

Янин Е.П. Химические элементы в березовом соке как индикаторы техногенного загрязнения окружающей среды // Экологическая экспертиза, 2012, № 1, с. 101–112.

Берёзовый сок (ксилемный сок, пасока), прозрачная, сладковатая жидкость, содержащаяся в сосудах древесины берёзы и образующаяся в больших количествах в период весеннего сокодвижения (с середины апреля до середины мая) [7, 21, 24]. Пасока поступает из корней в надземную часть растения под действием корневого (осмотического) давления, обеспечивает активную жизнедеятельность точек роста деревьев в период их весеннего пробуждения и, в сущности, представляет собой разбавленный раствор минеральных солей и органических веществ. Известно, что количество и состав ксилемного сока древесных растений подвержены не только сезонным, но и суточным колебаниям [17]. В частности, дневное увеличение скорости тока воды, вызванное сильной транспирацией в полдень, снижает концентрацию растворенных в соке веществ. В состав березового сока входят азотистые соединения (аминокислоты, амиды), углеводы, протеины, ферменты и регуляторы роста, особенно цитокинины и гиббереллины, сахара, фенольные соединения (катехин и другие антиоксиданты), различные минеральные вещества и микроэлементы [17, 24, 27, 34, 36, 38, 39]. Весенний березовый сок (весенняя пасока) отличается высоким содержанием (до 18%) сахаров (прежде всего, фруктозы, глюкозы и сахарозы).

В природных условиях содержание химических элементов в березовом соке от типа лесорастительных условий обычно не зависит [27]. Установлено, что по мере увеличения диаметра березы бородавчатой в ксилемном соке возрастали содержания Al, Ba, Fe, Ca, Cu, Mg и Ti. Остальные элементы не обнаруживали какие-либо закономерности, характеризующие зависимость их содержания от диаметра деревьев. На протяжении календарного времени подсочки только Ba, Fe, Ni и Zn существенно не меняли содержания; K, Ca и Si проявляли тенденцию к уменьшению, а Mg и Na – к возрастанию концентраций. В зависимости от формы коры березы бородавчатой в соке находится неидентичное количество химических элементов, однако каких-либо четких закономерностей их распределения не выявлено [27].

Таблица 1. Химические элементы в березовом соке (береза бородавчатая), мг/л [27]

Элемент	Среднее	Амплитуда колебаний	Среднее в водах зоны гипергенеза [29]
Al	1,88	0,06–10,06	0,226
Ba	0,30	0,02–1,60	0,0183
Fe	1,52	0,03–4,72	0,481
Ca	321,11	87,9–841,5	39,2
Cu	следы	следы –0,01	0,00558
Cr	0,05	0,01–0,05	0,00303
K	253,81	160,5–366,5	5,15
Mg	10,21	1,99–19,42	18,2
Mn	5,29	0,20–15,15	0,0545
Na	10,95	2,50–26,50	67,6
Ni	0,02	0,01–0,05	0,00358
Sr	0,23	0,02–0,44	0,183
Si	0,50	0,02–1,82	17,9 (SiO ₂)
Ti	0,29	0,04–0,77	0,0174

По мнению [27], кроме поступления химических элементов из почвы в древесину, а затем в сок, некоторые из них (La, Ni, Pb, Sn и др.), вероятно, поглощаются соком из воздуха. Сведения о том, в какой форме находятся химические элементы в ксилемном соке березы, практически отсутствуют. В.Б. Ильин [11] приводит данные, согласно которым в ксилемном соке различных растений основная масса металлов, по мнению одних исследователей, представлена свободными ионами, по мнению других, металлы-микроэлементы передвигаются с ксилемным соком исключительно в форме хелатов.

Судя по всему, впервые в качестве индикаторного монитора для выявления геохимических аномалий металлов березовый сок был использован на Озерном колчеданно-полиметаллическом месторождении (Западное Забайкалье, юго-запад Витимского нагорья) [18, 19, 38]. Целью работы авторов цитируемых работ являлось определение содержания ряда химических элементов и выявление закономерностей их изменения в соке березы *Betula platyphylla*, а также возможности поисков подобных месторождений по концентрациям характерных для них металлов в березовом соке. С этой целью в 144 пробах березового сока (объемом от 500 до 1000 мл), отобранных (в период весеннего сокодвижения) по 4 профилям в крест простирания рудных тел Озерного месторождения, были определены концентрации К, Са, Mg, Na, Cu, Pb и Zn, а также измерены значения рН (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав сока берез, произрастающих на Озерном месторождении, мг/л [19]

