = 0.05$ ($r = 0.59$).

Для 35 химических элементов из 47 проанализированных коэффициент биологического поглощения (КБП) в листьях *V. vitis-idaea* не превышал 1 (табл. 4). Наиболее высокими средними значениями КБП отличались Ag, Se и Nb, эти элементы отнесены к группе биологического накопления. Столь большая величина КБП для Ag объясняется аномально высокой концентрацией этого элемента в листьях *V. vitis-idaea* на ПП2 (табл. 3), что может быть связано с проявлением ореола рассеивания вокруг рудных залежей. Известно, что в растениях, произрастающих в районах развития серебряной минерализации, серебро может концентрироваться до токсичного уровня [17].

Таблица 3. Концентрация химических элементов в листьях *Vaccinium vitis-idaea* на пробных площадях, мг/кг
 Table 3. Concentration of chemical elements in the leaves of *Vaccinium vitis-idaea* in the sample areas, mg/kg

Элемент Element	Ингодинский научный стаци- онар (16) Ingodinsky research station (16)	Быстринский ГТОК Bystrinsky MPP												Дарасун- ский Рудник (18) Darasun mine (18)	ПДК MPC	C_p , %		
		Номер пробной площади Sample plot number																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
K	2805	2210	2273	2158	2367	2677	1664	1802	2612	2184	2553	2277	2231	2613	3623	4060	25	
Ca	1732	1224	1153	1410	1409	1615	1424	1722	1426	1426	2220	1653	2036	1644	2978	1328	28	
Mg	635	471	429	424	434	529	488	652	503	726	823	597	671	658	687	626	21	
P	458	453	414	432	413	461	397	403	439	379	512	468	462	510	1192	1661	63	
Mn	465	624	434	426	548	469	736	589	218	108	923	607	755	914	135	419	48	
Fe	94.7	62.9	78.1	72.4	96.0	94.7	98.8	166	114	162	233	76	121	254	134	74	48	
Al	93.1	72.4	70.0	61.2	116	64.6	86.4	48.1	56.8	81.0	161	59.8	76.2	116	44.7	49.0	41	
Ba	38.6	30.2	34.1	30.8	35.5	52.2	41.1	72.1	33.6	23.5	95.5	46.2	57.5	51.3	30.2	41.2	42	
Zn	9.7	9.5	6.6	10.0	7.5	7.4	6.2	12.6	12.2	10.8	10.9	19.0	13.1	11.6	12.4	20.0	35	
Sr	9.9	7.7	4.7	8.7	10.8	9.8	8.0	9.9	8.5	21.3	21.5	15.7	12.8	6.9	7.5	10.6	45	
Ag	0.001	0.55	132	0.53	0.06	0.01	0.10	0.03	0.001	0.03	0.01	0.001	0.01	0.001	0.001	0.01	383	
B	6.25	4.43	4.0	5.7	7.0	5.1	4.0	6.4	6.6	6.9	4.6	5.4	6.4	5.5	9.8	5.6	26	
Na	5.92	0.001	0.001	0.001	6.0	0.001	2.2	0.001	19.2	17.1	8.1	0.001	1.7	25.9	159			
Cu	1.44	1.2	3.4	0.9	1.2	1.5	2.5	1.4	2.6	2.3	8.6	4.7	4.1	12.1	7.2	6.0	81	
Ti	2.66	1.4	3.9	1.5	5.5	2.1	2.2	1.8	2.2	5.4	6.7	1.6	2.0	4.5	2.0	1.9	58	
Rb	2.2	0.64	0.65	0.32	0.63	1.3	1.1	0.51	1.6	1.5	0.67	0.68	0.95	2.1	2.1	1.3	52	
Cr	0.82	0.58	0.53	0.58	0.80	0.60	0.76	0.99	0.77	1.3	0.84	0.65	1.2	0.92	1.2	0.89	29	
Ni	0.38	0.43	0.48	3.4	0.40	0.46	0.47	0.54	0.52	0.21	0.93	0.25	0.26	0.79	0.36	1.1	112	
Sb	0.001	0.05	0.01	0.02	0.10	0.02	0.82	0.02	0.02	0.04	0.09	0.02	0.04	0.02	6.3	319		
As	0.04	0.07	0.11	0.12	1.0	0.13	0.23	0.09	0.15	0.23	0.63	0.12	0.26	0.49	0.25	0.33	0.5	91
Pb	0.08	0.10	0.09	0.001	0.01	0.02	0.23	0.25	0.06	0.16	0.18	0.21	0.18	0.59	0.04	0.90	6.0	120
Ce	0.16	0.11	0.12	0.09	0.14	0.16	0.17	0.14	0.14	0.17	0.37	0.12	0.17	0.30	0.15	0.11	46	
W	0.01	0.02	0.01	0.03	0.04	0.04	0.02	0.07	0.23	0.31	0.06	0.13	0.42	0.27	0.01	118		
V	0.12	0.05	0.09	0.04	0.16	0.08	0.07	0.06	0.07	0.21	0.32	0.05	0.09	0.21	0.05	0.05	76	
Mo	0.05	0.01	0.08	0.17	0.19	0.14	0.05	0.03	0.13	0.25	0.05	0.08	0.24	0.13	0.06	68		
Li	0.21	0.04	0.04	0.08	0.07	0.05	0.10	0.19	0.05	0.12	0.07	0.05	0.09	0.12	0.07	0.12	49	

