

УДК 581.192.1

КОНЦЕНТРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОБЕГАХ *LEDUM PALUSTRE* L., ПРОИЗРАСТАЮЩЕМ В РАЙОНЕ БЫСТРИНСКОГО ГОКА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© В.П. Макаров

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,
ул. Недорезова, 16А, Чита, 672014, Россия, vm2853@mail.ru

Цель проведенных исследований – установить концентрацию и уровень поглощения ряда химических элементов в побегах багульника болотного (*Ledum palustre*) в районе с геохимическими аномалиями природного и антропогенного происхождения. С этой целью отбирались в природных сообществах образцы почвы и побегов багульника. Определяли валовое содержание в почве химических элементов и концентрацию элементов в растении методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Установлена концентрация химических элементов в побегах багульника болотного: $K > Ca > P > Mg > Mn > Fe > Ba > Al > Na > Zn > Ag > Sr > B > Cu > Ti > Rb > Cr > Ni > As > Ce = Pb = V > La > Mo > Co = Ga = Li = Sb = W = Y = Zr > Cs > Pr = Sn > Cd = Sc = Se = Th = Tl > Be = Hg = Nb = Ta = Te = U > Ge > Bi$; ряд интенсивности биологического поглощения элементов: $Ag > Se > Te > P > Tl > Nb > Mn > K > B > Ca > Cu > Zn > Ba > Bi > Cd > Mo > Mg > Rb > W > Sr > Hg > Cr > Ni > As > Ta > Sb > Co > Th > Fe > Cs > Sn > Na > Pb > Be > Ce > La > Li > Pr > Ga = Y > U = V > Ge = Ti = Zr > Al > Sc$. Установлена сильная связь концентрации Ag , Ni , Sr и Rb в багульнике с валовым содержанием элементов в почве. Особенности элементного состава багульника болотного в исследованном районе являлись аномально высокая концентрация Ag , Se и As . Исследование в Забайкальском крае проведено впервые, оно дополняет известные данные о химическом составе багульника в России, имеет практическое значение для фармацевтического производства.

Ключевые слова: *Ledum palustre*, концентрация химических элементов, Забайкальский край.

Для цитирования: Макаров В.П. Концентрация химических элементов в побегах *Ledum palustre* L., произрастающем в районе Быстринского ГОКа (Восточное Забайкалье) // Химия растительного сырья. 2025. №3. С. 235–244. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315217>.

Введение

Багульник болотный – *Ledum palustre* L. (syn.: *Ledum tomentosum* Stokes, nom. illeg., *Rhododendron palustre* (L.) Kron & Judd, nom. illeg., *Rhododendron tomentosum* Harmaja), семейство *Ericaceae* – вечнозеленый кустарник из семейства *Ericaceae*, приурочен к заболоченным хвойным лесам, реже березнякам. Относится к типичным олиготрофам, растениям, приспособленным к жизни на очень бедных и кислых почвах. В Забайкальском крае обычно встречается на сильно увлажненных, слабоаэрируемых почвах, в условиях средней освещенности, а также может встречаться и на открытых участках.

L. palustre является фармакопейным растением, используется в народной медицине. С XVIII века он использовался в этномедицине для лечения различных недугов, таких как ревматизм, кашель, простуда и укусы насекомых, а также как репеллент [1]. Для северного и благородного оленя зимой листья багульника болотного являются добавочным кормом, который добывается при тебеневке [2].

Исследователи отмечают относительно высокое содержание в побегах багульника болотного марганца [3–5]. Концентрация химических элементов в *L. palustre* значительно различается по регионам России, что связано со многими факторами окружающей среды [6]. *L. palustre* из Западного Забайкалья, как и другие растения из семейства *Ericaceae*, по сравнению с видами других семейств характеризовался относительно повышенным содержанием Mn , Fe и пониженным – Co , Ni , Cd [7].

Сведений об элементном составе багульника болотного в Восточном Забайкалье в доступной литературе нами не обнаружено. Исследования проведены в районе Быстринского золото-медно-железо-скарнового месторождения, расположенного в 20 км на юго-востоке от административного центра Газимуро-Заводского района Забайкальского края (рис.).



Расположение районов исследований

Месторождение содержит медь, железо, золото и серебро и разрабатывается открытым способом. Отработка руды ведется на двух карьерах. На комбинате производится золотосодержащий, железорудный и медный концентраты.

В период проектирования Быстринского ГОКа на территории предприятия были выделены основные типы почв, изучен их химический состав, выявлены основные загрязняющие вещества и закономерности их распределения с учетом существующих ландшафтов. На крутых склонах формируются горные дерновые лесные почвы, на пологих – дерновые лесные насыщенные и темно-серые лесные почвы. Основными тяжелыми металлами, выявленными в повышенных концентрациях в целом для территории, являлись Cu, Cr, As, W, которые образуют геохимические ореолы комплексного оруденения и свойственны для горных пород территории. В подвижных формах тяжелые металлы не имеют повышенных значений, что говорит об их слабой миграции из околорудных ореолов и рудных тел [8]. В таких условиях интересно выяснить влияние содержания элементов в почве на их концентрацию в растениях. Багульник болотный в районе исследований широко распространен, его можно назвать одним из «фоновых» растений, наряду с лиственницей Гмелина и березой повислой. Поэтому цель исследований – установить связь концентрации элементов в побегах багульника с содержанием их в почве.

Экспериментальная часть

Расположение и краткая характеристика пробных площадей для отбора растительных проб в районе Быстринского ГОКа представлена в таблице 1.

Растительные и почвенные пробы отбирали в природных сообществах без видимых нарушений от производственной деятельности предприятия. Время отбора побегов багульника в районе Быстринского ГОКа на пробных площадях 1–6 – вторая декада июня 2023 г (фаза бутонизация), на пробных площадях 7–10 растительные пробы отбирались в первой декаде августа 2022 г. (фаза плодоношения).

