



БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 582.47:546.16:556.51(571.51)

*Т.П. Спицына, О.В. Тасейко,
Р.А. Ерастов, Т.М. Куприянова, Р.Р. Тагиров*

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФТОРА В ХВОЕ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ (*ABIES SIBIRICA* L.) ВОДОСБОРА р. БАЗАЙХА КРАСНОЯРСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА*

*T.P. Spitsyna, O.V. Taseyko,
R.A. Erastov, T.M. Kupriyanova, R.R. Tagirov*

SPATIAL DYNAMICS OF FLUORIDES IN SIBERIAN FIR (*ABIES SIBIRICA* L.) NEEDLES IN BAZAIKHA RIVER'S BASIN OF KRASNOYARSK INDUSTRIAL REGION

Спицына Т.П. – канд. техн. наук, доц. каф. экологии и защиты леса Сибирского государственного университета науки и технологий имени акад. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск. E-mail: t-spitsina@mail.ru

Тасейко О.В. – канд. физ.-мат. наук, доц., зав. каф. безопасности жизнедеятельности Сибирского государственного университета науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск. E-mail: taseiko@gmail.com

Ерастов Р.А. – магистрант каф. экологии и защиты леса Сибирского государственного университета науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск. E-mail: ruslann123@mail.ru

Куприянова Т.М. – асп. каф. экологии и защиты леса Сибирского государственного университета науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск. E-mail: tom-rad@mail.ru

Тагиров Р.Р. – магистрант каф. экологии и защиты леса Сибирского государственного университета науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск. E-mail: rockmeisterr@yandex.ru

Spitsyna T.P. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Ecology and Protection of the Forest, Siberian State University of Science and Technologies named after Acad. M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk. E-mail: t-spitsina@mail.ru

Taseyko O.V. – Cand. Phys. and Math. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Health and Safety, Siberian State University of Science and Technologies named after Acad. M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk. E-mail: taseiko@gmail.com

Erastov R.A. – Magistrate Student, Chair of Ecology and Protection of the Forest, Siberian State University of Science and Technologies named after Acad. M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk. E-mail: ruslann123@mail.ru

Kupriyanova T.M. – Post-Graduate Student, Chair of Ecology and Protection of the Forest, Siberian State University of Science and Technologies named after Acad. M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk. E-mail: tom-rad@mail.ru

Tagirov R.R. – Magistrate Student, Chair of Ecology and Protection of the Forest, Siberian State University of Science and Technologies named after Acad. M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk. E-mail: rockmeisterr@yandex.ru

В работе описаны лесотаксационные параметры десяти пробных площадей пихтовых насаждений пригородных лесов г. Красноярска. Выбор в качестве биоиндикатора пихты си-

бирской обусловлен ее повышенной чувствительностью к аэротехногенному загрязнению. Средний диаметр насаждений пихты $19,7 \pm 5,4$ см; средняя высота $15,77 \pm 4,4$ м; средний

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-07-0682.

возраст 46 ± 11 лет. Промежуточный класс бонитета пробных площадей II. Определено содержание валовой и водорастворимой форм фтора в хвое пихты сибирской (*Abies sibirica* L.). Определение водорастворимой концентрации выполнено потенциометрическим методом с ионселективным электродом, а определение валового фтора – спектрофотометрическим методом. Впервые было описано содержание водорастворимых соединений фтора в хвое пихты сибирской в пригородных лесах г. Красноярска в условиях водосбора р. Базаиха. Среднее значение водорастворимого фтора в фитомассе пихты сибирской составило $1,39 \pm 0,7$ мг/кг. Исследована пространственная динамика водорастворимого фтора. Проанализированы основные источники поступления соединений фтора в окружающую среду. С помощью геоинформационных систем построены карты пространственного распределения фтора в хвое пихты. Выявлены два пика загрязнения, которые показывают, что хвоя поглощает производные фтора, сорбированные в пыли в 20-километровой зоне от алюминиевого завода (концентрация фторидов в хвое $2,91$ мг/кг), а газообразные соединения активно ассимилируются растениями в 50-километровой зоне влияния производства (соответственно $6,4$ мг/кг). Полученные результаты согласуются с работами других исследователей, могут быть использованы для мониторинга и оценки состояния хвойных насаждений пригородных лесов г. Красноярска.

Ключевые слова: хвоя пихты сибирской (*Abies sibirica* L.), фториды, алюминиевое производство, таксационное описание, бассейн р. Базаиха, Красноярский регион, пригородные леса.

In the study forest estimation parameters of ten test areas of fir plantings of suburban forests of Krasnoyarsk are described. The choice of Siberian fir as bioindicator was caused by its hypersensitivity to aerotechnogenic pollution. Average diameter of plantings of fir-tree was 19.7 ± 5.4 cm; average height was 15.77 ± 4.4 m; average age was 46 ± 11 years. Intermediate class of site class of test areas

*was II. The concentrations of gross and water-soluble forms of fluorine in the needles of Siberian fir were defined (*Abies sibirica* L.). The determination of water-soluble concentration was executed by electrometric method with ionselective electrode and the definition of gross fluorine was made by spectrophotometric method. The content of water-soluble compounds of fluorine in the needles of Siberian fir in suburban forests of Krasnoyarsk in the conditions of the reservoir of the river of Bazaikha was described for the first time. Average value of water-soluble fluorine in the phytomass of Siberian fir made 1.39 ± 0.7 mg/kg. Spatial dynamics of water-soluble fluorine was investigated. The main sources of receiving compounds of fluorine in the environment were analyzed. By means of geoinformation the system was built on the card of spatial distribution of fluorine in the needles of the fir. Two revealed peaks of the pollution showed that the needles absorbed fluorine derivatives occluded in the dust in 20-kilometer zone from aluminum plant (the concentration of fluorides in the needles of 2.91 mg/kg) and gaseous connections actively assimilated plants in 50-kilometer zone of influence of production (respectively 6.4 mg/kg). Received results will be coordinated with the studies of other researchers. The results of the study can be used for the monitoring and assessment of the condition of coniferous plantings of suburban forests of Krasnoyarsk.*

Keywords: needles of Siberian fir (*Abies sibirica* L.), fluorides, aluminum industry, taxation description, the basin of the river of Bazaikha, Krasnoyarsk Region, suburban forests.

