

УДК 550.846

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНИКЕ ОБЫКНОВЕННОЙ (*VACCINIUM MYRTILLUS*) НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Барановская Н.В., Черненко Е.В.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, e-mail: scain@rambler.ru

Методом ИНАА проанализирован гербарный и современный материал 49 образцов черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) с территории Западной Сибири, определено содержание 28 химических элементов, рассчитано среднее содержание каждого элемента. Посредством расчета коэффициентов концентраций для каждого химического элемента в составе черники установлена специфика накопления в чернике Томской области европия, а в чернике Республики Алтай – цинка. С помощью статистического анализа выявлены положительные и отрицательные значимые корреляционные зависимости между химическими элементами в составе черники. Показана зависимость уровня содержания самария от лантана, урана от хрома и урана от гафния. Дендрограмма корреляционной матрицы показала четыре крупных ассоциации элементов в составе черники и с учетом динамики элементного состава выявлены как природные так и техногенные факторы формирования состава черники обыкновенной на территории Западной Сибири.

Ключевые слова: черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*), химический элементный состав, Западная Сибирь, среднее содержание, корреляция, динамика содержания, ассоциации элементов

FEATURES OF ACCUMULATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN BLUEBERRIES (*VACCINIUM MYRTILLUS*) IN WESTERN SIBERIA

Baranovskaya N.V., Chernenkaya E.V.

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: scain@rambler.ru

INAA method analyzed herbarium and modern material 49 samples of blueberries (*Vaccinium myrtillus*) from the area of Western Siberia, 28 chemical elements determined the content, calculated mean content of each chemical elements. By estimating coefficients for the concentration of each chemical element in the composition of blueberries established specificity of accumulation in blueberries Tomsk region – Eu, and blueberries in the Altai Republic – Zn. Statistical analysis detected significant positive and negative correlation dependences between chemical elements in the composition blueberries. Shows the dependence of the level of samarium from lanthanum, chromium from uranium, uranium from hafnium. Dendrogram of the correlation matrix showed four major groups elements in the association of blueberries and considering the dynamics of the elemental composition detected as natural and technogenic factors of formation the elemental composition of blueberries in Western Siberia. The elemental composition of blueberries (*Vaccinium myrtillus*) can be an indicator of environmental.

Keywords: blueberries (*Vaccinium myrtillus*), chemical element composition, Western Siberia, the mean content, correlation, dynamics composition, association elements

По содержанию химических элементов в лекарственных растениях в современной литературе приводится большой фактический материал. Актуальность этой темы вполне объяснима, так как знания количественных характеристик содержаний элементов в лекарственных растениях позволяют достоверно оценить качество лекарственного сырья и его пригодность для использования в профилактике и лечении заболеваний человека.

Состав и концентрация элементов в растениях зависит в основном от содержания их в почвенном слое и подстилающих породах, а также от подвижной формы элемента, способной участвовать в формировании естественного потока «почва–растение» [4, 8, 13]. Региональные особенности элементного состава лекарственных растений Западной Сибири определяются видовыми особенностями растений, своеобразием геохимических и климатических условий, спецификой литологического состава под-

стилающих пород, а также техногенной нагрузкой на территории [2, 11, 14].

В связи с изменениями, происходящими на территориях с развитыми процессами техногенеза, весьма актуальным является вопрос динамики изменения химического элементного состава растений. Как правило, для таких исследований используются депонирующие среды [1, 7, 10 и др.]. Однако исследования некоторыми авторами отдельных видов живых организмов показали перспективность использования гербарного материала в сравнении с современными образцами [12].

Черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*) широко используется в медицине и питании человека, она занимает господствующее положение в травяно-кустарниковом ярусе бореальной зоны Западной Сибири [9]. Среднее содержание некоторых химических элементов в составе черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) оценивалось разными исследователями [2, 5, 14, 16]. Но, за исключением нескольких работ,

оценки сведены к анализу содержания ограниченного количества химических элементов, в том числе есть некоторые сведения по содержанию радиоизотопов в ее составе [3, 14, 16]. Изучение динамики элементного состава черники ранее не проводилось.

Цель исследования: выявить особенности накопления химических элементов в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) с учетом динамики на локальных территориях.

Материалы и методы исследования

Надземную часть черники собирали в летний период 2008–2012 гг. в Томской области. Также

были отобраны образцы растений с 1886 по 2000 гг. в гербарии им. П.Н. Крылова «НИ Томского государственного университета» и в гербарии Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. Общее количество проб составило 49 шт. На основе данного материала проведено изучение динамики изменения химического состава и осуществлен анализ статистических и корреляционных показателей.