Побеги багульника собирали на выделенной учетной площади. Масса срезанных побегов составляла около 200 г. Образцы почвы отбирались на тех же площадях в слое 0–20 см, вблизи корневой системы багульника. Масса пробы – не менее 1 кг.

Таблица 1. Характеристика мест произрастания и отбора растительных и почвенных проб багульника болотного

Номер Пробной площади	Географические координаты, °	Абсолютная высота, м	Рельеф	Растительное сообщество
Быстринский ГОК				
1	51.47536 118.50482	915	склон юго-западный, пологий	лес лиственный рододендронный
2	51.51003 118.43141	766	склон северо-восточный, пологий	лес лиственный бруснично-багульниковый
3	51.50961 118.42845	771	склон северо-восточный, пологий	лес лиственный бруснично-багульниковый
4	51.55869 118.49244	787	склон северо-восточный, пологий	лес березово-лиственный, разнотравный
5	51.55577 118.55978	756	пологий, мелко западный	лес лиственный разнотравно-багульниковый
6	51.53790 118.53096	836	склон восточный, пологий	лес березово-лиственный
7	51.55617 118.56583	747	пологий участок	луг пойменный, закустаренный
8	51.51002 118.43141	766	склон северо-восточный, пологий	лес лиственный бруснично-багульниковый
9	51.55972 118.49167	777	склон северо-восточный, пологий	лес березовый брусничный
10	51.55830 118.49488	800	пологий, мелко западный	лес лиственный-березовый, ерниковый

Анализ почвенных и растительных образцов проводился в лаборатории физико-химических методов исследования Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина. Для анализа почвенных и растительных проб использовался масс-спектрофотометр ICP-MS Elan 9000 (Канада). Методика анализа: ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой ИСП-МС [9]. В качестве стандартных образцов для проверки и калибровки прибора применялись ДВА, ДВБ (Дальний восток РФ), BHVO-1, STM-1 (США), JG-1a, JR-1 (Япония) и другие. Учитывая, что наиболее корректной оценкой предела обнаружения в аналитических методах является экспериментальное нахождение такого значения, значения Se, Sb, Pb, Be приведены ниже порога по методике ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Из-за высокой летучести элемента при стандартной пробоподготовке концентрация ртути определялась с помощью качественной (полуколичественной) оценки по наличию ионов элемента в образце.

Обсуждение результатов

Почва. Почвы в районе исследований суглинистые. Актуальная кислотность была в пределах 5.26–6.63. Среднее содержание элементов находилось в последовательности: Al > Fe > K > Ca > Na > Mg > Ti > Mn > P > Ba > Sr > Rb > Zn > V > Ce > Zr > Cr > Li > Pb > La > As > B > Ni > Cu > Y > Ga > Cs > Sb > Co > Sc > Pr > Th > Nb > U > Be > Sn > Ge > W > Mo > Ta > Tl > Ag > Bi > Hg > Cd > Se > Te.

Согласно санитарно-эпидемиологическим требованиям к качеству почвы [10], ряд элементов отнесен к трем классом опасности загрязняющих веществ. Среднее содержание As превышало установленное ПДК [11] в два раза. Среднее содержание Sb превышало установленный предел в 2.3 раза. Содержание Mn было выше ПДК только на ряде площадей. Нахождение в почве других элементов, включенных в список загрязняющих веществ, не превышало установленные требования санитарных правил и норм (табл. 2).

В относительной близости от карьера предприятия (1.3 км) максимальным нахождением в почве отличались: Co, Mo и Ni. Вдали от карьера (7.3 км), в районе водохранилища, максимальное содержание обнаружено As, Pb, Sb и V. Вблизи полигона твердых отходов максимальным содержанием характеризовались B, Ba и W. Вблизи хвостохранилища максимальным содержанием отличались Cd, Hg, Zn, Cu и Sr. Среднее содержание Hg, Zn, Cs, Ag и Se превышало кларк земной коры в 1.7–4.3 раза; As, Sb и Bi – в 13.0–22.2 раза, Te – в 100 раз.

Побеги багульника. Элементы в побегах багульника рассматриваем по группам в зависимости от величины их содержания в теле млекопитающих и человека, а также их роли в функционировании организма [13] (табл. 3).