Элемент	Среднее	Интервалы	Среднее в водах зоны гипергенеза [29]
рН	6,5	5,7–7,6	6,90
Калий	114,3	1,9–245,2	5,15
Кальций	88,3	8,1–221,1	39,2
Магний	22,5	2,4–45,6	18,2
Натрий	1,31 *	0,09–11,0	67,6
Медь	0,034 *	0,01–0,09	0,00558
Свинец	0,022	< 0,007–0,09	0,00297
Цинк	3,0 *	0,11–17,2	0,0414

* Среднее квадратичное.

Связи с месторождением для проб с аномальными содержаниями натрия не установлено. Пробы сока с повышенными содержаниями меди пространственно тяготели к месторождению свинца и цинка, однако интенсивность аномалий невелика. Преимущественно невысокие уровни свинца в соке авторы цитируемых работ объясняют вероятным выпадением его из грунтовых растворов вследствие образования слаборастворимых карбонатов, а также с наличием для свинца биологических барьеров в корневой системе березы *Betula platyphylla*. Пробы сока с высокими содержаниями цинка четко тяготели к месторождению. В одном случае установлено экстремально высокое содержание этого металла в соке (17,2 мг/л). Очевидно, как полагают авторы, для цинка отсутствует биологический барьер в системе питания березы *Betula platyphylla*. Действительно, известно, что некоторые виды и генотипы растений обладают высокой толерантностью к цинку и большой способностью к селективному поглощению его из почв до экстремально высоких концентраций без видимых симптомов токсикоза [13, 35]. Не исключено, что род *Betula* является цинкофилом, что, в частности, подтверждается данными экспериментов по определению толерантности по отношению к цинку, когда проростки видов *Betula pendula* и *Betula pubescens* развивались при концентрации этого металла в растворе свыше 100 мг/л

[12]. Согласно [1], появление признаков токсичности цинка у растений наступает при экстремально высоком его содержании в тканях (300–500 мг/кг сухой массы), тогда как обычное содержание цинка в частях растений, бедных хлорофиллом, составляет 7–27 мг/кг, в материалах, богатых хлорофиллом, – 40–95 мг/кг.

Для увеличения интенсивности выделяемых геохимических аномалий и учета изменений содержания металлов в процессе сокодвижения авторы [19] рекомендуют рассчитывать отношение концентраций цинка к сумме содержания К, Са и Mg (рис. 1).

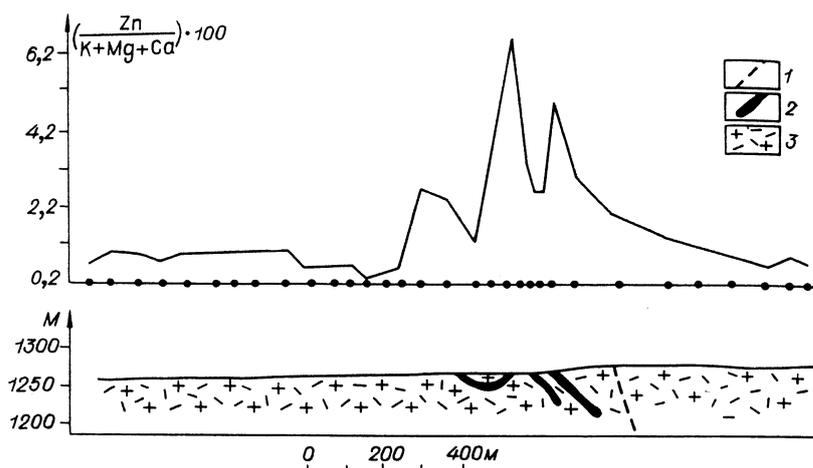


Рис. 1. Относительные концентрации цинка в пробах березового сока по разведочной линии с привязкой к рельефу [19]:

1 – разломное нарушение; 2 – рудные тела; 3 – вмещающие вулканогенно-осадочные породы.

