

УДК 581.192.1

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПЫЛЬЦЫ *PINUS SYLVESTRYS* L., *P. SIBIRICA* DU TOUR И *P. PUMILA* (PALL.) REGEL

© В.Г. Ширеторова^{1*}, С.А. Эрдынеева^{1,2}, Л.Д. Раднаева^{1,2}

¹Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670047 (Россия), e-mail: vshiretorova@rambler.ru

²Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, 670000, ул. Смолина, 24а, Улан-Удэ, 670000 (Россия)

В данной работе представлено исследование макро- (калий, натрий, кальций, магний), микроэлементов (медь, цинк, марганец, железо, никель) и тяжелых металлов (свинец, кадмий, ртуть) в пыльце сосны обыкновенной, сосны сибирской и кедрового стланика, произрастающих на территории Республики Бурятия. Количественное содержание элементов в исследуемых образцах 2017–2020 гг. определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре SOLAAR М6 после кислотной минерализации в микроволновой системе MARS 6. Исследование элементного состава пыльцы сосны сибирской и кедрового стланика проводится впервые. Показано, что пыльца в сравнении с хвоей содержит повышенные содержания калия, меди, цинка и пониженные – кальция, что, вероятно, обусловлено потребностью растительного организма в данных элементах для нормального роста и оплодотворения. В работе представлен биplot МПК-анализа, отражающий влияние атмосферного загрязнения на накопление тяжелых металлов в пыльце сосны обыкновенной, которое проявляется в повышенном содержании железа, свинца, кадмия, ртути, и пониженном марганца по сравнению с фоновыми территориями. Также биplot показывает зависимость содержания изученных элементов от видовой принадлежности пыльцы сосен. В целом, содержание токсичных элементов не превышает предельно допустимых значений, а концентрации макро- и микроэлементов в пыльце сосен находятся в пределах достаточных, или нормальных для жизнедеятельности растений. Полученные данные можно рассматривать как одни из показателей экологической и санитарно-гигиенической безопасности растительного сырья указанных видов растений флоры Бурятии (Россия).

Ключевые слова: пыльца, *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*, *Pinus pumila*, макро- и микроэлементы, тяжелые металлы, лекарственное растительное сырье.

Исследование выполнено в рамках государственного задания БИП СО РАН (AAAA-A21-121011890027-0).

Введение

Род Сосна (*Pinus*) семейства Сосновые (*Pinaceae*), включает в себя 130 видов вечнозеленых деревьев (реже прямостоячих или стелющихся кустарников) и является самым широко распространенным видом хвойных, произрастающих в Северном полушарии [1]. Деревья рода *Pinus* относятся к наиболее ценным лесообразующим породам Евразии, имеют большую хозяйственную ценность и огромное экологическое значение. Леса из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – боры занимают особенно большие территории в пределах России. Леса из сосны сибирской или сибирского кедра (*Pinus sibirica* Du Tour) – кедрачи – ха-

Ширеторова Валентина Германовна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии природных систем, e-mail: vshiretorova@rambler.ru

Эрдынеева Светлана Аркадьевна – аспирант лаборатории химии природных систем, ассистент кафедры фармации, e-mail: esssa198013@gmail.com

Раднаева Лариса Доржиевна – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории химии природных систем, заведующая кафедрой фармации, e-mail: radld@mail.ru

актерны для многих районов Западной и южных районов Восточной Сибири. Кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) образует стелющиеся кустарникообразные леса в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке [2]. Широта распространения, ценные лечебные свойства различных частей сосен и широкий спектр их оздоравливающего действия обусловили популярность их применения в народной медицине [3]. Хвоя, побеги, почки, кора и

* Автор, с которым следует вести переписку.

шишки сосен в виде отваров и настоев издавна использовались для лечения различных воспалительных заболеваний, а также как общеукрепляющее, витаминное средство.

Ценным источником биологически активных веществ является и пыльца сосен, которая содержит витамины: А, D₃, Е, В₁, В₂, В₆, РР, фолиевую и аскорбиновую кислоты; β-каротин, аминокислоты, макро- и микроэлементы; ферменты и коферменты; моно- и полисахариды; жиры и пищевые волокна [4]. В традиционной китайской медицине на протяжении нескольких тысячелетий используется пыльца *P. massoniana* в качестве лекарства и пищи. Отмечается [5], что в последние 20 лет произошел значительный рост количества публикаций в области фармакологических и клинических исследований сосновой пыльцы. Китайскими исследователями установлено, что экстракты, содержащие полисахаридные фракции пыльцы *P. massoniana*, обладают иммуномодулирующей, противовоспалительной и противовирусной активностью, а также антиоксидантным и гепатопротекторным действием [6–8]. Спиртовые экстракты пыльцы *P. densiflora*, произрастающей в Корее, обладают противовоспалительным действием и антиоксидантной активностью [9].

По литературным данным, сосна обыкновенная может продуцировать до 30–40 кг пыльцы с 1 га [10]. Однако исследования пыльцы сосен, произрастающих на территории России, как сырья для пищевой, фармацевтической и косметической промышленности, пока носят единичный характер и касаются лишь *P. sylvestris*. Так, установлено содержание аскорбиновой кислоты, сахаров, дубильных веществ, флавонолов, катехинов, протопектинов, сапонинов и 12 элементов в пыльце *P. sylvestris*, произрастающей на территории Алтайского края [10]. Исследован аминокислотный состав пыльцы *P. sylvestris* из Северной Осетии [11], качественными реакциями показано присутствие витаминов В₁, Е, F, флавоноидов (флавоны, флавонолы, халконы, изофлавоны) и углеводов (сахарозы, глюкозы и фруктозы) в 70%-ном этанольном экстракте пыльцы *P. sylvestris* Северо-Казахстанской области [12]. Данные по элементному составу пыльцы имеются также лишь для *P. sylvestris*, произрастающей в Новосибирске [13], Перми [14] и европейских странах (Польша, Латвия, Германия, Франция, Словакия) [15]. В результате проведенного нами ранее [16] исследования пыльцы *P. sylvestris* и *P. pumila*, произрастающих на территории Республики Бурятия, установлено количественное содержание в пыльце флавоноидов, свободных аминокислот, дубильных веществ, аскорбиновой кислоты.

Таким образом, огромная ресурсная база, содержание широкого спектра биологически активных веществ и популярность сосновой пыльцы в народной медицине позволяют сделать выводы о необходимости проведения более детальных исследований химического состава и биологической активности пыльцы древесных растений рода *Pinus*, произрастающих на территории России.

