

УДК 550.47

ДЕНДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСКОПАЕМОЙ ЛИСТВЕННИЦЫ (УРОЧИЩЕ ПАЗЫРЫК) И СОВРЕМЕННЫХ ЛИСТВЕННИЦ ГОРНОГО АЛТАЯ

Рихванов Леонид Петрович¹,
rikhvanov@tpu.ru

Робертус Юрий Владимирович²,
ariecologia@smt.ru

Миронова Анастасия Сергеевна¹,
asm2@tpu.ru

Бакшт Федор Борисович¹,
baksht@yandex.ru

Судыко Александр Фёдорович¹
sudykoAF@yandex.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

² Алтайский региональный институт экологии,
Россия, 649100, Республика Алтай, п. Майма, ул. Заводская, 54.

Актуальность работы обусловлена необходимостью изучения состояния окружающей среды Алтая, подверженной многолетнему переносу загрязнителей с соседней территории Восточного Казахстана.

Цель работы: провести сравнительный анализ дендрогеохимических особенностей ископаемой, а также современной лиственниц сибирских (*Larix sibirica* Ledeb.) из урочища Пазырык (юго-восток Горного Алтая, VI–V в. до н.э.) и современных лиственниц, произрастающих в области трансграничного переноса химических элементов с территории Республики Казахстан.

Методы исследования: отбор кернов и спилов лиственницы сибирской; естественное высушивание, разделение проб на временные интервалы, измельчение кернов; количественный инструментальный нейтронно-активационный метод анализа (определение содержания 28 химических элементов) для всех проб и количественный метод анализа масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (определение содержания 34 химических элементов) для проб лиственницы из урочища Пазырык; обработка и анализ эмпирических данных статистическими методами.

Результаты. Получены данные о химическом элементном составе годовых колец ископаемой и современной лиственниц из урочища Пазырык. Дендрогеохимический сравнительный анализ показал преобладание в химическом элементном составе современной лиственницы элементов: Li, Al, P, K, Ti, V, Co, Ni, Cu, As, Ba, Se, Nb, Cs, Ba, Eu, Yb, Hg и Th, а ископаемой лиственницы – Be, B, Na, Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Br, Sr, Zr, Cd, I, La, Pr, Nd, Sm, Gd и W. В химическом элементном составе годовых колец нашли свое отражение климатические, орографические и геохимические факторы окружающей среды, а также условия сохранения самого ископаемого материала лиственниц.

Ключевые слова:

Горный Алтай, урочище Пазырык, годовые кольца деревьев, лиственница сибирская, геохимия, дендрогеохимия.

Введение

В связи с антропогенным изменением окружающей среды с каждым днем становится всё актуальней вопрос о выборе наиболее информативного индикатора происходящих изменений, который можно было бы использовать при ведении экологического мониторинга.

Изучение особенностей строения и вещественного состава годовых колец древесных видов дает информацию об изменении солнечных циклов (дендрохронология) [1–3], о климатических условиях (дендроклиматология) [1, 4, 5], о загрязнении металлами и другими химическими элементами, а также их соединениями, окружающей среды (дендрогеохимия, дендрозоология) [4, 6–12] в период роста годовых колец дерева.

Исследований в области дендрогеохимии и дендрозоологии на данный момент относительно немного, что предоставляет широкое поле для наблюдений и важных открытий. Изучая определённые периоды роста деревьев, мы можем делать выводы об изменении состава биосферы и тенденциях этих изменений.

Цель работы – провести сравнительный анализ дендрогеохимических особенностей ископаемой (спил бревна из курганного захоронения), а также современной (кern дерева, произрастающего в том же месте в современных условиях) лиственниц сибирских (*Larix sibirica* Ledeb.) из урочища Пазырык (юго-восток Горного Алтая) и современных лиственниц, произрастающих в области трансграничного переноса химических элементов с территории Республики Казахстан.

Материалы и методы

Объектом настоящих исследований являются годовые кольца лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). Образцы годичных колец были отобраны с территории Горного Алтая:

- 1) в долине Пазырык (спил бревна лиственницы из погребального сруба одного из Пазырыкских курганных захоронений скифского времени, отобранный и предоставленный для изучения в 1988 г.; и керн современной лиственницы, произрастающей в том же месте в современных условиях, 2013 г. отбора);
- 2) в западной части Республики Алтай, вблизи населенных пунктов: Коргон, Кайсын, Кырлык, Абай, Огневка, Барагаш, Верх-Ябоган, Ело, Иня, Бийка, Обого, и на востоке Алтайского края, вблизи поселка Куяган (спилы лиственниц произведены летом 2009 г.) [13] (рис. 1).

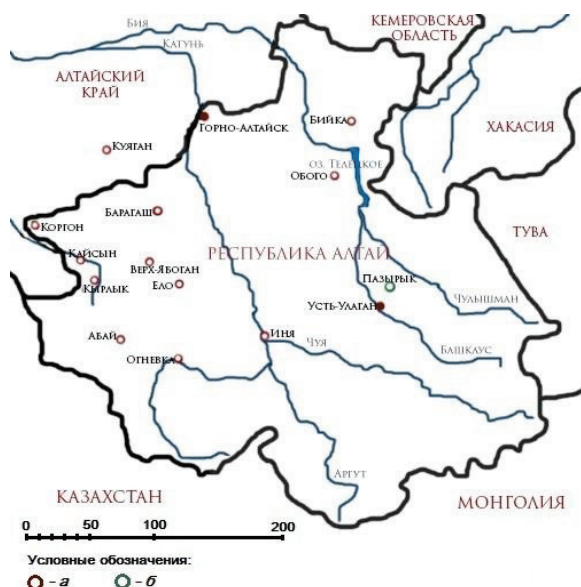


Рис. 1. Схема размещения отобранных для исследования проб лиственницы: а) места отбора современной лиственницы для изучения трансграничных переносов химических элементов [13]; б) место отбора спила древней лиственницы и керна современной лиственницы

Fig. 1. Scheme of location of larch samples selected for study: а) places of modern larch selection to study cross-border transfers of chemical elements [13]; б) place of selection of ancient larch saw cut and modern larch core sample

Первая точка отбора проб привязана к исторически интересному объекту – урочищу Пазырык, а именно к Пазырыкским курганам – древним могилам родовых или племенных скифо-сакских вождей VI–V вв. до н. э. Курганы находятся на южном склоне Чулышманского хребта в сухой висячей долине Пазырык в бассейне реки Б. Улаган ($50^{\circ}44'$ с.ш., $88^{\circ}03'$ в.д.) [14] (рис. 2).

Спил лиственницы (рис. 3) являлся частью погребального сруба, хранившегося в условиях островной мерзлоты на протяжении более двух тысяч лет, до его раскопки в 1929 г. экспедицией Эт-

нографического отдела Русского музея и Государственного Эрмитажа [14]. Данный спил был отобран сотрудниками Института истории и археологии СО РАН и передан Ф.Б. Бакшту на исследования в 1988 г. Возраст ископаемого дерева около 140 лет.



Рис. 2. Общий вид Пазырыкских курганов. Раскопки выполнены в 1929 г. экспедицией Этнографического отдела Русского музея и Государственного Эрмитажа. Фотография 2014 г.

Fig. 2. General view of the Pazyryk barrows. Excavations were carried out in 1929 by the expedition of the Ethnographic Department of the Russian Museum and the State Hermitage. Photo, 2014



Рис. 3. Вид спила лиственницы из Пазырыкского кургана Республики Алтай. Отобран сотрудниками Института истории и археологии СО РАН и передан Ф.Б. Бакшту в ТПУ на исследования в 1988 г.

Fig. 3. Saw cut of larch from Pazyryk barrow, Altai Republic, selected by the Institute of History and Archeology of the SB RAS and given for research at TPU in 1988

Отбор годовых колец современной лиственницы (2013 г.) в долине Пазырык проводился при помощи специального бура (возрастного бурава) (рис. 4), позволяющего получить падающим методом керн диаметром 10 мм (рис. 5).

Отобранный материал подготавливали к анализу путем разделения на временные интервалы и дальнейшего измельчения каждой пробы. Из спила древней лиственницы с учётом ритмичности годовых колец для исследования было подготовлено 4 пробы. Из керна современной лиственницы также было получено 4 пробы, охватывающих четыре временных интервала: 1840–1899, 1900–1944, 1945–1965, 1966–2013 гг. Материал не озолася.

