

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ХВОИ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД
СЕМЕЙСТВА СОСНОВЫХ (PINACEAE) НА ТЕРРИТОРИИ
С НАКОПЛЕННЫМ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ УЩЕРБОМ
(ЮЖНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)***

О.А. Белых¹, Е.В. Чупарина²

¹ Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация

² Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Российская Федерация

Информация о статье

Дата поступления
31 октября 2020 г.

Дата принятия к печати
2 марта 2021 г.

Дата онлайн-размещения
31 марта 2021 г.

Ключевые слова

Элементный состав;
рентгенофлуоресцентный
анализ; хвойные;
экологический ущерб; методы
контроля

Аннотация

Статья посвящена вопросам устойчивого развития территорий с накопленным экологическим ущербом на основе совершенствования методов экологического анализа состояния лесных экосистем Байкальского региона. Обсуждаются процессы, связанные с деградацией темнохвойных лесов в связи с эмиссией целлюлозного производства. Указываются факторы, влияющие на развитие и продуктивность древостоя: повышенная кислотность почвы и загрязнение тяжелыми металлами. Приведены данные, полученные методом рентгенофлуоресцентного анализа хвои, о содержании 20 химических элементов в лесообразующих породах семейства сосновых: *Abies sibirica*, *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*, *Picea obovata*. Данные элементного состава хвои после закрытия производства не превышают предельно допустимых концентраций для условно токсичных элементов. Территория, на которой производились исследования, подходит для сельскохозяйственной, туристической и рекреационной деятельности. Полученные результаты направлены для использования при внедрении новых методов контроля за состоянием лесной растительности.

**ELEMENTAL COMPOSITION OF NEEDLE FOLIAGE OF PINACEAE
FOREST FORMING SPECIES IN THE TERRITORY WITH CUMULATIVE
ENVIRONMENTAL DAMAGE (SOUTH BAIKAL REGION)****

Olga A. Belykh¹, Elena V. Chuparina²

¹ Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation

² Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS, Irkutsk, the Russian Federation

Article info

Received
October 31, 2020

Accepted
March 2, 2021

Available online
March 31, 2021

Abstract

The article is dedicated to the issues of sustainable development of territories with cumulative environmental damage on the basis of improving environmental analysis techniques of forest ecosystems health in Baikal region. The authors discuss the processes related to degradation of dark coniferous forests due to the emissions of pulp and paper industry. The factors affecting the development and producing capacity of forest stand are pointed out, namely highly acidic soil and

* Материалы обсуждены на Национальной научно-практической конференции с международным участием «Развитие российского общества: вызовы современности», посвященной 90-летию Байкальского государственного университета (г. Иркутск, 15–16 октября 2020 г.).

** The paper was discussed at the National Research and Practical Conference with International Participation «Development of Russian Society: Challenges of Modernity», dedicated to the 90th anniversary of the Baikal State University (Irkutsk, October 15–16, 2020).

Keywords

Elemental composition; X-ray fluorescence analysis; conifers; environmental damage; inspection techniques

heavy metals pollution. The data obtained by X-ray fluorescence analysis of needles are presented. They prove the presence of 20 chemical elements in the forest forming species of *Pinaceae*: *Abies sibirica*, *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*, *Picea obovata*. The elemental composition of needles after the enterprise was closed is not over the exposure limit for conditionally toxic elements. The territory where the research was carried out is suitable for agriculture, tourism and recreational activities. The obtained data were used to implement new techniques of inspecting forest vegetation health.

Идея сохранения природной среды при одновременном экономическом развитии регионов Сибири привлекает сегодня ученых и политиков. Устойчивое развитие невозможно без сохранения здоровья людей и поддержания качества окружающей среды. В настоящее время территорий с накопленным экологическим ущербом, т.е. загрязненных в процессе деятельности промышленных предприятий, становится все больше. Достижение целей устойчивого развития также невозможно без научно обоснованных оценок и предложений в области экономики природопользования, что позволит обеспечить органы государственной власти и управления информацией, необходимой для принятия оперативных управленческих решений.

Прогрессирующее усыхание пихтарников на южном побережье оз. Байкал, отмеченное в начале 1980-х гг., деградация водоохраных лесов на большой территории в условиях высокой эрозионной активности чреват опасными последствиями для экосистемы оз. Байкал в целом. С учетом этого в лесах, подвергаемых многолетней техногенной эмиссии г. Байкальска, специалистами ряда институтов СО РАН и Байкальского государственного заповедника были проведены комплексные исследования, направленные на выявление причин ослабления темнохвойных лесов и прогнозирование их дальнейшего состояния [1–5].