Изучение элементного состава выполняли методом нейтронно-активационного анализа с облучением тепловыми нейтронами на исследовательском ядерном реакторе Национального исследовательского Томского политехнического университета в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии, имеющей аккредитацию, по аттестованным методикам под руководством старшего научного сотрудника А.Ф. Судыко.

Таблица 1

Содержание элементов в составе черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) и в «обобщенном стандартном растении» по Markert, мг/кг сухого вещества

Элемент	Черника обыкновенная (<i>Vaccinium myrtillus</i>)			Markert, 1991
	Томская область (N = 35)	Алтай (N = 13)	Западная Сибирь (N = 49)	
Na	93 ± 17	369 ± 63	162 ± 27	150
Ca	5579 ± 456	5776 ± 755	5599 ± 380	10000
Sc	0,03 ± 0,006	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,005	0,02
Cr	3,1 ± 0,7	7,6 ± 3,5	4,2 ± 1,1	1,5
Fe	255 ± 40	611 ± 218	292 ± 71	150
Co	0,4 ± 0,05	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,04	0,2
Zn	25 ± 3,4	59 ± 19	34 ± 6	50
As	0,2 ± 0,04	0,3 ± 0,06	0,2 ± 0,04	0,1
Br	7,3 ± 1,0	13 ± 3	8,8 ± 1,1	4
Rb	14 ± 1,4	12 ± 2,7	13,3 ± 1,3	50
Sr	13 ± 1,5	16 ± 2,5	9,5 ± 1,7	50
Ag	0,09 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,02	0,2
Sb	0,08 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,1
Cs	0,05 ± 0,007	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,007	0,2
Ba	65 ± 5,7	69 ± 7	66 ± 4,5	40
La	0,09 ± 0,02	0,1 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,2
Ce	0,4 ± 0,07	0,3 ± 0,07	0,4 ± 0,06	0,5
Nd	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,7 ± 0,1	0,2
Sm	0,01 ± 0,002	0,02 ± 0,004	0,01 ± 0,002	0,04
Eu	0,009 ± 0,002	0,007 ± 0,001	0,009 ± 0,002	0,008
Tb	0,01 ± 0,002	0,01 ± 0,002	0,009 ± 0,002	0,008
Yb	0,01 ± 0,003	0,008 ± 0,002	0,009 ± 0,002	0,02
Lu	0,002 ± 0,0003	0,003 ± 0,0006	0,002 ± 0,0003	0,003
Hf	0,02 ± 0,002	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,004	0,05
Ta	0,009 ± 0,002	0,006 ± 0,002	0,006 ± 0,002	0,001
Au	0,03 ± 0,007	0,02 ± 0,003	0,03 ± 0,006	0,001
Th	0,08 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,07 ± 0,02	0,005
U	0,05 ± 0,009	0,13 ± 0,04	0,07 ± 0,01	0,01
Th/U	1,4	0,3	1,0	—
La/Yb	7,3	14,1	8,7	—

Результаты исследования и их обсуждение

В нашей работе оценено среднее содержание 28 химических элементов в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) (табл. 1). Для выявления аномалий и нормирования полученных результатов в качестве стандарта мы используем данные В. Markert по «обобщенному стандартному растению» [15].

Обращает на себя внимание факт повышенного содержания (относительно данных по Markert, 1991) в составе черники, собранной на территории Западной Сибири, таких элементов как Cr, Fe, Co, As, Br, Ba, Nd, Eu, Tb, Ta, Au, Th, U. Более низкие концентрации характерны для Na, Ca, Zn, Rb, Sr, Cs, La, Ce, Sm, Yb, Lu, Hf. Величина Th/U отношения в целом по Западной Сибири равна 1,0. Это характерно для живого вещества в целом, что отмечается в ранее проведенных исследованиях [3]. Следует отметить, что оно выше в Томской области за счет более высокого тория и значительно ниже на Алтае.

La/Yb отношение в целом для растений Западной Сибири составляет 8,7. Оно в два раза выше для черники Республики Алтай, по сравнению с растениями Томской области, где происходит концентрирование тяжелых лантаноидов.

Коэффициенты концентрации, полученные при расчете содержаний химических элементов в образцах черники с изученных

территорий относительно данных Markert, показали металлогеническую специфику каждого отдельного региона (табл. 2).