Второй участок отбора проб годовых колец лиственницы был выбран с целью изучения трансгра-

нических переносов химических элементов с территории Республики Казахстан на территорию Алтай. Отбор проб – спилов лиственниц – проводился в 2009 г. Каждый спил был разделен на 8 проб, включающих годовые кольца десятилетних периодов: 1930–1939, 1940–1949, 1950–1959, 1960–1969, 1970–1979, 1980–1989, 1990–1999, 2000–2009 гг. [13]. Пробы озолялись с последующим определением зольности в соответствии с ГОСТ 26929–94 [15].

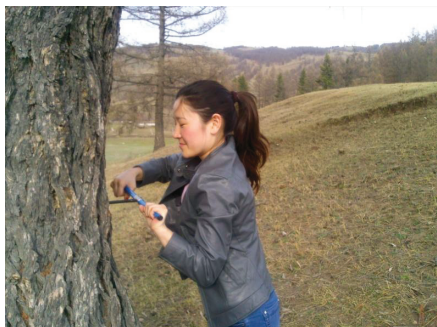


Рис. 4. Отбор пробы с помощью возрастного бурава (долина Пазырык, 2013 г., отбор ведёт Эркелей Елдоева, студентка ТПУ)

Fig. 4. Sampling using age-borer (Pazyryk Valley, 2013, Eldoeva Erkel, student of TPU)



Рис. 5. Фотография возрастного керна лиственницы

Fig. 5. Photo of larch age core sample

Определение валового состава макро- и микроэлементов в образцах золы и неозоленного материала годовых колец лиственницы проводилось инструментальным нейтронно-активационным методом анализа (ИНАА) на 28 элементов в аккредитованной (аттестат № РОСС RU.0001.511901) ядерно-геохимической лаборатории на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т Национального исследовательского Томского политехнического университета по аттестованным методикам (НСАМ ВИМС № 410-ЯФ). Пробы годовых колец лиственницы из долины Пазырык были дополнительно проанализированы на определение содержания 61 химического элемента количественным методом анализа масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в химико-аналитическом центре «Плазма» (ООО «ХАЦ «ПЛАЗМА») города Томска. Разложение проб проводилось согласно стандартной методике МУК 4.1.1483–03 [16].

Для дальнейшего сопоставления и сравнения полученной по результатам ИНАА информации содержания химических элементов в озоленных пробах годовых колец Республики Алтай были переведены (путем умножения на коэффициент зольности) в содержания химических элементов в сухих (неозоленных) пробах.

Полученные результаты определения концентрации химических элементов были обработаны

статистическими методами с помощью пакета прикладных статистических программ «Excel 10.0».

Результаты и их обсуждение

Морфологическое описание спила ископаемой лиственницы из урочища Пазырык

Годовые кольца ископаемого спила из Пазырыкского кургана имеют асимметричный овально-концентрический вид, радиус южной стороны дерева более чем в два раза больше северного радиуса (рис. 3). С учетом этого обстоятельства и небольшой толщины ствола (диаметр 23–26 см), можно предполагать достаточно суровые условия его произрастания. Ширина годовых колец закономерно уменьшается от ядра к периферии (заболони), что свидетельствует о выдержанном характере изменения климата в период роста дерева.

Следы окаменения (силификации) на примере изученного спила проявлены незначительно, но имеются следы внешнего воздействия. В частности, ядровая древесина высветлена в сравнении с заболонью, которая приобрела темно-бурый цвет, по-видимому, из-за гидроокислов железа.

На спиле (южный радиус) отчетливо проявлен ритмически убывающий характер прироста древесины, предположительно отвечающий выделяемым А.Л. Чижевским циклам солнечной активности [17]. Так, границы 11-летних циклов выделяются двумя–тремя более широкими годичными кольцами, особенно образовавшимися в осеннее время, и, вероятно, эти периоды повышенного прироста отвечают минимумам активности Солнца (рис. 6).

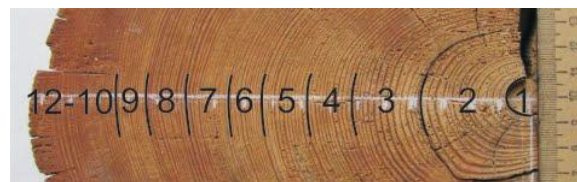


Рис. 6. Регрессивно-циклический характер прироста лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) из Пазырыкского кургана (цифрами показаны фазы прироста, соответствующие циклам солнечной активности)

Fig. 6. Regressive-cyclical growth nature of the Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) from Pazyryk barrow (figures indicate the growth phases, corresponding to the cycles of solar activity)

Известно [18, 19], что в периоды минимальной солнечной активности значительно возрастает активность процессов энерго- и массообмена в оболочках Земли, в том числе в ее атмосфере. В это время на выпадение атмосферных аэрозолей оказывают дополнительное влияние космические лучи, под влиянием которых усиливается ионизация тропосферы, а электромагнитные процессы в ней достигают максимума, что и приводит к усилению аэрозолеобразования и, как следствие, к увеличению содержания микроэлементов в атмосферных выпадениях, а также к усилению прироста древесины.

Ранее авторами установлены значимые прямые связи между содержанием химических элементов (Na, Mg, Al, Ca, Ti, Fe, Cr, Sr, W и др.) в талой воде ледника Большого Актру в Горном Алтае и минимумами солнечной активности в период 1939–2005 гг. [20], а на примере Телецкого озера была выявлена зависимость ряда гидрохимических показателей озерной воды (pH, NH_4^+ , NO_3^- , SiO_2 , SO_4^{2-} , Mo, V и пр.) от циклов солнечной активности, а также показана связь отдельных гидрологических характеристик и температурного режима озера с гелиофизическими параметрами [21].

Сравнительный анализ дендрогеохимических особенностей лиственниц Горного Алтая

Средние содержания оцененных 62 химических элементов в лиственницах Горного Алтая приведены в табл. 1.

В результате математической обработки данных с использованием критерия Стьюдента была установлена статистическая значимость полученных различий между содержаниями химических элементов в годовых кольцах лиственниц Горного Алтая.

Различия между современной лиственницей из Урочища Пазырык и современной лиственницей из западной части Горного Алтая статистически значимы на уровне $p < 0,05$ для химических элементов: Na, Ca, Co, Zn, Ag, Sb, Ba, Nd, Tb, Yb, Ta; и статистически незначимы ($p > 0,05$) для химических элементов: Sc, Cr, Fe, As, Br, Rb, Sr, Cs, La, Ce, Sm, Eu, Lu, Hf, Au, Th, U.

Различия между современной и ископаемой лиственницами из Урочища Пазырык статистически значимы ($p < 0,05$) для химических элементов: Mg, K, Ca, Ti, Fe, Mn, Cd, I, Rb, Sr, Eu, Au, Th; и статистически незначимы ($p > 0,05$) для: Li, Al, B, Be, P, Na, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Se, Nb, Mo, Ge, As, Sn, Zr, Pr, Br, Y, Ag, Gd, Py, Ho, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Er, Tm, W, Pt, Hg, Tl, Pb, Bi, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, U.

Анализ представленных материалов показывает, что содержание Li, Al, P, K, Ti, V, Co, Ti, Cu, As, Ba, Se, Nb, Cs, Ba, Eu, Yb, Hg и Th в современной лиственнице из долины Пазырык выше, чем в ископаемой. И, напротив, в древесине ископаемой лиственницы отмечаются более высокие содержания Be, B, Na, Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Br, Sr, Zr, Cd, I, La, Pr, Nd, Sm, Gd и W.

Для ископаемой лиственницы дополнительно были посчитаны средние содержания химических элементов в минерализованной (подверженной внешним процессам окружающей среды) и слабо-минерализованной зонах. В минерализованной зоне по сравнению со слабоминерализованной преобладают содержания: Be, Mg, Al, Ti, Fe, Ni.

Обращает на себя внимание, что в современной лиственнице, произрастающей на территории западного Алтая, по сравнению с таковой, но произрастающей в настоящее время в долине реки Пазырык, отмечаются более высокие содержания Ba, La, Sr, Rb, Zn, Sc, а также Na, Ca, Fe.

Для выявления особенностей трансформации вещества ископаемой *Larix sibirica* из захоронения Пазырык был проведен сравнительный анализ ее химического состава с составом современной лиственницы из того же урочища.

