

УДК 581.192:632.122.1(571.53./55)

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*Betula pendula* Roth) В РАЙОНЕ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАБАЙКАЛЬЯ

© 2024 г. В. П. Макаров^{1,*}, Р. А. Филенко¹, И. Е. Михеев¹,
Т. В. Желибо¹, Е. А. Банщикова¹

¹Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,
672014 Чита, ул. Недорезова, 16а, Россия

*E-mail: vm2853@mail.ru

Изучили влияние производства по добыче золота на концентрацию химических элементов в листьях *Betula pendula* Roth. Исследовали интенсивность поглощения растением ряда химических элементов, возможности использования березы как лекарственного и кормового растения, а также для мониторинга изменения среды обитания. Исследование проведено в растительных сообществах, расположенных на производственных объектах и природных местопроизрастаниях в районе Балейского золоторудного месторождения: хвостохранилищах золотоизвлекательных фабрик (ЗИФ-1 и ЗИФ-2), дражном полигоне, отвале штольни Средне-Голготайского месторождения золота, хвостохранилище после переработки моноцитов, а также в природных растительных сообществах, расположенных в окрестностях г. Балей на 13-ти пробных площадях в 2008, 2008 и 2021 гг. Концентрации элементов в листьях в порядке убывания располагались в следующей последовательности: Ca > Mg > P > Mn > Fe > Zn > Na > Ba > B > Cr > Ni > As > Cu > Mo > Sb > Pb > Co > Li > V > Cd > Bi > Se > Be. По отношению к кларку наземных растений концентрации элементов находились в следующем порядке: Cr > As > Sb > Li > Ni > Ba > Fe > Mo > Bi > Co > Zn > Mg > Кларк > Mn > P > Ca > Cu > B > Pb > Se > Cd > V > Be > Na. Поглощение As на производственных объектах превышала норму, установленную для лекарственного растительного сырья. Использование веточного корма на ряде площадей из-за высокого уровня Zn, Fe, Sb, Ni, Cr, Co, As, Cd не допустимо. Получен относительно высокий коэффициент биологического поглощения листьями березы Zn, Mn, P, Ca, Mg.

Ключевые слова: *Betula pendula*, поглощение химических элементов, месторождение золота.

DOI: 10.31857/S0002188124040115, **EDN:** dlgmri

ВВЕДЕНИЕ

Основным фактором, определяющим содержание химических элементов в почвах и растениях, является геохимия ландшафта. Концентрация химических элементов в растениях также обусловлена экологическими условиями места произрастания и биологическими особенностями вида. Сведения о составе элементов в растениях важны для контроля качества растительного сырья, получаемого из растений, а также мониторинга загрязнения окружающей среды токсичными металлами.

Береза повислая (*Betula pendula* Roth) семейства Betulaceae имеет обширный евро-сибирский ареал, за пределами России растет в Средней и Западной Европе. В районе исследования (Балейский р-н Забайкальского края) площадь березовых лесов составляет 57% от лесопокрытой площади. Березу используют для получения древесины, в защитном

лесоразведении, как пищевое (сок), лекарственное (почки, листья, бетулин, чага, березовый деготь, активированный березовый уголь), кормовое (веточный корм) и декоративное растение.

Фитохимические исследования видов *Betula* привели к выделению тритерпеноидов, диарилгептаноидов, фенилбутаноидов, лигнанов, фенолов и флавоноидов. По данным экспериментов, сырые экстракты, фракции и фитохимические компоненты, выделенные из березы, показали широкий спектр фармакологического действия, такие как иммуномодулирующее, противовоспалительное, антимикробное, противовирусное, антиоксидантное, противодиабетическое, дерматологическое, гастропротекторное и гепатопротекторное. Широко изучены антиканцерогенные эффекты коры березы, бетулина, а также бетулиновой кислоты. Обнаружено, что *B. pendula* потенциально полезна при лечении дегенеративных заболеваний суставов [1].

Продemonстрирована антиоксидантная способность экстракта сухих листьев березы. Их можно использовать в качестве природного источника антиоксидантов, для получения продуктов с высокой ценностью, полезных для предотвращения различных состояний, связанных с окислительным стрессом [2]. Исследования биоактивных комплексов чаги последних лет свидетельствуют о том, что многие из них можно использовать в таргетной терапии злокачественных новообразований [3].

Березу повислую широко используют для мониторинга загрязнения окружающей среды. Например, изучение *B. pendula*, произрастающей в условно чистом природном местообитании и на городских территориях, показало существенные различия по содержанию в их органах и тканях тяжелых металлов (ТМ), таких как Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Fe, Mn, в зависимости от условий произрастания. В листьях растений, находящихся в городских условиях, отмечено повышенное содержание большинства изученных ТМ, а концентрации Cd и Pb не только превышали фоновые для растений показатели, но даже приближались к нижнему уровню их предельно допустимых концентраций [4]. Установлено, что среди представителей лиственных древесных пород (береза, липа, рябина, тополь) хорошо выраженной способностью к аккумуляции ТМ обладает береза, для которой характерно накопление самых токсичных элементов — Cd, Pb, Ni, а также Mn. [5]. В зоне действия полиметаллического месторождения и металлургического комплекса в республике Казахстан в горнодобывающем ландшафте для *B. pendula* характерна свинцово-цинковая специализация, в урбопромышленном ландшафте — цинково-кадмиевая [6].