Наиболее перспективно применение данного метода поисков месторождений на площадях с закрытыми литохимическими ореолами и отсутствием выходов грунтовых вод, которое исключает использование гидрогеохимических методов [19, 37]. Глубинность метода определяется глубиной проникновения корневой системы растений и соответствует глубинности обычных биогеохимических методов поиска рудных месторождений. По мнению авторов цитируемых работ, данный метод является менее трудоемким, нежели другие разновидности биогеохимических поисков рудных месторождений. Он может применяться для поисков месторождений цинка и молибдена, а также для выявления отдельных рудных тел в пределах месторождений. По сообщению [2], в березовом соке способно накапливаться золото, что может использоваться в качестве индикатора золотых месторождений.

В работе [10] приведены результаты исследований особенностей концентрирования фтора и некоторых других химических элементов в соке берез, произрастающих в пределах Улунтуйского кварц-флюоритового месторождения в Восточном Забайкалье и фонового участка в сходных ландшафтно-геохимических условиях (табл. 3). Установлено, что содержания фтора в березовом соке в пределах рудной площади изменялись от 0,02 до 2,39 мг/л, тогда как на фоновом участке они составляли 0,01–0,09 мг/л. Максимальная концентрация фтора в пробах березового сока выявлена на юго-западном фланге место-

рождения, причем пики содержаний этого элемента были приурочены к полосе, протягивающейся субпараллельно рудовмещающей зоне и приурочены к участку, расположенному параллельно рудной зоне. В пределах последней в березовом соке наблюдались существенно более высокие (по сравнению с фоном) концентрации натрия, цинка и марганца, тогда как уровни содержания кальция, магния, калия и стронция были заметно ниже, чем на фоновой территории. В целом же рудная площадь отличается заметно более высокой площадной неоднородностью распределения фтора и других химических элементов в березовом соке.

Таблица 3. Среднее содержание химических элементов в березовом соке в пределах рудной площади и фонового участка [10]

Элемент	Рудная площадь		Фоновый участок	
	мг/л	вариация, %	мг/л	вариация, %
Ca	64,5	76,0	102,8	46,3
Mg	15,5	60,6	18,7	27,2
Na	2,7	134,5	1,1	99,1
K	48,9	87,2	106,2	38,1
Zn	2,00	66,2	1,68	55,5
Mn	7,10	122,8	5,02	68,4
Sr	0,66	67,7	1,10	41,5
F	0,10	99,1	0,03	120,2
F, %	0,07	127,4	0,01	101,7

Для оценки природы аномальных содержаний фтора авторами [10] были определены его относительные концентрации в соке (в табл. 3 они выражены в «‰»), пересчитанные на суммарные содержания изученных металлов. Оказалось, что в пробах над рудной зоной они составляли 0,3–1,2‰, над предполагаемым флюоритовым оруденением – 1,57‰, а в пределах фоновой территории изменялись от 0,002 до 0,2‰. Таким образом, флюоритовое оруденение отчетливо фиксируется повышением как удельных, так и относительных концентраций фтора в березовом соке. Авторы цитируемой работы считают, что простота и экспрессность (непосредственно в полевых условиях) аналитического определения фтора позволяет рассматривать опробование березового сока как перспективный способ геохимических поисков флюоритсодержащего оруденения.

В работе финских исследователей [33] рассматриваются вопросы использования березового сока как компонента опробования при геохимических поисках рудных месторождений. Основными факторами, влияющими на процедуру опробования, являются ежедневные и сезонные вариации состава сока, а также неоднородность подстилающих горных пород. При биогеохимической съемке в районе полиметаллического (Pb, Zn, Ag) сульфидного месторождения Атту, расположенного в юго-западной Финляндии, в весенние сезоны 1978–1987 гг. авторами было отобрано около 40 проб сока различных берез (в основном *Betula verrucosa* Ehrh.). В соке исследовано распределение 15 химических элементов, включая Cu, Cd, Pb, Ag, Zn. Установлено, что концентрации Ca, Mg, P, Mn и Zn заметно превышали 1 мг/л. Существенные аномалии типоморфных для данного оруденения Pb, Zn, Ag и Cd были обнаружены над месторождением, что свидетельствует о потенциальном использовании березового сока как монитора при биогеохимических поисках.