Таблица 3. Окончание

Элемент Element	Ингодинский научный стаци- онар (16) Ingodinsky research station (16)	Быстрынский ГОК Bystrinsky MPP														C_p %		
		Номер пробной площади Sample plot number																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
La	0.08	0.06	0.05	0.07	0.08	0.09	0.07	0.09	0.19	0.06	0.09	0.15	0.08	0.06		44		
Co	0.13	0.02	0.03	0.01	0.06	0.004	0.01	0.09	0.12	0.20	0.09	0.09	0.19	0.09	0.16		85	
Zr	0.10	0.09	0.06	0.12	0.06	0.05	0.04	0.06	0.04	0.11	0.10	0.04	0.06	0.11	0.05	0.08	39	
Y	0.05	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.08	0.02	0.04	0.06	0.03	0.05			40	
Ga	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.07	0.03	0.04	0.06	0.03	0.03		32	
Cs	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.05	0.02	0.03	0.04	0.03	0.01		58	
Cd	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.005	0.03	0.02	0.04	0.02	0.08	0.01	0.02	1.0	
Pr	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01		54	
Bi	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.07	0.08	0.01	0.001	0.02	0.001	0.001	0.03	0.001	0.001		177	
Se	0.01	0.02	0.001	0.004	0.001	0.03	0.004	0.02	0.003	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01		79	
U	0.01	0.02	0.004	0.001	0.003	0.01	0.01	0.004	0.005	0.01	0.03	0.005	0.01	0.02	0.01		76	
Hg	0.001	0.01	0.002	0.001	0.001	0.001	0.005	0.005	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.002	0.1	93	
Nb	0.02	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001		318	
Ta	0.01	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.06	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001		304	
Th	0.02	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.02	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001		166	
Te	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	0.05	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001		261	
Sn	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.05	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001		297	
Be	0.01	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.001	0.002	0.004	0.01	0.002	0.003	0.01	0.003	0.004		78	
Ge	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001		46	
П	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001		24	
Sc	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001		0.0	
Сумма Sum Sam	6362	5175	5042	5047	5460	5992	4965	5489	5736	5160	7596	5841	6452	6808	8870	8340		

Примечание. Жирным шрифтом выделены максимальные значения; курсивом – минимальные значения. ПДК – предельно допустимые концентрации [15].
Note. Maximum values are given in bold; minimum values are given in italics. MPP – maximum permissible concentrations [15].

Максимальные значения КБП, превышающие 1, отмечены для ряда элементов K, B, P, Te, Mn, Sb, Cd, Ta и Tl. В ряду интенсивности поглощения элементы можно расположить в следующем порядке: Ag > Se > Nb > P > Mn > Te > B > Ca > Cd > K > Cu > Sb > Zn > W > Mo > Tl > Mg > Ba > Ta > Sr > Hg > Bi > Ni > Cr > Rb > As > Co > Th > Pb > Fe > U = Li > Ga = Ce = Pr = La = Cs > Be = Y > Al = Sn = Ti = Zr = V > Na = Ge > Sc (табл. 4).