Наиболее высокий суммарный уровень металлов (Mn, Fe, Zn, Sr, Br, Rb) был отмечен в листьях древесных растений: клена остролистного, березы повислой и липы сердцевидной. Из изученных элементов растения больше всего накапливали Mn и Fe. Накопление Mn в листьях в большей степени было характерно для древесных растений, чем для кустарников или трав [7].

Листья березы интенсивнее хвои ели и сосны аккумулируют Cu, Ni и Mn [8, 9]. Предлагают использовать листья березы в качестве биоиндикатора загрязнения цинком [10], биомониторинга техногенных выбросов благодаря ее способности биоаккумулировать Mn, Fe, Ni, Zn, Cd и Pb [11].

Цель работы — выяснить влияние разработки месторождения золота в Забайкальском крае на элементный состав листьев березы повислой, а также пригодность использования растения как источника лекарственного сырья и в мониторинге окружающей среды.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование провели в районе Балейского золоторудного месторождения: хвостохранилищах золотоизвлекательных фабрик (ЗИФ-1 и ЗИФ-2), дражном полигоне, отвале штольни Средне-Голготайского месторождения золота, хвостохранилище после переработки моноцитов, а также в природных растительных сообществах, расположенных в окрестностях г. Балей на 13-ти пробных площадях (табл. 1).

На хвостохранилищах ЗИФ-1 и ЗИФ-2, отвалах штольни Средне-Голготайского месторождения золота проведен отбор 5-ти проб почвы и листьев березы в августе 2008, 2009 гг. Почву отбирали в прикорневой зоне березы в пределах 20 см. В июле 2021 г. на других 8-ми пробных площадях отбирали только листья березы.

Анализ почв и техноземов на валовое содержание химических элементов проводили в ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) следующими методами: P_2O_5 — фотометрическим, CaO, MgO, MnO, Fe_2O_3 — атомно-абсорбционным, Na_2O — пламенно-фотометрическим. Анализ проведен аналитиками В.А. Ивановой, Л.В. Митрофановой. Содержание V, Cr, Ni, Co определяли атомно-эмиссионным спектральным методом (аналитик М.Г. Егорова). Анализ Zn, As, Pb, Sb, Ba выполняли на поляризационном спектрометре ЭДПС-1 (аналитики Б. Жалсараев, Ж. Ринчинова).

Использовали нормативную документацию: инструкции научного совета по аналитическим методам Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья № 172-ХС, 138-Х, 231-Х, 3-Х, 188-Х, 230-Х.

Концентрацию химических элементов в растительных образцах определяли в лаборатории физико-химических исследований Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина (г. Хабаровск) (аналитики В.О. Крутикова, А.Ю. Петрова).

При пробоподготовке для определения концентраций микроэлементов в пробах за основу была использована методика ПНД Ф 16.1:2.3:11–98 “Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой” (1998 г.). В качестве стандартных образцов для поверки и калибровки прибора применяли ДВА, ДВБ (Дальний восток РФ), BHVO-1, STM-1 (США), JG-1a, JR-1 (Япония) и др. Учитывая, что наиболее корректной оценкой предела обнаружения в аналитических методах является экспериментальное нахождение такой величины [12], концентрации Se, Sb, Pb, Be приведены ниже порога по методике ПНД Ф 16.1:2.3:11–98.

Таблица 1. Характеристика пробных площадей

Площадь, №	Координаты, °	Место расположения	Растительное сообщество	Антропогенное воздействие	Относительная суммарная концентрация элементов, %
1	N51.565050 E116.562060	Долина ручья Холбонский на юго- восточном склоне хребта Борщовочный	Березняк разнотравный	Прямого воздействия нет	5
2	N51.541200 E116.596250	Северо-восточный склон около поймы р. Унда	Степь разнотравная, закустаренная	Прямого воздействия нет	4
3	N51.545570 E116.600760	Пойма р. Унда	Прирусловое древесно- кустарниковое	Воздействие дражной разработки 40- летней давности	5
4	N51.568220 E116.590890	Долина ручья Кибирева	Березняк разнотравный	Прямого воздействия нет	4
5	N51.537270 E116.601590	Пойма р. Унда	Прирусловое древесно- кустарниковое	Воздействие дражной разработки 40- летней давности	5
6	N51.552420 E116.590940	Хвостохранилище после переработки моноцита	Сосняк лишайниковый	Воздействие хвостохранилища 60-летней давности	5
7	N51.572960 E116.642970	Обрывистый берег обводненного северного карьера вблизи г. Балей	Древесно- кустарниковое	Воздействие эрозии грунта и жилой зоны г. Балей	5
8	N51.563217 E116.619533	Хвостохранилище ЗИФ-1	Древесно- кустарниковое	Воздействие хвостохранилища 50-летней давности	11
9	N51.487933 E116.657900	Отвалы штольни Средне-Голготайского месторождения золота	Древесно- кустарниковое	Влияние насыпного отвала горных пород	11
10	N51.549367 E116.644583	Хвостохранилище ЗИФ-2 (южная часть)	Древесно- кустарниковое	Воздействие хвостохранилища 50-летней давности	13
11	N51.549367 E116.644583	Хвостохранилище ЗИФ-2 (южная часть)	Древесно- кустарниковое	Воздействие хвостохранилища 50-летней давности	14
12	N51.550267 E116.63185	Хвостохранилище ЗИФ-2 (западная часть)	Древесно- кустарниковое	Воздействие хвостохранилища 50-летней давности	17
13	N51.553167 E116.636200	Хвостохранилище ЗИФ-2 (северная часть)	Древесно- кустарниковое	Воздействие хвостохранилища 50-летней давности	3