Сугубо специфическим компонентом в составе черники Республики Алтай является цинк, а в составе черники Томской области – европий.

Нами установлено существование положительных и отрицательных взаимосвязей между различными элементами и их группами (табл. 3). При выборке в 49 проб значимой считается корреляционная связь на уровне 0,27 (95%)–0,35 (99%).

Таблица 2

Коэффициенты концентрации элементов в составе черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) (относительно данных В. Markert, 1991)

Место сбора	КК
Томская область	Au ₃₀ Th ₁₄ U ₇ Ta ₆ Nd _{3,5} Cr _{7,8} Br _{2,2} Co ₂ As ₂ Fe _{1,9} Ba _{1,7} Sc _{1,5} Eu _{1,13} Tb _{1,13} Na _{1,08}
Республика Алтай	Au ₂₀ U ₁₃ Th ₁₀ Ta ₆ Cr ₅ Nd _{4,5} Fe ₄ Br _{3,3} As ₃ Na _{2,46} Co ₂ Ba _{1,7} Sc _{1,5} Tb _{1,25} Zn _{1,18} Lu ₁

П р и м е ч а н и е . Значения коэффициентов концентрации Au, Th, U, Ta, Nd завышены вследствие малого количества данных по содержанию этих элементов у В. Markert.

Таблица 3

Значимые корреляционные связи между химическими элементами в составе черники Западной Сибири

Элемент	Химические ассоциации элемента	Значение коэффициента корреляции
1	2	3
Na	Ca, Sc, Cr, Fe, Zn, As, Br, Sr, La, Nd, Sm, Lu, Hf, U	от + 0,30 до + 0,63
	Th	– 0,33
Ca	Cr, Fe, As, Br, Sr, Ba, Nd, Lu, Hf, U	от + 0,32 до + 0,69
	Th	– 0,36
Sc	Fe, Co, Zn, La, Ce, Sm, Yb, Hf	от + 0,40 до + 0,72
Cr	Fe, Br, Sr, Nd, Lu, Hf, U	от + 0,34 до + 0,85
Fe	Co, Zn, Br, La, Nd, Sm, Hf, U	от + 0,38 до + 0,78
Co	Zn, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Hf, Au, Th	от + 0,29 до + 0,69
	Sr, Ba, Lu	от – 0,34 до – 0,43
Zn	Br, Rb, Hf	от + 0,30 до + 0,39
As	Sr, Ba	от + 0,30 до + 0,39
Br	La, Sm, Hf, U	от + 0,34 до + 0,56
Rb	Ag, Ce, Tb, Ta, Th	от + 0,29 до + 0,51
	Sr, Lu	от – 0,32 до – 0,42
Sr	Ba, Lu, U	от + 0,31 до + 0,64
	Th	– 0,39

Окончание табл. 3		
1	2	3
Ag	Tb, Th	от + 0,52 до + 0,79
Sb	Au	+ 0,30
Cs	Ta	+ 0,31
Ba	Ce, Th	от – 0,29 до – 0,39
La	Ce, Nd, Sm, Eu, Yb, Hf, U	от + 0,31 до + 0,86
Ce	Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Hf, Au, Th	от + 0,31 до + 0,55
Nd	Sm, Eu, Hf, U	от + 0,29 до + 0,48
Sm	Eu, Yb, Hf, U	от + 0,34 до + 0,67
Eu	Tb, Yb, Au	от + 0,30 до + 0,48
Tb	Ta, Th	от + 0,52 до + 0,64
Yb	Hf, Au	от + 0,34 до + 0,48
Lu	U	+ 0,43
	Th	– 0,31
Hf	U	+ 0,67
Ta	Th	+ 0,42

Самые сильные корреляционные связи устанавливаются между Sm и La (рис. 1) ($r = 0,86$), а также U и Cr ($r = 0,85$). Уран также характеризуется сильной корреляционной взаимосвязью с гафнием. Такое сочетание может быть обусловлено как химическими свойствами редкоземельных элементов, так и характеризовать их взаимное поступление в условиях техногенеза и присутствие в минеральных формах в природных аномалиях.

Сильные отрицательные взаимосвязи отмечаются в паре Sr – Co ($r = -0,43$); Lu – Rb ($r = -0,42$); Th – Ba ($r = -0,39$); Th – Sr ($r = -0,39$).