Концентрации жизненно необходимых макроэлементов в листьях *V. vitis-idaea*, произрастающих в других регионах России, как правило, были больше, чем в районах наших исследований. Например, содержание Na в листьях *V. vitis-idaea* в природных ценопопуляциях Слюдянского района Иркутской области было в 13 раз, Ca – в 6 раз, Mg – в 2.3 раза, K и P в 1.3–1.5 раза больше [18].

Содержание жизненно необходимых микроэлементов в листьях *V. vitis-idaea* было также ниже: Mn – в 2–4 раза, Fe – в 4.2 раза, Zn – в 3–5 раз, Cu – в 1.5–8 раз, Cr – в 7 раз, Mo – в 8 раз, Co – в 19 раз [19, 20]. В то же время концентрация Pb в листьях *V. vitis-idaea* в Прибайкалье превышала соответствующие значения в районе исследований в 15 раз, в районе Центральной Камчатки – в 95 раз.

Полученные данные свидетельствуют о низкой концентрации Sr, Ti, Rb, Ni, Pb, V, Li, Zr, Ga, Y в листьях *V. vitis-idaea* относительно других районов ее произрастания в России. В то же время, в районе исследований обнаружено аномально высокое содержание Ag, в 138 раз превышающее его концентрацию в листьях *V. vitis-idaea* на территории Центральной Камчатки [20].

Имеются и другие особенности содержания химических элементов в листьях *V. vitis-idaea* в Восточном Забайкалье. В наших исследованиях только Mn отнесен к элементам накопления на ряде ПП, в то время как в лесах Центральной Камчатки Mn относится к элементам энергичного накопления, а Ba и Zn – сильного накопления [21]. На территории Южного Прибайкалья листья *V. vitis-idaea* отличаются высоким содержанием ряда элементов: растения активно аккумулируют из почвы Mn, Zn, Cu, Cd (КБП > 1), тогда как Fe, Cr, Ni, Pb и Co поглощаются из почвы слабо (КБП < 1) [5]. В наших условиях КБП < 1 для Zn и Cu (табл. 4).

На территории Северного Прибайкалья по величине накопления в листьях *V. vitis-idaea* микроэлементы образуют следующий ряд: Mn > Fe > Zn > Cu > Cr > Pb > Ni > Co > Cd [22]. В большей степени условия произрастания влияли на содержание в листьях Fe, Cu, Pb, Co, Cd. Выявлена значимая связь между содержанием кислоторастворимых форм Cr, Mn, Fe, Cu в почве и в листьях *V. vitis-idaea* ($r = 0.48–0.76$). К элементам сильного накопления отнесены Mn, Cu и Zn, при этом подчеркивается, что на территории Северного Прибайкалья листья *V. vitis-idaea* являются «сверх»-концентраторами Mn и Cr [22].

Сходные с нами закономерности накопления ряда элементов в листьях *V. vitis-idaea*, произрастающей в благоприятных экологических условиях, получены в Слюдянском районе Иркутской области [18]. На северо-западных склонах хребта Хамар-Дабан, как и в наших исследованиях, в листьях *V. vitis-idaea* преобладали эссенциальные элементы – Ca, K, Mg и P; среди микроэлементов доминировали Mn и Ba. Содержание потенциально токсичных металлов – Ti, Cr, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba и Pb, не превышало избыточных или токсичных уровней, установленных для наземных растений [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования содержания 47 химических элементов в листьях брусники обыкновенной *Vaccinium vitis-idaea* L. (Ericaceae) выявлены особенности их накопления из почвы на территории Восточного Забайкалья. В листьях *V. vitis-idaea* преобладают эссенциальные элементы – K, Ca, Mg и P; среди микроэлементов доминируют Mn, Fe, Al и Ba. Особенностью элементного состава листьев исследуемого вида на обследованной территории является относительно низкое содержание жизненно необходимых макро- и микроэлементов, а также Sr, Rb, Ti, Ni, Pb, V, Li, Zr, Ga и Y по сравнению с другими регионами России. Значимая корреляция концентрации всех исследованных элементов в растениях и их валового содержания в почве отсутствует. Листья *V. vitis-idaea*, произрастающей вблизи горнодобывающих предприятий, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к лекарственному сырью по содержанию Pb, Cd, Hg, а на большинстве пробных площадей и по содержанию As.