В связи с тем, что действие основных биологически активных веществ лекарственного растительного сырья часто проявляется в комплексе с природным минеральным составом, целью работы было определение содержания макро- и микроэлементов в пыльце *P. sylvestris*, *P. sibirica* и *P. pumila*, а также оценка экологической безопасности сырья по содержанию некоторых тяжелых металлов.

Экспериментальная часть

Заготовку пыльцы для анализа элементного состава осуществляли в мае-июне 2017–2020 гг. на фоновых территориях в районах Республики Бурятия, а также в окрестностях г. Улан-Удэ (табл. 1). За 1–3 дня до начала пыления осуществляли сбор «мужских колосков» с 20–30 деревьев разных возрастов с разных сторон кроны на высоте до 2–2.5 м. Собранное сырье досушивали в закрытых помещениях до высыпания пыльцы из колосков. Пыльцу отвеивали на ситах и хранили в стеклянной герметичной таре при температуре 2–3 °С до проведения анализа на элементный состав.

Содержание общей золы в пыльце определялось по общепринятой методике для лекарственного растительного сырья [17]. Определение количественного содержания элементов в пыльце проводилось согласно [18] на атомно-абсорбционном спектрофотометре Solaar M6 (Thermo Scientific, США) после предварительного разложения образцов пыльцы с концентрированной азотной кислотой в микроволновой системе MARS 6 (СЕМ, США) с использованием специальных сосудов из фторполимерных материалов XP-1500 Plus. При разложении образцов к 0.5 г воздушно-сухой пыльцы, помещенной в тефлоновый сосуд, добавляли 10 мл концентрированной азотной кислоты, далее сосуды закрывали и помещали в микроволновую систему. Обработку реакторов проводили по стандартной программе для растительных образцов с автоматическим контролем температуры и давления (нагрев до температуры 200 °С – 15 мин, выдержка при 200 °С

– 15 мин; давление при выдержке составляло 2.7 МПа). По окончании программы разложения сосуд с минерализованной пробой охлаждали в вытяжном шкафу. Минерализат был прозрачным. После охлаждения минерализат количественно переносили в мерную колбу на 50 мл и доводили дистиллированной водой до метки. В полученном растворе определяли содержание элементов. Определение содержания ртути проводили с использованием ртутно-гидридной приставки VP-100 к атомно-абсорбционному спектрофотометру. Определение элементов в растительных образцах проводили в 3-кратной повторности. Были рассчитаны средняя арифметическая и ее ошибка ($M \pm m$).

Для обработки полученных данных использовали пакет статистического анализа программы «Statistica 8.0». В процессе проведения статистического анализа (РСА) был проведен предварительный анализ полученных данных, проверено соответствие переменных нормальному закону распределения и существование линейной корреляции между переменными. Определение главных компонент проводилось с использованием критерия Scree plot.

Исследование выполнено с использованием оборудования ЦКП БИП СО РАН.

Обсуждение результатов

Особенностями минерального обмена растений являются избирательное накопление элементов в тканях в значительно больших концентрациях, чем в окружающей среде, а также видовая специфичность в потребности, накоплении и распределении элементов по органам [19]. На содержание того или иного элемента в разных органах и тканях растений также оказывает влияние его физиологическая роль в метаболизме растительного организма. Растения, произрастающие на территориях, подвергающихся воздействию поллютантов, могут накапливать токсичные элементы.

Таблица 1. Характеристика мест сбора образцов на территории Республики Бурятия

№ образца	Год сбора	Место сбора
<i>Pinus sylvestris</i>		
1	2020	окраина Улан-Удэ, мкр. Комушка, нагорная часть города, сосняк рододендроновый в типичном разреженном разновозрастном насаждении. (LAT 51°79' LON 107°61'), высота над уровнем моря 497 м.
2	2020	окраина Улан-удэ, мкр. Верхняя Березовка, южное предгорье хр. Улан-Бургасы, сосняк кустарничково-зеленомошный, (LAT 51°84' LON 107°64'), высота над уровнем моря 593 м.
3	2019	
4	2019	Иволгинский район, хребет Улан-Бургасы, 30 км к северу от Улан-Удэ, сосняк рододендроновый. (LAT 52°50' LON 109°03'), высота над уровнем моря 1180 м
5	2018	
6	2020	Кабанский район, побережье оз. Байкал, окрестности с. Мантуриха, (LAT 51°46' LON 105°58'), тип леса разнотравный, высота над уровнем моря 457 м
7	2019	
8	2018	Кижингинский район, окрестности п. Кижинга, (LAT 51° 50' LON 109° 54 '), насаждения с преобладанием сосны или чистые сосняки, произрастающие на песчаной террасе долины р. Кижинга, высота над уровнем моря 700 м.
9	2018	
10	2020	Прибайкальский район, побережье оз. Котокель, (LAT 52°49' LON 108°09'), тип леса разнотравный, высота над уровнем моря 470 м
11	2020	Баргузинский район, побережье оз. Байкал, окрестности с. Максимиха, (LAT 53°15' LON 108°44'), тип леса разнотравный, высота над уровнем моря 460 м
12	2018	Баргузинский район, побережье оз. Байкал, окрестности п. Усть-Баргузин, (LAT 53°24' LON 109°01'), сосняк рододендроновый, высота над уровнем моря 459 м
<i>Pinus sibirica</i>		
13	2020	Кабанский район, побережье оз. Байкал, окрестности с. Мантуриха, (LAT 51°46' LON 105°58'), тип леса разнотравный, высота над уровнем моря 460 м
14	2019	
15	2018	Иволгинский район, хребет Улан-Бургасы, 30 км от Улан-Удэ, кедровник баданово-зеленомошный, с подлеском из <i>P. pumila</i> . (LAT 52°50' LON 109°03'), высота над уровнем моря 1250 м.
16	2017	
17	2020	
<i>Pinus pumila</i>		
18	2020	Иволгинский район, хребет Улан-Бургасы, 30 км от Улан-Удэ, верхняя часть лесного пояса, заросли стланика занимают подгольцовые плосковершинные поверхности. (LAT 52°50' LON 109°03), высота над уровнем моря 1329 м.
19	2019	
20	2018	Прибайкальский район, побережье Баргузинского залива оз. Байкал (LAT 51° 50' LON 109° 54 '), песчаная карга, прибрежный ложно-гольцовый пояс кедрового стланика, высота над уровнем моря 458 м.