Таблица 2. Валовое содержание химических элементов в почве, мг/кг

Элемент	Кларк земной коры [12]	Номер пробной площади								Среднее	CV, %
		1	2	3	4	5	6	9	10		
Первый класс опасности											
As	1.7	21.4	48.0	48.0	4.2	2.6	8.3	13.8	25.2	21.4±6.4	85
Cd	0.13	0.07	0.13	0.13	0.11	0.10	0.25	0.09	0.04	0.10±0.02	54
Hg	0.083	0.10	0.1	0.1	0.2	0.1	0.5	0.1	0.1	0.20±0.05	87
Pb	16.0	31.3	48.7	48.7	14.2	13.8	29.5	18.6	19.2	28.0±5.0	51
Zn	83.0	79.1	84.8	84.8	29.0	39.9	104.1	75.4	65.9	70.4±8.8	35
Второй класс опасности											
B	12.0	19.0	21.9	21.9	10.0	23.0	21.6	15.2	34.3	20.9±2.5	33
Co	18.0	12.9	9.2	9.2	3.4	1.5	7.6	12.2	9.0	8.1±1.4	49
Cu	47.0	22.9	22.0	22.0	8.4	6.4	24.9	22.3	18.3	18.4±2.5	38
Mo	1.1	1.50	1.1	1.1	0.5	0.39	0.7	1.1	0.8	0.9±0.1	41
Ni	58.0	40.3	20.9	20.9	8.9	3.5	24.8	25.1	17.0	20.2±3.9	55
Sb	0.5	1.66	35.9	35.9	1.2	0.86	1.1	1.2	4.5	10.3±5.6	154
Третий класс опасности											
Ba	650.0	505.0	524.0	524.0	176.0	110.0	361.0	644.0	452.0	41.02±65.0	45
Mn	1000.0	1656.0	1000.0	1000.0	328.0	223.0	380.0	2036.0	568.0	899.0±233.0	73
Sr	340.0	125.0	135.0	135.0	108.0	306.0	157.0	146.0	124.0	155.0±22.0	41
V	90.0	76.8	76.9	76.9	16.5	8.5	63.2	71.6	75.0	58.2±10.1	49
W	1.3	1.5	1.0	1.0	0.11	0.42	0.76	2.2	1.3	1.0±0.2	63
Другие элементы											
Al	80500.0	66616.0	64957.0	64957.0	12889.0	4956.0	39712.0	—	—	42348.0±11379.0	66
Fe	46500.0	28231.0	26628.0	26628.0	6556.0	3637.0	24806.0	31647.0	32301.0	22554.0±3923.0	49
K	25000.0	20748.0	22350.0	22350.0	3456.0	1756.0	17079.0	13479.0	14744.0	14495.0±2849.0	56
Ca	29600.0	3445.0	3980.0	3980.0	15050.0	22002.0	6739.0	3742.0	5008.0	7993.0±2418.0	86
Na	25000.0	8182.0	9391.0	9391.0	1280.0	646.0	5070.0	11017.0	6024.0	6375.0±1360.0	60
Mg	18700.0	6957.0	6084.0	6084.0	3265.0	3308.0	5728.0	5727.0	6549.0	5463.0±496.0	26
Ti	4500.0	2267.0	1902.0	190.2	401.0	183.0	1414.0	2883.0	2057.0	1626.0±326.0	57
P	930.0	652.0	615.0	615.0	562.0	507.0	1009.0	541.0	691.0	649.0±56.0	24
Rb	150.0	101.0	101.0	101.0	18.8	7.4	76.3	83.3	107.0	74.5±13.9	53
Ce	70.0	67.4	74.3	74.3	25.8	5.9	48.1	63.1	47.6	50.8±8.6	48
Zr	170.0	53.7	43.8	43.8	12.2	4.3	29.4	69.2	56.3	39.1±7.9	57
Cr	83.0	56.4	45.2	45.2	13.5	6.5	47.6	44.7	45.8	38.1±6.3	47
Li	32.0	33.9	35.0	35.0	7.6	2.3	31.0	28.4	50.4	28.0±5.5	56
La	29.0	32.8	41.5	41.5	16.4	3.0	30.9	28.8	24.2	27.4±4.6	47
Y	29.0	19.4	27.2	27.2	10.1	1.9	21.2	12.2	12.7	16.5±3.1	54
Ga	19.0	18.2	17.4	17.4	3.6	1.4	15.8	16.0	15.4	13.2±2.4	51
Cs	3.7	16.4	17.7	17.7	2.2	1.0	19.5	6.8	8.1	11.2±2.7	67
Sc	10.0	10.1	10.5	10.5	2.4	0.28	8.3	9.8	8.7	7.6±1.4	52
Pr	9.0	7.5	10.5	10.5	3.7	0.7	8.0	6.9	5.8	6.7±1.2	50
Th	13.0	8.8	8.7	8.7	1.8	0.14	4.9	9.0	10.0	6.5±1.3	58
Nb	20.0	7.9	5.7	5.7	0.8	0.001	3.4	9.3	6.4	4.9±1.2	67
U	2.5	2.3	2.4	2.4	1.2	3.0	1.8	1.8	1.9	2.1±0.2	26
Be	3.8	2.1	2.0	2.0	0.6	0.19	1.7	1.7	1.7	1.5±0.3	47
Sn	2.5	2.5	2.07	2.07	0.37	0.24	1.83	1.29	1.61	1.5±0.3	55
Ge	1.4	1.42	1.39	1.39	0.29	0.12	1.17	1.33	1.52	1.1±0.2	51
Ta	2.5	1.63	0.95	0.95	0.17	0.04	0.44	0.82	0.56	0.7±0.2	73
Tl	1.0	0.72	0.57	0.57	0.03	0.001	0.41	0.50	0.64	0.4±0.1	63
Ag	0.07	0.6	0.3	0.3	0.1	0.001	0.3	0.3	0.2	0.3±0.1	67
Bi	0.009	0.55	0.45	0.45	0.15	0.09	0.16	0.001	0.001	0.2±0.1	94
Se	0.05	0.001	0.001	0.001	0.14	0.33	0.001	0.001	0.001	0.1±0.04	201
Te	0.001	0.28	0.24	0.24	0.001	0.001	0.34	0.001	0.010	0.1±0.1	107

Примечание. Жирным шрифтом отмечены значения, превышающие, установленные ПДК (СанПиН 1.2.3685-21)

Из числа макроэлементов максимальной концентрацией характеризовался калий (5667 мг/кг), минимальной – натрий (34.2 мг/кг). В Северной Якутии содержание К в багульнике было 3000 мг/кг [14]. Концентрация Na в багульнике в 5 районах России варьировало в пределах 14.5–95.5 мг/кг [6, 15]. В Ямало-Ненецком округе среднее содержание Na в багульнике значительно отличалось (420 мг/кг) [16].