Таблица 4. Коэффициент биологического поглощения элементов в листьях *Vaccinium vitis-idaea*
Table 4. Coefficients of biological absorption of elements in *Vaccinium vitis-idaea* leaves

Элемент Element	Средний коэффициент биологического поглощения Average of biological absorption coefficient	Пределы значений коэффициента биологического поглощения Limits of the biological absorption coefficient
Bi	0.046	0.002–0.222
Hg	0.064	0.002–0.250
Sr	0.067	0.026–0.135
Ba	0.100	0.047–0.212
Na	0.002	$1*10^{-7}$ –0.03
As	0.021	0.002–0.090
Ca	0.289	0.065–0.555
W	0.134	0.005–0.636
Mo	0.133	0.007–0.333
K	0.230	0.071–1.2
Zn	0.161	0.054–0.422
B	0.393	0.169–1.1
Cu	0.217	0.023–0.687
Al	0.003	0.001–0.016
P	0.985	0.069–3.1
Be	0.004	0.001–0.021
Mg	0.114	0.053–0.260
Cr	0.035	0.006–0.202
Ni	0.041	0.010–0.164
Sc	0.0001	0.0001–0.004
Ga	0.005	0.002–0.028
Te	0.699	0.001–10.0
Fe	0.008	0.002–0.045
Sn	0.003	0.0002–0.027
Ti	0.003	0.001–0.029
Ag	25.7	0.001–377
Zr	0.003	0.001–0.025
Co	0.016	0.0004–0.081
Ge	0.002	0.001–0.017
Mn	0.714	0.043–2.5
Sb	0.187	0.0002–2.4
V	0.003	0.001–0.025
Se	10.6	0.021–30.0
U	0.006	0.0004–0.019
Ce	0.005	0.001–0.029
Cd	0.274	0.007–1.6
Pr	0.005	0.001–0.029
Pb	0.009	0.00002–0.033
La	0.005	0.001–0.030
Cs	0.005	0.001–0.029
Rb	0.029	0.003–0.195
Th	0.010	0.0001–0.143
Ta	0.097	0.001–1.5
Y	0.004	0.001–0.021
Nb	4.4	0.0001–70.0
Li	0.006	0.001–0.043
Tl	0.13	0.001–2.0

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты биологического накопления >1.