Целью настоящей работы стало изучение элементного состава хвои, отражающее физиологическое состояние лесообразующих пород семейства сосновых, для обоснования применения метода рентгенофлуоресцентного анализа в целях контроля за состоянием и динамикой лесных экосистем.

Объекты и методика исследования

Район исследования расположен между 103°67724–104°25613 восточной долготы. Территория представлена юго-восточным побережьем оз. Байкал и северо-западными склонами хребта Хамар-Дабан, обрамляющими промышленную территорию г. Бай-

кальска Иркутской области. Объектами изучения послужили деревья семейства сосновых: пихта сибирская (*Abies sibirica*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), сосна кедровая (*Pinus sibirica*), ель сибирская (*Picea obovata*), подвергавшиеся воздействию атмосферных выбросов целлюлозно-бумажного производства. Фоновые образцы хвои сосны отбирали на расстоянии более 100 км за пределами действия промышленных выбросов.

В программу работы входила количественная оценка физиолого-биохимических показателей: содержание в хвое макро- и микроэлементов. С применением современных аналитических методов рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) было определено 20 макро- и микроэлементов, включая приоритетные тяжелые металлы.

Растительный материал собирали на высоте 2 м над землей с побегов второго года вегетации. Далее измельчали хвою в ручной кофемолке и истирали в агатовой ступке с добавлением нескольких капель этанола. Из 1 г материала прессовали таблетку-излучатель на подложке из борной кислоты. Исследования выполнены на волновом рентгеновском спектрометре S4 Pioneer (Bruker AXS, Германия), позволяющем последовательно измерять аналитические линии элементов. Рентгеновская трубка с Rh-анодом работала в следующем режиме: напряжение на трубке 30 кВ и сила тока 60 мА при возбуждении сигнала от атомов Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl и K. При измерении интенсивности линий элементов от Ca до Pb напряжение составило 50 кВ и сила тока — 40 мА. Время набора импульсов изменялось от 10 до 100 с в зависимости от определяемого элемента [6]. Сигнал элементов от Na до Cr и Ba регистрировали проточным пропорциональным счетчиком, элементов от Mn до Pb — сцинтилляционным детектором.

Содержание рассчитывали с помощью градуировочных графиков, которые строили, используя государственные стандартные образцы [7]. Градуировочные и контрольные образцы готовили к РФА таким же способом, что и исследуемые образцы хвои:

прессуя 1 г стандарта на подложке из борной кислоты. Как видно, результаты РФА достаточно хорошо согласуются с аттестованными значениями (табл. 1).

Значения пределов обнаружения элементов рассчитывали по 3-σ критерию с использованием стандартных образцов с малым содержанием элементов, также определяли стандартные отклонения, характеризующие воспроизводимость измерения интенсивности фона рядом с аналитическим пиком [8]. Пределы обнаружения составили (%): Na (0,006), Mg, Al, P, S, K, Ca (0,004), Si и Cl (0,010), Fe (0,008), Cr и Pb (0,0003), Ni (0,0001), Ti, Cu, Zn, Br, Sr и Rb (0,0005), Mn и Ba (0,0010). Погрешности, характеризующие сходимость результатов, для большинства элементов не превышали 5 % отн.

Результаты и их обсуждение

В районах промышленных выбросов г. Байкальска леса темнохвойных формаций более 50 лет подвергались комплексному воздействию промышленных поллютантов. К веществам, загрязнявшим атмосферу на

Хамар-Дабане, относятся дрожжевая пыль, сульфит натрия, оксиды серы, углерода, азота, а также сероводород, метил-меркаптан, фурфурол, метанол, аммиак и другие соединения, свойственные целлюлозному производству. Выбросы токсических веществ, переносимых воздушными потоками, оказали существенное отрицательное влияние на состояние лесных экосистем. Особенно сильное воздействие вредных химических соединений испытывает древостой, расположенный по рекам и распадкам, открытым с севера и замкнутым с южной стороны. В этих природных «накопителях» концентрация токсикантов в почвах и, соответственно, в тканях деревьев достигала максимального значения [9]. После закрытия Байкальского целлюлозно-бумажного комбината в 2013 г. проводились ежегодные исследования физико-химического состава и кислотности почв в лесах темнохвойных формаций на разном удалении от промплощадки. Результаты наблюдений позволяют отметить кислую реакцию в почвенном горизонте пригородных лесов (рН от 3,00 до 4,40). Кислая почвенная