Мы получили следующий ряд накопления химических элементов в ископаемой лиственнице, мг/кг сухой массы: Ca (1386) – Mg (531) – Fe (261) – K (215) – Mn (93) – Al (38) – Na (30) – Zn (15) – Sr (9) – P (4) – B (1,6) – Ba (1,5) – Ti (1,1). Ряд накопления химических элементов в современной лиственнице из урочища Пазырык (мг/кг сухой массы) имеет несколько иной вид: K (415) – Mg (300) – Ca (132) – Al (43) – P (8) – Mn (7) – Na (6) – Ti (5) – Fe (4) – Sr (3) – Ba (2) – B (1,4) – Br (1,1).

Следует отметить, что эти ряды по содержанию и отношению химических элементов отличаются от их накопления в древесине голосеменных, мг/кг сухой массы [22]: Ca (6500) – K (6300) – P (2900) – Mg (1300) – Na (340) – Mn (330) –

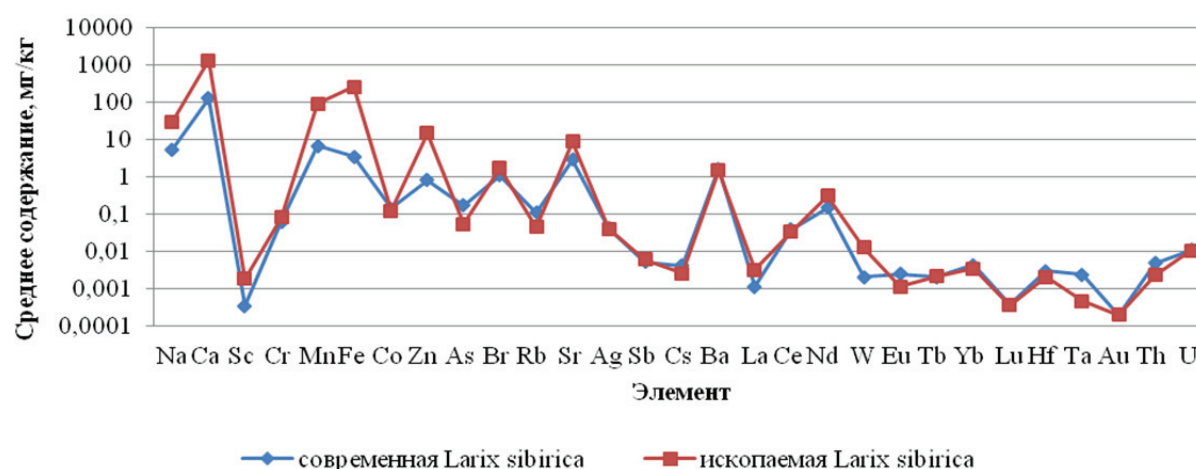


Рис. 7. Элементный состав ископаемой и современной *Larix sibirica* из урочища Пазырык

Fig. 7. Elemental composition of ancient and modern *Larix sibirica* from Pazyryk

Таблица 1. Среднее содержание химических элементов в годовых кольцах лиственниц (*Larix sibirica* Ledeb.) Горного Алтая (мг/кг в сухой массе)

Table 1. Average content of chemical elements in larch (*Larix sibirica* Ledeb.) tree rings, Gorny Altai (mg/kg dry weight)

№ п/п Item №	Урочище Пазырык Pazyryk Valley				Западная часть Горного Алтая, на границе с Республикой Казахстан The western part of the Altai Mountains on the border with the Republic of Kazakhstan
	ископаемая лиственница/fossil larch			современная лиственница/modern larch	
	среднее/average value				
	для минерализованной части (зоны 10–12 (рис.6)) the average for the mineralized parts (Zones 10–12 (Fig.6)) $x_{cp} \pm S$ $x_{min} - x_{max}$	для слабоминерализованной части (зоны 1–9 (рис.6)) the average for brackish parts (Zones 1–9 (Fig.6)) $x_{cp} \pm S$ $x_{min} - x_{max}$	по всему спилу average around cut larch $x_{cp} \pm S$ $x_{min} - x_{max}$	по керну average around larch core samples $x_{cp} \pm S$ $x_{min} - x_{max}$	по всем спилам average over all cut larch $x_{cp} \pm S$ $x_{min} - x_{max}$
Li*	$0,1 \pm 0,03$ $0,03-0,1$	$0,02 \pm 0,01$ $0,01-0,03$	$0,04 \pm 0,02$ $0,02-0,1$	$0,1 \pm 0,01$ $0,04-0,1$	н.о.
Be*	$0,01 \pm 0,01$ $0,001-0,02$	$0,001 \pm 0,001$ $0,0002-0,003$	$0,003 \pm 0,004$ $0,0005-0,01$	$0,001 \pm 0,001$ $0,001-0,004$	н.о.
B*	$2 \pm 0,3$ $1,2-2$	$2 \pm 0,3$ $1,3-2$	$2 \pm 0,3$ $1,3-2$	$1,4 \pm 0,3$ $1,2-2$	н.о.
Na	16 ± 21 $5-33$	45 ± 34 $13-94$	$30,3 \pm 23$ $9-63$	6 ± 2 $3-7$	26 ± 13 $9-79$
Mg*	595 ± 123 $478-770$	467 ± 97 $376-604$	531 ± 110 $427-687$	$300,2 \pm 145$ $142-481$	н.о.
Al*	51 ± 27 $29-92$	26 ± 14 $15-47$	39 ± 21 $22-70$	43 ± 21 $16-69$	н.о.
P*	4 ± 2 $3-6$	4 ± 2 $3-6$	4 ± 2 $3-6$	8 ± 4 $2-13$	н.о.
K*	204 ± 62 $120-266$	226 ± 69 $133-295$	216 ± 66 $127-282$	415 ± 89 $328-497$	н.о.
Ca	1069 ± 356 $706-1552$	1703 ± 568 $1126-2472$	1386 ± 462 $916-2012$	132 ± 37 $105-188$	245 ± 71 $115-389$
Sc	$0,003 \pm 0,003$ $0,0005-0,02$	$0,001 \pm 0,001$ $0,0002-0,005$	$0,002 \pm 0,002$ $0,0003-0,01$	$0,0004 \pm 0,0001$ $0,0002-0,001$	$0,01 \pm 0,01$ $0,0002-0,03$
Ti*	2 ± 4 $0,002-10$	$0,001 \pm 0,002$ $0,000001-0,005$	1 ± 2 $0,001-5$	5 ± 2 $3-8$	н.о.
V*	$0,05 \pm 0,05$ $0,01-0,2$	$0,01 \pm 0,01$ $0,001-0,03$	$0,03 \pm 0,03$ $0,004-0,1$	$0,05 \pm 0,02$ $0,04-0,1$	н.о.
Cr	$0,1 \pm 0,1$ $0,1-0,1$	$0,1 \pm 0,1$ $0,1-0,1$	$0,1 \pm 0,1$ $0,1-0,1$	$0,1 \pm 0,04$ $0,03-0,1$	$0,1 \pm 0,1$ $0,02-0,5$
Mn*	81 ± 17 $57-98$	104 ± 22 $73-125$	93 ± 20 $65-112$	7 ± 4 $3-12$	н.о.
Fe	320 ± 112 $48-551$	201 ± 70 $30-346$	260 ± 91 $39-448$	4 ± 2 $3-6$	22 ± 30 $2-107$
Co	$0,1 \pm 0,01$ $0,1-0,1$	$0,1 \pm 0,01$ $0,1-0,1$	$0,1 \pm 0,01$ $0,1-0,1$	$0,1 \pm 0,2$ $0,04-0,4$	$0,02 \pm 0,03$ $0,006-0,2$
Ni*	$0,2 \pm 0,04$ $0,1-0,3$	$0,2 \pm 0,04$ $0,1-0,3$	$0,2 \pm 0,04$ $0,1-0,3$	$0,1 \pm 0,1$ $0,0001-0,3$	н.о.
Cu*	$0,5 \pm 0,1$ $0,4-1$	$0,6 \pm 0,1$ $0,5-1$	$0,5 \pm 0,1$ $0,4-1$	$1 \pm 0,1$ $0,4-1$	н.о.
Zn	1 ± 1 $0,1-4$	29 ± 27 $2-110$	15 ± 14 $1-57$	$1 \pm 0,2$ $0,4-1$	4 ± 2 $1,1-8$
Ga*	$0,05 \pm 0,02$ $0,03-0,2$	$0,02 \pm 0,01$ $0,01-0,1$	$0,03 \pm 0,01$ $0,02-0,1$	$0,03 \pm 0,01$ $0,02-0,1$	н.о.
Ge*	$0,01 \pm 0,004$ $0,0001-0,02$	$0,01 \pm 0,004$ $0,0001-0,02$	$0,01 \pm 0,004$ $0,0001-0,02$	$0,01 \pm 0,01$ $0,0001-0,02$	н.о.
As	$0,1 \pm 0,01$ $0,04-0,1$	$0,1 \pm 0,01$ $0,04-0,1$	$0,1 \pm 0,01$ $0,04-0,1$	$0,2 \pm 0,2$ $0,04-0,3$	$0,005 \pm 0,005$ $0,001-0,2$
Se*	$0,09 \pm 0,09$ $0,0004-0,3$	$0,04 \pm 0,04$ $0,0002-0,1$	$0,07 \pm 0,07$ $0,0003-0,2$	$0,1 \pm 0,1$ $0,0003-0,2$	н.о.
Br	2 ± 1 $1-2$	2 ± 1 $1-2$	2 ± 1 $1-2$	$1,1 \pm 0,3$ $1-2$	$0,03 \pm 0,03$ $0,001-0,1$
Rb	$0,1 \pm 0,03$ $0,01-0,1$	$0,03 \pm 0,01$ $0,003-0,03$	$0,1 \pm 0,03$ $0,01-0,1$	$0,1 \pm 0,03$ $0,1-0,2$	$1 \pm 0,4$ $0,1-2,1$
Sr	6 ± 3 $3-11$	12 ± 7 $5-21$	9 ± 5 $4-16$	3 ± 1 $3-4$	5 ± 4 $0,1-14$
Y*	$0,01 \pm 0,004$ $0,004-0,01$	$0,004 \pm 0,002$ $0,002-0,004$	$0,01 \pm 0,004$ $0,004-0,01$	$0,01 \pm 0,003$ $0,003-0,01$	н.о.
Zr*	2 ± 1 $0,4-3$	$0,3 \pm 0,15$ $0,06-0,4$	$1 \pm 0,5$ $0,2-1,3$	$1 \pm 0,4$ $0,2-1$	н.о.