Note. The coefficients of biological accumulation >1 are given in bold.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Чудновская Г. В. 2014. *Vaccinium vitis-idaea* L. в Восточном Забайкалье. — Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 1(111): 63–68.
<https://www.elibrary.ru/tuvncv>
- Телятьев В. В. 1987. Полезные растения Центральной Сибири. Иркутск. 398 с.
- Федосеев А. П., Федосеева Г. М., Мирович В. М., Горячина Е. Г., Бочарова Г. И. 2001. Перспективы внедрения в медицинскую практику некоторых видов лекарственных растений Прибайкалья. — Сибирский медицинский журнал. 27(3): 70–75.
<https://www.elibrary.ru/pdapuv>
- Vyas P., Curran N. H., Igamberdiev A. U., Debnath S. C. 2015. Antioxidant properties of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) leaves within a set of wild clones and cultivars. — Can. J. Plant Sci. 95(4): 663–669.
<https://doi.org/10.4141/cjps-2014-400>
- Афанасьева Л. В., Кашин В. К. 2016. Накопление и распределение микроэлементов в надземной и подземной частях *Vaccinium vitis-idaea* (Ericaceae) в Южном Прибайкалье. — Раст. ресурсы. 52(3): 434–446.
<https://www.elibrary.ru/whulzj>
- Kandziora-Ciupa M., Nadgórska-Socha A., Barczyk G., Ciepał R. 2017. Bioaccumulation of heavy metals and eco-physiological responses to heavy metal stress in selected populations of *Vaccinium myrtillus* L. and *Vaccinium vitis-idaea* L. — Ecotoxicology. 26(7): 966–980.
<https://doi.org/10.1007/s10646-017-1825-0>
- Трубина М. Р., Мухачева С. В., Безель В. С., Воробейчик Е. Л. 2014. Содержание тяжелых металлов в плодах дикорастущих растений в зоне аэробиогенного воздействия Среднеуральского медеплавильного завода (Свердловская область). — Раст. ресурсы. 50(1): 67–83.
<https://www.elibrary.ru/rsudpv>
- Робакидзе Е. А., Торлопова Н. В. 2013. Изменение видового состава напочвенного покрова ельников и минерального состава листьев *Vaccinium vitis-idaea* и *V. myrtillus* (Ericaceae) в условиях аэробиогенного загрязнения в Республике Коми. — Раст. ресурсы. 49(1): 65–77.
<https://www.elibrary.ru/ruoyuz>
- Сухарева Т. А. 2022. Химический состав листьев дикорастущих кустарничков северотаежных лесов на фоновых и техногенно нарушенных территориях. — Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 19: 351–356.
<https://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.064>
- Мязин В. П., Михайлутина С. И. 2006. Комплексная оценка влияния техногенного загрязнения объектов внешней среды на здоровье населения Восточного Забайкалья. — Вестник Забайкальского государственного университета. 4(41): 37–42.
<https://www.elibrary.ru/kwtnel>
- Котович А. А., Гуман О. М., Макаров А. Б., Антонова И. А. 2013. Эколо-геохимическая оценка почв на территории проектируемого Быстринского ГОКа. — Известия Уральского государственного горного университета. 2(30): 21–25.
<https://www.elibrary.ru/rarkqj>
- ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом ИСП-МС.
<https://ohranatruda.ru/upload/iblock/19e/4293777593.pdf>
- Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почвах: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2041-06. 2006. М. 15 с.
<https://docs.cntd.ru/document/901966754>
- Войткевич Г. В., Кокин А. В., Мирошников А. Е., Прохоров В. Г. 1990. Справочник по геохимии. М. 480 с.
- ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Государственная фармакопея Российской Федерации. XV изд. Т. 1. 2023. М.
<https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-5/1-5-1/opredelenie-soderzhaniya-tyazhyelykh-metallov-i-myshyaka-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstv/>

16. Ширяева О. Ю., Ширяева М. М. 2022. Содержание макроэлементов в растениях разных сортов. — Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 4(96): 96–104.
<https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-96-4-96-103>
17. Кабата-Пендас А., Пендас Х. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. Перевод с англ. М. 439 с.
18. Белых О. А., Чупарина Е. В. 2019. Исследование химического состава надземных органов брусники. — Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 9(1(28)): 118–124.
<https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-1-118-124>
19. Худоногова Е. Г., Белых О. А. 2018. Экологические особенности и химический состав *Vaccinium vitis-idaea* L. в условиях Предбайкалья. — Известия Байкальского государственного университета. 28(4): 545–550.
[https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28\(4\).545-550](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28(4).545-550)
20. Дульченко Е. В. 2014. Содержание микроэлементов в озелененных грунтах, почвах и растениях (Центральная Камчатка). — В кн.: Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Тезисы докладов XV международной научной конференции, посвященной 80-летию со дня основания Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. С. 43–47.
<https://terrakamchatka.ru/file/conf/conf-15/43.zip>
21. Дульченко Е. В. 2012. Содержание микроэлементов в бруснике в лесах Центральной Камчатки. — В кн.: Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Материалы XIII международной научной конференции, посвященной 75-летию со дня рождения известного отечественного специалиста в области лесоведения, ботаники и экологии д.б.н. С. А. Дыренкова. С. 177–180.
<https://terrakamchatka.ru/file/conf/conf-13/177.zip>
22. Афанасьев Л. В., Аюшина Т. А., Рупышев Ю. А., Харпухаева Т. М. 2017. Особенности накопления микроэлементов в листьях *Vaccinium vitis-idaea* в светлохвойных лесах Икатского хребта. — Химия растительного сырья. 4: 159–164.
<https://doi.org/10.14258/jcprm.2017041939>