Для оценки реакции растения на техногенное загрязнение проведено изучение содержания микроэлементов в березовом соке [28]. По мнению авторов цитируемой работы,

изучение состава березового сока, во-первых, позволяет установить интенсивность биогеохимического потока химических элементов в растения, во-вторых, исключает какие-либо ошибки, связанные с механическим загрязнением (при использовании для указанной цели листьев, веток и коры деревьев). Результаты атомно-абсорбционного анализа показали, что в соке берез, произрастающих вблизи источника загрязнения (завод цветных металлов), наблюдалось повышенное содержание ряда тяжелых металлов (содержащихся в промышленных выбросах и формирующих аномалии в почвах) по сравнению с участками, удаленными от завода (табл. 4).

Таблица 4. Среднее содержание тяжелых металлов в березовом соке, мкг/г [28]

Металл	Вблизи источника загрязнения	Вне влияния источника загрязнения (местный фон)	Коэффициент концентрации в зоне загрязнения (относительно местного фона)
Цинк	4300	2320	1,85
Медь	58	36	1,61
Никель	84	62	1,35
Кадмий	7	3	2,33
Свинец	37	10	3,70

В работе [12] изучено распределение различных химических элементов в соке берез, произрастающих в дубовых лесах низкогорий Сихотэ-Алиня в разных эколого-геохимических условиях (табл. 5). Основные результаты сводятся к следующему. Так, вне зависимости от вида и места произрастания берез, сок имеет узкий интервал значений pH (5,66–5,95). Растения сами стабилизируют кислотность своих растворов. Основными катионами являются Ca^{2+} и K^+ , в ничтожных количествах содержится натрий. Не выявляется видовых различий в содержании катионов. Несколько повышенные концентрации кальция характерны для сока берез, произрастающих на почвах на известняках (в данном случае в лизиметрических водах наблюдались повышенные содержания кальция). Ряд концентраций микроэлементов в соке берез в фоновых условиях выглядит следующим образом: $Mn > Zn > Fe > Al > Cu > Ti > Pb > Cd$. В аномальных условиях содержания рудных элементов в березовом соке существенно возрастают (иногда в десятки раз). В наибольшей степени увеличиваются концентрации свинца, кадмия и цинка, что отражает характер рудной минерализации. Самое высокое обогащение сока металлами устанавливается в почвах с наиболее кислыми водами, развитыми в пределах техногенной геохимической аномалии.

Таблица 5. Содержание химических элементов в березовом соке в различных эколого-геохимических условиях (Ca, Mg, K, Na – в мг/л, остальные элементы – в мкг/л) [12]

Береза	pH	Ca	Mg	K	Na	Pb	Zn	Cd	Cu	Fe	Mn	Al	Ti
<i>Техногенная геохимическая аномалия</i>													
<i>B. manchurica</i>	5,78	49	30	92	0,4	281	2300	11,5	19	131	400	71	9,5
<i>B. dahurica</i>	5,84	84	27	92	0,9	21	890	2,3	14	120	352	77	8,1
<i>B. manchurica</i>	5,93	67	26	80	0,7	115	882	5,0	18	92	344	74	7,9
<i>Природная геохимическая аномалия (полиметаллическое рудопроявление)</i>													
<i>B. manchurica</i>	5,66	111	18	76	0,4	260	2580	1,5	27	120	340	93	6,1
<i>B. dahurica</i>	5,75	99	13	81	0,4	24	505	1,4	17	102	272	42	6,1
<i>Фоновые условия</i>													
<i>B. manchurica</i>	5,95	89	27	72	0,5	7	228	0,2	10	86	274	64	7,5
<i>Концентрация в лизиметрических водах в фоновых условиях</i>													
	5,04	8,2	1,2	3,4	2,4	100	131	1,0	57	159	110	213	7,8

Авторы [32] отмечают возможность использования березового сока как биоиндикатора загрязнения почв металлами. Они установили, что уровни меди и цинка в пасоке березы *Betula pendula* имели положительную корреляцию с содержанием тех форм нахождения металлов в почвах, которые экстрагируются из них царской водкой, уровни железа и марганца в березовом соке хорошо коррелировали с металлами, извлекаемых из почв раствором хлористого кальция (CaCl_2), а кадмия – с концентрациями металла, извлекаемого из почв аммонийно-ацетатной вытяжкой.

В [14] рассмотрено накопление тяжелых металлов и анатомическое изменение эпидермы листьев *Betula verrucosa* в условиях техногенного загрязнения. Обнаружено увеличение содержания меди, цинка и свинца в пасоке и листьях березы *Betula verrucosa* в градиенте токсической нагрузки.