Статистическую обработку полученных данных провели с помощью программы Microsoft Excel 2010. В разделе “Описательная статистика” определены ошибки средних, среднеквадратичное отклонение и коэффициенты вариации, минимальные и максимальные данные. Для определения выбросов полученных данных использован критерий Граббса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследована концентрация 24-х химических элементов в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth). Средние концентрации химических элементов в листьях березы на пробных площадях в порядке убывания располагались в следующей

последовательности: $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Na} > \text{Ba} > \text{B} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{As} > \text{Cu} > \text{Mo} > \text{Sb} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Li} > \text{V} > \text{Cd} > \text{Bi} > \text{Se} > \text{Be}$.

По отношению к кларку наземных растений, средняя концентрация химических элементов в листьях березы находилась в следующем порядке: $\text{Cr} > \text{As} > \text{Sb} > \text{Li} > \text{Ni} > \text{Ba} > \text{Fe} > \text{Mo} > \text{Bi} > \text{Co} > \text{Zn} > \text{Mg} > \text{Кларк} > \text{Mn} > \text{P} > \text{Ca} > \text{Cu} > \text{B} > \text{Pb} > \text{Se} > \text{Cd} > \text{V} > \text{Be} > \text{Na}$.

Из числа жизненно необходимых макроэлементов определено накопление листьями березы Ca , Mg , P , Na .

Кальций. Среднее накопление элемента в районе исследования было в 2 раза меньше кларка наземных растений. Концентрация кальция на пробных площадях значительно варьировала от 2190 до 22600 мг/кг ($C_V = 85\%$). Близки к кларку концентрации элемента в образцах, взятых на отвалах штольни Средне-Голготайского месторождения золота и пробных площадях ЗИФ-1 (табл. 2).

Магний. Концентрация элемента в листьях березы на большинстве пробных площадей была близка к кларку наземных растений. В 2.0–2.5 раза концентрация магния была больше кларка на ряде пробных площадей ЗИФ-1 и ЗИФ-2.

Фосфор. Концентрация фосфора в листьях березы на большинстве пробных площадей была близка к кларку наземных растений. Лишь на отвале Средне-Голготайского месторождения золота и пробной площади (п.п.) № 13 ЗИФ-2 концентрация элемента была меньше кларка в 3–4 раза.

Натрий. Концентрация элемента в листьях березы на пробных площадях была меньше кларка наземных растений в 9–90 раз. Отличались низкой концентрацией элемента по отношению к кларку наземных растений образцы листьев на площадях № 2, 3, 6, 7. Средняя концентрация натрия на площадях была меньше кларка в 25 раз (48.1 ± 11.0 мг/кг). В то же время в условиях высокогорья Северного Урала концентрация натрия в листьях березы повислой находилась в пределах 1780–2070 мг/кг [14]. На территории г. Архангельска концентрация натрия в листьях березы была в пределах 206–679 мг/кг [15]. Это свидетельствовало о значительном влиянии геохимических особенностей почвы в месте произрастания вида.

Жизненно необходимые микроэлементы. Марганец. Концентрация магния в листьях березы варьировала в широких пределах от 76 до 2110 мг/кг ($C_V = 104\%$). Однако среднее накопление на пробных площадях было близко к кларку наземных растений.

Железо. Средняя концентрация железа в листьях березы на пробных площадях превышала кларк наземных растений в 2 раза

и характеризовалась значительной изменчивостью — от 84 до 782 мг/кг ($C_V = 85\%$). Относительно высокая концентрация отмечена на пробных площадях хвостохранилища ЗИФ-2.

Цинк. Превышение кларка концентрации элемента в наземных растениях в 1.6–4.6 раза отмечено преимущественно в листьях березы, отобранных на нарушенных площадях — хвостохранилищах ЗИФ-1 и ЗИФ-2. В то время как в природных сообществах концентрация элемента была близка или в 2 раза меньше кларка.

Хром. Концентрация элемента в листьях березы на пробных площадях характеризовалась сильной изменчивостью ($C_V = 177\%$). Средняя концентрация хрома в листьях превышала кларк наземных растений в 54 раза. Выделялись повышенным накоплением хрома березы, произрастающие на хвостохранилищах ЗИФ-1 и ЗИФ-2, а также в березовом лесу долины ручья Холбонский на юго-восточном склоне хребта Борщовочный.