Таблица 1

Сравнение результатов рентгенофлуоресцентного анализа с аттестованными значениями в стандартных образцах растений

Элемент	Лб-1		Тр-1	
	Аттестованное значение	Результат РФА	Аттестованное значение	Результат РФА
<i>Содержание, %</i>				
Na	0,018 ± 0,003	0,014 ± 0,008	0,075 ± 0,006	0,071 ± 0,007
Mg	0,44 ± 0,03	0,42 ± 0,04	0,24 ± 0,02	0,26 ± 0,03
Al	0,083 ± 0,010	0,088 ± 0,012	0,037 ± 0,005	0,039 ± 0,006
Si	0,40 ± 0,07	0,36 ± 0,06	0,55 ± 0,04	0,59 ± 0,07
P	0,154 ± 0,006	0,147 ± 0,010	0,22 ± 0,01	0,21 ± 0,02
S	0,10 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,19 ± 0,03
Cl	(0,045)	0,0474 ± 0,006	0,36 ± 0,04	0,39 ± 0,06
K	0,71 ± 0,04	0,73 ± 0,06	1,38 ± 0,03	1,40 ± 0,03
Ca	1,60 ± 0,09	1,73 ± 0,15	0,67 ± 0,03	0,64 ± 0,04
<i>Содержание, мкг/г</i>				
Ti	59 ± 12	65 ± 10	10 ± 2	9 ± 3
Cr	4,3 ± 0,7	4,1 ± 1,0	5,5 ± 0,4	5,1 ± 0,6
Mn	930 ± 70	953 ± 56	50,9 ± 2,1	52 ± 9
Fe	730 ± 70	749 ± 67	970 ± 50	1 000 ± 90
Ni	5,8 ± 0,8	5,9 ± 1,1	3,2 ± 0,3	3,3 ± 0,9
Cu	7,3 ± 0,6	6,5 ± 1,2	6,3 ± 0,6	6,5 ± 1,3
Zn	94 ± 6	88 ± 10	23,6 ± 1,1	21 ± 4
Br	3,2 ± 0,4	3,8 ± 1,5	9 ± 1	7,7 ± 2
Rb	13,7 ± 0,9	12 ± 2,5	15,7 ± 0,4	16,6 ± 2,6
Sr	72 ± 7	68 ± 8	28 ± 0,9	26 ± 4
Ba	230 ± 20	220 ± 26	16,1 ± 1,2	12 ± 6
Pb	3,7 ± 0,5	< 3	0,42 ± 0,06	< 3

среда способствует активизации процессов мобилизации ионов и ионного обмена. Почвы загрязнены тяжелыми металлами: свинцом, медью, алюминием, железом, никелем, хромом, а также макроэлементами: серой, натрием и калием. При этом в почве возникает дефицит таких элементов, как марганец, магний, кальций, фосфор. Особенно интенсивно загрязнены почвы в зоне 2–7 км от промплощадки [10]. Поступавшие в составе промышленной пыли соединения тяжелых металлов концентрировались в подстилке и почве в количествах, превышающих фоновое значение. Ретроспективные данные показывают общее содержание микроэлементов в почве на участке, удаленном на 2 км от промзоны, — 775,34 мг/кг, что превышает среднее фоновое содержание на 59 %. По мере удаления от завода количество загрязняющих почву элементов сокращается. Большинство микроэлементов (медь, цинк, свинец, железо, хром) накапливается в верхнем перегнойном горизонте почвы (10–15 см). По мнению ряда ученых, это объясняется образованием менее подвижных хелатных комплексов при взаимодействии ионов металлов и гуминовых кислот [11; 12]. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2.