Детальные исследования распределения широкой группы химических элементов в кислых растворах березы *Betula pendula* Roth. выполнен сотрудниками Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН [3–5, 26]. Отбор березового сока производился в 1999 – 2002 гг. на нескольких участках в Приангарской промышленной зоне (рис. 2).

Первый участок приурочен к северо-восточной окраине г. Иркутска, где основными источниками загрязнения являются автотранспорт и теплоэнергетический комплекс. Кроме того, данный район выделяется тем, что здесь распространены часто возгорающиеся торфяники. Продукты горения выпадают на расположенный вблизи них лесной массив. В результате, растущие сосны приобретают рыжую окраску и наблюдается интенсивное высушивание хвои. Листья берез в этом массиве также имеют значительные повреждения, особенно вблизи горящих торфяников.

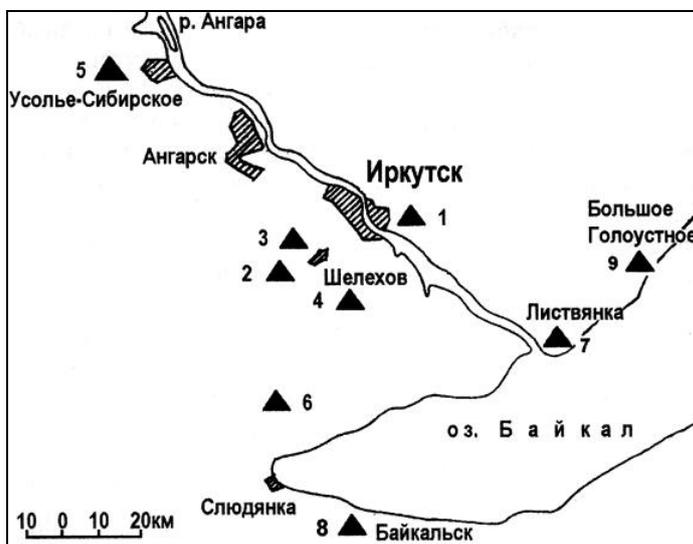


Рис. 2. Схема расположения участков отбора проб березового сока [3].

Участки 6–9 располагаются на побережье оз. Байкал, в основном за пределами прямого влияния промышленных объектов, хотя участок 8 может быть подвержен влиянию выбросов ЦБК, расположенного в г. Байкальске (сернистые и хлорорганические соединения).

В табл. 6 приведено среднее содержание химических элементов в березовом соке, отобранном из 5–8 деревьев на каждом участке. Всего проанализировано более 150 проб березового сока. Установлено, что фоновые районы характеризуются следующим рядом

Отбор березового сока в районе г. Шелехова (алюминиевый завод и теплоэнергетический комплекс) выполнен на участках 2, 3 и 4 (см. рис. 2). Второй и третий участки расположены в 1–1,5 км от алюминиевого завода; четвертый участок находится за п. Олха, в 3 км от основного техногенного источника, в зоне максимального выпадения твердой фракции аэровыбросов, что обусловлено атмосферным переносом, связанным с преобладающим ветром. Участок № 5 расположен в 5 км от г. Усолье-Сибирское (химическая промышленность).

распределения химических элементов в березовом соке (мкг/л): $K_{41000} > Mn_{6500} > Na_{6200} > S_{5100} > Zn_{1469} > Ba_{558} > F_{400} > Sr_{150} > Fe_{126} > Al_{51} > Rb_{14,4} > Cu_{14,1} > Pb_{3,5} > Co_{3,5} > Ti_{2,5} > Cr_{1,9} > Cd_{1,1}$. Остальные микроэлементы в березовом соке фонового участка имеют содержания менее 1 мкг/л. Как и во всех растениях, в соке накапливаются преимущественно биофильные элементы. Относительно кларка поверхностных вод, в соке большинство химических элементов имеют повышенные концентрации, кроме V, Mo, As.