Медь. Среднее накопление элемента в листьях березы на пробных площадях было меньше кларка наземных растений в 2 раза. Варьирование концентрации было относительно не высоким ($C_V = 64\%$).

Молибден. Средняя концентрация элемента в районе исследования была в 2 раза больше кларка наземных растений и характеризовалась значительным варьированием на пробных площадях ($C_V = 144\%$), от 0.05 до 7.5 мг/кг. Превышение кларка наблюдали преимущественно на нарушенных производственной деятельностью площадях.

Кобальт. Средняя концентрация элемента в районе исследования превышала кларк наземных растений в 1.7 раза. Варьирование накопления кобальта на пробных площадях было высоким ($C_V = 81\%$), изменялось от 0.05 до 2.11 мг/кг. Превышение кларка наблюдали преимущественно на нарушенных производственной деятельностью площадях, а также в березовом лесу в долине ручья Холбонский на юго-восточном склоне хребта Борщовочный.

Селен. Средняя на пробных площадях концентрация элемента была меньше кларка наземных растений в 3.3 раза. Накопление селена значительно варьировало на площадях ($C_V = 120\%$), от 0.001 до 0.21 мг/кг. Относительно низкой концентрацией элемента отличалась береза, произраставшая в природных сообществах (меньше кларка наземных растений в 200 раз). И, напротив, концентрация элемента была близка к кларку на площадях произрастания березы, измененных производственной деятельностью.

В Забайкалье отмечен дефицит селена в почвах, растениях и водах, связанный с некоторыми геологическими и климатическими особенностями.

Таблица 2. Концентрация химических элементов в листьях березы повислой, мг/кг

Элемент	Пробные площади, №													X _{ср.} ± s _x	№	Кларк в наземных растениях [13]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Жизненно необходимые макроэлементы																
Ca	4000	3190	4070	3110	3820	3780	3360	11000	18100	17600	17200	22600*	2200**	8770 ± 2060	85	18000
Mg	2700	2830	2690	2740	2570	2730	3090	8530*	2840	5790	7050	7350	1550**	4030 ± 630	57	3200
P	2360	1540	210	2160	2480	2040	2380	1460	628	2110	2870*	1920	899	1930 ± 180	33	2300
Na	37.9	14.6	17	81.2	30	12.9	13.4	37.4	28.5	47.6	53.5	132*	119.7	48.1 ± 11.0	82	1200
Жизненно необходимые микроэлементы																
Mn	375	158	748	128	140	877	506	117	76	430*	1190	669	172	559 ± 162	104	630
Fe	460	84	104	153	128	90	93	146	152	328	594	593	782	285 ± 67	85	140
Zn	59.3	55.8	90.4	74	121	77.4	144	303	218	226	229	461*	47.3	162 ± 34	75	100
Cr	46.5	0.4	0.5	0.8	0.9	0.4	0.5	0.8	0.7	3.3	32.7	6.5	65.9*	12.3 ± 6.0	177	0.23
Cu	10.2	3.2	3.9	17.6*	4.8	4	5.2	4.1	11.8	5	4.9	6.7	3.8	6.5 ± 1.2	64	14
Mo	0.39	0.05	0.58	0.27	0.78	0.13	0.3	1.18	7.54*	1.67	1.69	6.55	0.96	1.7 ± 0.7	144	0.9
Co	1.16	0.05	0.27	0.13	0.38	1.25	0.57	0.62	0.31	2.11*	2.1	1.12	0.95	0.85 ± 0.19	81	0.5
Se	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.03	0.01	0.05	0.09	0.17	0.15	0.21*	0.08	0.061 ± 0.020	120	0.2
Условно жизненно необходимые микроэлементы																
B	10.8	17.2	13.6	13.9	8.9	15.4	13	18.6	17	45.1*	30.8	30.8	8.8	18.8 ± 2.9	56	50
Ni	37.6	1.6	4.6	1	2.6	6.5	4.9	1.1	1.5	6.5	22.1	8.5	31.5	10.0 ± 3.4	123	3
As	0.76	0.001**	0.001**	0.23	0.09	0.001**	0.13	1.9	26.3*	9.7	16.5	18.2	13.3	6.7 ± 2.5	135	0.2
Li	0.14	0.04**	0.05	0.13	0.11	0.06	0.04	0.25	0.11	0.85	1.03	2.4*	2.06	0.56 ± 0.22	145	0.1
V	0.48	0.08	0.1	0.18	0.16	0.07	0.06**	0.17	0.15	0.38	0.8	0.9	1.35*	0.38 ± 0.11	107	1.6
Токсичные микроэлементы																
Ba	32	38.2	73.9	19.7	20.5	96.5*	24.2	36.4	10.9	11.8	15.1	28.6	4.8	32.0 ± 7.0	82	14
Sb	0.04	0.003**	0.004	0.04	0.01	0.003**	0.01	0.11	3.71	1.19	3.82	5.51*	2.7	1.3 ± 0.5	146	0.06
Pb	0.95	0.03**	0.06	4.16*	0.09	0.07	0.12	0.39	1.75	0.64	0.92	1.27	0.86	0.87 ± 0.31	129	2.7
Cd	0.05	0.06	0.19	0.05	0.03	0.2	0.16	0.06	0.75*	0.15	0.47	0.15	0.02	0.18 ± 0.06	116	0.6
Bi	0.17	0.001**	0.001**	0.36	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.15	0.08	0.11	0.13	0.39*	0.107 ± 0.037	126	0.06
Be	0.01	0.003**	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.07*	0.03	0.03	0.019 ± 0.005	94	0.1
Относительная сумма, %																
5	4	5	4	5	5	5	5	11	11	13	14	17	3			