Окончание табл. 1

Table 1

Nb*	$\frac{0,01\pm0,01}{0,001-0,02}$	$\frac{0,004\pm0,004}{0,0004-0,008}$	$\frac{0,01\pm0,01}{0,001-0,02}$	$\frac{0,02\pm0,01}{0,01-0,04}$	н.о.
Mo*	$\frac{0,02\pm0,02}{0,0002-0,04}$	$\frac{0,01\pm0,01}{0,0001-0,02}$	$\frac{0,01\pm0,01}{0,0001-0,02}$	$\frac{0,01\pm0,004}{0,002-0,02}$	н.о.
Ag	$\frac{0,05\pm0,01}{0,03-0,1}$	$\frac{0,04\pm0,01}{0,02-0,1}$	$\frac{0,04\pm0,01}{0,02-0,1}$	$\frac{0,04\pm0,02}{0,02-0,2}$	$\frac{0,01\pm0,01}{0,001-0,1}$
Cd*	$\frac{0,03\pm0,01}{0,02-0,03}$	$\frac{0,03\pm0,01}{0,02-0,03}$	$\frac{0,03\pm0,01}{0,02-0,03}$	$\frac{0,01\pm0,003}{0,002-0,01}$	н.о.
Sn*	$\frac{0,02\pm0,02}{0,002-0,06}$	$\frac{0,002\pm0,002}{0,0002-0,006}$	$\frac{0,01\pm0,01}{0,001-0,03}$	$\frac{0,01\pm0,004}{0,01-0,01}$	н.о.
Sb	$\frac{0,004\pm0,004}{0,0008-0,008}$	$\frac{0,01\pm0,01}{0,002-0,02}$	$\frac{0,01\pm0,01}{0,002-0,02}$	$\frac{0,01\pm0,01}{0,001-0,01}$	$\frac{0,003\pm0,002}{0,0004-0,1}$
I*	$\frac{0,1\pm0,2}{0,4-0,4}$	$\frac{0,1\pm0,2}{0,4-0,4}$	$\frac{0,02\pm0,04}{0,1-0,1}$	$\frac{0,01\pm0,01}{0,001-0,02}$	н.о.
Cs	$\frac{0,003\pm0,001}{0,002-0,004}$	$\frac{0,002\pm0,001}{0,001-0,003}$	$\frac{0,003\pm0,001}{0,002-0,004}$	$\frac{0,004\pm0,004}{0,002-0,02}$	$\frac{0,004\pm0,003}{0,0002-0,1}$
Ba	$\frac{2\pm0,1}{1,4-2}$	$\frac{2\pm0,1}{1,4-2}$	$\frac{2\pm0,1}{1,4-2}$	$\frac{2\pm0,4}{1,4-2}$	$\frac{8\pm6}{1-28}$
La	$\frac{0,002\pm0,001}{0,001-0,01}$	$\frac{0,004\pm0,003}{0,003-0,01}$	$\frac{0,003\pm0,002}{0,002-0,01}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,0002-0,002}$	$\frac{0,01\pm0,02}{0,001-0,1}$
Ce	$\frac{0,04\pm0,01}{0,02-0,04}$	$\frac{0,03\pm0,01}{0,02-0,04}$	$\frac{0,03\pm0,01}{0,02-0,04}$	$\frac{0,04\pm0,001}{0,04-0,04}$	$\frac{0,02\pm0,03}{0,0001-0,1}$
Pr*	$\frac{0,01\pm0,01}{0,003-0,03}$	$\frac{0,002\pm0,002}{0,001-0,01}$	$\frac{0,003\pm0,004}{0,001-0,01}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,001-0,002}$	н.о.
Nd	$\frac{0,2\pm0,1}{0,1-1}$	$\frac{0,4\pm0,3}{0,1-1}$	$\frac{0,3\pm0,2}{0,1-1}$	$\frac{0,2\pm0,2}{0,01-1}$	$\frac{0,04\pm0,03}{0,003-0,1}$
Sm	$\frac{0,001\pm0,001}{0,0003-0,002}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,0003-0,002}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,0003-0,002}$	$\frac{0,001\pm0,0004}{0,0002-0,001}$	$\frac{0,002\pm0,003}{0,0001-0,01}$
Eu	$\frac{0,001\pm0,001}{0,0004-0,003}$	$\frac{0,002\pm0,002}{0,001-0,01}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,0004-0,003}$	$\frac{0,003\pm0,001}{0,003-0,003}$	$\frac{0,0004\pm0,001}{0,00001-0,003}$
Gd*	$\frac{0,003\pm0,003}{0,002-0,02}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,001-0,01}$	$\frac{0,002\pm0,002}{0,001-0,01}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,0001-0,003}$	н.о.
Tb	$\frac{0,0003\pm0,0003}{0,00001-0,001}$	$\frac{0,004\pm0,004}{0,0004-0,01}$	$\frac{0,002\pm0,002}{0,0002-0,004}$	$\frac{0,002\pm0,002}{0,0002-0,004}$	$\frac{0,0003\pm0,001}{0,00002-0,002}$
Dy*	$\frac{0,002\pm0,002}{0,001-0,003}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,0004-0,003}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,0004-0,003}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,001-0,002}$	н.о.
Ho*	$\frac{0,001\pm0,0002}{0,0002-0,001}$	$\frac{0,0003\pm0,0001}{0,0002-0,001}$	$\frac{0,001\pm0,0002}{0,0002-0,001}$	$\frac{0,0004\pm0,0002}{0,0002-0,001}$	н.о.
Er*	$\frac{0,002\pm0,002}{0,001-0,004}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,0003-0,002}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,0003-0,002}$	$\frac{0,002\pm0,001}{0,0004-0,003}$	н.о.
Tm*	$\frac{0,001\pm0,001}{0,001-0,004}$	$\frac{0,0001\pm0,0001}{0,0001-0,0004}$	$\frac{0,0002\pm0,0001}{0,0001-0,0004}$	$\frac{0,0002\pm0,0001}{0,0002-0,0004}$	н.о.
Yb	$\frac{0,003\pm0,001}{0,001-0,01}$	$\frac{0,004\pm0,001}{0,003-0,03}$	$\frac{0,004\pm0,001}{0,001-0,01}$	$\frac{0,01\pm0,0001}{0,01-0,01}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,00001-0,01}$
Lu	$\frac{0,0003\pm0,0001}{0,0002-0,001}$	$\frac{0,0004\pm0,0001}{0,0002-0,001}$	$\frac{0,0004\pm0,0001}{0,0002-0,001}$	$\frac{0,0004\pm0,0001}{0,0002-0,001}$	$\frac{0,001\pm0,004}{0,00001-0,02}$
Hf	$\frac{0,003\pm0,003}{0,002-0,02}$	$\frac{0,002\pm0,002}{0,001-0,01}$	$\frac{0,002\pm0,002}{0,001-0,01}$	$\frac{0,003\pm0,002}{0,001-0,01}$	$\frac{0,002\pm0,003}{0,00002-0,01}$
Ta	$\frac{0,001\pm0,0003}{0,0001-0,001}$	$\frac{0,0004\pm0,0001}{0,0001-0,001}$	$\frac{0,001\pm0,0003}{0,0001-0,001}$	$\frac{0,002\pm0,002}{0,001-0,004}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,00002-0,01}$
W*	$\frac{0,01\pm0,002}{0,002-0,04}$	$\frac{0,02\pm0,004}{0,004-0,01}$	$\frac{0,01\pm0,002}{0,002-0,04}$	$\frac{0,002\pm0,002}{0,0001-0,004}$	н.о.
Pt*	$\frac{0,002\pm0,001}{0,001-0,003}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,001-0,003}$	$\frac{0,002\pm0,001}{0,001-0,003}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,0001-0,002}$	н.о.
Au	$\frac{0,0002\pm0,0001}{0,0002-0,0002}$	$\frac{0,0002\pm0,0001}{0,0002-0,0002}$	$\frac{0,0002\pm0,0001}{0,0002-0,0002}$	$\frac{0,0002\pm0,0001}{0,0002-0,0002}$	$\frac{0,0004\pm0,0003}{0,00001-0,001}$
Hg*	$\frac{0,004\pm0,001}{0,002-0,01}$	$\frac{0,003\pm0,001}{0,002-0,01}$	$\frac{0,004\pm0,001}{0,002-0,01}$	$\frac{0,01\pm0,01}{0,0001-0,02}$	н.о.
Tl*	$\frac{0,0002\pm0,0001}{0,0001-0,0004}$	$\frac{0,0002\pm0,0001}{0,0001-0,0004}$	$\frac{0,0002\pm0,0001}{0,0001-0,0004}$	$\frac{0,0003\pm0,0001}{0,0002-0,0004}$	н.о.
Pb*	$\frac{0,1\pm0,02}{0,04-0,1}$	$\frac{0,04\pm0,008}{0,02-0,04}$	$\frac{0,1\pm0,02}{0,04-0,1}$	$\frac{0,1\pm0,02}{0,02-0,1}$	н.о.
Bi*	$\frac{0,01\pm0,004}{0,002-0,01}$	$\frac{0,01\pm0,004}{0,002-0,01}$	$\frac{0,01\pm0,004}{0,002-0,01}$	$\frac{0,003\pm0,001}{0,001-0,004}$	н.о.
Th	$\frac{0,002\pm0,002}{0,001-0,01}$	$\frac{0,003\pm0,003}{0,002-0,02}$	$\frac{0,002\pm0,002}{0,001-0,01}$	$\frac{0,01\pm0,001}{0,01-0,01}$	$\frac{0,002\pm0,004}{0,00002-0,01}$
U	$\frac{0,002\pm0,002}{0,004-0,004}$	$\frac{0,02\pm0,02}{0,004-0,04}$	$\frac{0,01\pm0,01}{0,002-0,02}$	$\frac{0,01\pm0,01}{0,001-0,02}$	$\frac{0,001\pm0,001}{0,00002-0,01}$