В темнохвойных древостоях, произрастающих на почвах с высокой кислотностью, повышенным содержанием серы, тяжелых металлов, при дефиците ряда минеральных элементов происходят глубокие нарушения в поглотительной, синтетической и выделительной деятельности корней, в содержании питательных веществ в ассимиляционном аппарате, что приводит к угнетению и даже гибели деревьев. Состояние пихтовых древостоев почти на всех площадях оценивается как промежуточное между ослабленным и сильно ослабленным. Значительное ухудшение состояния пихт наблюдается в ложбине у верхней границы леса, а также вдоль туристической тропы б. Бабха — г. Соболиная. Наблюдается очаговое усыхание вершин древостоя.

На основе анализа элементного состава хвои разных пород построены убывающие ряды накопления микроэлементов (табл. 3).

Особенности соотношения рядов накопления элементов свидетельствуют о тенденции к накоплению техногенных и ингибированию накопления эссенциальных элементов, что может быть обусловлено нарушением устойчивости деревьев. Виды рода *Pinus* (сосна) показали полное сходство рядов. Вид *Abies sibirica* (пихта) является признанным

Таблица 2

Сравнение содержания химических элементов в хвое лесобразующих пород в г. Байкальске и на фоновых территориях, а также в литературных источниках

Показатель	Элемент	Данные рентгенофлуоресцентного анализа				Среднее фоновое содержание в хвое	Сведения из литературных источников*	Избыточное или токсичное содержание**
		Кедр (<i>Pinus sibirica</i>)	Ель (<i>Picea obovata</i>)	Пихта (<i>Abies sibirica</i>)	Сосна (<i>Pinus sylvestris</i>)			
Элементный состав, %	Na	0,007±0,001 2	0,012±0,001 2	0,006±0,001 2	0,011±0,001 2	< 0,006 0	0,0070–0,168	–
	Mg	0,101±0,008	0,072±0,008	0,091±0,008	0,093±0,008	0,057±0,008	0,092–0,224	> 1,50
	Al	0,050±0,009	0,032±0,009	0,043±0,009	0,076±0,009	0,0112±0,0020	0,003–0,3189	0,050
	Si	0,060±0,010	0,288±0,010	0,037±0,010	0,090±0,010	0,038±0,004	0,016–0,060	–
	P	0,200±0,007	0,157±0,007	0,208±0,007	0,184±0,007	0,047±0,006	0,063–0,276	> 1,0
	S	0,150±0,008	0,123±0,008	0,138±0,008	0,140±0,008	0,078±0,007	0,100–0,170	> 3,0
	Cl	0,006±0,008	0,004±0,008	0,016±0,008	0,016±0,008	<0,010	0,007–0,020	0,050–0,10
	K	0,671±0,012	0,616±0,012	0,815±0,012	0,494±0,012	0,356±0,012	0,0699–0,500	> 6,0
	Ca	0,405±0,020	1,087±0,020	1,562±0,020	0,327±0,020	0,569±0,016	0,480–0,816	> 5,0
Fe	0,043±0,005	0,053±0,005	0,015±0,005	0,064±0,005	< 0,008	0,0035–0,0937	> 0,050	
Условно токсичные элементы, мкг/г	Mn	900±60	580±60	1150±60	360±60	823±50	81–2070	300–500
	Ti	22,5±3	29,8±3	9,4±3	28,6±3	< 5	7,3–11,9	50–200
	Cr	4,4±0,8	5,2±0,8	2,1±0,7	4,6±0,7	< 3	0,1–5,8	5–30
	Ni	4,0±0,8	4,0±0,8	4,7±0,8	4,3±0,8	1,2±0,5	0,5–16,7	10
	Cu	11,2±1,6	7,9±1,6	8,0±1,6	10,0±1,6	< 5	1,8–6,3	20
	Zn	81,6±8	85,8±8	77,3±8	83,7±8	20±6	11,7–427	100
	Rb	14,4±1	9,5±1	16,0±1	7,9±1	< 3	0,1–12,9	–
	Sr	6,1±1	30,8±1	30,7±1	13,3±1	19±5	9,27–31,6	–
	Ba	12,0±9	89,6±12	68,4±12	16,5±9	67±9	72,6–141,9	> 500
	Pb	1,5±0,5	1,6±0,5	1,5±0,5	3,1±0,5	< 3	0,1–5,6	5–10

* Данные из: [9; 13–18].