Пыльца исследуемых видов сосен представляла собой мелкодисперсный порошок от светло-желтого до темно-желтого цвета, запах слабый специфический, вкус сладковатый. Содержание общей золы в пыльце составило (% от массы сухого сырья): *P. sylvestris* – 2.68±0.25, *P. sibirica* – 2.83±0.17 и *P. pumila* – 3.22±0.15. Результаты анализа элементного состава пыльцы *P. sylvestris*, *P. sibirica* и *P. pumila* приведены в таблице 2.

По сравнению с хвоей *P. sylvestris* [20, 21] (табл. 3) можно отметить, что сосновая пыльца отличается более высоким содержанием калия (в 3–5 раз), меди (в 3–4 раза) и цинка (в 2–3 раза) и значительно более низким (в 20–30 раз) содержанием кальция. Такие особенности накопления данных элементов могут быть обусловлены их физиологической ролью в метаболизме растительного организма и важнейшей функцией пыльцы в жизни растения. Содержание макро- и микроэлементов в зрелой пыльце должно быть достаточным для нормального роста и оплодотворения. Высокое содержание калия в пыльце может быть связано с тем, что калий в большей степени концентрируется в молодых растущих тканях с интенсивным обменом веществ – меристемах, молодых корнях, листьях, побегах [22]. Отмечалось, что в хвое *P. sylvestris* 1 года жизни содержание калия выше, чем в хвое 2 и 3 года [20]. Низкое содержание кальция в пыльце, имеющей очень короткий срок жизни, обусловлено тем, что кальций имеет свойство накапливаться в старых органах и тканях растений. Это связано с тем, что реутилизация кальция затруднена, так как он из цитоплазмы переходит в вакуоль и откладывается в виде нерастворимых солей щавелевой, лимонной и других кислот [19]. Среди макроэлементов также можно отметить значительное количество магния в исследуемых образцах сосновой пыльцы, что может быть обусловлено тем, что магний имеет свойство в большей степени накапливаться в молодых клетках, а также в генеративных органах и запасующих тканях [22].

Повышенные содержания цинка и меди в пыльце, вероятно, связаны с ее репродуктивной функцией. Так, ранее повышенная концентрация цинка была отмечена [19] в листьях, репродуктивных органах и конусах нарастания, наибольшая – в семенах растений. Цинк играет большую роль для оплодотворения – он необходим для развития яйцеклетки и зародыша, при недостатке цинка растения вегетировали, но не давали семян, происходило отмирание зародыша [25]. Тенденции к накоплению меди были отмечены [23] в репродуктивных органах растений – при медном голодании наблюдались морфологические изменения пыльников и массовое отмирание завязей.

Таблица 2. Содержание элементов в пыльце *P. sylvestris*, *P. sibirica*, *P. pumila*, мг/кг

№ образца	K	Mg	Ca	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Cr	Ni	Cd	Hg
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>P. sylvestris</i> (г. Улан-Удэ) K > Mg > Ca > Fe > Zn > Mn > Na > Cu > Ni > Cr > Pb > Cd > Hg													
1	10851± 143	1024± 14	96.4± 9.1	34.8± 3.6	91.6± 8.1	54.0± 2.7	53.9± 3.5	10.9± 0.7	5.4± 0.5	0.34± 0.08	4.7± 0.6	0.62± 0.07	0.09± 0.01
2	9825± 838	1119± 98	156± 14	30.7± 5.5	119± 9	57.1± 3.8	41.9± 2.3	12.0± 0.7	4.1± 0.4	0.95± 0.09	6.1± 0.6	0.58± 0.04	0.08± 0.03
3	10086± 113	1048± 11	156± 15	30.1± 4.8	82.4± 7.2	52.2± 0.4	47.2± 3.2	7.6± 0.4	3.2± 0.4	0.31± 0.03	3.1± 0.3	0.77± 0.09	0.08± 0.03
<i>P. sylvestris</i> (фоновые территории) K > Mg > Ca > Mn > Fe ~ Zn > Na > Cu > Ni > Cr > Pb > Cd > Hg													
4	8355± 173	892± 29	190± 19	27.5± 2.5	35.4± 2.8	49.7± 0.8	110.1± 6.2	6.4± 0.5	0.8± 0.1	0.38± 0.02	1.8± 0.2	0.43± 0.03	0.04± 0.01
5	13155± 187	1138± 27	113± 12	27.9± 1.1	51.9± 2.3	38.8± 4.2	104.5± 5.0	7.8± 0.2	1.1± 0.2	0.37± 0.02	1.6± 0.2	0.33± 0.05	0.03± 0.01
6	12118± 607	1256± 47	151± 12	33.6± 0.4	31.4± 2.5	63.9± 6.7	70.7± 4.1	8.5± 1.3	1.3± 0.2	0.56± 0.02	2.7± 0.4	0.13± 0.05	0.05± 0.01
7	11493± 160	925± 45	155± 19	24.1± 2.8	14.8± 0.5	54.9± 2.2	68.7± 2.1	6.9± 0.4	2.3± 0.4	0.63± 0.03	2.1± 0.2	0.34± 0.06	0.03± 0.01
8	9995± 231	1046± 91	163± 36	24.1± 3.6	24.5± 2.9	55.8± 1.2	64.1± 3.1	11.2± 0.1	2.2± 0.5	0.73± 0.06	3.0± 0.3	0.16± 0.03	0.04± 0.01
9	8398± 288	827± 11	183± 19	21.7± 2.1	10.6± 1.1	46.2± 3.4	52.5± 2.5	12.3± 0.6	2.4± 0.5	0.34± 0.02	1.6± 0.2	0.33± 0.07	0.01± 0.01
10	13455± 167	1314± 53	107± 13	67.3± 4.3	23.5± 3.9	52.6± 5.9	54.8± 4.7	12.5± 0.2	1.3± 0.1	0.78± 0.06	2.3± 0.2	0.12± 0.03	0.05± 0.01
11	10305± 156	884± 30	93.5± 8.1	43.2± 5.1	54.9± 3.9	50.6± 4.7	93.8± 3.5	13.2± 0.5	2.1± 0.2	0.51± 0.03	2.5± 0.3	0.26± 0.03	0.01± 0.01
12	8147± 151	831± 29	222± 13	20.2± 1.1	22.9± 1.3	51.8± 3.0	56.1± 3.1	13.6± 0.9	2.2± 0.3	0.68± 0.05	1.9± 0.2	0.25± 0.06	0.01± 0.01