Таблица 6. Распределение содержания химических элементов в березовом соке (в скобках – номер участка на рис. 1) [3, 5]

Элемент	Иркутск (1)	Шелехов			Усолье-Сибирское (5)	Подкаменная, фон (6)	Листвянка (7)	Байкальск (8)	Бол. Голоустное (9)	Среднее содержание в речных водах [8, 9, 31]
		(2)	(3)	(4)						
K	162	114,5	97,3	48,1	53	41	170	108	173	2100
Na	3,6	0,3	0,4	0,06	1,8	0,2	0,12	0,05	0,33	6900
F	1,3	1	1	2	1	0,4	0,5	0,4	0,5	100
S	12,5	3,9	3,3	3	5	5,1	3	5,5	2	-
Mn	12,8	7,1	5,8	3,7	2	6,5	4,2	6,1	4,6	10,0
Fe	189	230	145	234	149	126	118	67,5	88	410
Al	170	214	179	298	120	51	75	110	75	160
Ti	2,4	5,3	1,9	5,7	3,9	2,5	12,5	4,4	4,0	3,0
Be	0,14	0,17	0,07	0,11	0,08	0,04	0,06	0,07	0,06	0,3
V	0,13	0,51	0,10	0,30	0,34	0,13	0,9	0,06	0,29	1,0
Cr	3,0	4,4	2,1	3,4	3,7	1,9	5,5	5,3	5,2	1,0
Co	4,5	3,0	1,8	1,8	3,0	3,2	23,2	10,6	2,6	0,3
Ni	26,5	27,9	32,3	19,6	12,9	43,9	25,3	22,2	8,6	2,5
Cu	21,0	19,6	14,8	14,6	15,3	14,1	18,3	11,5	13,8	7,0
Zn	2403	2118	1549	1536	1614	1469	1027	1030	930	20,0
Ge	45,2	38,6	29,1	28,5	29,5	27,7				0,07
Cs	1,3	0,44	0,36	0,25	0,17	0,06	0,19	2,1	0,4	0,03
Ba	1105	1001	721	575	655	558	833	524	268	20,0
Sr	617	296	281	133	179	150	321	347	162	50
As	0,15	0,44	0,17	0,29	0,34	0,17	0,03	0,02	0,6	9,5
Rb	283,9	32,6	151,5	93,4	132,6	14,4	222	428	118	2,0
Mo	0,20	0,23	0,16	0,22	0,28	0,42	0,1	0,01	0,19	1,0
Cd	6,9	2,6	1,3	1,1	1,3	1,1	1,4	2,0	0,9	0,20
Sn	0,44	0,47	0,50	0,63	1,0	0,46	0,7	0,13	0,5	-
Pb	13,2	24,1	26,5	16,3	7,0	3,5	1,7	2,5	1,4	1,0
U	0,46	0,43	0,38	0,41	0,41	0,20	0,8	1,0	0,15	0,5
Hg	0,03	0,01	0,25	0,15	0,07	0,02	0,26	0,1	0,56	0,08

Максимальные накопления практически всех изученных химических элементов в соке березы наблюдались на участке 1, в зоне влияния горящих торфяников в окрестностях Иркутска, которые выделяют в атмосферу CO_2 и серу. Это приводит к увеличению кислотности почв (рН 5,6–6,1), что способствует формированию подвижных форм химических элементов, их активному выносу и последующему накоплению в соке. Березовый сок имеет узкий интервал значений рН 5,6–6,1, что указывает на кислую его реакцию, мало зависимую от условий окружающей среды. Как уже отмечалось выше, это обусловлено тем, что растения, по-видимому, сами стабилизируют кислотность своих растворов. В зоне влияния Шелеховского (Иркутского) алюминиевого комбината (участки 2–4) в березовом соке установлены высокие концентрации F, Be, Pb, Al, Fe, Ti, V, Cr, превышающие фоновые содержания в 4–7 раза. Именно данная группа химических элементов является типичной для данного участка, накапливаясь не только в растениях, но и в других компонентах окружающей среды [6]. Повышенные уровни ртути в березовом соке в пределах участков 7 и 9, расположенных в зоне влияния Приморского глубинного разлома, по спра-

ведливому мнению авторов цитируемых работ, обусловлены природными факторами: поступление по глубинным сейсмогенерирующим разломам паров ртути из подкоровых источников Байкальской рифтовой зоны, что способствует накоплению ртути в почвах (рис. 3). В районе пос. Листвянка и г. Байкальска в березовом соке обнаружены повышенные уровни урана, источником которого могут быть коренные породы, содержащие этот элемент.