Macro- and Microelement Content of *Vaccinium Vitis-idaea* (Ericaceae) Leaves in Eastern Transbaikalia

© 2025. V. P. Makarov

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

e-mail: vm2853@mail.ru

Abstract. Studies of the content of 47 elements in leaves of lingonberry *Vaccinium vitis-idaea* L. in Eastern Transbaikalia revealed the specific features of their accumulation from the soil. Samples of leaves and the upper (0–20 cm) soil horizon were collected at 15 sample plots located at different distances from mining facilities; a background site close the Ingodinsky research station was selected as a control. The content of elements in plant samples and associated soils was analyzed by mass spectrometric method. It was found that in leaves of *V. vitis-idaea* the essential elements K, Ca, Mg and P predominate, and Mn, Fe, Al and Ba are dominating trace elements. The relatively low content of vital macro- and microelements, as well as Sr, Rb, Ti, Ni, Pb, V, Li, Zr, Ga and Y is characteristic for the elemental composition of *V. vitis-idaea* leaves at the studied territory, as compared to other regions of Russia. There is no significant correlation between the concentration of all the studied elements in plants and their gross content in associated soils. Leaves of *V. vitis-idaea* growing near mining facilities, meet the requirements for medicinal plant raw materials in terms of Pb, Cd, and Hg content, and in most tested areas in terms of As content.

Keywords: *Vaccinium vitis-idaea*, chemical elements, Eastern Transbaikalia, mining enterprises

REFERENCES

1. Chudnovskaya G. V. 2014. *Vaccinium vitis-idaea* L. in the Eas Transbaikalia. — Bulletin of Altai State Agricultural University. 1(111): 63–68.
<https://www.elibrary.ru/ruvncv> (In Russian)
2. Telyat'ev V. V. 1987. [Useful plants of Central Siberia]. Irkutsk 398 p. (In Russian)

