

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ
РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ХВОЕ
PINUS PUMILA (PINACEAE) НА ХРЕБТЕ УДОКАН
(ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

© 2022 г. В. П. Макаров¹, *, С. В. Борзенко¹, Н. В. Помазкова¹, Т. В. Желибо¹

¹Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия

*e-mail: vm2853@mail.ru

Поступила в редакцию 19.11.2020 г.

После доработки 17.02.2021 г.

Принята к публикации 03.03.2022 г.

В статье представлены результаты исследования содержания химических элементов в хвое кедрового стланика *Pinus pumila* (Pall.) Regel, произрастающего в условиях высокогорного района севера Забайкальского края, вблизи Удоканского месторождения меди. Цель работы – оценить особенности содержания этих элементов в условиях высокогорья и мерзлотных почв, на фоне подготовки территории месторождения меди к эксплуатации, а также возможность использования хвои стланика в сельском хозяйстве, медицине и парфюмерии. Отбор растительных проб стланика проведен в широко распространенных в выбранном районе типах лиственничных лесов и кедрово-стланиковых сообществах. Установлено, что концентрации химических элементов в хвое стланика убывают в следующей последовательности: Mg > Al > Mn > Ba > Fe > Ti > Cu > Ni > V > Zn > Mo > Co > Cr > Ag > As > Cd > Sr > Se > Sb > Pb > Hg > Be. Превышают величины кларка в хвое концентрации Al, Ti, Ag, V, Cr, Ba, Ni, Co, As, Mo, Se и Cu. В меньшей, чем кларк концентрации, накапливаются Cd, Sb, Fe, Hg, Mg, Mn, Zn, Be, Pb и Sr. Хвоя стланика характеризовалась повышенной концентрацией относительно установленных для кормления животных максимально-допустимых уровней (МДУ) по ряду элементов: Ni, Mo, Co, Cr, Ag, As и Cd. Использование хвои стланика в медицинской и парфюмерно-косметической промышленности ограничивает повышенное (в 1.3 раза относительно ПДК) содержание As.

Ключевые слова: *Pinus pumila*, хвоя, элементный состав, хребет Удокан, Забайкальский край

DOI: 10.31857/S003399462202008X

Информация о содержании химических элементов в растениях важна для использования растений в качестве лекарственного и кормового ресурса, геохимического исследования территории и оценки загрязнения окружающей среды, планирования мероприятий по повышению продуктивности и качества растительного сырья, селекции растений.

Ареал кедрового стланика *Pinus pumila* (Pall.) Regel охватывает обширные территории Восточной Сибири и Дальнего Востока. Его сообщества распространены от р. Лены до побережья Тихого океана и от Корейского п-ова, о-ва Хонсю, хребтов Большой и Малый Хинган, Тукурингра, Сихотэ-Алинь на север до Чукотки [1].

В Забайкальском крае кедровый стланик распространен на площади более 1.5 млн га, из которых 1.1 млн га сосредоточено в Каларском районе (29.7% от покрытой лесом площади района). Насаждения кедрового стланика имеют низкую про-

изводительность, средний класс бонитета – V, возраст – около 60 лет. Заросли этого вида встречаются не только в горах, но и в понижениях, занимая заболоченные участки речных долин [2].

Основная масса корней кедрового стланика сосредоточена в почве на глубине 0–30 см. Растение предпочитает породы кислого состава, хорошо растет на основных породах и избегает карбонатных пород. Почвы под кедровым стлаником короткопрофильны, скелетны, отличаются легким механическим составом. Общим является высокое содержание полуразложившихся растительных остатков в органогенном горизонте, кислая реакция среды, высокая гидролитическая и обменная кислотность, низкое содержание обменных оснований, высокое содержание обменного железа.

Под мертвопокровными сообществами формируются преимущественно эродированные почвы; под лишайниковыми, моховыми и мохово-лишай-

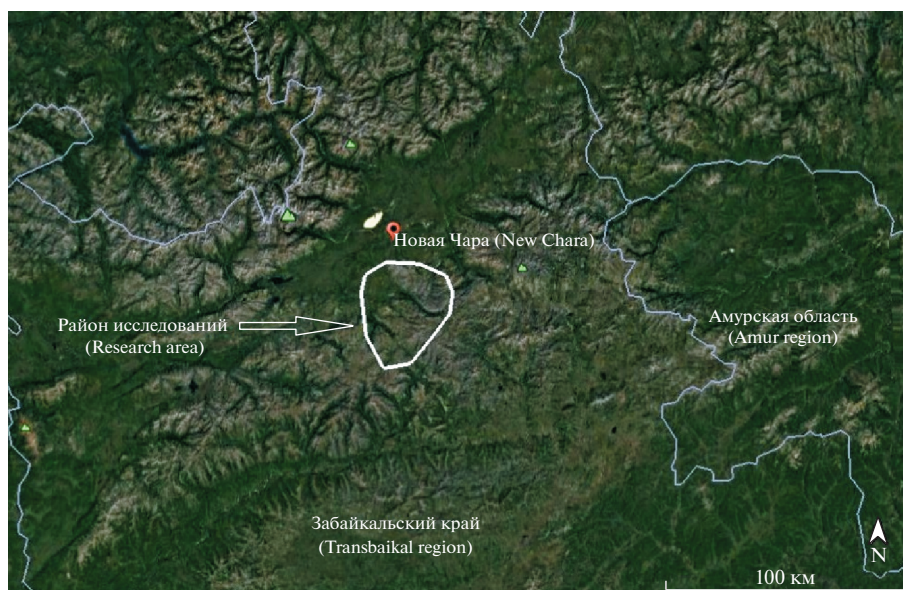


Рис. 1. Расположение района исследований.