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>P. sibirica</i> K > Mg > Ca > Mn > Fe > Zn > Na > Cu > Ni > Cr > Pb > Cd > Hg													
13	13481± 772	1209± 56	102± 15	60.7± 7.3	29.9± 1.7	58.9± 2.5	78.7± 2.6	12.2± 1.9	1.1± 0.2	0.57± 0.08	2.1± 0.2	0.17± 0.02	0.02± 0.02
14	14777± 133	1043± 44	185± 10	43.2± 2.2	33.8± 2.8	65.8± 2.0	70.8± 4.8	14.6± 0.7	0.8± 0.1	0.53± 0.04	2.1± 0.3	0.21± 0.03	0.01± 0.01
15	17054± 522	1403± 81	155± 12	60.1± 5.2	40.1± 2.9	43.1± 1.6	63.5± 4.3	13.1± 2.1	1.0± 0.1	0.46± 0.02	1.9± 0.1	0.11± 0.02	0.02± 0.01
16	13480± 415	1030± 17	210± 12	49.6± 5.1	45.2± 4.8	66.1± 2.7	54.1± 2.5	9.1± 1.0	0.9± 0.2	0.36± 0.02	2.2± 0.3	0.28± 0.07	0.02± 0.01
17	13618± 216	1119± 52	168± 15	31.4± 3.2	44.6± 3.4	45.5± 0.6	81.4± 4.9	12.9± 0.4	1.1± 0.2	0.29± 0.04	2.0± 0.2	0.12± 0.02	0.01± 0.01
<i>P. pumila</i> K > Mg > Ca > Mn > Fe > Zn > Na > Cu > Ni > Cr > Pb > Cd > Hg													
18	13442± 158	1145± 60	204± 21	41.1± 2.1	52.2± 1.9	44.2± 0.7	135.8± 2.9	14.4± 0.3	1.4± 0.2	0.31± 0.04	2.6± 0.3	0.15± 0.02	0.02± 0.01
19	14030± 166	1269± 92	184± 17	54.6± 4.6	55.1± 7.7	50.4± 3.1	109.9± 6.8	12.1± 0.3	2.0± 0.2	0.33± 0.05	1.7± 0.2	0.09± 0.01	0.02± 0.01
20	16343± 128	1101± 62	114± 15	71.2± 5.2	43.4± 3.6	38.6± 1.8	95.4± 2.7	10.1± 1.0	1.0± 0.1	0.36± 0.03	2.1± 0.2	0.14± 0.04	0.01± 0.01

Таблица 3. Содержание элементов в пыльце *P.sylvestris*, *P.sibirica*, *P.pumila* в сравнении с литературными данными, мг/кг (в числителе – минимальное–максимальное значения, в знаменателе – среднее)

Элемент (ПДС*)	Пыльца			Пыльца <i>P. sylvestris</i>				Хвоя <i>P. Sylvestris</i> [21]
	<i>P. sylvestris</i>	<i>P. sibirica</i>	<i>P. pumila</i>	[4]	[13]	[14]	[15]	
K	<u>8147–13455</u> 10348	<u>13480–17054</u> 14482	<u>13442–16343</u> 14605	9380	11594	–	9900– 12600	2360–820
Mg	<u>827–1314</u> 1008	<u>1030–1403</u> 1201	<u>1101–1269</u> 1172	1700	–	<u>718–3669</u> 1265	750–990	940–1440
Ca	<u>96–222</u> 157	<u>102–210</u> 164	<u>114–204</u> 167	800	556	–	220–360	3080–5430
Na	<u>20–67</u> 33	<u>31–60</u> 49	<u>41–71</u> 56	230	–	–	–	51–185
Fe	<u>22–91</u> 47	<u>29–45</u> 39	<u>43–55</u> 50	281	177	<u>17–172</u> 56	33–58	55–242
Zn	<u>46–64</u> 52	<u>43–66</u> 56	<u>38–50</u> 44	88	40	<u>42–107</u> 55	47–58	41–63
Mn	<u>41–104</u> 66	<u>54–81</u> 69	<u>95–135</u> 114	27	22	<u>77–1027</u> 283	39–206	115–631
Cu	<u>6.9–13.6</u> 10.3	<u>9.1–14.6</u> 12.4	<u>10.1–14.4</u> 12.2	–	3.2	<u>1.9–19.1</u> 7.0	4.5–7.5	2.0–3.1
Pb (6.0)	<u>1.3–5.4</u> 2.4	<u>0.8–1.1</u> 1.0	<u>1.0–2.0</u> 1.5	–	0.43	<u>0.3–2.8</u> 1.4	–	0.2–0.7
Cr	<u>0.31–0.95</u> 0.55	<u>0.29–0.57</u> 0.44	<u>0.31–0.36</u> 0.33	–	–	<u>0.24–5.52</u> 1.31	0.30–0.68	–
Ni	<u>1.6–6.1</u> 4.5	<u>1.9–2.2</u> 2.1	<u>1.7–2.6</u> 2.1	–	0.9	<u>2.3–42.6</u> 12.6	1.1–8.3	3.8–15.0
Cd (1.0)	<u>0.12–0.77</u> 0.45	<u>0.11–0.28</u> 0.18	<u>0.09–0.15</u> 0.13	–	–	<u>0.24–1.08</u> 0.50	0.14–0.60	0.06–0.16
Hg (0.1)	<u>0.01–0.09</u> 0.043	<u>0.01–0.02</u> 0.016	<u>0.01–0.02</u> 0.016	–	–	–	–	–

*предельно допустимое содержание (ПДС) согласно Государственной Фармакопеи [17] и СанПиН [23]

«–» – нет данных.

Относительно высокое содержание марганца в исследуемых образцах (42–135 мг/кг) по сравнению со средним содержанием в растениях 25–40 мг/кг [22] может объясняться тем, что растения, продуцирующие терпеноиды, накапливают марганец [26, 27], который, конденсируясь с пирофосфатным фрагментом, облегчает его отщепление при биосинтетических процессах, ведущих к образованию основных классов изопреноидов [28], в связи с чем растения рода *Сосна* относят к манганофилам [29].