Таблица 3. Концентрация элементов в побегах багульника болотного, мг/кг

Элемент	Номер пробной площади										Среднее значение	CV, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Биоэлементы-макроэлементы												
K	3749	3166	3000	3712	4803	4875	10802	3394	8359	10805	5667±986	55
Ca	2573	2105	2406	2434	2536	2808	2320	2470	2375	2376	2440±58	7
P	1947	1566	1596	1786	2151	2428	1489	1298	1204	1325	1679±126	24
Mg	834	674	709	733	936	1136	1215	1291	1349	1413	1029±90	28
Na	10.2	0.43	0.001	0.001	53.9	10.6	63.1	32.9	46.9	124	34.2±12.5	116
Жизненно необходимые микроэлементы												
Mn	916	539	1129	235	224	971	1076	1247	963	792	809±114	45
Fe	216	123	97.1	117	168	248	228	192	343	979	271±82	96
Zn	22.9	16.5	22.3	26.5	21.6	35.1	26.6	27.4	25.7	20.7	24.5±1.6	20
Cu	7.1	2.6	3.0	6.5	4.9	13.2	5.1	3.4	6.3	12.8	6.5±1.2	58
Cr	1.1	0.70	0.66	1.0	1.3	1.1	1.2	1.1	1.7	3.3	1.3±0.2	57
Mo	0.07	0.12	0.14	0.08	0.2	0.14	0.1	0.39	0.11	0.26	0.2±0.03	61
Co	0.07	0.02	0.05	0.03	0.11	0.18	0.07	0.07	0.11	0.34	0.1±0.03	90
Se	0.02	0.01	0.02	0.002	0.01	0.05	0.01	0.005	0.03	0.02	0.02±0.004	80
Условно жизненно необходимые микроэлементы												
B	10.7	7.3	12.3	14.4	13.2	14.3	15.6	25.7	18.4	16.4	14.8±1.6	33
Ni	3.4	0.45	0.9	0.31	0.24	1.1	1.7	0.76	0.39	1.7	1.1±0.3	89
V	0.22	0.14	0.09	0.14	0.2	0.23	0.2	0.2	0.3	1.1	0.3±0.1	104
Li	0.15	0.07	0.07	0.08	0.12	0.15	0.09	0.09	0.12	0.28	0.1±0.02	52
Токсичные микроэлементы												
Ba	97.3	64.6	112	71.0	60.7	96.5	95.8	109.9	98.3	90.9	89.7±5.7	20
Al	120	71.8	63.0	62.6	82.2	132	-	-	-	-	88.6±12.3	34
As	0.43	1.1	0.11	0.46	0.36	0.34	0.09	0.001	0.13	0.91	0.4±0.1	92
Pb	0.94	0.59	0.24	0.19	0.16	0.31	0.04	0.03	0.18	0.17	0.3±0.1	98
Sb	0.14	0.1	0.03	0.05	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03	0.06	0.1±0.01	79
Cd	0.05	0.04	0.04	0.02	0.004	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02±0.01	81
Tl	0.003	0.001	0.004	0.03	0.02	0.03	0.003	0.03	0.04	0.01	0.02±0.005	85
Hg	0.01	0.01	0.005	0.004	0.005	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01±0.001	48
Be	0.01	0.004	0.004	0.004	0.01	0.005	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01±0.002	79
Bi	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002±0.001	141
Потенциально токсичные микроэлементы												
Ag	212	0.15	0.03	0.002	0.01	0.001	0.01	0.01	0.01	0.02	21.2±21.2	316
Sr	15.1	11.3	15.7	9.5	28.5	17.9	16.7	19.9	17.3	13.1	16.5±1.7	32
Ti	4.4	3.1	2.5	3.1	3.5	3.9	2.9	2.6	4.8	20.7	5.2±1.7	107
Rb	2.8	1.0	2.4	6.1	5.5	3.8	4.1	2.9	3.3	4.0	3.6±0.5	41
Zr	0.11	0.11	0.07	0.04	0.08	0.11	0.08	0.08	0.17	0.59	0.1±0.1	111
W	0.12	0.03	0.04	0.02	0.09	0.19	0.07	0.04	0.12	0.29	0.1±0.03	84
Ga	0.07	0.04	0.06	0.03	0.05	0.08	0.08	0.07	0.09	0.17	0.1±0.01	52
Sn	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.09	0.05	0.09	0.07	0.03±0.01	130
Ge	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	0.004	0.01	0.02	0.005±0.002	129
Прочие микроэлементы												
Ce	0.35	0.22	0.2	0.21	0.28	0.37	0.15	0.13	0.25	0.91	0.3±0.1	73
La	0.17	0.11	0.1	0.1	0.13	0.18	0.07	0.06	0.13	0.46	0.2±0.04	76
Y	0.08	0.05	0.05	0.05	0.06	0.09	0.04	0.03	0.06	0.19	0.1±0.01	65
Cs	0.05	0.02	0.02	0.07	0.06	0.08	0.04	0.02	0.05	0.08	0.05±0.01	49
Pr	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.01	0.02	0.09	0.03±0.01	74
Sc	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	0.003	0.13	0.02±0.01	253
Th	0.02	0.001	0.001	0.001	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.08	0.02±0.01	108
Nb	0.01	0.001	0.001	0.001	0.01	0.001	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01±0.004	117
Ta	0.01	0.001	0.001	0.001	0.01	0.001	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01±0.003	105
Te	0.001	0.001	0.001	0.04	0.001	0.05	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01±0.01	191
U	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.004	0.01	0.04	0.01±0.003	71

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК для лекарственного сырья; жирным курсивом – превышающие МДУ в кормах сельскохозяйственных животных

В группе жизненно необходимых микроэлементов максимальной концентрацией отличался марганец (809 мг/кг), а минимальной – селен (0.02 мг/кг). В других регионах России содержание Mn находилось в

пределах 519–618 мг/кг [4, 7, 16], Se – 0.001–0.003 мг/кг [6, 15]. Таким образом, концентрация селена в исследуемом районе была в 10 раз больше, чем в других отмеченных районах.

Из условно необходимых элементов бор отличался максимальной концентрацией (14.8 мг/кг). В Северной Якутии среднее содержание В было в два раза больше [14].

Из токсичных элементов максимальной концентрацией характеризовались барий (89.7 мг/кг) и алюминий (88.6 мг/кг). Содержание Ва в других регионах России находилось в пределах 11.7–90,0 мг/кг [6, 16].

Средняя концентрация мышьяка составляла 0.4 мг/кг, с варьированием по п.п. от 0.001 до 1.1 мг/кг. В других регионах России среднее содержание As в багульнике было в 7 раз меньше (0.043–0.079 мг/кг) [6].

Среднее содержание свинца в районе исследований было 0,3 мг/кг, в других регионах России находилось в пределах от 0.9 (Якутия) до 3.0 мг/кг (Бурятия) [4, 7, 14].