Следует отметить, что в целом между элементами устанавливается больше положительных взаимосвязей, чем отрицательных. Отмечается устойчивая отрицательная корреляционная связь тория с основными физиологически значимыми элементами Na и Ca. В свою очередь Na и Ca устанавливают положительные взаимосвязи с ураном. Сильные корреляционные связи устанавливаются между элементами группы лантаноидов.

Дендрограмма корреляционной матрицы показала, что в составе черники с территории Западной Сибири выделяются следующие ассоциации химических элементов (рис. 2):

1. Ag–Tb–Th; Ta–Rb;
2. Eu–Yb–Au; Ce–Co–Zn; Sm–La–Sc;
3. Ca–Sr–Ba–Lu;
4. U–Cr–Nd; Hf–Fe–Br–Na.

На наш взгляд, данные ассоциации во многом обусловлены локальными факто-

рами окружающей среды, формирующими элементный состав растительности. При рассмотрении ассоциаций химических элементов в растениях отдельных локальных территорий Томской области можно проследить ряд элементных ассоциаций. Так, в районе п. Тимирязево Томской области наблюдается тенденция к накоплению золота, повышенные концентрации которого отмечены в ежегодных сборах черники. Ассоциация элементов Ta–Th–Tb–Ag приурочена к северо-западу Томской области (п. Мыльджино, п. Развилы, р. Ларь-Еган).

Повышенное содержание группы редкоземельных элементов (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf) явно проявляется с начала 1958 года, однако в гербарных экземплярах, отобранных до 1945 года, также фиксируются пики повышенных концентраций элементов, но их уровень значительно ниже уровня пиков после 1958 года. Ассоциация территориально приурочена главным образом к Томскому району Томской области. В качестве примера можно привести динамику содержания лантана в чернике юга Западной Сибири (рис. 3).

Изучение динамики элементного состава черники позволяет сделать вывод о том, что, возможно, ведущим фактором в формировании этой ассоциации является, в первую очередь, природный, вследствие распространения на данной территории циркон-ильменитовых россыпей, а с 1958 года к этому фактору добавляется еще и техногенный.