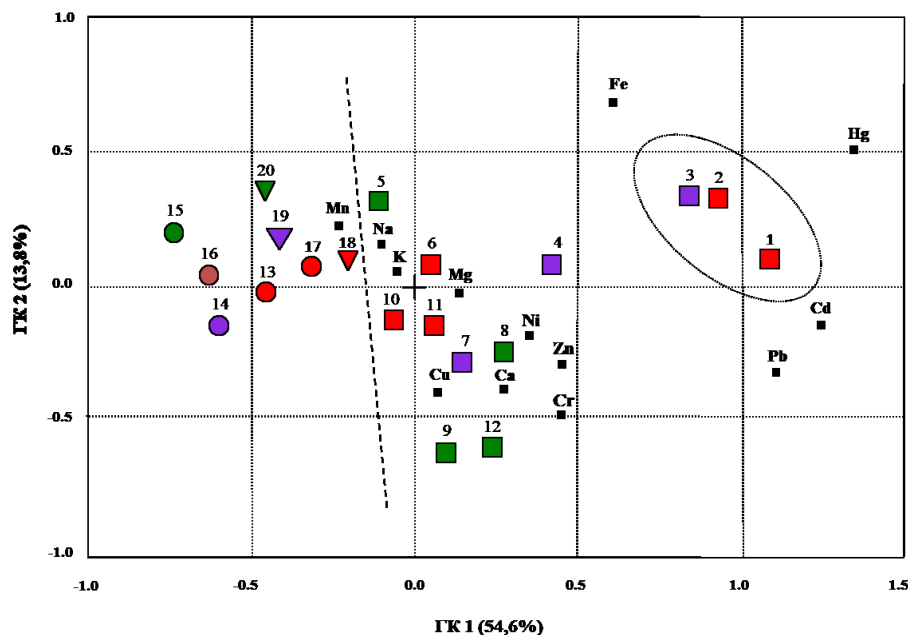
По уровню содержания в пыльце химических элементов были составлены ряды накопления (табл. 2), которые схожи для данных видов сосен ($K > Mg > Ca > Mn > Fe \sim Zn > Na > Cu > Ni > Cr > Pb > Cd > Hg$). В пыльце *P. sylvestris* в зависимости от места произрастания марганец и железо меняются местами в ряду накопления – в черте города содержание железа превышает содержание марганца в отличие от образцов, собранных на фоновых территориях. Ранее схожие тенденции наблюдались нами для хвои сосны обыкновенной, собранной в окрестностях Улан-Удэ [30]. Следует отметить, что Улан-Удэ на протяжении более 10 лет подряд включается в Приоритетный список городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы, и в годы сбора пыльцы для исследования, по данным Бурятского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, здесь наблюдался очень высокий уровень загрязнения воздуха [31]. Ранее исследователями было показано [20, 21, 32], что в условиях промышленного загрязнения происходит увеличение количества железа и снижение марганца как реакция на присутствие поллютантов в растениях. В зонах токсического влияния загрязнителей в органах и органеллах растений протекают реакции, которые можно характеризовать как адаптацию к изменяющимся условиям [19, 23]. При этом высокая концентрация микроэлементов приводит к нарушениям формирования генеративных органов: при избытке железа наблюдается стерильность цветков растений; избыток микроэлементов в биогеохимических провинциях вызывал недоразвитие цветков и ненормальное развитие соцветий [23]. Авторами установлено, что у хвойных видов в условиях промышленного загрязнения возрастает число патологий в процессе микроспорогенеза: увеличивается число аномальной пыльцы, падает способность пыльцевых зерен накапливать крахмал, снижается способность прорасти и образовывать пыльцевые трубки [33, 34]. Показана высокая чувствительность пыльцевых зерен хвойных в оценке степени влияния неблагоприятных экологических факторов, а также возможность биоиндикации техногенного загрязнения даже в отсутствие симптомов повреждения ассимиляционного аппарата [35]. Также было выявлена положительная связь между концентрациями тяжелых металлов и количеством аномалий пыльцевых зерен [14].

Биplot, полученный в результате МГК-анализа (рис.) элементного состава пыльцы *P. sylvestris*, *P. sibirica*, *P. pumila*, отражает влияние загрязнения воздуха и показывает зависимость содержания изученных элементов от видовой принадлежности. На графике образцы *P. sylvestris*, собранные в черте г. Улан-Удэ составляют отдельный локус (на рисунке обозначены овалом). Для них характерно повышенное содержание железа, никеля, свинца, кадмия и ртути. Остальные образцы можно разделить на две группы по видовой принадлежности. Первая группа, расположенная в левой части биplotа, представлена образцами пятихвойных сосен *P. sibirica* и *P. pumila*. Она характеризуется большим накоплением марганца по сравнению с *P. sylvestris*. Вторая группа образцов, концентрирующаяся в центральной части биplotа, представлена *P. sylvestris*. Обращает на себя внимание то, что образцы всех трех видов сосен, произрастающие в районе хребта Улан-Бургасы на высоте 1200–1300 м над уровнем моря на биplotе находятся близко друг к другу, и несколько обособленно по отношению к остальным образцам, что вероятно, можно объяснить влиянием условий произрастания. Определенного влияния года сбора на элементный состав образцов пыльцы выявлено не было.

В целом, полученные нами результаты хорошо согласуются по содержанию калия, магния и цинка с имеющимися для пыльцы *P. sylvestris* литературными данными [4, 13–15] (табл. 3). По содержанию магния, железа, марганца, хрома, никеля и кадмия данные анализа образцов пыльцы из Бурятии сопоставимы с таковыми для сосны обыкновенной, произрастающей в Пермском крае [14] и западных регионах Евразии [15]. Значительно более высокое накопление магния, железа, цинка, марганца, хрома и никеля в пыльце было отмечено для промышленных районов г. Перми, что может быть связано с характером загрязнения.

Сравнение результатов анализа элементного состава с суточной потребностью для взрослых [36] показало, что пыльца исследуемых видов сосен может служить дополнительным источником макро- и микроэлементов, особенно таких как калий, магний, марганец, железо, цинк и медь.

Содержание свинца, кадмия и ртути во всех образцах пыльцы, в том числе в окрестностях Улан-Удэ, не превышает предельно допустимых значений (ПДК), установленных для лекарственного растительного сырья [18]. Однако, для образцов, собранных на территориях с повышенным загрязнением воздуха необходим особенно тщательный контроль, поскольку определенные нами содержания приближались к значениям ПДК. Концентрации микроэлементов в пыльце сосен находятся в пределах достаточных, или нормальных для жизнедеятельности растений [23].