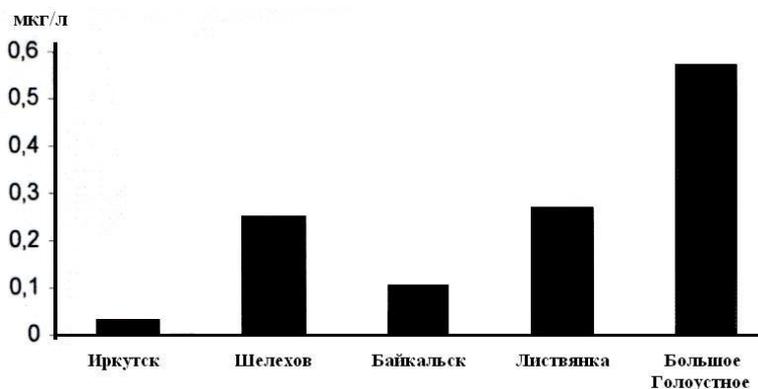


Рис. 3. Ртуть в березовом соке в зоне влияния различных источников [26].

кислым растворах и вегетативных органах растений регулируется внутренними факторами и мало зависит от содержания в почвах. Отношение K/Na , которое может являться индикаторным критерием степени техногенного загрязнения в вегетативных органах растений, в соке не проявляет эти свойства. Сохраняется лишь тенденция уменьшения значений отношения Zn/Cd в соке березы в условиях максимального техногенного загрязнения

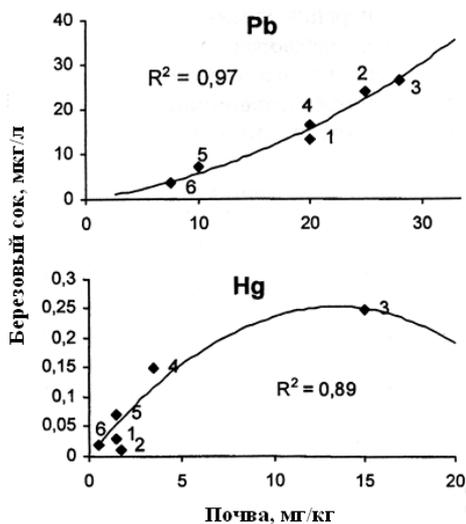


Рис. 4. Зависимость содержания химических элементов в березовом соке от их концентрации в почве, участки 1–6 [3].

растения, заложенными в их генетических особенностях.

2) Поступление тяжелых металлов в кислые растворы зависит от их концентрации в почве, причем наиболее тесные корреляционные связи в этой системе образуют тяжелые металлы – Pb, Hg, Ni и др.

Наиболее тесные корреляционные связи между содержаниями в почве и березовом соке наблюдаются для серы и тяжелых металлов, что хорошо видно на примере свинца и ртути (рис. 4). Это свидетельствует о том, что основным источником поступления серы и тяжелых металлов в растения является почвенный покров, тогда как накопление биофильных элементов в

и в растениях с визуальными признаками метаболических нарушений (участок 1 – 348, 2 – 815, 3 – 1191, 6 – 1335), что, по мнению авторов, может указывать на замещение эссенциального химического элемента Zn на токсичный Cd . Таким образом, отношение Zn/Cd в березовом соке может служить одним из критериев токсического воздействия на растения.

Основные выводы авторов [3–5, 26] сводятся к следующему:

1) Наиболее активно березовый сок поглощает биофильные элементы Mn , K , Ca , Mg , Na и P , накопление которых мало зависит от степени их концентрации в почве, что обусловлено информационными свойствами

3) Интенсивность миграции химических элементов в системе почва-растение, накопление их в ксилемных растворах и других органах растений, во многом зависит от кислотности почвенных растворов и степени загрязнения почвы. В ландшафтах с большой эмиссией серы повышается подвижность многих тяжелых металлов, что способствует их резкому поступлению (одновременно с серой) в ксилемные растворы березы

4) Одним из критериев оценки физиологического состояния растений может служить отношение Zn/Cd в березовом соке.

7) Состав березового сока дает полную информацию о химическом состоянии почвы, о корневом поглощении химических элементов и о поглотительных особенностях растения, о геохимической специфике техногенеза и о природном составе почв, развитых на различных геологических структурах. Наиболее ярким подтверждением этому является накопление в березовом соке высоких концентраций элементов-токсикантов вблизи промышленных городов Иркутска и Шелехова и поступление ртути в ксилемные растворы берез, произрастающих в зоне Приморского глубинного разлома Байкальской рифтогенной зоны.