Примечание: * – элемент определен методом ICP-MS; н.о. – не определялся; хср – среднее значение; S – стандартное отклонение; xmin – минимальное значение; xmax – максимальное значение.

Note: * – element was determined by ICP-MS; н.о. – was not determined; xcp – average value; S – standard deviation; xmin – minimum value; xmax – maximum value.

Fe (130) – Al (65) – В (63) – Ba (63) – Zn (26). Это, предположительно, может указывать на низкую активность биогеохимических процессов в среднегорных условиях урочища Пазырык. Однако высокое содержание таких элементов, как кальций, являющийся основой оболочки клеток, магний и калий, участвующих в процессе метаболизма, естественно и объяснимо [23].

Коэффициенты максимальной концентрации элементов в ископаемой лиственнице (относительно современного фона) образуют убывающий ряд (рис. 7): Fe (72) – Zn (18) – Mn (13) – Ca (10,5) – I (10,5) – W (6,2) – Na (5,5) – Sc (5,4) – Cd (4,6) – Sr (3) – Br (1,5), который в целом близок к ряду электрохимической активности металлов. В приведенном ряду происходит ослабление окислительной способности катионов металлов в водных растворах. Исходя из установленных особенностей накопления металлов, можно предполагать внешнее воздействие содержащих их природных вод на ископаемую лиственницу.

В условиях многовекового нахождения ископаемой лиственницы на глубине 3–4 м определяющим фактором воздействия на средний элементный состав ее древесины могли быть грунтовые воды урочища Пазырык, состав которых отражал вышеотмеченные геохимические особенности присутствующих здесь горных пород в зоне гипергенеза. Их инфильтрация способствовала заметной трансформации исходного состава древесины, особенно ее наружной части (заболони), в которой проявлены максимальные концентрации ряда элементов, в первую очередь, железа, марганца и других элементов, подвижных в зоне гипергенеза.

Небезынтересно отметить, что распределение концентраций железа и марганца в современной и в древней лиственнице изменяется в противофазе, что, предположительно, обусловлено количеством выпадающих осадков. По данным [24], железо в наибольшем количестве отмечается в растениях в засушливые годы, марганец – во влажные периоды.

Установлено, что наибольшие различия в элементном составе ископаемой и современной лиственниц Пазырыка характерны для двух типовых геохимических ассоциаций элементов – Fe-Mn-Zn-W и Ca-Na-Sr-I-Br. Основой первой из них являются гидроокислы железа и марганца, которые сорбируют соединения геохимически близких им вольфрама, цинка (с изоморфным кадмием), скандия [25, 26] в условиях зоны химического выветривания (окисления) карбонатно-терригенных

пород серо- и красноцветной континентальной формации девона, развитой в районе урочища Пазырык.

Вторая ассоциация щелочных металлов и галогенов отражает геохимическую специализацию этой толщи, в которой проявлены признаки зачаточного солеобразования, условно относимого к эвапоритовой формации.

Анализ корреляционных связей химических элементов в современной и ископаемой лиственнице из урочища Пазырык показал значительные различия числа значимых отрицательных связей между ними (положительные связи равны). Так, в ископаемой лиственнице отрицательных связей в полтора раза больше (табл. 2), что, вероятно, объясняется наложением на исходный состав ассоциации привнесенных химических элементов.

Таблица 2. Число корреляционных связей химических элементов *Larix sibirica* из урочища Пазырык

Table 2. Number of correlations of chemical elements in *Larix sibirica* from Pazyryk

Всего Total	Связи/Relations						Знак связи Relations
	более 5 more than 5		4-5		1-3		
древ./совр. fossil/modern	современная modern	древняя fossil	современная modern	древняя fossil	современная modern	древняя fossil	
58/57	40	29	5	13	12	16	Положительная Positive
54/35	7	9	1	7	27	38	Отрицательная Negative

В пользу значительного привноса ряда элементов в древесину ископаемой лиственницы говорит не только превышение их содержания над современным фоном и отличный от него характер корреляционных связей, но и совершенно иные закономерности распределения во времени. Так, спектр четырех основных трендов поведения изученных элементов от ядра к периферии стволов современной и ископаемой лиственницы различается кардинальным образом (табл. 3), который нельзя объяснить с позиций изменения только климата и других природных условий произрастания деревьев. Отметим, что многие тренды распределения элементов в годовых кольцах лиственницы соответствуют подобным трендам и для другой растительности (например, кустарничковой), что описано в работе [27].

Таблица 3. Тренды распределения элементов в лиственнице урочища Пазырык (от ядра к заболони)

Table 3. Trends in distribution of elements in larch from Pazyryk (from core to sapwood)

Уменьшение–увеличение Decrease–increase	Увеличение Increase	Увеличение–уменьшение Increase–decrease	Уменьшение Decrease	Лиственница Larch
Na, Rb, As, Sb, Nd	Mg, P, B, Cr, Mo, Sc, La, Tb, Er, Hf, Ta, Tm	Ca, Br, Cd, Sn, Sm	Mg, K, Pb, W, Se, Ge, Nb	Современная Modern
Fe, P, B, Cr, Sc, Sb, W, Bi	Mn, Li, Br, J, Ag, Ge, Ce, Nb, Hf	Al, Li, As, Pb, Se, Y, Sc, Zr, Sm, Dy, Ho	Ca, Na, Co, Sr, Cu, Zn, Cd, Tb, Yb, U	Ископаемая Fossil

С высокой долей вероятности можно предполагать влияние техногенеза на накопление ряда химических элементов растений. И об этом могут свидетельствовать данные по изучению динамики изменения уровня накопления элементов по временным интервалам.