Fig. 1. Location of the study area.

никовыми — почвы подзолистого типа; под сфагновыми — торфянисто-перегнойные таежно-мерзлотные почвы на многолетней мерзлоте [3].

Кедровый стланик является ценным пищевым растением, используется в фармацевтическом производстве, в качестве кормовых добавок для животных, имеет большое значение как кормовой ресурс для диких млекопитающих и птиц, сдерживает эрозионные процессы на крутых склонах [4–9]. Эфирное масло кедрового стланика рекомендовано для использования в медицине и других отраслях промышленности. Содержание α -пинена в кедровом стланике в два-три раза больше, чем в эфирном масле пихты белокорой и сосны кедровой корейской. Эфирное масло кедрового стланика испытано в качестве биоактивной добавки к разным товарам народного потребления [8, 10].

Экстракт из хвои кедрового стланика обладает антибактериальной активностью по отношению к росту и развитию *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 [9]. Семена, почки, веточки, хвоя и корни *P. pumila* используются в народной медицине для приготовления мочегонных, антигельминтных, отхаркивающих, дезинфицирующих и ранозаживляющих средств [11, 12].

В районе исследований разрабатывается крупнейшее в мире Удоканское месторождение меди. В этих условиях важно знать особенности элементного состава кедрового стланика для формирования представлений о диапазоне накопления им химических элементов в различных экологических

условиях; использования полученной информации для мониторинга загрязнения окружающей среды и оценки возможности использования в качестве кормового, лекарственного растения. Ранее такие исследования в районе не проводились.

Цель исследований — выявить особенности накопления ряда химических элементов в хвое кедрового стланика в высокогорных условиях севера Забайкалья.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в Каларском р-не Забайкальского края, в районе хребта Удокан. Пробные площади расположены южнее поселка Новая Чара (рис. 1).

Руды Удоканского месторождения комплексные, кроме меди в них присутствуют Mo, Ni, Co, Zn, Pb, Bi, Hg, As, Ag, Au, Pt и Pd. Основная форма элементов в рудах — собственные минералы [13]. Геохимической особенностью месторождения является относительно низкое содержание большинства элементов. Ванадий, серебро, хром отмечаются в количествах близких к кларку. В меньших количествах встречаются марганец, титан, свинец, цинк, кобальт, никель, бериллий. Превышают кларки висмут и золото [14].

Территория отличается сильно расчлененным высокогорным рельефом и наличием мощной толщи многолетнемерзлых пород. Характер распространения многолетнемерзлых пород существенно сказывается на химическом составе под-

земных и поверхностных вод региона. По химическому составу воды чаще гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые и натриевые с минерализацией до 100 мг/л и pH до 6,8, с повышенными содержаниями таких микроэлементов, как медь, никель, железо, марганец. В речных водах района исследований обнаружены в аналитически определяемых концентрациях ртуть (до 0,1 мкг/л), серебро (0,12 мкг/л) и кадмий (0,26 мкг/л). Источником этих элементов в водах являются горные породы и руды, взаимодействие воды с которыми и приводит к накоплению многих металлов в водах района исследования [15].

Содержание подвижных элементов почве проводили в районе исследований в тот же период, что отбор растительных проб, однако участки отбора не совпадали. Среднее содержание подвижных элементов в почвах в районе исследований находилось в следующем соотношении: Fe > Al > Mn > Cu > Zn > Ti ≫ As > V > Ba > Co > Ni > Pb > Hg > Sr > Sb > Cd > Cr > Mo > Se > Ag > Be [16].

Географические координаты расположения пробных площадей и высоту над уровнем моря определяли с помощью спутникового навигатора, угол склона с помощью клинометра геологического компаса. Отбор хвои проводили в июне и августе 2011 года в сообществах кедрового стланика и широко распространенных типах лиственных лесов (табл. 1). Хвою кедрового стланика отбирали на пробной площади с побегов 2–3 года жизни с 5–6 растений в тканевые мешки и подсушивали до воздушно-сухого состояния. Затем образцы хвои были переданы для дальнейшей обработки и химического анализа в лабораторию Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (ИПРЭК СО РАН).

Методика определения содержания химических элементов была следующей. Навески 5 г (с точностью 0,00001 г) помещали в фарфоровые чашки и ставили в холодную муфельную печь, затем постепенно нагревали. Сухое озоление проводили при температуре 450–500 °С, в течение 5–8 ч (от достижения температуры в муфельной печи 450 °С).

Для окисления остатков органического материала в золе применяли 30%-ную H₂O₂. Зола массой 5 г в чашке растворяли в 1–2 мл H₂O₂ и выпаривали на кипящей водяной бане досуха. Обработку H₂O₂ повторяли от 1 до 3 раз до исчезновения угольков озольемого материала.

Затем содержимое чашки растворяли в 10%-ной HCl, и фильтровали через фильтр “белая лента” (диаметр 7 см, беззольный, пористость 3 мкм) в мерную колбу емкостью 100 мл. Массовую концентрацию металлов определяли методами атом-

ной спектрометрии на атомно-абсорбционном спектрофотометре SOLAAR M6 (Termo Electron Corporation, США) согласно нормативным документам ГОСТ 17.1.3.07-82 [17], ГОСТ 31861–2012 [18], ГОСТ 27384–2002 [19], ГОСТ 31870–2012 [20] ПНД Ф 14.1:2:4.138-98 [21].