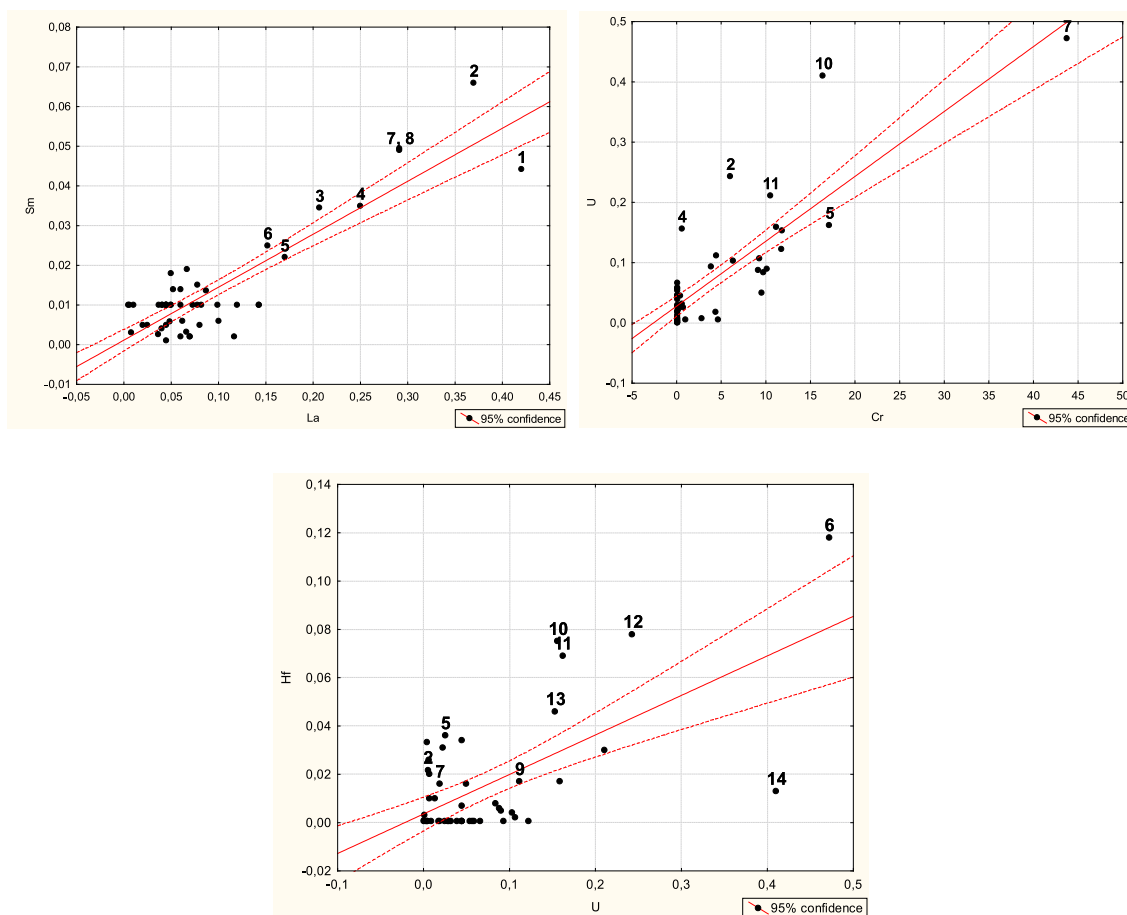


Рис. 1. Зависимость уровня содержания самария от лантана, урана от хрома и урана от гафния в сборах черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории Западной Сибири. Томская область: 1 – Верхнекетский район, п. Суйга, 1958 г., 2 – п. Киреевск, 1968 г., 3 – Колпашевский район, д. Павловка, 1970 г., 7 – Верхнекетский район, п. Сайга, 2008 г., 8 – п. Тимирязево, 2011 г., 9 – Томский район, п. Самусь 1964 г., 12 – п. Тимирязево, 1966 г., 13 – Томский район, п. Самусь 2008 г. Республика Алтай: 4 – Шебалинский район, гора Сарлык, 1985 г., 5 – Усть-Коксинский район, низовье р. Сакал, 1987 г., 6 – Турочакский район, верховье р. Лебедь, 2000 г., 10 – Улаганский район, долина Нижнего Ильдугема, 1984 г., 11 – Усть-Коксинский район, верхнее Мультиинское озеро, 1986 г., 14 – Усть-Коксинский район, р. Мульта, 1983 г.

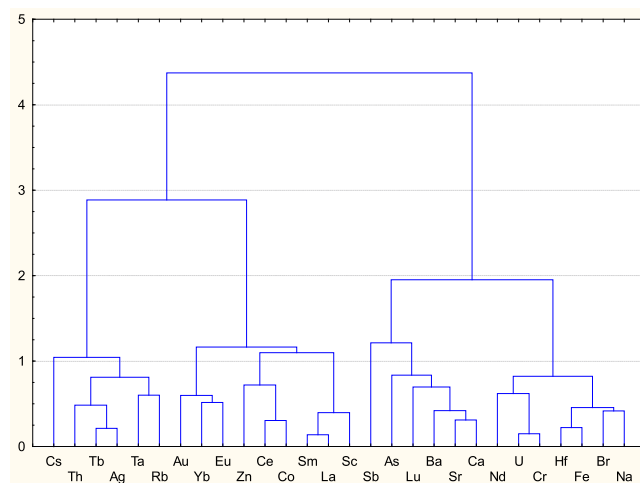


Рис. 2. Ассоциативные связи химических элементов черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), собранной на территории Западной Сибири (N = 49)