* Максимальная концентрация элемента. ** Минимальная концентрация элемента.

Дефицит селена чаще всего обнаруживался в районах, где распространены гранитоиды и пойменные лугово-аллювиальные типы почв. В почвах, содержащих карбонатные подпочвы, показатели подвижности селена значительно больше. Усугубляет нехватку селена повышенное содержание мышьяка и ТМ, попадающих в ландшафты в результате добычи золота и разработки многочисленных полиметаллических месторождений, а также за счет других не менее важных факторов, таких как интенсивность эксплуатации сельскохозяйственных земель или распространение мерзлоты [16].

Условно жизненно необходимые микроэлементы. Бор. Средняя концентрация элемента в листьях березы на пробных площадях была меньше кларка в 2.7 раза и варьировала от 8.8 до 45.1 мг/кг. Близкое к кларку наземных растений накопление элемента обнаружено на площадях ЗИФ-2.

Никель. Средняя концентрация элемента в листьях березы на пробных площадях была больше кларка в 3.3 раза и варьировала от 1.0 до 37.6 мг/кг. Значительное превышение концентрации элемента по отношению к кларку было на площадях хвостохранилища ЗИФ-2, а также березовом лесу в долине ручья Холбонский на юго-восточном склоне хребта Борщовочный.

Мышьяк. Концентрация элемента в листьях березы характеризовалась высоким варьированием на пробных площадях ($C_V = 135\%$), от 0.001 до 26.3 мг/кг. Наибольшие концентрации мышьяка были на нарушенных производственной деятельностью площадях. Это связано с тем, что лежалые хвосты обогатительных фабрик комбината “Балейзолото” наряду с золотом и серебром содержат наиболее высокие концентрации мышьяка, а также сурьмы и цинка [17]. На ряде площадей, занятых природными растительными сообществами, накопление мышьяка в листьях было значительно меньше кларка.

Литий. Средняя концентрация элемента в листьях березы была больше кларка в 5.6 раза и характеризовалась значительным варьированием на пробных площадях ($C_V = 145\%$), от 0.04 до 2.4 мг/кг. Относительно высоким накоплением лития отличались листья березы на площадях хвостохранилищ ЗИФ-1 и ЗИФ-2.

Ванадий. Средняя концентрация элемента в районе исследования была меньше кларка наземных растений в 4.2 раза. Варьирование его накопления на пробных площадях было значительным ($C_V = 107\%$), от 0.06 до 1.35 мг/кг. Максимальная концентрация элемента отмечена на одной из площадей хвостохранилища ЗИФ-2.

Токсичные микроэлементы. Барий. В районе исследования средняя концентрация бария в листьях березы была больше кларка наземных растений в 2.3

раза, и варьировала на пробных площадях от 4.8 до 96.5 мг/кг. Наибольшее накопление элемента в листьях березы отмечено на хвостохранилище моноцитов. Закономерности изменения концентрации элемента в природных местах произрастания березы и на площадях, нарушенных производственной деятельностью, не обнаружены.

Сурьма. Средняя концентрация элемента в районе исследования была в 21.7 раза больше кларка наземных растений. Относительно высокие концентрации сурьмы были обнаружены на площадях, нарушенных производственной деятельностью: отвале штольни Средне-Голготайского месторождения золота, хвостохранилищах ЗИФ-1 и ЗИФ-2.

Свинец. Среднее содержание свинца в листьях березы в районе исследования было в 3 раза меньше кларка наземных растений, за исключением пробных площадей в березняке, расположенном в долине ручья Кибирева, где накопление элемента было в 1.5 раза больше кларка. Закономерности изменения концентрации элемента на пробных площадях не обнаружено.

Кадмий. Токсическая доза для человека равна 3–330 мг, летальная — 1.5–9.0 г. По отношению к кларку наземных растений средняя концентрация кадмия в листьях березы в районе исследования была в 3.3 раза меньше. Близкое к кларку накопление элемента в листьях березы отмечено на отвале штольни Средне-Голготайского месторождения золота и хвостохранилище ЗИФ-2.

Висмут. Средняя концентрация элемента в листьях березы в районе исследования была в 1.8 раза больше кларка наземных растений и отличалась значительным варьированием на пробных площадях от 0.001 до 0.39 мг/кг ($C_V = 126\%$). Наибольшее накопление элемента в большей мере приурочено к нарушенным местопроизрастаниям березы.