Биplot (ГК1-ГК2) данных по содержанию элементов в образцах пыльцы *P. sylvestris*, *P. sibirica*, *P. pumila*, собранных на территории Республики Бурятия. Квадратами обозначены образцы сосны обыкновенной, кругами – сосны сибирской, треугольниками – кедрового стланика; коричневым выделены образцы 2017 года сбора, зеленым – 2018, фиолетовым – 2019, красным – 2020. Нумерация образцов дана согласно таблице мест сбора

Выводы

Исследовано содержание макро- (калий, натрий, кальций, магний), микроэлементов (медь, цинк, марганец, железо, никель) и тяжелых металлов (свинец, кадмий, ртуть) в пыльце сосны обыкновенной, сосны сибирской и кедрового стланика. Для сосны сибирской и кедрового стланика данные элементного состава получены впервые. Показано, что пыльца по сравнению с хвоей отличается повышенным содержанием калия, меди, цинка и пониженным – кальция, что, вероятно, обусловлено потребностью растительного организма в данных элементах для нормального роста и оплодотворения. С точки зрения биологической ценности пыльца исследуемых видов сосен может служить дополнительным источником макро- и микроэлементов, особенно таких как калий, магний, марганец, железо, цинк и медь. Влияние атмосферного загрязнения на накопление тяжелых металлов в пыльце сосны обыкновенной проявляется в повышенном содержании железа, свинца, кадмия, ртути и пониженном – марганца по сравнению с фоновыми территориями. Содержание кадмия, свинца и ртути не превышало предельно допустимых концентраций для лекарственного растительного сырья и БАД на его основе, но было близко к ним в зонах с повышенным атмосферным загрязнением. В целом, концентрации макро- и микроэлементов в пыльце сосен находятся в пределах достаточных, или нормальных для жизнедеятельности растений. Кроме того, полученные данные могут в перспективе использоваться как один из показателей санитарно-гигиенической безопасности указанного сырья.

Список литературы

1. The Plant List [Электронный ресурс]. URL: <http://www.theplantlist.org/>.
2. Выводцев Н.В., Джумаев М.А., Тагильцев Ю.Г., Колесникова Р.Д. Кедровый стланик: Распространение, экология, применение // Вестник ТОГУ. 2011. №1. С. 115–124.
3. Минаева В.Г. Лекарственные растения Сибири. Новосибирск, 1991. 432 с.
4. Linskens H.F., Stanley R.G. Pollen: biology, biochemistry and management. New-York, 1974. 314 p.
5. Liang S., Liang N., Bu F., Lai B., Zhang Y., Cao H., Fei Y., Robinson N., Liu J. The potential effects and use of Chinese herbal medicine pine pollen (*Pinus pollen*): A bibliometric analysis of pharmacological and clinical studies // World J. Tradit. Chin. Med. 2020. Vol. 6. (2). Pp. 163–170. DOI: 10.4103/wjtc.wjtc_4_20.

6. Yu C., Wei K., Liu L., Yang S., Hu L., Zhao P., Meng X., Shao M., Wang C., Zhu L., Zhang H., Li Y., Zhu R. Taishan *Pinus massoniana* pollen polysaccharide inhibits subgroup J avian leucosis virus infection by directly blocking virus infection and improving immunity // *Sci. Rep.* 2017. Vol. 7. 44353. DOI: 10.1038/srep44353.
7. Yang S., Wei K., Jia F., Zhao X., Cui G., Guo F., Zhu R. Characterization and biological activity of Taishan *Pinus massoniana* pollen polysaccharide in vitro // *PLoS One.* 2015. Vol. 10(3). e0115638. DOI: 10.1371/journal.pone.0115638.
8. Shang H., Sha Z., Wang H., Miao Y., Niu X., Chen R., Huang J., Huang H., Wei K., Zhu R. Taishan *Pinus massoniana* pollen polysaccharide inhibits H9N2 subtype influenza virus infection both in vitro and in vivo // *Veterinary Microbiology.* 2020. Vol. 248. 108803. DOI: 10.1016/j.vetmic.2020.108803.
9. Choi E.M. Antinociceptive and antiinflammatory activities of pine (*Pinus densiflora*) pollen extract // *Phytother. Res.* 2007. Vol. 21. Pp. 471–475. DOI: 10.1002/ptr.2103.
10. Киров Е.И., Тараканов В.В., Кукушкина Т.А., Чанкина О.В., Кальченко Л.И. Биохимический и элементный состав пыльцы разных клонов сосны обыкновенной // *Хвойные бореальной зоны.* 2007. №2-3. С. 197–200.
11. Бидарова Ф.Н., Сидакова Т.М., Кисиева М.Т. Исследование аминокислотного состава пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), произрастающей на территории РСО-Алания // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2017. №12-2. С. 267–271.
12. Хабибулина С.А., Туртаева К.К., Бейсенбаева Д.Е., Поляков В.В. Изучение химического состава пыльцы сосны обыкновенной с последующим получением фитопрепаратов // *Молодой ученый.* 2019. №48 (286). С. 16–19.
13. Головка В.В., Чанкина О.В. Элементный состав пыльцы растений, присутствующей в воздухе Новосибирска // *Интерэкспо Гео-Сибирь.* 2017. Т. 4. №2. С. 115–119.
14. Садакова К.А., Колясникова Н.Л. Фертильность пыльцевых зерен и содержание тяжелых металлов в пыльце сосны обыкновенной, произрастающей в местах с разной антропогенной нагрузкой // *Современные проблемы науки и образования.* 2014. №6. С. 1444.
15. Oleksyn J., Reich P.B., Karolewski P., Tjoelker M.G., Chalupka W. Nutritional status of pollen and needles of diverse *Pinus sylvestris* populations grown at sites with contrasting pollution // *Water, Air, and Soil Pollution.* 1999. Vol. 110(1–2). Pp. 195–212. DOI: 10.1023/A:1005064218004.
16. Эрдынеева С.А., Ширеторова В.Г., Раднаева Л.Д. Фармакогностическое исследование пыльцы *Pinus sylvestris* L. и *Pinus pumila* (Pall) Regel // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии.* 2021. Т. 24. №2. С. 29–34. DOI: 10.29296/25877313-2021-02-05.
17. ОФС.1.2.2.2.0013.15. Зола общая. М., 2015. 2 с.
18. ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. М., 2015. 13 с.
19. Зитте П., Вайлер Э.В., Кадерайт И.В., Брезински И., Кернер К. Ботаника. Физиология растений: учебное пособие для вузов. М., 2008. 489 с.
20. Менщиков С.Л., Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е. Аккумуляция металлов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), в почве и снеговой воде в условиях техногенного загрязнения // *Лесной вестник.* 2020. Т. 24. №3. С. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-94-102.
21. Afanasyeva L.V., Kalugina O.V., Mikhailova T.A. The effect of aluminum smelter emissions on nutritional status of coniferous trees (Irkutsk Region, Russia) // *Environ Sci. Pollut. Res.* 2021. Vol. 28(44). Pp. 62605–62615. DOI: 10.1007/s11356-021-15118-4.
22. Тихомирова Л.И., Базарнова Н.Г., Халявин И.А. Элементный состав *Iris sibirica* L. в культуре in vitro // *Химия растительного сырья.* 2017. №2. С. 119–126. DOI: 10.14258/jcprm.2017021517.
23. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th edition. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2010. 548 p.
24. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов (для биологически активных добавок к пище на растительной основе). М., 2001. 269 с.
25. Казнина Н.М., Титов А.Ф. Влияние дефицита цинка на физиологические процессы и продуктивность культурных злаков // *Успехи современной биологии.* 2019. Т. 139. №3. С. 280–291. DOI: 10.1134/S0042132419030037.
26. Дыленова Е.П., Жигжитжапова С.В., Рандалова Т.Э., Раднаева Л.Д., Ширеторова В.Г., Павлов И.А. Микроэлементы-биофилы и тяжелые металлы в *Artemisia frigida* Willd. и *Artemisia jacutica* Drob. // *Химия растительного сырья.* 2019. №4. С. 199–205. DOI: 10.14258/jcprm.2019045126.
27. Баяндина И.И., Загурская Ю.В. Взаимосвязь вторичного метаболизма и химических элементов в лекарственных растениях // *Сибирский медицинский журнал.* 2014. №8. С. 107–111.
28. Племенков В.В. Химия изопреноидов. Барнаул, 2007. 322 с.
29. Леванидов Л.Я. Марганец как микроэлемент в связи с биохимией и свойствами танинов. Челябинск, 1961. 187 с.
30. Erdyneeva S.A., Shiretorova V.G., Radnaeva L.D. Distinctive features of heavy metals' accumulation in coniferous trees in Buryatia, Russia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2019. Vol. 320. 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/320/1/012021.
31. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020 год. М., 2021. 205 с.
32. Аминов П.Г. Тяжелые металлы в хвое *Pinus sylvestris* в условиях градиентного аэрального потока загрязняющих веществ медеплавильного производства (Карабашская геотехническая система, Южный Урал) // *Вопросы современной науки и практики.* 2009. №8. С. 18–25.