Анализ временных рядов показывает, что в современной лиственнице отмечено максимальное содержание стронция, кобальта, урана и тория в годовичных кольцах на временном интервале первой половины XX в., и это явление можно связать с трансграничным переносом радионуклидов на территорию Алтая [13].

В современной лиственнице максимальная концентрация цезия (0,01 мг/кг) на интервале 1945–1965 гг. совпадает с минимальной концентрацией калия (328 мг/кг). И, наоборот, максимальное содержание калия (497 мг/кг) на интервале 1840–1944 гг. совпадает с минимальным содержанием цезия (0,002 мг/кг). Для радиоизотопа цезия и калия существует следующая взаимосвязь [28]. Калий является неизотопным аналогом цезия и находится в почве в макроколичествах, в то время как цезий – в ультромикроконцентрациях. Вследствие этого в почвенном растворе происходит сильное разбавление микроколичеств цезия-137 ионами калия, и при поглощении их корневыми системами растений отмечается конкуренция за место сорбции на поверхности корней. Поэтому при поступлении этих элементов из почвы в растениях наблюдается антагонизм ионов цезия и калия [28].

Для современной и ископаемой лиственниц были отмечены противоположные тенденции накопления таких элементов, как железо и марганец. Такое поведение микроэлементов в растениях может быть связано с количеством выпадающих осадков [29]. Железо в наибольшем количестве отмечается в растениях в засушливые годы, марганец – во влажные. Также, нами была отмечена взаимосвязь элементов Ca-Sr и K-Rb, являющихся хими-

ческими аналогами. Данные элементы имеют одинаковые тенденции накопления на изучаемых временных промежутках.

Для оценки влияния природно-климатических и техногенных факторов на биохимические особенности современной *Larix sibirica* из урочища Пазырык проведено сопоставление ее химического состава с составом лиственницы с полуострова Таймыр и с территории Западного Алтая (Усть-Канский, Усть-Коксинский и Шебалинский районы Республики Алтай) [13].

Результаты проведенного сравнения показывают, что в лиственнице с Таймыра [29] содержание большинства химических элементов, кроме породообразующих (Al, Mg, K), значительно выше, чем в лиственнице урочища Пазырык (рис. 8). Причиной, предположительно, является влияние природно-климатических факторов, в том числе и вечной мерзлоты на Таймыре, способствующих заторможенности биологического круговорота (процессов) и накоплению химических элементов в древесине.

Аналогичное сравнение элементного состава современной лиственницы сибирской из урочища Пазырык и с территории Западного Алтая показало, что в последней содержание большинства элементов выше, кроме отдельных лантаноидов, U, Th, Co, As, Sb, Br, Ag, предположительно, отражающих геохимическую специализацию геологических образований, развитых в районе урочища Пазырык (рис. 9).

В то же время есть основания полагать, что основной вышеотмеченных различий является зональное уменьшение содержания в современной лиственнице химических элементов с запада на восток, то есть в направлении прохождения бывших радиоактивных следов Семипалатинского испытательного полигона и современных выбросов предприятий цветной металлургии Восточного Казахстана, особенно г. Усть-Каменогорска, которые обусловили трансграничный перенос большого

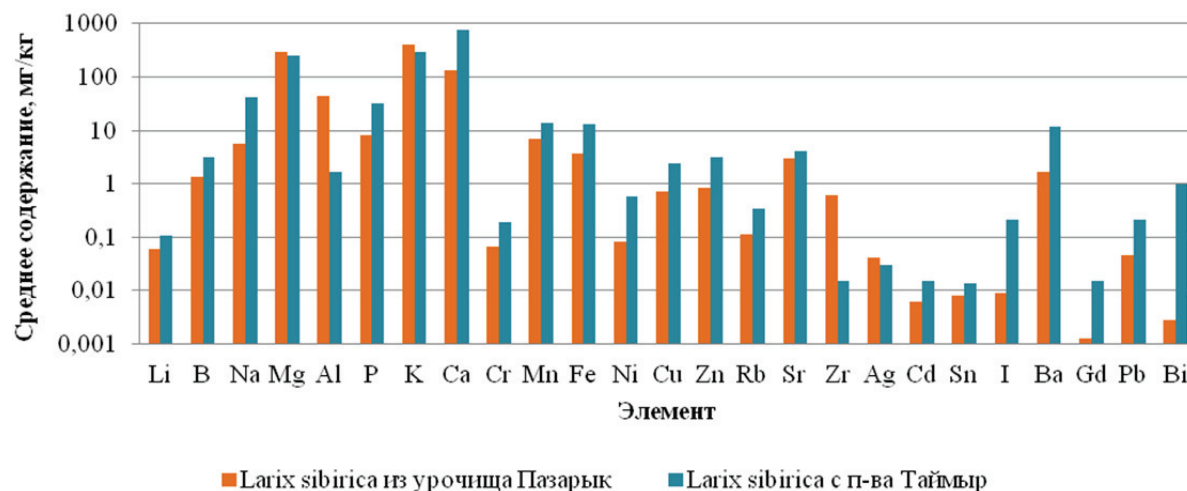


Рис. 8. Элементный состав (мг/кг) лиственницы сибирской с п-ва Таймыр и урочища Пазырык

Fig. 8. Elemental composition (mg/kg) of Siberian larch from the Taimyr Peninsula and Pazyryk

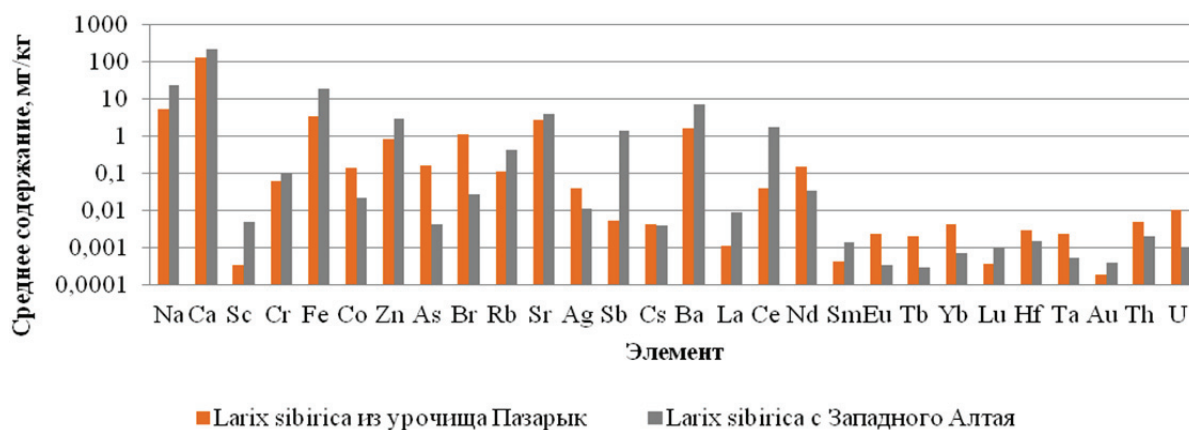


Рис. 9. Элементный состав (мг/кг) лиственницы из урочища Пазырык и Западного Алтая

Fig. 9. Elemental composition (mg/kg) of larch from Pazyryk and Western Altai

комплекса элементов на территорию Западного Алтая (редкоземельные элементы, уран, торий, элементы полиметаллических руд). Установлено [13], что основные периоды этого переноса приходились на шестидесятые и восьмидесятые годы двадцатого века.

В современной лиственнице из урочища Пазырык основной период ядерных испытаний 1945–1965 гг. проявился повышением содержания цезия, висмута, таллия, ртути, европия, то есть спектр и уровень специфических элементов радиоактивного и тяжелометалльного загрязнения из-за удаленности территории выражен относительно слабо.