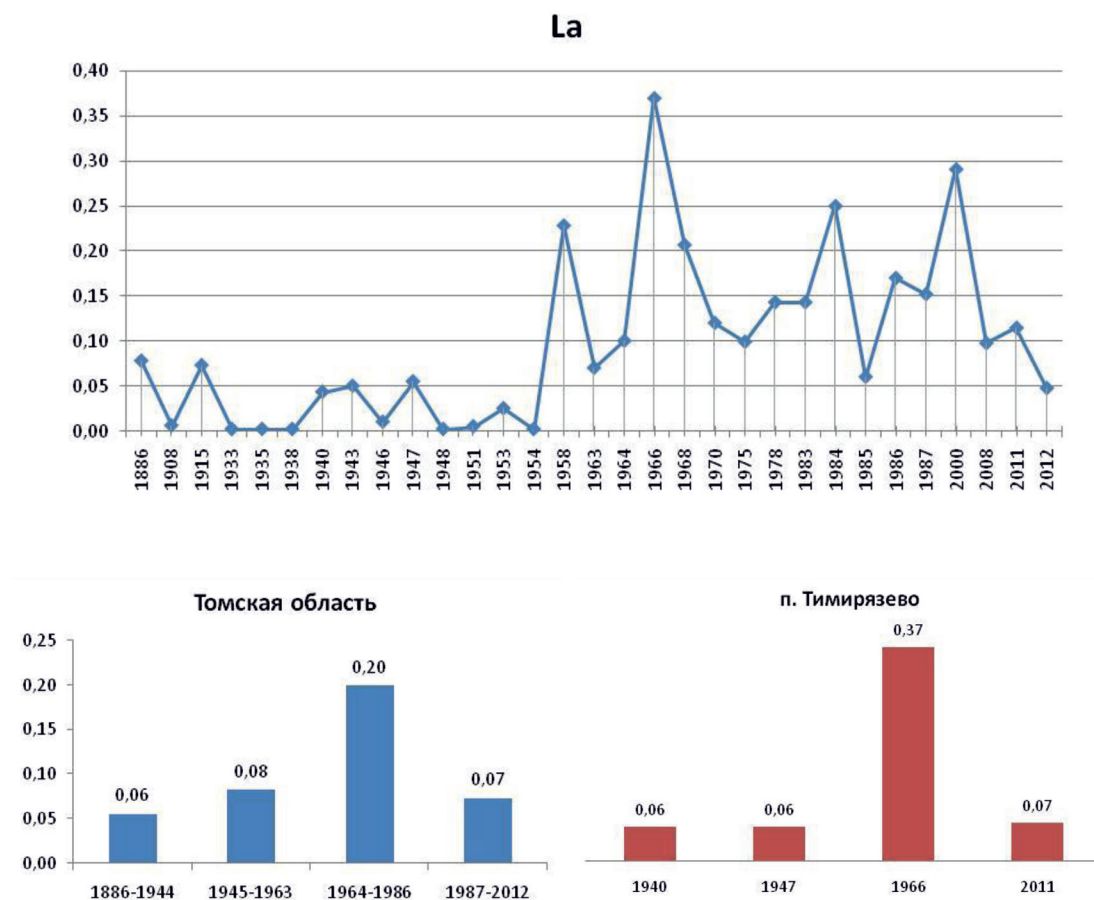


Рис. 3. Динамика содержания лантана в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Западной Сибири. а – общая динамика по Западной Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область)

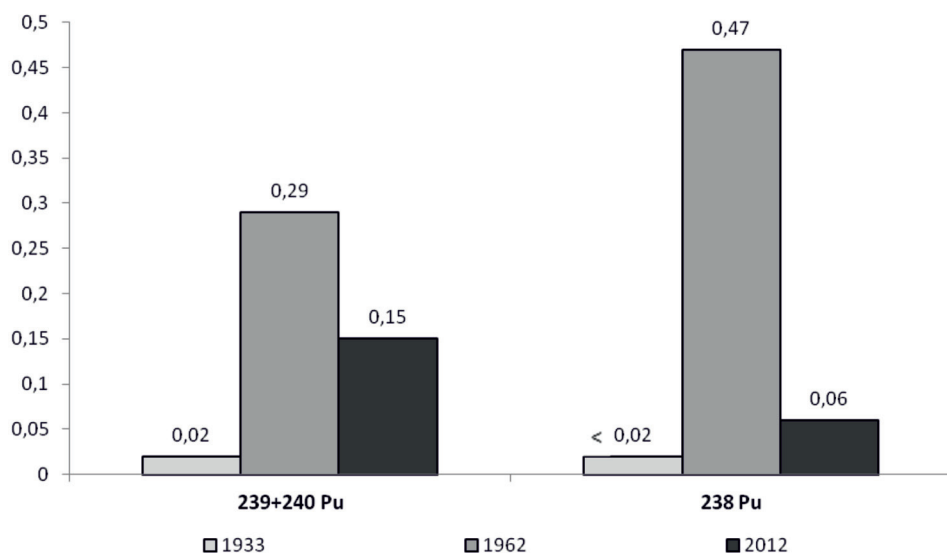


Рис. 4. Динамика содержания $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{238}Pu в составе *Vaccinium myrtillus*, собранной в районе п. Тимирязево Томской области в разные годы, Бк/кг сухого вещества

Изучение динамики поступления стронция в состав черники, показало, что пик его концентрации фиксируется в 1968 году и далее он распределен только по современным сборам и территориально сопряжен также с Томским районом Томской области. Стронций имеет отрицательные корреляционные связи либо очень слабые положительные на уровне $r = 0,1$ с элементами группы лантаноидов, что также может указывать на различные пути поступления этих элементов в окружающую среду и, как следствие, в растения. Вероятнее всего, здесь ведущим фактором поступления является техногенный, обусловленный, в первую очередь, ядерным техногенезом, т.к. в период 60–70 гг. проводились интенсивные ядерные испытания в атмосфере на полигоне Лобнор (Китай), которые, по данным наблюдений радиометрической сети, привели к значительному загрязнению территории России [4]. Это ярко демонстрирует график концентрирования плутония в чернике (рис. 4).