Для определения кальция, стронция и магния применяли метод атомно-абсорбционной спектрометрии с атомизацией в пламени закись азота–ацетилен (Ca, Sr) и в пламени воздух–ацетилен (Mg). Натрий и калий определяли методом пламенно-эмиссионной спектрометрии. Методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией устанавливали массовую концентрацию микроэлементов (алюминий, железо, кадмий, кобальт, марганец, медь, мышьяк, никель, свинец, цинк). Градуировку спектрометра проводили с применением государственных стандартных образцов ГСО 7772-2000, ГСО 7783-2000, ГСО 7767-2000, ГСО 7775-2000, ГСО 7771-2000, ГСО 7272-96, ГСО 7325-96.

Для определения содержания ртути пробы растительных образцов разлагали H₂O₂ и H₂SO₄ при температуре 60 °С и KMnO₄ + (NH₂OH)₂·H₂SO₄ [22]. Ртуть в растворах восстанавливали SnCl₂ до элементарного состояния и анализировали методом “холодного пара” на приборе Lab Analyzer-254 фирмы Mercury Instruments. Предел обнаружения 20 мкг/кг [23].

Статистическую обработку данных проводили с использованием корреляционного и дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Концентрации химических элементов в хвое кедрового стланика в районе исследований отличались от их среднего содержания элементов в наземных растениях (кларков). Превышает кларки содержание в хвое (в порядке убывания) таких элементов, как Al, Ti, Ag, V, Cr, Ba, Ni, Co, As, Mo, Se и Cu. Особенно значительно (в десятки раз) превышало кларки содержание в хвое Al, Ti, Ag. Более низким, чем кларк, оказалось содержание Cd, Sb, Fe, Hg, Mg, Mn, Zn, Be, Pb и Sr. Очень низким накоплением по отношению к кларкам (до 7%) характеризовались Zn, Be, Pb и Sr (табл. 2).

Исследования по накоплению химических элементов ранее проводились в других районах Сибири и Дальнего Востока. Например, в районе Верхней Колымы в хвое кедрового стланика содержание Mg составило 2200, Al – 1100, Mn – 1400 мг/кг [25]. Эти величины значительно больше, чем в районе хребта Удокан. В Магаданской области содержание в хвое стланика Cu составля-

Таблица 1. Характеристика пробных площадей
Table 1. Sample plots characteristics

Пробная площадь Sample plot	Координаты Coordinates	Высота над у. м., м Elevation above msl, m	Экспозиция склона Slope exposure	Крутизна склона, ° Degree of slope, °	<i>Pinus pumila</i>	
					проективное покрытие, % projective cover, %	высота, м height, m
Кедрово-стланиковое сообщество Dwarf–Siberian pine community						
6	56.578° N 118.510° E	1454	Восточная Eastern	15	70	1.5
16	56.619° N 118.430° E	1578	Западная Western	20	50	1.3
81	56.342° N 118.283° E	1680	Западная Western	30	30	1.2
99	56.373° N 118.294° E	1479	Северная Northern	20	30	1.5
107	56.354° N 118.254° E	1757	Южная Southern	20	20	1.0
111	56.373° N 118.243° E	1523	Западная Western	20	50	1.6
Лиственничник кедрово-стланиковый Larch–dwarf Siberian pine forest community						
19	56.554° N 118.418° E	1135	–	0	30	2.0
20	56.564° N 118.429° E	1238	–	0	70	1.8
21	56.582° N 118.366° E	1161	Юго-западная South western	20	30	2.2
25	56.615° N 118.254° E	1107	–	0	30	2.0
Лиственничник ерниковый Larch–dwarf birch forest community						
15	56.605° N 118.434° E	1612	–	0	40	1.5
75	56.607° N 118.287° E	1188	Северная Northern	5	20	2.0
89	56.353° N 118.310° E	1393	Юго-западная South western	5	20	1.7
Лиственничник грушанковый Larch–wintergreen forest community						
8	56.577° N 118.514° E	1465	–	0	5	1.7
Лиственничник ольховниковый Larch–alder shrub forest community						
94	56.569° N 118.502° E	1493	–	0	10	1.5

Таблица 2. Концентрация химических элементов в хвое кедрового стланика, мг/кг
Table 2. Elements content in dwarf Siberian pine needles, mg/kg