В числе потенциально токсичных элементов относительно высокой концентрацией характеризовались **серебро** и **стронций**, соответственно, 21.2 и 16.5 мг/кг. Содержание Ag варьировало в пределах от 0,001 до 212 мг/кг (CV, % = 316). Аномально высокая концентрация Ag на п.п., расположенной на расстоянии 1.3 от действующего карьера предприятия, может быть связана с проявлением ореола рассеивания вокруг рудных залежей. Известно, что в растениях, произрастающих в районах развития серебряной минерализации, серебро может концентрироваться до токсичного уровня [17]. В других регионах России отмечалась концентрация Ag в пределах 0.023 до 0.074 мг/кг [6, 15].

Среднее содержание Sr в районе исследований 16.5 мг/кг, в регионах России отмечено варьирование от 1.13 до 20 мг/кг [6, 14, 15]. Значение для организма животных и человека других, представленных в таблице элементов пока неизвестно, их средняя концентрация в побегах багульника находилась в пределах от 0.01 (Nb, Ta, Te, U) до 0.3 мг/кг (Ce).

На двух п.п. отмечено превышение ПДК мышьяка для лекарственного сырья [18]. Установлено также превышение концентрации в багульнике железа, хрома и мышьяка по отношению к максимально допустимому уровню элементов в грубых и сочных кормах для сельскохозяйственных животных [19].

Концентрация Ag, Ni и Sr в побегах багульника образует сильную положительную связь с валовым содержанием элементов в почве ($r=0.722$ – 0.940); концентрация рубидия – сильную отрицательную связь ($r=-0.833$). Средним положительным уровнем корреляции с валовым содержанием в почве характеризуется концентрация в багульнике P, Mn, Bi и Ba ($r=0.521$ – 0.636), концентрация таллия – средним отрицательным уровнем корреляции ($r=-0.521$) Концентрация других элементов в багульнике слабо связана с их валовым содержанием в почве.

По отношению полезности для роста и развития растений элементы выделяют в условные группы: необходимые макроэлементы, необходимые микроэлементы и полезные микроэлементы [20]. В то же время все химические элементы, так или иначе, участвуют в метаболизме. Отсутствие сведений о физиологическом значении химического элемента указывает лишь на трудности их получения [21].

Установлено, что средняя концентрация необходимых макроэлементов в багульнике была ниже кларка наземных растений: Ca (14% к кларку), Mg (32), K (40) и P (73). Концентрация большинства необходимых микроэлементов была значительно ниже кларка: Mo (22% к кларку), Zn (25), B (30), Ni (37) и Cu (46). Только содержание марганца и железа превышало кларк наземных растений: Mn (128% к кларку), Fe (194%). Средняя концентрация полезных для растений микроэлементов, кроме Al, была также ниже кларка: Na (3% к кларку), Se (10) и Co (20).

Избыток и недостаток необходимых для растений элементов может вызывать нарушения их роста и развития. Однако таких нарушений нами не отмечено. Известно, что у растений существуют физиологические и биохимические механизмы адаптации к избытку и дефициту элементов питания.

Коэффициент биологического накопления. К элементам биологического накопления в багульнике отнесены Ag (46.0), Se (18.8), Te (5.3), P (2.8), Tl (2.6), Nb (1.3); на отдельных площадях – Mn (2.5), K (2.7) и B (1.4). Ряд интенсивности поглощения химических элементов выглядит следующим образом: $Ag > Se > Te > P > Tl > Nb > Mn > K > B > Ca > Cu > Zn > Ba > Bi > Cd > Mo > Mg > Rb > W > Sr > Hg > Cr > Ni > As > Ta > Sb > Co > Th > Fe > Cs > Sn > Na > Pb > Be > Ce > La > Li > Pr > Ga = Y > U = V > Ge = Ti = Zr > Al > Sc$ (табл. 4).