Заключение

На основании вышеизложенного материала можно сделать следующие выводы:

1. Проведенный анализ ископаемого спила лиственницы из урочища Пазырык помог обосновать, что период произрастания древней лиственницы характеризовался более аридным, чем в настоящее время, резко континентальным климатом.
2. Дополнительный привнос грунтовыми водами химических элементов в ископаемую лиственницу носил ассоциативный характер и зависел от геохимических особенностей зоны химического выветривания геологических образова-

ний урочища Пазырык. Ассоциации привнесенных в ископаемую лиственницу элементов Ca-Na-Sr-I-Br и Fe-Mn-Zn-W отражают геохимические особенности горных пород района урочища Пазырык и зон их химического выветривания.

3. На вариативность химического элементного состава годовых колец лиственницы влияют многочисленные факторы внешней и внутренней среды: географическое расположение объекта исследования; место отбора проб; природные и техногенные геохимические проявления местности; физиологические процессы, происходящие в растении (это проявляется как в непосредственной количественной характеристике содержания элементов, так и в виде ассоциаций положительного и отрицательного характера); климатические факторы.
4. В элементном составе годовых колец находят отражения временные изменения химизма биосферы в результате техногенеза, что хорошо видно при анализе временных промежутков, характеризующихся определённой природно-техногенной геохимической спецификой.
5. Древесина, долго пролежавшая в грунте, мало пригодна для целей дендрогеохимии, т. к. в результате контакта с поровыми водами она существенно изменяет свой первоначальный элементный состав.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Битвинскас Т.Т. Дендроклиматические исследования. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 172 с.
2. Tree rings and mastings: considering reproductive phenomena when interpreting tree rings? / A.J. Hacket-Pain, A.D. Friend, J.G.A. Lageard, P.A. Thomas // Trace. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology Proceedings of the dendrosymposium. – 2015. – № 14. – P. 78–85.
3. Dendrochronology of Utah Juniper (Juniperus osteosperma (Torr.) Little) / R.J. Deroose, M.F. Bekker, R. Kjelgren, B.M. Buckley, J.H. Speer, E.B. Allen // Tree-Ring Research. – 2016. – № 72. – P. 1–14.
4. Hulst A., Janecka K., Kaczka R.J. DendroCorr – a simple and powerful software to calculate the growth, climate response, Trace. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology // Proceedings of the dendrosymposium. – 2015. – № 14. – P. 44–49.
5. Climatic Changes in the East-European Forest-Steppe and Effects on Scots Pine Productivity / S.M. Matveev, Y.G. Chendev, J.A. Hubbard, D.A. Timashchuk // Pure and Applied Geophysics. – 2017. – № 174. – P. 427–443.
6. Hagemeyer J. Monitoring trace metal pollution with tree rings: a critical assessment // Plants as Biomonitors. Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment. – Weinheim: VCH, 1993. – P. 541–63.

7. Ferretti M., Udisi R., Barbolani E. Mineral nutrients and trace metals in tree rings of Pinus sp // Fresenius J. Anal. Chem. – 1993. – № 347. – P. 467–470.
8. Tout R.E., Gilboy W.B., Spyrou N.M. Neutron activation studies of trace elements in tree rings // Journal of Radioanalytical Chemistry. – 1977. – № 37. – P. 705–715.
9. Рихванов Л.П., Архангельская Т.А., Замятина Ю.Л. Дендрорадиография как метод ретроспективной оценки радиоэкологической ситуации. – Томск: Дельтаплан, 2015. – 148 с.
10. Ring width and vessel lumen area of Fagus sylvatica in years with spring and summer drought Trace. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology / C. Meinardus, K. Quack, V. Raffelsbauer, A. Bräuning // Proceedings of the dendrosymposium. – 2015. – № 14. – P. 144–148.
11. Combining tree-ring dating and geomorphological analyses in the reconstruction of spatial patterns of the runoff zone of snow avalanches, rybi potok valley, tatra mountains / M. Lempa, R.J. Kaczka, Z., Rączkowska K. Janecka // Geographia Polonica. – 2016. – № 89 (1). – P. 31–45.
12. Keller E.D., Turnbull J.C., Norris M.W. Detecting long-term changes in point-source fossil CO₂ emissions with tree ring archives // Atmos. Chem. Phys. – 2016. – № 16. – P. 5481–5495.
13. Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Любимов Р.В. Дендрогеохимическая индикация трансграничных переносов экотоксикантов на территорию Алтая // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 1. – С. 173–177.
14. Руденко С.И. Культура населения Горного Алтая в скифское время. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – 402 с.
15. ГОСТ 26929–94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. – М.: ИПК «Издательство стандартов», 2002. – 31 с.
16. МУК 4.1.1483–03 Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавках методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой (Санитарно-эпидемиологическая служба Российской Федерации). – М.: Минздрав России, 2003. – 55 с.
17. Чижевский. А.Л. Земля в объятиях Солнца. – М.: Изд-во «Эксмо», 2004. – 928 с.
18. Дмитриев А.Н. Природные электромагнитные процессы на Земле. – Горно-Алтайск: Универ-Принт, 1995. – 80 с.
19. Environmental drivers of cambial phenology in Great Basin bristlecone pine / E. Ziaco, F. Biondi, S. Rossi, A. Deslauriers // Tree Physiology Advance Access published. – 2016. – № 2. – P. 1–14.
20. Особенности распределения химических элементов в талой воде ледника Большой Актру (Горный Алтай) / Л.П. Рихванов, Ю.В. Робертус, А.В. Таловская, Р.В. Любимов, А.Ю. Шатилов // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 1. – С. 97–103.
21. Робертус Ю.В., Шевченко Г.А. Зависимость гидрохимических показателей Телецкого озера и его притоков от солнечной активности // Вестник ТГПУ. – 2009. – № 11 (89). – С. 194–197.
22. Bowen H.J.M. Trace elements in biochemistry. – New York; London: Academic Press, 1966. – 241 p.
23. Динамика содержания зольных элементов в годичных слоях старовозрастных сосен, произрастающих в пойменных биотопах / Ю.П. Демаков, С.М. Швецов, В.И. Таланцев, К.К. Калинин // Лес. Экология. Природопользование. Вестник МарГТУ. – 2011. – № 3. – С. 25–34.
24. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1976. – 248 с.
25. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа, 1975. – 341 с.
26. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: В 6 кн. – М.: Недра, 1994. – 304 с.
27. Черненькая Е.В. Динамика изменения элементного состава природной среды по данным изучения гербарных и современных сборов растений юга Сибири: дис.... д-ра геол.-минерал. наук. – Томск, 2016. – 262 с.
28. Парфенова В.И., Якушева Б.И. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси (в связи с аварией на Чернобыльской АЭС). – Мн.: Навука і тэхніка, 1995. – 582 с.
29. Грачев А.М., Ваганов Е.А., Левитт С.В. Методология получения 600-летней многоэлементной летописи на основе годичных колец лиственницы с полуострова Таймыр, Россия // Журнал СФУ. Серия: Биология. – 2013. – Т. 6. – № 1. – С. 61–72.

Поступила 04.05.2017 г.

Информация об авторах

Рихванов Л.П., доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Робертус Ю.В., кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН.

Миронова А.С., аспирант кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Бахит Ф.Б., кандидат геолого-минералогических наук, инженер-исследователь 1 категории кафедры общей геологии и землеустройства Томского политехнического университета.

Судыко А.Ф., старший научный сотрудник ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 550.47

DENDROGEOCHEMICAL FEATURES OF FOSSIL LARCH (PAZYRYK) AND MODERN LARCHES OF MOUNTAIN ALTAI

Leonid P. Rikhvanov¹,

rikhvanov@tpu.ru

Yuriy V. Robertus²,

ariecologia@smt.ru

Anastasiya S. Mironova¹,

asm2@tpu.ru

Fedor B. Baksht¹,

baksht@yandex.ru

Alexander F. Sudyko¹,

sudykoAF@yandex.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

² Altai Regional Institute of Ecology,
54, Zavodskaya Street, Mayma, 649100, Russia.

Relevance of the work is caused by the need to study the environment of the Altai, subject to long-term transfer of pollutants from the neighboring territory of East Kazakhstan.

The main aim of the study is to carry out the comparative analysis of dendrobiogeochemical features of the fossil and modern *Larix Siberika* from Pazyryk in the southeast of the Altai Mountains and the modern larch, growing in the area of cross-border transfer of chemical elements from the territory of the Republic of Kazakhstan.

The methods used in the study: sampling; natural drying, separation of samples into time slots, grinding cores; quantitative instrumental neutron activation analysis method (determination of the content of 28 chemical elements) for all samples, and quantitative method for the analysis of mass spectrometry with inductively coupled plasma (determination of the content of a chemical element 34) for larch samples from Pazyryk; processing and analysis of empirical data by statistical methods.