На территории Алтая полиэлементная ассоциация наблюдается в районе верховья р. Лебедь (Cr, Fe, Zn, Br, Sr, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Lu, Hf, U). На данной территории широко распространены подстилающие породы гранитоидного состава, а также месторождения свинцово-цинковых руд и, вполне вероятно, что растительность отражает данную специфику литологического состава подстилающих пород.

Ассоциация группы редкоземельных элементов (La, Ce, Eu, Yb, Lu, Hf) приурочена к горным районам южной и юго-восточной частей Алтая (долина Нижнего Ильдугема, низовье р.Сакал, верхнее Мультинское озеро). Стронций отмечен на Семинском перевале, п. Белокуриха и хребте Катунские белки, а также в полиэлементной ассоциации верховья р.Лебедь. Он имеет положительные корреляционные связи с Eu, Nd, La, Sm, Lu, Hf и U отрицательную корреляционную связь с торием.

Таким образом, следует отметить, что локальные ассоциации элементов в большей степени отражают природную составляющую. Отдельные показатели изменения динамики содержания химических элементов в составе черники свидетельствуют о привносе специфических элементов, характеризующих процессы ядерного техногенеза.

Выводы

Анализ гербарного и современного растительного материала показал, что в формировании химического состава растительности принимают участие как природные, так

и техногенные факторы. Изучение динамики элементного состава растительности позволяет проследить во времени изменение геохимии окружающей среды. Элементный состав черники может быть индикатором как природных, так и техногенных процессов в окружающей среде.

Данные об элементном составе черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) и ее региональных особенностей накопления химических элементов возможно использовать для разработки эффективных лекарственных средств растительного происхождения.

Авторы выражают благодарность сотрудникам «НИ Томского государственного университета»: заведующей гербарием П.Н. Крылова, д.б.н., профессору кафедры ботаники И.И. Гуреевой; д.б.н., профессору кафедры экологического менеджмента М.В. Олоновой; старшему лаборанту гербария П.Н. Крылова Н.В. Курбатской; а также сотрудникам Центрального сибирского ботанического сада СО РАН: старшему научному сотруднику к.б.н. И.Г. Боярских и научному сотруднику С.А. Красниковой за помощь в организации отбора проб гербарного материала, а также профессору, д.г.-м.н Л.П. Рихванову за консультации и помощь при написании статьи.

Список литературы

1. Архангельская Т.А. Ретроспективная оценка радиоэкологической ситуации по результатам исследования годовых колец срезов деревьев: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2004.
2. Барановская Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем: Автореф. дис. док. биол. наук. – Томск, 2011. – 46 с.
3. Барановская Н.В. Об актинидях в живом веществе // Материалы 3 Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека», г. Томск, 23–27 июня 2009 г. – Томск: STT, 2009. – С. 73–82.
4. Виноградов А.П. Геохимия живого вещества. – М.: АН СССР, 1932. – 65 с.
5. Кайзер М.И., Ельчинова О.А., Майманова Т.М. и др. Радионуклиды в почвах и растениях северо-восточного Алтая // Материалы IV Междунар. конф. «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». – Томск, 2013. – С. 249–251.
6. Матушенко А.М., Осадчий А.И. и др. Китайский испытательный полигон Лобнор: анализ аэросиноптических условий переноса примеси. – Бюллетень ЦОИ, 1993. – № 9.
7. Межибор А.М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2009.
8. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1979. – 423 с.
9. Рысин Л.П., Савельева Л.И. Еловые леса России. – М.: Наука, 2002. – 335 с.
10. Рихванов Л.П., Робертус Ю.В. Некоторые особенности радиоактивного загрязнения территории Горного Алтая // Радиоактивность и радиоактивные элементы в сре-

де обитания человека. Матер. IV Межд. конфер. – Томск: «Тандем-Арт», 2004. – С. 769–771.