Элемент Element	Кларк элемента в растениях*, мг/кг Clarke of elements in plants*, mg/kg	Среднее содержание элементов в почве района исследования**, $M_{cp} \pm m$ Average content of mobile nutrients in the soil of the study area, ** $M_{cp} \pm m$	Среднее по растительным сообществам, $n = 15$ Average for plant communities, $n = 15$		CV, %	$M_{cp} \pm m$	Кедрово-стланиковое сообщество, $n = 6$ Dwarf-Siberian pine community, $n = 6$	$M_{cp} \pm m$	Лиственничник кедрово-стланиковый, $n = 4$ Larch-dwarf Siberian pine forest community, $n = 4$	$M_{cp} \pm m$	Лиственничник ерниковый, $n = 3$ Larch-dwarf birch forest community, $n = 3$	M_{cp}	Лиственничник грушанковый, $n = 1$ Larch-wintergreen forest community, $n = 1$	M_{cp}	Лиственничник ольховинковый, $n = 1$ Larch-alder shrub forest community, $n = 1$
			$M_{cp} \pm m$	min-max											
Mg	3200.0	—	700 ± 76	272–1230	43	830 ± 115	540 ± 60	500 ± 156	552	1230					
Al	0.5–4000	31 ± 4	95 ± 4	56–110	17	98 ± 2	95 ± 13	82 ± 13	104	98					
Mn	630.0	45 ± 7	90 ± 13	32–250	55	100 ± 7	55 ± 15	140 ± 57	111	61					
Ba	14.0	0.45 ± 0.04	49 ± 3	34–71	23	42 ± 3	53 ± 5	55 ± 7	39	71					
Fe	140.0	320 ± 42	40 ± 10	13–177	99	24 ± 5	39.1 ± 0.1	80 ± 50	40	22					
Ti	1.0	0.87 ± 0.11	33 ± 3	8–50	37	38 ± 3	25 ± 6.0	26 ± 9	50	37					
Cu	14.0	4.7 ± 1.2	16 ± 3	5–52	70	14 ± 1	11 ± 2	18 ± 6	15	52					
Ni	3.0	0.27 ± 0.03	10 ± 2	2–18	60	10 ± 2	14 ± 2	8 ± 5	2	18					
V	1.6	0.55 ± 0.04	8 ± 3	1–41	165	13 ± 7	1.6 ± 0.0	2.6 ± 0.6	2	24					
Zn	100.0	1.7 ± 0.3	7 ± 1	3–21	65	7.6 ± 0.9	3.4 ± 0.8	6.3 ± 1.5	6	21					
Mo	0.9	0.008 ± 0.001	2.2 ± 0.6	0.5–7.0	88	1.0 ± 0.2	1.7 ± 0.2	4.8 ± 1.5	2	2					
Co	0.5	0.78 ± 0.14	1.7 ± 0.5	0.1–6.3	123	1.6 ± 0.9	1.1 ± 0.4	1.5 ± 0.8	6	0.2					
Cr	0.23	0.032 ± 0.002	0.87 ± 0.17	0.06–1.74	75	0.45 ± 0.16	1.69 ± 0.05	0.86 ± 0.40	0.94	0.13					
Ag	0.06	0.053 ± 0.006	0.77 ± 0.42	0.01–4.64	212	0.71 ± 0.70	0.010 ± 0.000	1.5 ± 1.5	0.01	2.52					
As	0.2	0.62 ± 0.12	0.65 ± 0.13	0.52–2.52	79	0.85 ± 0.33	0.52 ± 0.00	0.52 ± 0.00	0.52	0.52					
Cd	0.6	0.25 ± 0.09	0.35 ± 0.19	0.02–2.84	211	0.29 ± 0.17	0.74 ± 0.70	0.11 ± 0.05	0.06	0.22					
Sr	26.0	1.5 ± 0.7	0.12 ± 0.06	0.02–0.96	204	0.19 ± 0.15	0.07 ± 0.05	0.10 ± 0.09	0.08	0.017					
Se	0.2	0.014 ± 0.003	0.10 ± 0.00	0.10–0.10	0	0.10 ± 0.00	0.100 ± 0.000	0.100 ± 0.000	0.1	0.1					
Sb	0.06	0.022 ± 0.003	0.10 ± 0.00	0.10–0.10	0	0.099 ± 0.000	0.099 ± 0.000	0.099 ± 0.000	0.099	0.099					
Pb	2.7	0.20 ± 0.02	0.02 ± 0.00	0.02–0.02	0	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.018	0.018					
Hg	0.015	0.05 ± 0.01	0.004 ± 0.001	0.002–0.010	62	0.004 ± 0.001	0.01 ± 0.00	0.003 ± 0.001	0.004	0.002					
Be	0.1	0.002 ± 0.00	0.002 ± 0.000	0.002–0.002	0.0	0.002 ± 0.000	0.002 ± 0.000	0.002 ± 0.000	0.002	0.002					

Примечание: $M \pm m$ – среднее значение и стандартная ошибка; Min-max – диапазон значений; V – коэффициент вариации. * По [24]. ** По [15]. Проверк означает отсутствие данных.

Note: $M \pm m$ – mean and standard error; Min-max – the range of values; V – the coefficient of variation. * According to [24]. ** According to [15]. Dash – no data.

ло 2.5 мг/кг. Такая величина 6–7 раз меньше накопления элемента в районе хребта Удокан. В то же время содержание Zn, Mn и Fe в Магаданской области было в 4–9 раз больше, чем в районе наших исследований [26]. В Бурятии накопление в хвое стланика Pb и Hg было значительно больше, чем в районе Удокана – в среднем в 60–140 раз, накопление Mn, Fe, Zn было больше в 2–8 раз. В то же время, содержание Cu было ниже в 2 раза, а Ni – в 14 раз [27].

Доказано, что хвою кедрового стланика можно использовать в качестве кормовой добавки в рационах крупного рогатого скота [4, 5]. При использовании хвои стланика в качестве кормовой добавки в районе хребта Удокан важно учитывать, что средние концентрации в ней Ni, Mo, Co, Cr, Ag, As и Cd превышали максимально-допустимые уровни (МДУ), установленные для грубых и сочных кормов в 1.1–3.5 раза [28]. Очень низкое содержание Zn в хвое также неблагоприятно, поскольку из-за недостатка этого элемента в рационе животных у них развивается такое заболевание, как паракератоз. Дефицит в организме животных Be, Pb и Sr не влияет на здоровье животных.

Согласно “ОФС.1.5.3.0009.15 Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах”, предельно допустимое содержание Pb, Cd, Hg и As в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах не должно быть больше установленных предельно-допустимых концентраций (ПДК). В исследованном районе только содержание As незначительно (в 1.3 раза) превышает ПДК в хвое.