33. Третьякова И.Н., Носкова Н.Е. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса // Экология. 2004. №1. С. 26–33.
34. Носкова Н.Е., Третьякова И.Н. Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной // Хвойные бореальной зоны. 2006. Т. 23. №3. С. 54–63.
35. Махнева С.Г., Меншиков С.Л. Качество пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зоне действия выбросов АО «Карабашмедь» // Лесной вестник. 2021. Т. 25. №1. С. 32–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-32-44.
36. МР 2.3.1.2432-08. 2.3.1. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические рекомендации. М., 2009. 36 с.

Поступила в редакцию 10 сентября 2021 г.

После переработки 29 ноября 2021 г.

Принята к публикации 9 декабря 2021 г.

Для цитирования: Ширеторова В.Г., Эрдынеева С.А., Раднаева Л.Д. Элементный состав пыльцы *Pinus sylvestris* L., *P. sibirica* Du Tour и *P. pumila* (Pall.) Regel // Химия растительного сырья. 2022. №2. С. 233–242. DOI: 10.14258/jcrpm.20220210171.

Shiretorova V.G.^{1*}, Erdyneeva S.A.^{1,2}, Radnaeva L.D.^{1,2} ELEMENTAL COMPOSITION OF THE *PINUS SYLVESTRIS* L., *P. SIBIRICA* DU TOUR AND *P. PUMILA* (PALL.) REGEL POLLEN

¹Baikal Institute of Nature Management SB RAS, ul. Sakhyanovoy, 6, Ulan-Ude, 670047 (Russia),
e-mail: vshiretorova@rambler.ru

²Banzarov Buryat State University, 24a Smolin st., Ulan-Ude, Russia, 670000 (Russia)

This paper presents a study of macro- (potassium, sodium, calcium, magnesium), microelements (copper, zinc, manganese, iron, nickel) and heavy metals (lead, cadmium, mercury) in the pollen of Scots pine, Siberian pine and dwarf pine, growing within the territory of the Republic of Buryatia. The quantitative content of elements in the studied in 2017–2020 samples was determined by the atomic absorption method using a SOLAAR M6 spectrophotometer after acid mineralization in the MARS 6 microwave system. The study of the elemental composition of Siberian pine and dwarf pine pollen is carried out for the first time. It has been shown that pollen, in comparison with needles, contains higher contents of potassium, copper, zinc and lower contents of calcium, which is probably due to the plant organism's need for these elements for normal growth and fertilization. The paper presents a biplot of PCA-analysis, reflecting the effect of atmospheric pollution on the accumulation of heavy metals in Scots pine pollen, which is expressed in an increased content of iron, lead, cadmium, mercury, and a reduced manganese in comparison with the background territories. Biplot also shows the dependence of the studied elements content on the species origin of pine pollen. In general, the content of toxic elements does not exceed the maximum permissible values, and the concentrations of macro- and microelements in pine pollen are within the sufficient or normal limits for the plants vital function. The data obtained can be considered as one of the plant raw materials ecological and sanitary-hygienic safety indicators for indicated plant species of the flora of Buryatia (Russia).

Keywords: pine pollen, *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*, *Pinus pumila*, macro- and microelements, heavy metals, medicinal plant raw materials.

Referenses

1. *The Plant List*. URL: <http://www.theplantlist.org/>.
2. Vyvodtsev N.V., Dzhumayev M.A., Tagil'tsev Yu.G., Kolesnikova R.D. *Vestnik TOGU*, 2011, no. 1, pp. 115–124. (in Russ.).
3. Minayeva V.G. *Lekarstvennyye rasteniya Sibiri*. [Medicinal plants of Siberia]. Novosibirsk, 1991, 432 p. (in Russ.).
4. Linskens H.F., Stanley R.G. *Pollen: biology, biochemistry and management*, New-York, 1974, 314 p.
5. Liang S., Liang N., Bu F., Lai B., Zhang Y., Cao H., Fei Y., Robinson N., Liu J. *World J. Tradit. Chin. Med.*, 2020, vol. 6. (2), pp. 163–170. DOI: 10.4103/wjtc.wjtc_4_20.
6. Yu C., Wei K., Liu L., Yang S., Hu L., Zhao P., Meng X., Shao M., Wang C., Zhu L., Zhang H., Li Y., Zhu R. *Sci. Rep.*, 2017, vol. 7, 44353. DOI: 10.1038/srep44353.