** Данные из: [8; 19; 20].

Убывающие ряды накопления микроэлементов в зависимости от породы

Порода	Ряд накопления микроэлементов
Сосна кедровая (<i>Pinus sibirica</i>)	K > Ca > P > S > Mg > Si > Al > Fe > Cl > Na
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)	K > Ca > P > S > Mg > Si > Al > Fe > Cl > Na
Ель (<i>Picea obovata</i>)	Ca > K > Si > P > Fe > S > Mg > Al > Na > Cl >
Пихта (<i>Abies sibirica</i>)	Ca > K > P > S > Mg > Al > Si > Cl > Fe > Na

индикатором нарушения состояния лесных экосистем. Наиболее масштабные повреждения пихтарников отмечаются в горных экосистемах.

Установлено, что хвоя сосновых деревьев в условиях почвенного загрязнения промышленными выбросами характеризуется по сравнению с хвоей сосновых деревьев на фоновых территориях повышенным в 2 раза содержанием калия и алюминия, в 5 раз — железа и цинка. Следствием такого загрязнения почвы является нарушение сбалансированности солевого обмена, умеренный дефицит магния, марганца, фосфора. Уровень содержания этих элементов зависит от степени повреждающего фактора — содержания токсических веществ в почве.

Сравнение результатов РФА с литературными данными по избыточным или токсичным концентрациям показывает, что содержание условно токсичных элементов (титан, хром, никель, медь, цинк, стронций, барий и свинец) не превышает уровня, установленного для наземных растений [8; 19; 20]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что исследованные территории с накопленным экологическим ущербом можно использовать в хозяйственных целях.

Заключение

Рентгенофлуоресцентный метод анализа обеспечивает получение необходимых данных об элементном составе растительных объектов для рассмотрения вопросов экологической оценки промышленно нагруженных экосистем.

Накопленное загрязнение темнохвойных лесов байкальских склонов Хамар-Дабана промвыбросами целлюлозного производства привело к нарушению эколого-функциональных особенностей природной территории вблизи оз. Байкал. В настоящее время за пределами буферной зоны отмечается достаточно стабильное состояние всех лесобразующих пород. Анализ содержания в их хвое элементного состава не выявил предельно допустимых концентраций.

Полученные данные о корреляции устойчивости хвойных к повреждению накопленными почвенными поллютантами можно использовать при проведении специальных лесопатологических работ, направленных на выяснение причин ослабления древостоев и прогноза их дальнейшего состояния. Материалы анализа позволят создать научный задел для внедрения новых методов контроля за состоянием лесной растительности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Афанасьева Л.В. Состояние сосновых древостоев в условиях техногенного загрязнения в Республике Бурятия / Л.В. Афанасьева, Т.А. Михайлова, В.А. Кашин // Растительные ресурсы. — 2010. — Т. 46, вып. 2. — С. 51–61.
- Тренды содержания химических элементов в хвое (*Pinus sylvestris* L.) в разных условиях произрастания при техногенной нагрузке / Т.А. Михайлова, О.В. Калугина, Л.В. Афанасьева [и др.] // Сибирский экологический журнал. — 2010. — № 10. — С. 239–247.
- Белова Н.А. Динамика лесопатологического состояния пихтовых древостоев Байкальского заповедника (1983–2015) / Н.А. Белова, Т.И. Морозова // Лесной вестник. Forestry Bulletin. — 2018. — Т. 22, № 2. — С. 5–15.
- Измestьев А.А. Непрерывно-производительный лес как эталонная модель системной организации воспроизводства в лесном хозяйстве / А.А. Измestьев // Лесной вестник. Forestry Bulletin. — 2018. — Т. 22, № 6. — С. 5–13.
- Экологическая оценка состояния пригородных лесов г. Байкальска / О.А. Белых, А.В. Мокрый, М.А. Галемина [и др.]. DOI 10.17150/1993-3541.2015.25(5).913-920 // Известия Иркутской государственной экономической академии. — 2015. — Т. 25, № 5. — С. 913–920.
- Чупарина Е.В. Применение неструктивного РФА для определения элементного состава лекарственных растений / Е.В. Чупарина, А.М. Мартынов // Журнал аналитической химии. — 2011. — Т. 66, № 4. — С. 399–405.
- Каталог стандартных образцов состава природных и техногенных сред / ред. И.Е. Васильева. — Иркутск : Ин-т геохимии СО РАН, 2013. — 75 с.
- Ильин В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2001. — 229 с.