The results. The authors have obtained the data on chemical elemental composition of the annual rings of fossil and modern larches of Pazyryk. The dendrobiogeochemical comparative analysis shows the predominance of the chemical element composition of a modern larch elements: Li, Al, P, K, Ti, V, Co, Cu, As, Se, etc. And in the fossil larch: Be, B, Na, Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Br, Sr, and others. In the chemical elemental composition of annual rings reflected climatic, orographic and geochemical environmental factors, as well as the selection and conditions of storage of annual rings of larches samples themselves.

Key words:

Mountain Altai, Pazyryk, annual rings of trees, Siberian larch, geochemistry, dendrogeochemistry.

REFERENCES

1. Bitvinskas T.T. *Dendroklimaticheskie issledovaniya* [Dendroclimatic research]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974. 172 p.
2. Hacket-Pain A.J., Friend A.D., Lageard J.G.A., Thomas P.A. Tree rings and masting: considering reproductive phenomena when interpreting tree rings? *Trace. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology Proceedings of the dendrosymposium*, 2015, no. 14, pp. 78–85.
3. Deroose R.J., Bekker M.F., Kjelgren R., Buckley B.M., Speer J.H., Allen E.B. Dendrochronology of Utah Juniper (*Juniperus osteosperma* (Torr.) Little). *Tree-Ring Research*, 2016, no. 72, pp. 1–14.
4. Hulst A., Janecka K., Kaczka R.J. DendroCorr – a simple and powerful software to calculate the growth\climate response. *Trace. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology. Proceedings of the dendrosymposium*, 2015, no. 14, pp. 44–49.
5. Matveev S.M., Chendev Y.G., Hubbart J.A., Timashchuk D.A. Climatic Changes in the East-European Forest-Steppe and Effects on Scots Pine Productivity. *Pure and Applied Geophysics*, 2017, no. 174, pp. 427–443.
6. Hagemeyer J. Monitoring trace metal pollution with tree rings: a critical assessment. Plants as Biomonitors. *Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment*. Weinheim, VCH, 1993. pp. 541–563.
7. Ferretti M., Udisfi R., Barbolani E. Mineral nutrients and trace metals in tree rings of *Pinus* sp. *Fresenius J. Anal. Chem.*, 1993, no. 347, pp. 467–470.
8. Tout R.E., Gilboy W.B., Spyrou N.M. Neutron activation studies of trace elements in tree rings. *Journal of Radioanalytical Chemistry*, 1977, no. 37, pp. 705–715.
9. Rikhvanov L.P., Arkhangelskaya T.A., Zamyatina Y.L. *Dendroradiografiya kak metod perspektivnoy otsenki radioekologicheskoy situatsii* [Dendroradiografiya as a method of retrospective assessment of radioecological situation]. Tomsk, Deltaplan Publ., 2015. 148 p.
10. Meinardus C., Quack K., Raffelsbauer V., Bräuning A. Ring width and vessel lumen area of *Fagus sylvatica* in years with spring and summer drought. *Trace. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology. Proceedings of the dendrosymposium*, 2015, no. 14, pp. 144–148.

11. Lempa M., Kaczka R. J., Rączkowska Z., Janecka K. Combining tree-ring dating and geomorphological analyses in the reconstruction of spatial patterns of the runout zone of snow avalanches, rybi potok valley, tatra mountains. *Geographia Polonica*, 2016, no. 89 (1), pp. 31–45.
12. Keller E.D., Turnbull J.C., Norris M.W. Detecting long-term changes in point-source fossil CO₂ emissions with tree ring archives. *Atmos. Chem. Phys.*, 2016, no. 16, pp. 5481–5495.
13. Robertus Y.V., Rikhvanov L.P., Lyubimov R.V. Dendrogeohimicheskaya indication of cross-border transfers of toxicants into the territory of the Altai. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2010, vol. 317, no. 1, pp. 173–177. In Rus.
14. Rudenko S.I. *Kultura naseleniya Gornogo Altaya v shifskoe vremya* [The culture of the population of the Altai Mountains in the Scythian time]. Moscow, the USSR Academy of Sciences Publ. House, 1953. 402 p.
15. GOST 26929–94. *Syrre i produkty pishchevye Podgotovka prob. Mineralizatsiya dlya opredeleniya sodержaniya toksichnykh elementov* [State Standard 26929–94. Raw materials and food products. Sample preparation. Mineralization for determination of the content of toxic elements. Moscow. Publisher standards, 2002. 31 p.
16. MUK 4.1.1483–03. *Opreделение sodержaniya khimicheskikh elementov v diagnostiruemyykh biosubstratakh, preparatakh i biologicheskii aktivnykh dobavkakh metodom mass-spektrometrii s induktivno svyazannoy argonovoy plazmoy (Sanitarno-epidemiologicheskaya sluzhba Rossiyskoy federatsii)* [MUK 4.1.1483–03. Determination of Chemical Elements in biosubstrates diagnosed, medications and dietary supplements by mass spectrometry with inductively coupled argon plasma (Sanitary and Epidemiological Service of the Russian Federation)]. Moscow, Ministry of Health of Russia, 2003. 55 p.
17. Chizhevsky A.L. *Zemlya v obyatiyakh Solntsa* [Land in the sun embrace]. Moscow, Eksmo Publ. house, 2004. 928 p.
18. Dmitriev A.N. *Prirodnye elektromagnitnye protsessy na Zemle* [Natural electromagnetic processes in the world]. Gorno-Altai, Univer-Print Publ., 1995. 80 p.
19. Ziaco E., Biondi F., Rossi S., Deslauriers A. Environmental drivers of cambial phenology in Great Basin bristlecone pine. *Tree Physiology Advance Access published*, 2016, no. 2, pp. 1–14.
20. Rikhvanov L.P., Robertus Yu.V., Talovskaya A.V., Lyubimov R.V. Shatila A.Yu. Features of distribution of chemical elements in the melted water ice Large Aktru (Gorny Altai). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2008, vol. 313. no. 1, pp. 97–103. In Rus.
21. Robertus Yu.V., Shevchenko G.A. The dependence of hydro-chemical indicators of the Teletskoye Lake and its tributaries from the solar activity. *Herald TGPU*, 2009. no. 11 (89), pp. 194–197. In Rus.
22. Bowen H.J.M. *Trace elements in biochemistry*. New York; London, Academic Press, 1966. 241 p.
23. Demakov Y.P., Shvetsov S.M., Talantsev V.I., Kalinin K.K. Dynamics of the content of mineral elements in the annual layers of old growth pines growing in floodplain habitats. *Forest. Ecology. Nature. Bulletin MarSTU*, 2011, no. 3, pp. 25–34. In Rus.
24. Beus A.A., Grabowska L.I., Tikhonova N.V. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow, Nedra Publ., 1976. 248 p.
25. Perelman A.I. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of landscape]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1975. 341 p.
26. Ivanov V.V. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov. Spravochnik* [Environmental Geochemistry of elements: Reference]. Moscow, Nedra Publ., 1994. 304 p.
27. Chernenkaya E.V. *Dinamika izmeneniya elementnogo sostave prirodnoy sredy po dannym izucheniya gerbarnykh i sovremennykh sborov rasteny yuga Sibiri*. Dis. Dokt. nauk [Dynamics of elemental composition of the environment according to the study of herbarium and modern plant collections in southern Siberia. Dr. Diss.]. Tomsk, 2016. 262 p.
28. Parfenov V.I., Yakushev B.I. *Radioaktivnoe zagryaznenie rastitelnosti Belarusi (v svyazi s avariei na Chernobylskoy AES)* [Radioactive contamination of Belarus vegetation (in connection to the accident at the Chernobyl nuclear power plant)]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1995. 582 p.
29. Grachev A.M., Vaganov E.A., Levitt S.U. The methodology of obtaining 600-year-old multi-element based on the book of the chronicles of larch tree rings with the Taimyr Peninsula, Russia. *Journal of Siberian Federal University. Series: Biology*, 2013, vol. 6. no. 1, pp. 61–72. In Rus.

Received: 4 May 2017.

Information about the authors

Leonid P. Rikhvanov, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Yuriy V. Robertus, Cand. Sc., leading researcher, Gorno-Altai branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS.

Anastasiya S. Mironova, postgraduate, National Research Tomsk Polytechnic University.

Fedor B. Baksht, Cand. Sc., research engineer of 1 category, National Research Tomsk Polytechnic University.

Alexander F. Sudyko, senior researcher, National Research Tomsk Polytechnic University.