Березовый сок служит надежным объектом исследования корневого поступления радионуклидов. Так, в [30] рассмотрена возможность накопления в березовом соке радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . Подобные исследования начали проводиться в связи с радиоактивным загрязнением окружающей среды в результате аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) [20, 22]. Достаточно подробно исследованы закономерности корневого поступления ^{137}Cs в березовый сок [22, 23]. В работе [25] приведены результаты исследования особенностей накопления в березовом соке ^{90}Sr и его дочернего радионуклида ^{90}Y .

По данным [20], в первые годы после аварии на ЧАЭС в соке берез, произрастающих в зоне загрязнения, обнаруживался широкий спектр радионуклидов (табл. 7). В последующие 4–5 лет содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr практически не изменились (табл. 8). В 1993 г. загрязнение березового сока определялось исключительно ^{137}Cs и ^{90}Sr , но их концентрации были ниже ПДК для питьевой воды. Следует отметить, что на землях лесного фонда, подвергшихся радиационному загрязнению, заготовка лекарственного сырья в березняках возможна при плотности загрязнения почвы цезием–137 до 5 Ки/км² и стронцием–90 – до 3 Ки/км², а сбор березового сока – до 15 и 10 Ки/км² соответственно [16]. В Республике Беларусь заготовка березового сока разрешена на территориях ГЛФ с плотностью загрязнения почвы цезием-137 до 15 Ки/км² (555 кБк/м²) [15].

Таблица 7. Концентрации радионуклидов в березовом соке в 1988 г., Бк/л [20]

Плотность загрязнения, кБк/м ²	^{144}Ce	^{134}Cs	^{137}Cs	^{95}Zr	^{95}Nb	^{106}Ru	^{90}Sr
50	28	15	59	9	4	42	0,04
100	36	48	196	8	4	50	0,10
500	101	30	122	21	4	106	0,20

Таблица 8. Концентрации радионуклидов в березовом соке в 1989-1993 гг., Бк/л [20]

Плотность загрязнения, кБк/м ²	Нуклид	1989	1990	1991	1992	1993
50	^{137}Cs	2,20	2,30	1,30	1,40	1,40
	^{90}Sr	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
100	^{137}Cs	3,70	5,50	7,40	9,00	8,50
	^{90}Sr	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
500	^{137}Cs	166	19,60	26,00	25,00	23,00
	^{90}Sr	0,04	0,30	0,20	0,30	0,40

Таким образом, береза – один из немногих видов растений, который дает возможность собирать ксилемные растворы в объемах, достаточных для анализа на широкий круг химических элементов. Время сокодвигения характеризует период мобилизации необходимых макроэлементов и микроэлементов, находящихся в запасе. В отличие от исследования вегетативных органов, которые могут аккумулировать атмосферное загрязнение, анализ сока позволяет напрямую изучить поведение химических элементов в системе почва-растение. Содержание различных химических веществ в березовом соке является показателем их поглощения растениями непосредственно из почвы. По содержанию химических элементов в пасоке можно судить об их передвижении из корня в побег, изучать закономерности их корневого поглощения. Особенности распределения химических элементов в березовом соке могут определять не только природными (геохимическими особенностями мест обитания деревьев), но и техногенными факторами, особенно в зонах воздействия промышленных источников загрязнения. Анализ сока позволяет сопоставить поглощение элементов в различных эколого-геохимических условиях, полностью устранив возможное аэральное загрязнение при анализе вегетативных органов. Вероятность интенсивного концентрирования в березовом соке металлов и других элементов, включая радионуклиды, необходимо учитывать при его заготовках для пищевой промышленности и любительском сборе.

Литература

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.
- 8.
- 9.
- 10.
- 11.
- 12.
- 13.
- 14.
- 15.
- 16.
- 17.
- 18.
- 19.
- 20.
- 21.
- 22.
- 23.

24.

25.

26.

27.

28. *Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Смирнова Р.С. и др.* Город как техногенный субрегион биосферы // Биогеохимическое районирование и геохимическая экология. Тр. Биогеохим. лаб., Т. XX. – М.: Наука, 1985, с. 133–166.

29.

30.

31.

32.

33.

34.

35.

36.

37.

38.

39.