Бериллий. Средняя концентрация элемента в листьях березы в районе исследования была 5.3 раза меньше кларка наземных растений.

Таким образом, из числа жизненно необходимых элементов превышала кларк наземных растений средняя концентрация в листьях березы повислой Fe, Mo, Co, Zn, Mg, Ni, Li, особенно Cr (в 55 раз) и As (в 34 раза). Концентрация Mn и P была близка кларку, накопление в листьях березы Ca, Cu, Se, B, V и особенно Na (в 25 раз) значительно меньше кларка, что возможно было связано с геохимией грунта и почв района исследования. Концентрация в листьях березы токсичных элементов Ba, Bi и особенно Sb (больше в 21.7 раза) превышала кларк наземных растений. Накопление Pb, Cd и Be было меньше кларка наземных растений.

Листья и почки березы повислой используют в официальной медицине. Превышение предельно

допустимого содержания мышьяка, согласно требованиям ОФС.1.5.3.0009.15 [18] в лекарственном сырье, отмечено на хвостохранилищах золотоизвлекательных фабрик и особенно на отвалах штольни Средне-Голготайского месторождения. Концентрация мышьяка на этих объектах превышала норму в 4–53 раза. Концентрация других элементов в листьях березы, таких как Pb, Cd, на содержание которых установлены ПДК, находилась в норме.

Население района исследования может использовать березу в качестве веточного корма для мелкого рогатого скота и кроликов. В России установлен максимально-допустимый уровень (МДУ) химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных (грубые и сочные корма) [19]. При заготовке веточного корма важно учитывать, что концентрация элементов в листьях березы на ряде пробных площадей превышала МДУ: цинка – в 1.2–9.0 раз, железа – в 1.5–8.0, сурьмы – в 2.3–11.0, никеля – в 2–12, хрома – в 2.0–132, кобальта – в 1.2–2.1, мышьяка – в 1.5–53, кадмия – в 1.6–2.5 раза. Анализ образцов почвы на валовое содержание химических элементов провели на пробных площадях, расположенных на территории производственных объектов: отвале штольни Средне-Голготайского месторождения золота (пробная площадь № 9), хвостохранилищах ЗИФ-1 (пробная площадь № 8) и ЗИФ-2

(пробные площади № 10–13). Более высокое содержание большинства исследованных элементов было на отвалах штольни. Значительно превышало кларк земной коры содержание в почве мышьяка, сурьмы, а также свинца и хрома. Содержание других элементов было близко к кларку или в 2 раза меньше его (табл. 3).

Коэффициенты биологического поглощения химических элементов были определены на площадях, нарушенных производственной деятельностью: хвостохранилищах ЗИФ-1 и ЗИФ-2, отвале штольни Средне-Голготайского месторождения золота. Результаты свидетельствовали об относительно высоком накоплении в листьях березы Zn, Mn, P, Ca, Mg и низком накоплении Ba, Ni, Pb, As, Fe, Sb, Na и V (табл. 4).

Концентрации ряда химических элементов в листьях березы были корреляционно связаны между собой. Например, величина поглощения цинка корреляционно связана с концентрацией молибдена, селена, кальция, магния, мышьяка – с величиной поглощения кальция, молибдена, сурьмы, кадмия и селена (табл. 5).

Корреляционные связи между концентрациями химических элементов могут быть объяснены биохимическими особенностями вида растения и геохимией ландшафта.

Таблица 3. Валовое содержание химических элементов в почве, мг/кг

Элемент	Кларк в земной коре [20]	Номер пробной площади						$X_{cp} \pm s_x$	$C_v, \%$
		8	9	10	11	12	13		
Fe	46500	21475	31300*	17000	26000	19000	15000**	21600 ± 2480	28
Ca	29600	12850	32500*	10939	4218**	12798	4862	13000 ± 4200	79
Mg	18700	5900	18500*	6995	3618	9527	3136**	7950 ± 2320	71
Na	25000	3300	14000*	9201	3191**	6530	6159	7060 ± 1660	58
P	930	950	1900*	785	1221	1090	698**	1110 ± 180	39
As	1.7	626	1290	560	1530*	880	860	958 ± 155	40
Ba	650	400	700*	520	450	480	380**	488 ± 47	24
Mn	1000	500	500*	400	200**	400	300	383 ± 48	31
Cr	83	47	200	135	230*	115	82	135 ± 29	52
Sb	0,5	67	113*	—	—	—	—	90 ± 23	36
Zn	83	62	142*	46	35**	47	51	64 ± 16	62
Pb	16	18	150*	—	—	19	—	62 ± 44	122
V	90	45	55	60	82	83*	40**	61 ± 7	30
Ni	58	33	76.5*	—	—	—	—	55 ± 22	57
Co	18	7	14*	7.7	9.5	11	7.7	9.5 ± 1.1	28

* Максимальная концентрация элемента. ** Минимальная концентрация элемента.