Содержание ряда химических элементов в хвое стланика достоверно различалось в разных растительных сообществах. Например, в кедрово-стланиковых сообществах в хвое кедрового стланика содержание Mg было достоверно больше, чем в лиственничниках кедрово-стланиковых ($F = 8.54$; $P < 0.05$) и напротив, накопление Fe было более низким ($F = 5.61$; $P < 0.05$). В лиственничниках кедрово-стланиковых отмечено большее, содержание Cr ($F = 37.02$; $P < 0.05$) и меньшее накопление Mn ($F = 8.39$; $P < 0.05$) и Zn ($F = 10.77$; $P < 0.05$), чем в других типах сообществ. В хвое стланика лиственничников ерниковых отмечено наиболее высокое содержание Mo ($F = 11.12$; $P < 0.05$).

Отбор хвои в лиственничниках грушанковом и ольховниковом был проведен только на одной пробной площади. Можно отметить, что накопление в хвое стланика Mg, Ba, Cu, V, Zn и Ag в лиственничнике ольховниковом значительно превышало средние величины в других расти-

тельных сообществах. В лиственничнике грушанковом в хвое стланика выявлено значительно больше, чем в других сообществах содержание Co. Однако для доказательства этих фактов требуются дополнительные исследования.

Концентрации химических элементов в хвое стланика в большинстве случаев значительно варьировали в зависимости от места отбора проб. Коэффициент вариации накопления большинства исследованных элементов в хвое был очень высокий – $CV > 40\%$. Особенно значительной вариацией накопления ($CV > 100\%$) отличались V, Co, Ag, Cd и Sr. Относительно низким варьированием ($V < 40\%$) характеризовалось содержание в хвое Al, Ba и Ti. Не отличались в зависимости от места произрастания концентрации в хвое стланика Se, Sb, Pb и Be (табл. 2).

Обнаружена статистически значимая тенденция увеличения или снижения концентрации химических элементов в зависимости от абсолютной высоты места произрастания. Например, с увеличением абсолютной высоты наблюдается повышение в хвое стланика концентрации Mg ($r = 0.53$; $P < 0.05$), Zn ($r = 0.53$; $P < 0.05$), Ti ($r = 0.68$; $P < 0.05$) и V ($r = 0.57$; $P < 0.05$) и, напротив, снижение концентрации Cr ($r = -0.67$; $P < 0.05$).

Известно, что между элементами существует взаимодействие – синергизм и антагонизм. Синергизм проявляется в усилении влияния на состояние растений совместного действия 2-х и более элементов. Антагонизм приводит к тому, что усвоение растениями какого-либо элемента ухудшается. Кроме перечисленных групп химических элементов, выделяют еще группу так называемых “блокировщиков”, которые не ухудшают усвоение другого элемента, а полностью его блокирует. Уровень таких взаимодействий напрямую зависит от характеристик почвы, ее кислотности и состава; окружающей температуры; процентного соотношения питательных элементов. Нами определены статистически достоверные ($P < 0.05$) коэффициенты корреляции концентраций 15 химических элементов в хвое стланика (табл. 3).

По числу образованных связей элементы можно расположить в следующем порядке: $Mg > Zn > Fe = V = Cr > Cu = Mo = Ba > Ni = Hg = Al > Co = Ti = Ag = Sr$. Количество пробных площадей, на которых был проведен отбор растительных проб, относительно невелико, поэтому полученные данные можно рассматривать как предварительные. Закономерности взаимодействия элементов могут измениться при большем массиве данных.

Концентрация большинства химических элементов в хвое стланика была больше содержания подвижных элементов в почве. Особенно Mo (в

Таблица 3. Коэффициент корреляции Пирсона между содержанием химических элементов в хвое кедрового стланика**Table 3.** Pearson's correlation coefficient between the content of chemical elements in dwarf Siberian pine needles

Элемент	Mg	Sr	Ba	Fe	Zn	Ni	Hg	Al	V
Fe	-0.60								
Zn	0.70								
Cu			0.59		0.89				
Ni			0.60						
Co						-0.65			
Hg					-0.55				
Al			-0.64						
Ti				-0.56					
V	0.70	0.63			0.59				
Mo	-0.64			0.60				-0.73	
Cr	-0.74				-0.68		0.75		-0.55
Ag				0.57					

275 раз), а также Ti, Ni, Cr, V и Ag (в 14–38 раз). Концентрации других химических элементов превышали содержание в почве в 2–7 раз. Содержание в хвое Fe, Sr, Pb и Hg было меньше содержания подвижных элементов в почве в 8–12 раз.

Таким образом, на концентрацию химических элементов в хвое стланика влияет ряд факторов, преимущественно связанных с экологическими условиями произрастания. Это высота над уровнем моря, крутизна склона, тип растительного сообщества, содержание химических элементов в почве, избирательная способность растения к поглощению элементов, а также взаимодействие элементов между собой.

ВЫВОДЫ

1. Концентрации химических элементов в хвое кедрового стланика *Pinu spumila* (Pall.) Regel, произрастающего в районе хребта Удокан (Забайкальский край) значительно отличались от клар-

ков, установленных для наземных растений и содержания элементов в хвое стланика в других регионах Сибири и Дальнего Востока.

2. Содержание в хвое кедрового стланика ряда элементов (Mg, Fe, Cr, Mn, Zn, Mo) имело существенные различия в разных типах растительных сообществ, что свидетельствует о неоднородности геохимических условий местопроизрастания стланика.

3. Хвоя кедрового стланика в условиях хребта Удокан характеризуется более высоким накоплением, по отношению к содержанию в почве, таких элементов, как Mo, Ti, Ni, Cr, V и Ag.