11. Робертус Ю.В. Радиоэкологическая обстановка на территории Республики Алтай // Материалы IV Международной конференции. – Томск, 2013. – С. 456–460.

12. Удачин В.Н., Джейджи М., Аминов П.Г. и др. Химический состав атмосферных осадков южного Урала / Естественные и технические науки. – М.: издат. «Спутник+», 2010. – № 6. – С. 304–311.

13. Ферсман А.Е. Геохимия. – Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1934.

14. Шилова И.В. Химический состав растений Сибири и разработка ноотропных средств на их основе: Автореф. дис. док. фармац. наук. – Пенза, 2010. – 48 с.

15. Markert B. Establishing of «Reference plant». – Osnabruck, F.R.G., 1991. – P. 533–538.

16. Reimann C. Comparison of the element composition in several plant species and their substrate from a 1 500 000-km² area in Northern Europe / The Science of the Total Environment. – 2001. – № 278. – P. 87–112.

References

1. Arhangel'skaja T.A. Retrospektivnaja ocenka radioekologicheskoy situacii po rezul'tatam issledovaniya godovykh kolecz srezov derev'ev: avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk. Tomsk, 2004.

2. Baranovskaja N.V. Zakonomernosti nakopleniya i raspredeleniya himicheskikh jelementov v organizmach prirodnyh i prirodno-antropogennyh jekosistem: Avtoref. dis. dok. biol. nauk. Tomsk, 2011. 46 p.

3. Baranovskaja N.V. Ob aktinidax v zhivom veshhestve // Materialy 3 Mezhdunarodnoj konferencii «Radioaktivnost' i radioaktivnye jelementy v srede obitaniya cheloveka», g. Tomsk, 23–27 ijunya 2009 g. Tomsk: STT, 2009. pp. 73–82.

4. Vinogradov A.P. Geohimija zhivogo veshhestva. M.: AN SSSR, 1932. 65 p.

5. Kajzer M.I., El'chinnova O.A., Majmanova T.M. i dr. Radionuklidy v pochvah i rastenijah severo-vostochnogo Altaja // Materialy IV Mezhdunar. konf. «Radioaktivnost' i radioaktivnye jelementy v srede obitaniya cheloveka». Tomsk, 2013. pp. 249–251.

6. Matushhenko A.M., Osadchij A.I. i dr. Kitajskij ispytatel'nyj poligon Lobnor: analiz ajerosinopticheskikh uslovij perenosy primesi. Bjulleten' COI, 1993. no. 9.

7. Mezhibor A.M. Jekogeohimija jelementov-primesej v verhovnyh torfah Tomskoj oblasti: avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk. Tomsk, 2009.

8. Perel'man A.I. Geohimija. M.: Vysshaja shkola, 1979. 423 p.

9. Rysin L.P., Savel'eva L.I. Elovye lesa Rossii. M.: Nauka, 2002. 335 p.

10. Rihvanov L.P., Robertus Ju.V. Nekotorye osobennosti radioaktivnogo zagrizneniya territorii Gornogo Altaja // Radioaktivnost' i radioaktivnye jelementy v srede obitaniya cheloveka. Mater. IV Mezhd. konf. Tomsk: «Tandem-Art», 2004. pp. 769–771.

11. Robertus Ju.V. Radioekologicheskaja obstanovka na territorii Respubliki Altaj // Materialy IV Mezhdunarodnoj konferencii. Tomsk, 2013. pp. 456–460.

12. Udachin V.N., Dzhejdzi M., Aminov P.G. i dr. Himicheskij sostav atmosferyh osadkov juzhnogo Urala / Estestvennye i tehicheskie nauki. M.: izdat. «Sputnik+», 2010. no. 6. pp. 304–311.

13. Fersman A.E. Geohimija. L.: ONTI-Himteoret, 1934.

14. Shilova I.V. Himicheskij sostav rastenij Sibiri i razrabotka nootropnyh sredstv na ih osnove: Avtoref. dis. dok. farm. nauk. Pjatigorsk, 2010. 48 p.

15. Markert B. Establishing of «Reference plant». Osnabruck, F.R.G., 1991. pp. 533–538.

16. Reimann C. Comparison of the element composition in several plant species and their substrate from a 1 500 000-km² area in Northern Europe / The Science of the Total Environment. 2001. no. 278. pp. 87–112.

Рецензенты:

Попов В.К., д.г.-м.н., профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;

Бабенко А.С., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой защиты растений, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск.

Работа поступила в редакцию 02.02.2015.