Таблица 4. Коэффициенты биологического поглощения химических элементов

Элемент	Номер пробной площади								Среднее значение	CV, %
	1	2	3	4	5	6	9	10		
Элементы сильного накопления										
Ag	353.300	0.500	0.100	0.020	10.000	0.003	0.033	0.100	45.507±4.999	273
Se	20.000	10.000	20.000	0.014	0.030	50.000	30.000	20.000	18.756±5.803	88
Элементы слабого накопления										
Te	0.004	0.004	0.004	40.000	1.000	0.147	1.000	0.100	5.238±4.962	266
P	2.986	2.546	2.595	3.178	4.243	2.406	2.226	1.918	2.762±0.254	26
Tl	0.004	0.002	0.007	1.000	20.000	0.073	0.080	0.016	2.648±2.482	265
Nb	0.001	0.0002	0.0002	0.001	10.000	0.0003	0.001	0.006	1.251±1.250	283
Mn	0.553	0.539	1.129	0.716	1.004	2.555	0.473	1.394	1.045±0.244	66
Элементы среднего захвата										
K	0.181	0.142	0.134	1.074	2.735	0.285	0.620	0.733	0.738±0.309	118
B	0.563	0.333	0.562	1.440	0.574	0.662	1.211	0.478	0.728±0.136	53
Ca	0.747	0.529	0.605	0.162	0.115	0.417	0.635	0.474	0.460±0.079	48
Cu	0.310	0.118	0.136	0.774	0.766	0.530	0.283	0.699	0.452±0.097	61
Zn	0.290	0.195	0.263	0.914	0.541	0.337	0.341	0.314	0.399±0.082	58
Ba	0.193	0.123	0.214	0.403	0.552	0.267	0.153	0.201	0.263±0.051	55
Bi	0.018	0.002	0.002	0.007	0.011	0.006	1.000	1.000	0.256±0.162	180
Cd	0.714	0.308	0.308	0.182	0.040	0.040	0.111	0.250	0.244±0.077	90
Mo	0.047	0.109	0.127	0.160	0.513	0.200	0.100	0.325	0.198±0.054	77
Mg	0.120	0.111	0.117	0.225	0.283	0.198	0.236	0.216	0.188±0.023	34
Rb	0.028	0.010	0.024	0.324	0.743	0.050	0.040	0.037	0.157±0.091	165
W	0.080	0.030	0.040	0.182	0.214	0.250	0.055	0.223	0.134±0.032	68
Sr	0.121	0.084	0.116	0.088	0.093	0.114	0.118	0.106	0.105±0.005	14
Элементы слабого захвата										
Hg	0.100	0.100	0.050	0.020	0.050	0.020	0.100	0.100	0.068±0.013	54
Cr	0.020	0.015	0.015	0.074	0.200	0.023	0.038	0.072	0.057±0.022	110
Ni	0.084	0.022	0.043	0.035	0.069	0.044	0.016	0.100	0.052±0.011	58
As	0.020	0.023	0.002	0.110	0.138	0.041	0.009	0.036	0.047±0.017	104
Ta	0.006	0.001	0.001	0.006	0.250	0.002	0.037	0.018	0.040±0.030	214
Sb	0.084	0.003	0.001	0.041	0.035	0.036	0.026	0.013	0.030±0.009	90
Co	0.005	0.002	0.005	0.009	0.073	0.024	0.009	0.038	0.021±0.009	118
Th	0.002	0.000	0.000	0.001	0.143	0.004	0.003	0.008	0.020±0.018	246
Fe	0.008	0.005	0.004	0.018	0.046	0.010	0.011	0.030	0.016±0.005	90
Cs	0.003	0.001	0.001	0.032	0.060	0.004	0.007	0.010	0.015±0.007	141
Sn	0.000	0.000	0.000	0.003	0.004	0.001	0.070	0.043	0.015±0.009	174
Na	0.001	0.000	0.000	0.000	0.083	0.002	0.004	0.021	0.014±0.010	206
Pb	0.030	0.012	0.005	0.013	0.012	0.011	0.010	0.009	0.013±0.003	59
Be	0.005	0.002	0.002	0.007	0.053	0.003	0.006	0.018	0.012±0.006	146
Ce	0.005	0.003	0.003	0.008	0.047	0.008	0.004	0.019	0.012±0.005	125
La	0.005	0.003	0.002	0.006	0.043	0.006	0.005	0.019	0.011±0.005	126
Li	0.004	0.002	0.002	0.011	0.052	0.005	0.004	0.006	0.011±0.006	158
Pr	0.005	0.002	0.002	0.005	0.043	0.005	0.003	0.016	0.010±0.005	138
Элементы очень слабого захвата										
Ga	0.004	0.002	0.003	0.008	0.036	0.005	0.006	0.011	0.009±0.004	117
Y	0.004	0.002	0.002	0.005	0.032	0.004	0.005	0.015	0.009±0.004	119
U	0.004	0.004	0.004	0.008	0.007	0.011	0.006	0.021	0.008±0.002	70
V	0.003	0.002	0.001	0.008	0.024	0.004	0.004	0.015	0.008±0.003	104
Ge	0.001	0.001	0.001	0.003	0.017	0.002	0.008	0.013	0.006±0.002	112
Ti	0.002	0.002	0.001	0.008	0.019	0.003	0.002	0.010	0.006±0.002	109
Zr	0.002	0.003	0.002	0.003	0.019	0.004	0.002	0.010	0.006±0.002	107
Al	0.002	0.001	0.001	0.005	0.017	0.003	—	—	0.005±0.002	125
Sc	0.001	0.001	0.001	0.0004	0.004	0.0001	0.0003	0.015	0.003±0.002	181

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения КБП более 1.0.

Заключение

В побегах багульника болотного в районе Быстринского месторождения концентрация химических элементов находилась в следующем порядке: K > Ca > P > Mg > Mn > Fe > Ba > Al > Na > Zn > Ag > Sr > B

$> \text{Cu} > \text{Ti} > \text{Rb} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{As} > \text{Ce} = \text{Pb} = \text{V} > \text{La} = \text{Mo} > \text{Co} = \text{Ga} = \text{Li} = \text{Sb} = \text{W} = \text{Y} = \text{Zr} > \text{Cs} > \text{Pr} = \text{Sn} > \text{Cd} = \text{Sc} = \text{Se} = \text{Th} = \text{Tl} > \text{Be} = \text{Hg} = \text{Nb} = \text{Ta} = \text{Te} = \text{U} > \text{Ge} > \text{Bi}$.

Интенсивность биологического поглощения элементов в багульнике образует ряд: $\text{Ag} > \text{Se} > \text{Te} > \text{P} > \text{Tl} > \text{Nb} > \text{Mn} > \text{K} > \text{B} > \text{Ca} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ba} > \text{Bi} > \text{Cd} > \text{Mo} > \text{Mg} > \text{Rb} > \text{W} > \text{Sr} > \text{Hg} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{As} > \text{Ta} > \text{Sb} > \text{Co} > \text{Th} > \text{Fe} > \text{Cs} > \text{Sn} > \text{Na} > \text{Pb} > \text{Be} > \text{Ce} > \text{La} > \text{Li} > \text{Pr} > \text{Ga} = \text{Y} > \text{U} = \text{V} > \text{Ge} = \text{Ti} = \text{Zr} > \text{Al} > \text{Sc}$.

К элементам сильного накопления отнесены Ag и Se, слабого накопления – Te, P, Tl, Nb, Mn.

Концентрация большинства необходимых и полезных элементов в стеблях багульника, кроме железа и марганца, была значительно меньше кларка наземных растений.

Концентрации Ag, Ni, Sr и Rb в багульнике образуют сильную связь с валовым содержанием элементов в почве. Средним уровнем связи с содержанием элементов в почве характеризуется концентрация в багульнике P, Mn, Bi и Ba.