9. Санина Н.Б. Химический состав растительности Байкальского биосферного заповедника (в связи с проблемой деградации пихтовых лесов северного склона хр. Хамар-Дабан) / Н.Б. Санина, Е.В. Чупарина, А.А. Нестерова // Сибирский экологический журнал. — 2004. — № 1. — С. 57–65.
10. Экологическое состояние территории Южного Прибайкалья: содержание серы в почвах / Б.А. Баенгуев, А.В. Мокрый, Л.В. Каницкая [и др.] // Успехи современного естествознания. — 2016. — № 8. — С. 156–160.
11. Михайлова Т.А. Характеристики питательного статуса сосновых древостоев Байкальской природной территории / Т.А. Михайлова, О.В. Шергина, О.В. Калугина // Растительные ресурсы. — 2016. — Т. 52, № 1. — С. 28–48.
12. Помазкина Л.В. Оценка влияния климатических факторов и загрязнения аллювиальных почв тяжелыми металлами на функционирование агроэкосистем Байкальского региона / Л.В. Помазкина // Агрохимия. — 2018. — № 4. — С. 78–87.
13. Bioaccumulation of Heavy Metals and Ecophysiological Responses to Heavy Metal Stress in Selected Populations of *Vaccinium Myrtillus* L. and *Vaccinium Vitis-idaea* L / M. Kandziora-Ciupa, A. Nadgórska-Socha, G. Barczyk, R. Ciepał. — DOI 10.1007/s10646-017-1825-0 // Ecotoxicology. — 2017. — Vol. 26. — P. 966–980.
14. Михайлова Т.А. Элементный состав хвои и морфофизиологические параметры сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения / Т.А. Михайлова, Н.С. Бережная, О.В. Игнатьева. — Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2006. — 135 с.
15. Распределение макроэлементов в растениях Южного Прибайкалья / Г.А. Белоголова, П.В. Коваль, Г.В. Матяшенко [и др.] // Сибирский экологический журнал. — 2006. — № 3. — С. 359–369.
16. Элементный состав хвои и морфологические параметры сосны обыкновенной в условиях атмосферного промышленного загрязнения в Западном Забайкалье / Л.В. Афанасьева [и др.] // Хвойные бореальной зоны. — 2004. — Т. 22, № 1-2. — С. 112–119.
17. Федорова Н.Н. Влияние аэротехногенного загрязнения отходами цементного производства на элементный состав хвои сосняков Свентокшисского воеводства (Польша) / Н.Н. Федорова, А. Сверч // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3, Биология. — 2004. — № 2. — С. 119–123.
18. Бажина Е.В. Жизненное состояние и элементный состав хвои пихты сибирской в горных экосистемах Средней Сибири / Е.В. Бажина // Региональная экология. — 2018. — № 2 (52). — С. 5–14.
19. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Кабата-Пендиас. — Москва : Мир, 1989. — 439 с.
20. Kula E. Accumulation and Dynamics of Manganese Content in Bilberry (*Vaccinium Myrtillus* L.) / E. Kula, E. Wildova, P. Hrdlicka // Environmental Monitoring and Assessment. — 2018. — Vol. 190, iss. 4. — P. 224.

Информация об авторах

Белых Ольга Александровна — доктор биологических наук, профессор, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: Belykhoa@bgu.ru.

Чупарина Елена Владимировна — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: lchup@igc.irk.ru.

Для цитирования

Белых О.А. Элементный состав хвои лесобразующих пород семейства сосновых (Pinaceae) на территории с накопленным экологическим ущербом (Южное Прибайкалье) / О.А. Белых, Е.В. Чупарина. — DOI 10.17150/2500-2759.2021.31(1).103-108 // Известия Байкальского государственного университета. — 2021. — Т. 31, № 1. — С. 103–108.

Authors

Olga A. Belykh — D.Sc. in Biology, Professor, Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: Belykhoa@bgu.ru.

Elena V. Chuparina — Ph.D. in Chemistry, Senior Researcher, Vinogradov Institute of Geochemistry SBIRAS, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: lchup@igc.irk.ru.

For Citation

Belykh O.A., Chuparina E.V. Elemental Composition of Needle Foliage of Pinaceae Forest Forming Species in the Territory with Cumulative Environmental Damage (South Baikal Region). *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2021, vol. 31, no. 1, pp. 103–108. DOI: 10.17150/2500-2759.2021.31(1).103-108. (In Russian).