4. Использование хвои кедрового стланика в качестве кормовой добавки животным может ограничивать повышенное содержание в ней ряда элементов (Ni, Mo, Co, Cr, Ag, As и Cd).

5. Использование хвои в фармацевтической и парфюмерно-косметической промышленности возможно, но с учетом ПДК As.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нешатаева В.Ю.* 2011. Сообщества кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) полуострова Камчатка. — Растительность России. 19: 71–100. <https://doi.org/10.31111/vegus/2011.19.71>
2. *Филиппова Е.В., Бобринев В.П., Пак Л.Н.* 2015. Особенности биологии кедрового стланика (*Pinu spumila*) на севере Забайкалья. — Вестник ЗабГУ. 6: 44–49. <https://elibrary.ru/item.asp?id=24333937>
3. *Моложников В.Н.* Кедровый стланик горных ландшафтов Северного Прибайкалья. 1975. М. 204 с.
4. *Кузьмина И.Ю.* 2017. Экономическая эффективность применения кормовой добавки из стланика, лишайников и микроэлементов в рационах крупного рогатого скота в Магаданской области. — Современные тенден-

- ции развития науки и технологий. 3-1: 114–119.
https://apni.ru/media/Sb_k-3-1_aDwk8NW.pdf
5. Кузьмина И.Ю. 2019. Влияние кормовой добавки из кедрового стланика и лишайников на организм телят. – Ветеринария. 6: 52–54.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38073537>
 6. Домрачев Д.В., Карпова Е.В., Горошкевич С.Н., Ткачев А.В. 2011. Сравнительный анализ летучих веществ из хвои пятихвойных сосен северной и восточной Евразии. – Химия растительного сырья. 4: 89–98.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17289474>
 7. Эрдынеева С.А., Ширеторова В.Г., Тараскин В.В., Раднаева Л.Д. 2020. Сравнительное исследование компонентного состава эфирных масел *Pinus pumila* (Pall) Regel Прибайкальской и Якутской популяций. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 23–9: 19–25.
<https://doi.org/10.29296/25877313-2020-09-03>
 8. Выводцев Н.В., Джумаев М.А., Тагильцев Ю.Г., Колесникова Р.Д. 2011. Кедровый стланик: распространение, экология, использование. – Вестник Тихоокеанского государственного университета. 1 (20): 115–124.
<https://pnu.edu.ru/media/vestnik/articles/509.pdf>
 9. Сивцева С.В., Охлопкова Ж.М. 2018. Антибактериальная активность и цитотоксический анализ экстрактов из фитомассы дикорастущих растений Якутии. – Вестник СВФУ. 3(65): 24–38.
[https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/dnii/vestnik-svfu/arkhiv/arkhiv-2018/Vestnik%20СВФУ%203%20\(65\)%202018.pdf](https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/dnii/vestnik-svfu/arkhiv/arkhiv-2018/Vestnik%20СВФУ%203%20(65)%202018.pdf)
 10. Лобкович В.Э., Шраменок Т.В. Зубная паста с маслом кедрового стланика. Патент на изобретение RU 2280434 С2, 27.07.2006. Заявка № 2004124913/15 от 05.08.2004.
<https://patenton.ru/patent/RU2280434C2.pdf>
 11. Васильева А.Г., Чирикова Н.К. 2020. Биологически активные вещества хвои кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel). – Медико-фармацевтический журнал пульс. 22(7): 68–72.
<https://doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-7-68-72>
 12. Shpatov A.V., Popov S.A., Salnikova O.I., Shmidt E.N., Kang S.W., Kim S.M., Um B.H. 2013. Lipophilic extracts from needles and defoliated twigs of *Pinus pumila* from two different populations. – Chem. Biodivers. 10(2): 198–208.
<https://doi.org/10.1002/cbdv.201200009>
 13. Пельмский Г.А., Лантева Н.И. 2010. Благородные металлы в рудах Удокана. – Жизнь Земли. 32: 88–91.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29865217>
 14. Зиновьев Ю.И. 2009. Геохимические особенности Сакуканских отложений и медных руд Удокана. – Горный информационно-аналитический бюллетень. S3: 63–68.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13102615>
 15. Замана Л.В., Усманов М.Т., Борзенко С.В. 2007. Гидрогеохимия рек по трассе проектируемого нефтепровода “Восточная Сибирь-Тихий океан” в междуречье Витим-Олекма. – Водные ресурсы. 3: 345–355.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9516689>
 16. Макаров В.П., Михеева Н.Ю., Борзенко С.В. 2021. Содержание химических элементов в почвах на территории Удоканского месторождения меди. – Агрохимия. 9: 50–61.
<https://doi.org/10.31857/S0002188121090088>
 17. ГОСТ 17.1.3.07-82. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. 2001. М. 10 с.
<https://docs.cntd.ru/document/1200012472>
 18. ГОСТ 31861–2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб. 2013. М. 32 с.
<https://docs.cntd.ru/document/1200097520>
 19. ГОСТ 27384–2002. Межгосударственный стандарт. Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств. 2010. М. 6 с.
<https://docs.cntd.ru/document/1200030884>
 20. ГОСТ 31870-2012. Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии. 2013. М. 25 с. <https://docs.cntd.ru/document/1200097409>
 21. ПНД Ф 14.1:2.4.138-98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций калия, лития, натрия и стронция в пробах питьевых, природных и сточных вод методом пламенно-эмиссионной спектроскопии. 2010. М. 18 с.
<https://docs.cntd.ru/document/556339180>
 22. Методика определения микроэлементов в почвах, растениях и воде. 1974. М. 284 с.
 23. Унифицированные методы мониторинга фонового загрязнения природной среды. 1986. М. 182 с.
 24. Войткевич Г.В., Кокин А.В., Мирошников А.И., Прохоров В.Г. Справочник по геохимии. 1990. М. 480 с.