Валовое содержание в почве мышьяка и сурьмы превышало ПДК (СанПиН 1.2.3685-21) в 2 раза. Среднее содержание в почве Hg, Zn, Cs, Ag и Se превышало кларк земной коры в 1.7–4.3 раза; As, Sb и Bi – в 13.0–22.2 раза, Te – в 100 раз.

Особенностями элементного состава багульника болотного в районе Быстринского месторождения по отношению к другим регионам России являлись аномально высокая средняя и на отдельных площадях концентрация серебра, относительно высокая концентрация селена (больше в 10 раз) и мышьяка (больше в 7 раз).

На двух п.п. отмечено превышение ПДК мышьяка для лекарственного сырья. Установлено превышение концентрации в багульнике железа, хрома и мышьяка по отношению к максимально допустимому уровню элементов в грубых и сочных кормах для сельскохозяйственных животных.

Свойство багульника болотного накапливать значительное количество ряда элементов, концентрация которых достоверно связана с содержанием их в почве, можно использовать для мониторинга окружающей среды, а также при возможной культивации этого растения.

Исследования подтверждают, что использование багульника в качестве лекарственного сырья в аномальной по геохимическому составу территории нецелесообразно.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Автор данной работы заявляет, что у него нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Dampc A., Luczkiewicz M. *Rhododendron tomentosum (Ledum palustre)*. A review of traditional use based on current research // *Fitoterapia*. 2013. Vol. 85. Pp. 130–143. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.01.013>.
2. Леонтьев Д.Ф., Виньковская О.П., Харламов Д.В., Харламова Д.А. Кормовые сосудистые растения в местах тебеневки *Cervus elaphus* L., 1758 на территории базы «Мольты» учебно-опытного хозяйства «Голоустное» (Южное Предбайкалье) // *Вестник ИрГСХА*. 2022. №112. С. 98–110.
3. Borgulat J., Mętrak M., Staszewski T., Wilkomirski B., Suska-Malawska M. Heavy metals accumulation in soil and plants of Polish peat bogs // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2018. Vol. 27, no. 2. Pp. 1–8. <https://doi.org/10.15244/PJOES/75823>.
4. Московченко Д.В., Моисеева И.Н., Хозяинова Н.В. Элементный состав растений Уренгойских тундр // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2012. №12. С. 130–136.
5. Моторкина Т.Н. Содержание тяжелых металлов в растениях зоны строящейся железной дороги в районе поселка Ванино (Хабаровский край) // *Вестник ДВО РАН*. 2018. №4. С. 73–78.
6. Белоусов М.В., Цыбукова Т.Н., Березовская Т.П., Тихонова О.К., Басова Е.В., Зейле Л.А., Юсубов М.С. Элементный состав багульника болотного // *Химия растительного сырья*. 2002. №4. С. 35–38.
7. Сосорова С.Б., Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л. Микроэлементный состав некоторых видов растений в окрестностях озера Котокельское (Западное Забайкалье) // *Растительные ресурсы*. 2012. Т. 48, №3. С. 403–414.

8. Котович А.А., Гуман О.М., Макаров А.Б., Антонова И.А. Эколого-геохимическая оценка почв на территории проектируемого Быстринского ГОКа // Известия Уральского государственного горного университета. 2013. Т. 2, №30. С. 21–25.
9. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом ИСП-МС. М., 1998. 31 с.
10. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы и грунтов. М., 2003. 9 с.
11. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М., 2021. 1029 с.
12. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. №7. С. 555–571.
13. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. М.: Мир, 2004. 272 с.
14. Сысо А.И., Десяткин Р.В., Николаева М.Х., Иванова А.З., Филиппов Н.В., Десяткин А.Р., Худяев С.А. Элементный химический состав почв и растений Северной Якутии, его эколого-биогеохимическая оценка // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28, №1. С. 78–93. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-1-78-93>.
15. Цыбукова Т.Н., Инишева Л.И., Тихонова О.К., Зейле Л.А., Юсубова М.С. Характеристика элементного состава торфяного сырья олиготрофного болота // Химия растительного сырья. 2000. №4. С. 29–34.
16. Болдырева Е.А. Компонентный состав кормовых растений и лишайников оленьих пастбищ Надымского района (Ямало-Ненецкий автономный округ) // Растительные ресурсы. 2023. Т. 59. №1. С. 54–64. <https://doi.org/10.31857/S0033994623010041>.
17. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 439 с.
18. ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. М., 2015. URL: <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-5-3-0009-15-opredelenie-soderzhaniya-tyazhelyh-metallov-i-myshyaka-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennyh-rastitelnyh-preparatah/>.
19. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. М., 1987. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725464.htm>.
20. Битюцкий Н.П. Микроэлементы высших растений. СПб., 2020. 368 с.
21. Виноградов А.П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растением и средой // Микроэлементы в жизни растений и животных. М., 1952. С. 7–20.

Поступила в редакцию 21 мая 2024 г.

После переработки 13 ноября 2024 г.

Принята к публикации 14 мая 2025 г.

Makarov V.P. THE CONCENTRATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE SHOOTS OF LEDUM PALUSTRE L., GROWING IN THE AREA OF BYSTRINSKY GOK (EASTERN TRANSBAIKALIA)

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Nedorezova str., 16A, Chita, 672014, Russia, vm2853@mail.ru

The purpose of the research is to establish the concentration and absorption level of a number of chemical elements in the shoots of *Ledum palustre* L. in an area with geochemical anomalies of natural and anthropogenic origin. For this purpose, samples of soil and shoots of *L. palustre* were taken in natural communities. The total content of chemical elements in the soil and the concentration of elements in the plant were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The concentration of chemical elements in *L. palustre* has been established.: K> Ca> P> Mg> Mn> Fe> Ba> Al> Na> Zn> Ag> Sr> B> Cu> Ti> Rb> Cr> Ni> As> Ce= Pb= V> La= Mo> Co= Ga= Li= Sb= W= Y= Zr> Cs> Pr= Sn> Cd= Sc= Se= Th= Tl> Be= Hg= Nb= Ta= Te= U> Ge> Bi; intensity range of biological absorption of elements: Ag> Se> Te> P> Tl> Nb> Mn> K> B> Ca> Cu> Zn> Ba> Bi> Cd> Mo> Mg> Rb> W> Sr> Hg> Cr> Ni> As> Ta> Sb> Co> Th> Fe> Cs> Sn> Na> Pb> Be> Ce> La> Li> Pr> Ga= Y> U= V> Ge= Ti= Zr> Al> Sc. A strong correlation has been established between the concentrations of Ag, Ni, Sr and Rb in *L. palustre* and the gross content of elements in the soil. Features of the elemental composition of *L. palustre* in the studied area was an abnormally high concentration of Ag, Se and As. The study in the Trans-Baikal Territory was conducted for the first time, it complements the known data on the chemical composition of *L. palustre* in Russia, and is of practical importance for pharmaceutical production.