* Corresponding author.

7. Yang S., Wei K., Jia F., Zhao X., Cui G., Guo F., Zhu R. *PLoS One*, 2015, vol. 10(3), e0115638. DOI: 10.1371/journal.pone.0115638.
8. Shang H., Sha Z., Wang H., Miao Y., Niu X., Chen R., Huang J., Huang H., Wei K., Zhu R. *Veterinary Microbiology*, 2020, vol. 248, 108803. DOI: 10.1016/j.vetmic.2020.108803.
9. Choi E.M. *Phytother. Res.*, 2007, vol. 21, pp. 471–475. DOI: 10.1002/ptr.2103.
10. Kirov Ye.I., Tarakanov V.V., Kukushkina T.A., Chankina O.V., Kal'chenko L.I. *Khvoynnye boreal'noy zony*, 2007, no. 2-3, pp. 197–200. (in Russ.).
11. Bidarova F.N., Sidakova T.M., Kisiyeva M.T. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2017, no. 12-2, pp. 267–271. (in Russ.).
12. Khabibulina S.A., Turtayeva K.K., Beysenbayeva D.Ye., Polyakov V.V. *Molodoy uchenyy*, 2019, no. 48 (286), pp. 16–19. (in Russ.).
13. Golovka V.V., Chankina O.V. *Interespo Geo-Sibir'*, 2017, vol. 4, no. 2, pp. 115–119. (in Russ.).
14. Sadakova K.A., Kolyasnikova N.L. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, no. 6, p. 1444. (in Russ.).
15. Oleksyn J., Reich P.B., Karolewski P., Tjoelker M.G., Chalupka W. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1999, vol. 110 (1–2), pp. 195–212. DOI: 10.1023/A:1005064218004.
16. Erdyneeva S.A., Shiretorova V.G., Radnaeva L.D. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*, 2021, vol. 24, no. 2, pp. 29–34. DOI: 10.29296/25877313-2021-02-05. (in Russ.).
17. *OFS.1.2.2.0013.15. Zola obshchaya*. [OFS.1.2.2.0013.15. Ash is common]. Moscow, 2015, 2 p. (in Russ.).
18. *OFS.1.5.3.0009.15. Opredeleniye soderzhaniya tyazhelykh metallov i mysh'yaka v lekarstvennom rastitel'nom syr'ye i lekarstvennykh rastitel'nykh preparatakh*. [OFS.1.5.3.0009.15. Determination of the content of heavy metals and arsenic in medicinal herbal raw materials and medicinal herbal preparations]. Moscow, 2015, 13 p. (in Russ.).
19. Zitte P., Vayler E.V., Kaderayt I.V., Brezinski I., Kerner K. *Botanika. Fiziologiya rasteniy: uchebnoye posobiye dlya vuzov*. [Botanica. Plant Physiology: textbook for universities]. Moscow, 2008, 489 p. (in Russ.).
20. Menshchikov S.L., Kuz'mina N.A., Mokhnachev P.Ye. *Lesnoy vestnik*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-94-102. (in Russ.).
21. Afanasyeva L.V., Kalugina O.V., Mikhailova T.A. *Environ Sci. Pollut. Res.*, 2021, vol. 28(44), pp. 62605–62615. DOI: 10.1007/s11356-021-15118-4.
22. Tikhomirova L.I., Bazarnova N.G., Khalyavin I.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2017, no. 2, pp. 119–126. DOI: 10.14258/jcprm.2017021517. (in Russ.).
23. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants. 4th edition*, Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2010, 548 p.
24. *SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigiyenicheskiye trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov (dlya biologicheskii aktivnykh dobavok k pishche na rastitel'noy osnove)*. [SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products (for biologically active food supplements on a plant basis)]. Moscow, 2001, 269 p. (in Russ.).
25. Kaznina N.M., Titov A.F. *Uspekhi sovremennoy biologii*, 2019, vol. 139, no. 3, pp. 280–291. DOI: 10.1134/S0042132419030037. (in Russ.).
26. Dylenova Ye.P., Zhigzhitzhapova S.V., Randalova T.E., Radnaeva L.D., Shiretorova V.G., Pavlov I.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 4, pp. 199–205. DOI: 10.14258/jcprm.2019045126. (in Russ.).
27. Bayandina I.I., Zagurskaya Yu.V. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*, 2014, no. 8, pp. 107–111. (in Russ.).
28. Plemenkov V.V. *Khimiya izoprenoidov*. [Chemistry of isoprenoids]. Barnaul, 2007, 322 p. (in Russ.).
29. Levanidov L.Ya. *Marganets kak mikroelement v svyazi s biokhimiyei i svoystvami tannidov*. [Manganese as a trace element in connection with the biochemistry and properties of tannins]. Chelyabinsk, 1961, 187 p. (in Russ.).
30. Erdyneeva S.A., Shiretorova V.G., Radnaeva L.D. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 320, 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/320/1/012021.
31. *Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy v Rossiyskoy Federatsii za 2020 god*. [Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2020]. Moscow, 2021, 205 p. (in Russ.).
32. Aminov P.G. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki*, 2009, no. 8, pp. 18–25. (in Russ.).
33. Tret'yakova I.N., Noskova N.Ye. *Ekologiya*, 2004, no. 1, pp. 26–33. (in Russ.).
34. Noskova N.Ye., Tret'yakova I.N. *Khvoynnye boreal'noy zony*, 2006, vol. 23, no. 3, pp. 54–63. (in Russ.).
35. Makhneva S.G., Menshchikov S.L. *Lesnoy vestnik*, 2021, vol. 25, no. 1, pp. 32–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-32-44. (in Russ.).
36. *MR 2.3.1.2432-08. 2.3.1. Ratsional'noye pitaniye. Normy fiziologicheskikh potrebnoyey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii. Metodicheskiye rekomendatsii*. [MP 2.3.1.2432-08. 2.3.1. Balanced diet. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Guidelines]. Moscow, 2009, 36 p. (in Russ.).

Received September 10, 2021

Revised November 29, 2021

Accepted December 9, 2021

For citing: Shiretorova V.G., Erdyneeva S.A., Radnaeva L.D. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 2, pp. 233–242. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220210171.