25. Пугачев А.А. 2011. Элементы биологического круговорота в экосистемах кедрового стланика Верхней Колымы. — Лесоведение. 1: 13–18.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16310983>
26. Кузьмина И.Ю. 2015. Влияние кормовой добавки из стланика, лишайников и микроэлементов на морфологические показатели крови крупного рогатого скота в Магаданской области. — Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. 9: 128–131.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23094380>
27. Эрдынеева С.А., Широторова В.Г., Раднаева Л.Д. 2019. Особенности накопления тяжелых металлов деревьями хвойных пород Республики Бурятия. — Проблемы устойчивого развития региона: IX школа-семинар молодых ученых России, посвященная 70-летию академика РАН Арнольда Кирилловича Тулохонова, Улан-Удэ, 03–07 июля 2019 года. — Улан-Удэ. С. 170–175.
https://www.binm.ru/books/2019/02_School_IX.pdf
28. Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсилопа в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. 1987.
<https://fsvps.gov.ru/fsvps/download/attachment/145066/mdu.pdf>

Some Aspects of the Chemical Elements Content in the Needles of *Pinus pumila* (Pinaceae) from the Udokan Ridge (Transbaikalia)

V. P. Makarov^{a,*}, S. V. Borzenko^a, N. V. Pomazkova^a, T. V. Zhelibo^a

^a*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia*

^{*}*e-mail: vm2853@mail.ru*

Abstract—The article presents the results of the study of the chemical elements content in dwarf Siberian pine (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) needles from the high-mountain area of the Northern Transbaikalia near the Udokan copper deposit. The research was focused on the assessment of the specificity of elements content in the high altitude environments and permafrost soils amid the preparation of the territory of the copper deposits development, and the prospects of using the dwarf Siberian pine needles in agriculture, medicine, and perfumery. Sampling of the dwarf Siberian pine needles was carried out in the most typical larch forest and dwarf Siberian pine communities of the study area in June and August 2011. The needle samples were analyzed according to the approved methods using modern devices and equipment in the laboratory of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPREC SB RAS). It was found that chemical element concentrations in dwarf Siberian pine needles decrease in the following sequence: Mg > Al > Mn > Ba > Fe > Ti > Cu > Ni > V > Zn > Mo > Co > Cr > Ag > As > Cd > Sr > Se > Sb > Pb > Hg > Be. In needles, concentrations of Al, Ti, Ag, V, Cr, Ba, Ni, Co, As, Mo, Se, and Cu are greater than clarkes, and of Cd, Sb, Fe, Hg, Mg, Mn, Zn, Be, and Sr – less than clarkes. Dwarf Siberian pine needles have higher content of Ni, Mo, Co, Cr, Ag, As, and Cd than the maximum allowable concentrations (MAC) specified for animal feedstuff. The use of dwarf Siberian pine needles in the medical, and perfume and cosmetic production is limited by the increased As content exceeding maximum allowable concentration 1.3 times. The results of the work can be used to monitor environmental pollution, and should be considered when using dwarf Siberian pine needles as animal feed additive, and ash for the production of medicinal and perfumery substances.

Keywords: *Pinus pumila*, needles, elemental composition, Udokan ridge

REFERENCES

1. Neshataeva V.Yu. 2011. Siberian dwarf-pine (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) communities in the Kamchatka Peninsula. — *Rastitel'nost' Rossii*. 19: 71–100.
<https://doi.org/10.31111/vegus/2011.19.71> (In Russian)
2. Filippova E.V., Bobrinev V.P., Pak L.N. 2015. [Features of *Pinus pumila* biology in the North of Transbaikalia]. — *Transbaikal State University J.* 6: 44–49.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=24333937> (In Russian)
3. Molozhnikov V.N. 1975. [*Pinus pumila* of the Northern Baikal region mountain landscapes]. Moscow. 204 p. (In Russian)
4. Kuz'mina I.Yu. 2017. [Economic efficiency of the application of the feed supplement made from *Pinus pumila*, lichens and trace elements in cattle nutrition in the Magadan region]. — *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*. 3–1: 114–119.
https://apni.ru/media/Sb_k-3-1_aDwk8NW.pdf (In Russian)