3. *Fedoseev A. P., Fedoseeva G. M., Mirovich V. M., Gorjachkina E. G., Bocharova G. I.* 2001. The perspectives of introduction of some kinds of medicinal plants into medical practice of Pribaikalje. — Sibirskiy Meditsinskiy Zhurnal. (Irkutsk). 27(3): 70–75.
<https://www.elibrary.ru/pdapuv> (In Russian)
4. *Vyas P., Curran N. H., Igamberdiev A. U., Debnath S. C.* 2015. Antioxidant properties of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) leaves within a set of wild clones and cultivars. — Can. J. Plant Sci. 95(4): 663–669.
<https://doi.org/10.4141/cjps-2014-400>
5. *Afanasyeva L. V., Kashin V. K.* 2016. Accumulation and distribution of microelements in above- and underground parts of *Vaccinium vitis-idaea* (Ericaceae) in the Southern Pre-Baikal region. — Rastitelnye Resursy. 52(3): 434–446.
<https://www.elibrary.ru/whulzj> (In Russian)
6. *Kandziora-Ciupa M., Nadgórska-Socha A., Barczyk G., Ciepał R.* 2017. Bioaccumulation of heavy metals and ecophysiological responses to heavy metal stress in selected populations of *Vaccinium myrtillus* L. and *Vaccinium vitis-idaea* L. — Ecotoxicology. 26(7): 966–980.
<https://doi.org/10.1007/s10646-017-1825-0>
7. *Trubina M. R., Mukhacheva S. V., Bezel' V. S., Vorobeichik E. L.* 2014. Content of heavy metals in wild berries in the zone of aerotechnogenous impact of the Middle Urals copper smelter (Sverdlovsk oblast). — Rastitelnye Resursy. 50(1): 67–83.
<https://www.elibrary.ru/rsudpv> (In Russian)
8. *Robakidze E. A., Torlopova N. V.* 2013. Species alterations of ground cover in spruce forests and the element composition in *Vaccinium vitis-idaea* and *V. myrtillus* (Ericaceae) leaves in Komi Republic. — Rastitelnye Resursy. 49(1): 65–77.
<https://www.elibrary.ru/puoyvz> (In Russian)
9. *Sukhareva T. A.* 2022. Chemical composition of leaves of wild shrubs of northern taiga forests in the background and technogenically disturbed territories. — Proceedings of Fersman Scientific Session of GI KSC RAS. 19: 351–356.
<https://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.064> (In Russian)
10. *Myazin V. P., Mikhailyutina S. I.* 2006. Complex evaluation by influence object's outward surroundings thechnogenic soil in population's health of the Eastern Zabaikalye. — Vestnik Chitinskogo Gosudarstvennogo Universiteta. 4(41): 37–42.
<https://www.elibrary.ru/kwtnel> (In Russian)
11. *Kotovich A. A., Guman O. M., Makarov A. B., Antonova I. A.* 2013. [Ecological and geochemical assessment of soils on the territory of the proposed Bystrinsky MPP facility]. — News of the Ural State Mining University. 2(30): 21–25.
<https://www.elibrary.ru/rarkqj> (In Russian)
12. *PND F 16.1:2.3:3.11-98.* Quantitative chemical analysis of soils. Methods for measuring metal content in solid objects by inductively coupled plasma mass spectrometry
<https://ohranatruda.ru/upload/iblock/19e/4293777593.pdf> (In Russian)
13. *Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in soils: Hygienic standards. GN 2.1.7.2041-06.* 2006. Moscow. 15 p.
<https://docs.cntd.ru/document/901966754> (in Russian)
14. *Vojtkevich G. V., Kokin A. V., Miroshnikov A. E., Prohorov V. G.* 1990. [Handbook of Geochemistry]. Moscow. 480 p. (In Russian)
15. [GPM.1.5.3.0009.15. Determination of content of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials and medicinal herbal preparations]. 2023. — In: [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XV edition. Vol. 1]. Moscow.
<https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-5/1-5-1/opredelenie-soderzhaniya-tyazhyelykh-metallov-i-myshyaka-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstv/> (In Russian)
16. *Shiryaeva O. Yu., Shiryaeva M. M.* 2022. The content of macronutrients in plants of different varieties. — Izvestia Orenburg State Agrarian University. 4(96): 96–104.
<https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-96-4-96-103> (In Russian)
17. *Kabata-Pendias A., Pendias H.* 1989. Trace elements in soils and plants. Transl. from English. Moscow. 439 p. (In Russian)
18. *Belykh O. A., Chuparina E. V.* 2019. Investigation of the chemical composition of the above-ground organs of lingonberry. — Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 9(1(28)): 118–124.
<https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-1-118-124> (In Russian)

19. Hudonogova E. G., Belyh O. A. 2018. Ecological peculiarities and chemical composition of *Vaccinium vitis-idaea* L. in the Cis-Baikal conditions. — Bulletin of Baikal State University. 28(4): 545–550.
[https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28\(4\).545-550](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28(4).545-550) (In Russian)
20. Dulchenko E. V. 2014. Microelement content in burnt grounds, soils and plants (Central Kamchatka). — In: Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters. Abstracts of XV International scientific conference, dedicated to the 80th anniversary of Kronotsky State Reserve. Petropavlovsk-Kamchatsky. P. 43–47.
<https://terrakamchatka.ru/file/conf/conf-15/43.zip> (In Russian)
21. Dulchenko E. V. 2012. Microelement content in cowberry of the Central Kamchatka forests. — In: Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters. Abstracts of XIII international scientific conference dedicated to the 75th anniversary of S. A. Dyrenkov's birthday. Petropavlovsk-Kamchatsky. P. 177–180.
<https://terrakamchatka.ru/file/conf/conf-13/177.zip> (In Russian)
22. Afanasyeva L. V., Ayushina T. A., Rupyshev Yu. A., Kharpukhayeva T. M. 2017. Features of the trace elements accumulation in *Vaccinium vitis-idaea* leaves in the light-coniferous forests of the Ikatskiy Range (Baikal Region). — Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. 4: 159–164. (In Russian)
<https://doi.org/10.14258/jcprm.2017041939>