Таблица 4. Коэффициенты биологического поглощения (КБП) элементов листьями березы повислой

Элемент	Пробная площадь, № (местоположение)						Среднее
	8 (ЗИФ-1)	10 (ЗИФ-2)	11 (ЗИФ-2)	12 (ЗИФ-2)	13 (ЗИФ-2)	9 (отвал штольни)	
Zn	4.9	4.9	6.5	9.8	0.93	1.5	4.76 ± 1.34
Mn	0.24	5.3	6.0	1.7	0.57	0.15	2.33 ± 1.08
P	1.5	2.7	2.4	1.8	1.3	0.33	1.66 ± 0.34
Ca	0.85	1.61	4.1	1.8	0.45	0.56	1.56 ± 0.56
Mg	1.50	0.83	1.95	0.80	0.49	0.15	0.95 ± 0.27
Cr	0.018	0.024	0.142	0.057	0.80	0.004	0.17 ± 0.13
Co	0.089	0.274	0.221	0.102	0.12	0.022	0.14 ± 0.04
Ba	0.091	0.023	0.000	0.060	0.013	0.016	0.03 ± 0.01
Ni	0.035	—	—	—	—	0.020	0.03 ± 0.01
Pb	0.022	—	—	0.067	—	0.012	0.03 ± 0.02
As	0.003	0.017	0.011	0.021	0.015	0.020	0.02 ± 0.00
Fe	0.007	0.019	0.023	0.031	0.052	0.005	0.02 ± 0.01
Sb	0.002	—	—	—	—	0.033	0.02 ± 0.02
Na	0.011	0.005	0.017	0.020	0.019	0.002	0.01 ± 0.00
V	0.004	0.006	0.010	0.011	0.034	0.003	0.01 ± 0.01

Таблица 5. Коэффициенты корреляции Пирсона поглощения химических элементов листьями березы повислой (уровень статистической значимости 0.1%)

Элемент	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Na	B	Cr	Ni	As	Cu	Mo	Sb	Pb	Co	Li
Mg	0.72															
Zn	0.87	0.85														
Na				0.78												
B	0.79	0.69	0.82													
Cr				0.83												
Ni				0.78				0.95								
As	0.78															
Mo	0.80				0.70					0.86						
Sb	0.79									0.92		0.82				
Pb											0.92					
Co			0.81				0.71									
Li				0.86		0.89							0.78			
V				0.98		0.83		0.81	0.71							0.90
Cd										0.72						
Bi						0.73								0.75		
Se	0.89				0.78		0.82			0.77			0.84		0.69	0.77
Be				0.68											0.73	

ВЫВОДЫ

Концентрация большинства исследованных химических элементов в листьях березы в районе исследования характеризовалась высоким уровнем изменчивости, что вероятно было связано с геохимическим разнообразием ландшафта. Максимальное поглощение большинства химических элементов было отмечено на площадях, измененных производственной деятельностью.

В природных растительных сообществах, расположенных на хребте Борщовочный, была обнаружена максимальная концентрация Cu, Ni и Pb в листьях березы, что можно объяснять геохимическими особенностями почвы.

Использование листьев березы как лекарственного сырья на ряде исследованных участков недопустимо из-за высокой концентрации в них As, превышающей установленную норму. Накопление в листьях березы Zn, Fe, Sb, Ni, Cr, Co, As, Cd больше максимального допустимого уровня ограничивает использование веточного корма из березы на ряде площадей.