5. *Kuz'mina I. Yu.* 2019. [Influence of feed supplement from mountain pine and lichens on the organism of calves]. – *Veterinariya*. 6: 52–54.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38073537> (In Russian)
6. *Domrachev D. V., Karpova E. V., Goroshkevich S. N., Tkachev A. V.* 2012. Comparative analysis of volatiles from needles of the five-needle pines of northern and eastern Eurasia. – *Russ. J. Bioorg. Chem.* 38(7): 780–789.
<http://doi.org/10.1134/S1068162012070059>
7. *Erdyneeva S. A., Shiretorova V. G., Taraskin V. V., Radnaeva L. D.* 2020. A comparative study of *Pinus pumila* (Pall) Regel needles essential oils from Baikal and Yakut populations. – *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 23–9: 19–25.
<https://doi.org/10.29296/25877313-2020-09-03> (In Russian)
8. *Vyvodtsev N. V., Dzhumayev M. A., Tagil'tsev Yu. G., Kolesnikova R. D.* 2011. [*Pinus pumila*: distribution, ecology, use]. – *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 1(20): 115–124.
<https://pnu.edu.ru/media/vestnik/articles/509.pdf> (In Russian)
9. *Sivtseva S. V., Okhlopova Zh. M.* 2018. Antibacterial activity and cytotoxicity analysis of wild plants of Yakutia phyto-mass extracts. – *Vestnik of North-Eastern Federal University*. 3(65): 24–38.
[https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/dnii/vestnik-svfu/arkhiv/arkhiv-2018/Вестник%20СВФУ%203%20\(65\)%202018.pdf](https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/dnii/vestnik-svfu/arkhiv/arkhiv-2018/Вестник%20СВФУ%203%20(65)%202018.pdf) (In Russian)
10. *Lobkovich V. E., Shramenok T. V.* [Toothpaste with *Pinus pumila* oil]. – Patent of invention. RU 2280434 C2, 27.07.2006. Application № 2004124913/15 of 05.08.2004.
<https://patent.ru/patent/RU2280434C2.pdf> (In Russian)
11. *Vasil'eva A. G., Chirikova N. K.* 2020. [Biologically active substances of *Pinus pumila* (Pall.) Regel leaves]. – *Medical and pharmaceutical journal "Pulse"*. 22(7): 68–72.
<http://doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-7-68-72> (In Russian)
12. *Shpatov A. V., Popov S. A., Salnikova O. I., Shmidt E. N., Kang S. W., Kim S. M., Um B. H.* 2013. Lipophilic extracts from needles and defoliated twigs of *Pinus pumila* from two different populations. – *Chem. Biodivers.* 10(2): 198–208.
<https://doi.org/10.1002/cbdv.201200009>
13. *Pelymskii G. A., Lapteva N. I.* 2010. [Noble metals in the Udokan ores]. *The life of Earth*. 32: 88–91.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29865217> (In Russian)
14. *Zinov'ev Yu. I.* 2009. [Geochemical features of the Sakukan formations and the copper ores of the Udokan]. *Mining informational and analytical bulletin*. S3: 63–68.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13102615> (In Russian)
15. *Zamana L. V., Usmanov M. T., Borzenko S. V.* 2007. [Hydrochemistry of rivers along the route of the projected Eastern Siberia-Pacific Ocean oil pipeline in the Vitim-Olekma interfluve]. *Vodnye resursy*. 34(3): 345–355.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9516689> (In Russian)
16. *Makarov V. P., Mikheeva N. Yu., Borzenko S. V.* 2021. Content of chemical elements in soils on the territory of the Udokan copper deposit. – *Agrokhimiya*. 9: 50–61.
<http://doi.org/10.31857/S0002188121090088> (In Russian)
17. *GOST 17.1.3.07-82.* 2001. [Interstate Standard. Nature protection. Hydrosphere. Procedures for quality control of water in reservoirs and stream flows]. Moscow. 10 p.
<https://docs.cntd.ru/document/1200012472> (In Russian)
18. *GOST 31861–2012.* 2013. [Interstate standard. Water. General requirements for sampling] Moscow. 32 p.
<https://docs.cntd.ru/document/1200097520> (In Russian)
19. *GOST 27384-2002.* 2010. [Interstate standard. Water. Rates of measurement error of characteristics of composition and properties] Moscow. 6 p.
<https://docs.cntd.ru/document/1200030884> (In Russian)
20. *GOST 31870-2012.* 2013. [Drinking water. Determination of elements content by atomic spectrometry methods] Moscow. 25 p.
<https://docs.cntd.ru/document/1200097409> (In Russian)
21. *[PND F 14.1: 2: 4.138-98.* 2010. Quantitative chemical analysis of waters. Methods for measuring the mass concentrations of potassium, lithium, sodium and strontium in samples of drinking, natural and waste water by the method of flame emission spectrometry]. Moscow. 18 p.
<https://docs.cntd.ru/document/556339180> (In Russian)
22. [*Methods for determining trace elements in soils, plants, and water*]. 1974. Moscow. 284 p. (In Russian)
23. [*Standardized methods for monitoring of background pollution of the natural environment*]. 1986. Moscow. 182 p. (In Russian)
24. *Voitkevich G. V., Kokin A. V., Miroshnikov A. I., Prokhorov V. G.* 1990. [Handbook of Geochemistry]. Moscow. 480 p. (In Russian)

25. *Pugachev A.A.* 2011. [Biological cycle components in ecosystems dwarf Siberian pine of the Upper Kolyma river basin]. – *Lesovedenie*. 1:13–18.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16310983> (In Russian)
26. *Kuz'mina I.Yu.* 2015. Effect of feed additives made of dwarf Siberian pine, lichen and trace elements on the morphological blood parameters of cattle in the Magadan region]. – *Sel'skokhozyaistvennye nauki i agropromyshlennyi kompleks na rubezhe vekov*. 9: 128–131.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23094380> (In Russian)
27. *Erdynееva S.A., Shiretorova V.G., Radnaeva L.D.* 2019. [Aspects of heavy metal accumulation by coniferous trees in the Republic of Buryatia]. – *Problemy ustoichivogo razvitiya regiona: IX shkola-seminar molodykh uchenykh Rossii, posvyashchennaya 70-letiyu akademika RAN Arnol'da Kirillovicha Tulokhonova, Ulan-Ude*. P. 170–175.
https://www.binm.ru/books/2019/02_School_IX.pdf (In Russian)
28. [Temporary maximum permissible level (MPL) of some chemical elements and gossypol in feeds for farm animals and feed additives] 1987.
<https://fsvps.gov.ru/fsvps/download/attachment/145066/mdu.pdf> (In Russian)