Keywords: *Ledum palustre*, concentration of chemical elements, Trans-Baikal Territory.

For citing: Makarov V.P. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 3, pp. 235–244. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315217>.

References

1. Dampc A., Luczkiewicz M. *Fitoterapia*, 2013, vol. 85, pp. 130–143. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.01.013>.
2. Leont'yev D.F., Vin'kovskaya O.P., Kharlamov D.V., Kharlamova D.A. *Vestnik IrGSKhA*, 2022, no. 112, pp. 98–110. (in Russ.).
3. Borgulat J., Mętrak M., Staszewski T., Wiłkomirski B., Suska-Malawska M. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2018, vol. 27, no. 2, pp. 1–8. <https://doi.org/10.15244/PJOES/75823>.
4. Moskovchenko D.V., Moiseyeva I.N., Khozyainova N.V. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*, 2012, no. 12, pp. 130–136. (in Russ.).
5. Motorkina T.N. *Vestnik DVO RAN*, 2018, no. 4, pp. 73–78. (in Russ.).
6. Belousov M.V., Tsybukova T.N., Berezovskaya T.P., Tikhonova O.K., Basova Ye.V., Zeyle L.A., Yusubov M.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2002, no. 4, pp. 35–38. (in Russ.).
7. Sosorova S.B., Merkusheva M.G., Ubugunov L.L. *Rastitel'nyye resursy*, 2012, vol. 48, no. 3, pp. 403–414. (in Russ.).
8. Kotovich A.A., Guman O.M., Makarov A.B., Antonova I.A. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 2013, vol. 2, no. 30, pp. 21–25. (in Russ.).
9. *PND F 16.1:2.3:3.11-98. Metodika vypolneniya izmereniy sodержaniya metallov v tverdykh ob'yektakh metodom ISP-MS*. [PND F 16.1:2.3:3.11-98. Methodology for measuring the content of metals in solid objects using the ICP-MS method]. Moscow, 1998, 31 p. (in Russ.).
10. *SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitarno-epidemiologicheskiye trebovaniya k kachestvu pochvy i gruntov*. [SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitary and epidemiological requirements for the quality of soil and ground]. Moscow, 2003, 9 p. (in Russ.).
11. *SanPiN 1.2.3685-21. Gigiyenicheskiye normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya*. [SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans]. Moscow, 2021, 1029 p. (in Russ.).
12. Vinogradov A.P. *Geokhimiya*, 1962, no. 7, pp. 555–571. (in Russ.).
13. Skal'nyy A.V., Rudakov I.A. *Bioelementy v meditsine*. [Bioelements in medicine]. Moscow, 2004, 272 p. (in Russ.).
14. Syso A.I., Desyatkin R.V., Nikolayeva M.Kh., Ivanova A.Z., Filippov N.V., Desyatkin A.R., Khudyayev S.A. *Prirodnyye resursy Arktiki i Subarktiki*, 2023, vol. 28, no. 1, pp. 78–93. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-1-78-93>. (in Russ.).
15. Tsybukova T.N., Inisheva L.I., Tikhonova O.K., Zeyle L.A., Yusubova M.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2000, no. 4, pp. 29–34. (in Russ.).
16. Boldyreva Ye.A. *Rastitel'nyye resursy*, 2023, vol. 59, no. 1, pp. 54–64. <https://doi.org/10.31857/S0033994623010041>. (in Russ.).
17. Kabata-Pendias A., Pendias X. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh*. [Microelements in soils and plants]. Moscow, 1989, 439 p. (in Russ.).
18. *OFS.1.5.3.0009.15. Opredeleniye sodержaniya tyazhelykh metallov i mysh'yaka v lekarstvennom rastitel'nom syr'ye i lekarstvennykh rastitel'nykh preparatakh*. [OFS.1.5.3.0009.15. Determination of heavy metals and arsenic in medicinal plant materials and medicinal plant preparations]. Moscow, 2015. URL: <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-5-3-0009-15-opredelenie-soderzhaniya-tyazhelykh-metallov-i-myshyaka-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennykh-rastitelnykh-preparatakh/>. (in Russ.).
19. *Vremennyy maksimal'no dopustimyy uroven' (MDU) sodержaniya nekotorykh khimicheskikh elementov i gos-sipola v kormakh dlya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i kormovykh dobavkakh*. [Temporary maximum permissible level (MPL) of the content of certain chemical elements and gossypol in feed for farm animals and feed additives]. Moscow, 1987. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725464.htm>. (in Russ.).
20. Bityutskiy N.P. *Mikroelementy vysshikh rasteniy*. [Microelements of higher plants]. St. Petersburg, 2020, 368 p. (in Russ.).
21. Vinogradov A.P. *Mikroelementy v zhizni rasteniy i zhivotnykh*. [Microelements in the life of plants and animals]. Moscow, 1952, pp. 7–20. (in Russ.).

Received May 21, 2024

Revised November 13, 2024

Accepted May 14, 2025

Сведения об авторе

Макаров Владимир Петрович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, vm2853@mail.ru

Information about author

Makarov Vladimir Petrovich – candidate of biological sciences, senior researcher, vm2853@mail.ru