Свойство листьев березы накапливать относительно высокое количество цинка и марганца может быть использовано для экологического и геохимического мониторинга окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rastogi S., Pandey M.M., Rawat A.K.S. Medicinal plants of the genus *Betula* – Traditional uses and a phytochemical–pharmacological review // J. Ethnopharmacol. 2015. V. 159. P. 62–83. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.11.010>
2. Penkov D. Antioxidant activity of dry birch (*Betula pendula*) leaves extract // Folia Med (Plovdiv). 2018. V. 60. № 4. P. 571–579. <https://doi.org/10.2478/folmed-2018-0035>
3. Змитрович И.В., Денисова Н.П., Баландайкин М.Э., Белова Н.В., Бондарцева М.А., Переведенцева Л.Г., Перелыгин В.В., Яковлев Г.П. Чага и ее биоактивные комплексы: история и перспективы // Формулы фармации. 2020. Т. 2. № 2. С. 84–93. <https://doi.org/10.17816/phf34803/2713-153X-2020-2-2-84-93>
4. Кузнецова Т.Ю., Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Аккумуляция тяжелых металлов в различных органах и тканях березы в зависимости от условий существования // Тр. Карел. НЦ РАН. 2015. № 1. С. 86–94. <https://doi.org/10.17076/eco27>
5. Ветчинникова Л.В., Кузнецова Т.Ю., Титов А.Ф. Особенности накопления тяжелых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях севера // Тр. Карел. НЦ РАН. 2013. № 3. С. 68–73.
6. Панин М.С., Жилкишинова Д.С., Есенжолова А.Ж. Микроэлементный состав листьев *Betula pendula* Roth, произрастающей в горнодобывающих и урбопромышленных ландшафтах Восточного Казахстана // Экол. урбан. территорий. 2012. № 3. С. 75–81.
7. Масленников П.В., Дедков В.П., Куркина М.В., Ващайкин А.С., Журавлев И.О., Бавтрук Н.В. Аккумуляция металлов в растениях урбоэкосистем // Вестн. Балт. фед. ун-та им. И. Канта. 2015. № 7. С. 57–69.
8. Протасова Н.А., Беляев А.Б. Химические элементы в жизни растений // Сорос. обр. журн. 2001. № 3. С. 25–32.
9. Диярова Э.Р., Гиниятуллин Р.Х., Кулагин А.А. Содержание металлов в древесных растениях, произрастающих на отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината Республики Башкортостан // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2009. № 6. С. 118–120.
10. Zakrzewska M., Klimek B. Trace element concentrations in tree leaves and lichen collected along a metal pollution gradient Near Olkusz (Southern Poland) // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 2017. № 100(2). P. 245–249. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2219-y>
11. Gorelova S.V., Frontasyeva M.V. The use of higher plants in biomonitoring and environmental bioremediation // Phytoremediation. Springer, Cham, 2017. С. 103–155.
12. Экспериандова Л.П., Беликов, К.Н., Химченко С.В., Бланк Т.А. Еще раз о пределах обнаружения и определения // Журн. аналит. хим. 2010. Т. 65. № 3. С. 229–234.
13. Воткевич Г.В., Кокин А.В., Мирошников А.Е., Прохоров В.Г. Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990. 480 с.
14. Горбунова В.Д., Махнев А.К. Соотношение элементов питания в листьях белых берез вдоль высотного градиента Северного Урала // Леса России и хоз-во в них. 2017. № 4(63). С. 48–55.
15. Волова А.В., Наквасина Е.Н. Содержание макро- и микроэлементов в листьях березы (*Betula pendula* Roth) различных форм // Лесн. вестн. / Forest. Bul. 2019. Т. 23. № 6. С. 5–12.
16. Ermakov V., Jovanovic L. Characteristics of selenium migration in soil–plant system of East Meshchera and Transbaikalia // J. Geochem. Explor. 2010. V. 107. № 2. P. 200–205. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2010.07.007>
17. Юргенсон Г.А., Шумилова Л.В., Хатькова А.Н. Легкие золотоносные хвосты комбината “Балей-

- золото”: проблема утилизации // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2021. Т. 27. № 4. С. 45–54. <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2021-27-4-45-54>
18. ОФС.1.5.3.0009.15 Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах [Электр. ресурс]. URL: <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-5-3-0009-15-opredelenie-soderzhaniya-tyazhelyh-metallov-i-myshyaka-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennyh-rastitelnyh-preparatah/> (дата обращения 15.11.2022).
 19. Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках [Электр. ресурс]. URL: <https://fsvps.gov.ru/ru/fsvps/laws/6198.html> (дата обращения 15.11.2022).
 20. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. Вып. 7. С. 555–571.

Elemental Composition of the Leaves of the Hanging Birch (*Betula pendula* Roth) in the Area of the Transbaikalia Gold Deposit

V. P. Makarov^{a, #}, R. A. Filenko^a, I. E. Mikheev^a, T. V. Zhelibo^a,
E. A. Banshchikova^a

^a*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS,
ul. Nedorezova 16a, Chita 672014, Russia*

[#]*E-mail: vm2853@mail.ru*

The influence of gold mining on the concentration of chemical elements in *Betula pendula* Roth leaves was studied. The intensity of absorption by the plant of a number of chemical elements, the possibility of using birch as a medicinal and forage plant, as well as for monitoring habitat changes were investigated. The study was conducted in plant communities located at production facilities and natural habitats in the area of the Baley gold deposit: tailings dumps of gold recovery factories (ZIF-1 and ZIF-2), a drainage landfill, a dump of the Sredne-Golgotai gold deposit, a tailings dump after processing monocytes, as well as in natural plant communities located in the vicinity of Baley at 13 trial sites in 2008, 2008 and 2021. The concentrations of elements in the leaves were arranged in descending order in the following sequence: Ca > Mg > P > Mn > Fe > Zn > Na > Ba > B > Cr > Ni > As > Cu > Mo > Sb > Pb > Co > Li > V > Cd > Bi > Se > Be. With respect to the clark of terrestrial plants, the concentrations of the elements were in the following order: Cr > As > Sb > Li > Ni > Ba > Fe > Mo > Bi > Co > Zn > Mg > Clark > Mn > P > Ca > Cu > B > Pb > Se > Cd > V > Be > Na. The absorption of As at production facilities exceeded the norm established for medicinal plant raw materials. The use of branch feed in a number of areas is not allowed due to the high level of Zn, Fe, Sb, Ni, Cr, Co, As, Cd. A relatively high coefficient of biological absorption by birch leaves Zn, Mn, P, Ca, Mg was obtained.

Keywords: *Betula pendula*, absorption of chemical elements, gold deposit.