Введение. Фтор и его производные в твердом и газообразном состоянии выбрасываются в атмосферу предприятиями по производству алюминия, кирпича, керамических изделий, фосфатных удобрений; выделяются при выплавке стали. В настоящее время признано, что по влиянию на растения соединения этого элемента являются одними из самых токсичных. В частности, если сернистый газ влияет на наиболее чувствительные к нему растения при концентрации 1 ppm, то влияние фтора сказывается уже при содержании 0,001 ppm. Фитотоксич-

ность фтора зависит от вида растений, возраста, характера почв, погодных условий и других факторов [1].

Большинство работ связано с накоплением данного элемента в непосредственной зоне влияния его источника – алюминиевых производств Сибирского федерального округа г. Братска [2–10] и г. Красноярска [11–13]. Однако крайне мало исследований о влиянии фторидов на крупные лесные биогеоценозы, практически нет исследований, посвященных накоплению этого элемента в хвое пихты сибирской. Исключением являются работы Е.В. Бажиной с соавторами [14–15], где приводятся результаты содержания фтора в пихте сибирской крупных рекреационных территорий – Кузнецкого Алатау и природного парка «Ергаки».

Цель исследования. Оценка накопления фторидов в биогеоценозе водосбора реки Базаиха на основе их содержания в хвое пихты сибирской (*Abies sibirica* L.).

Задачи исследования: проанализировать лесотаксационные параметры пихтовых насаждений и выполнить отбор фитомассы хвои пихты сибирской; определить концентрации водорастворимого и валового фтора в хвое пихты сибирской в бассейне р. Базаиха Красноярского промышленного региона; изучить пространственную динамику содержания фтора в хвое пихты сибирской водосбора р. Базаиха.

Объекты и методы исследования. Пихта сибирская (*Abies sibirica* L.) была выбрана в качестве биоиндикатора экологических условий, так как данный вид очень чувствителен к аэротехногенному загрязнению окружающей среды и является повсеместно распространенной на территории Сибири породой. В связи с этим были заложены десять пробных площадей в бассейне р. Базаиха. Данная территория схожа по типу почв, природно-климатическим условиям и рельефу, характеризуется холмистой местностью с незначительными перепадами высот. На левом берегу устьевого участка р. Базаиха располагается Государственный природный заповедник «Столбы», на пихтовые древостои которого приходится до 30 % всей лесопокрываемой площади [16]. В целом пихта является не только

самой красивой, но и наиболее встречаемой породой.

Для осуществления поставленных задач руководствовались следующими методиками: закладка пробных площадей и определение основных таксационных параметров [17]; отбор фитомассы хвои, приготовление водной вытяжки и определение влажности [18]; определение водорастворимой концентрации фторидов потенциометрическим методом с ионселективным электродом на Ионметре И-160МИ [19]; определение валового фтора спектрофотометрическим методом в Новосибирском институте органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН.

Результаты и их обсуждение. Итоги таксационных работ приведены в таблице 1. Средний диаметр насаждений пихты составляет $19,7 \pm 5,4$ см; средняя высота достигает $15,77 \pm 4,4$ м; средний возраст – 46 ± 11 лет (группа «средневозрастные»). Показатель продуктивности древостоя – бонитет, который зависит от климатических и почвенно-грунтовых условий – определяли по среднему возрасту и высоте. Для его обозначения используется специальная шкала с пятью основными (I–V) классами и тремя дополнительными (Ia, Vб и Va). Древостои высшей производительности относятся к Ia классу, а низшей – к Vб. Таким образом, чем выше деревья, тем лучше условия жизни и тем производительнее древостой. При сравнении древостоев и определении бонитетов высота берется для одного возраста. Промежуточный класс бонитета данных площадей – II. По шкале Орлова этот показатель характеризует насаждения с хорошим показателем продуктивности насаждений, а также качественные условия роста леса [17].

На этих же пробных площадях осуществляли сбор фитомассы хвои пихты сибирской для изучения пространственного распространения содержания фторидов.

Концентрация водорастворимого фтора приведена в таблице 2. В работе было получено, что среднее содержание этой формы фтора в хвое $1,39$ мг/кг (абсолютно сухой вес), коэффициент вариации более 20 %, поэтому в данном случае значение доверительного интервала не приводится.

Таксационная характеристика пихтовых насаждений на пробных площадях хвойного леса водосбора р. Базаиха

Пробная площадь	Породный состав	Возраст, лет	Класс бонитета	Средняя высота, м	Средний диаметр, см
Верхняя Базаиха, 5 км до р.п. Березовский	7П2Е1С	36	I	16,50	18,00
Верхняя Базаиха, 1 км до пос. Березовский	6ЕЗП1Б	56	I	22,42	22,90
Верхняя Базаиха, возле п. Жистык	8П1Е1Ос	44	IV	8,86	13,22
Верхняя Базаиха, 3 км после с.п. Маганск	6ЕЗП1Б	52	I	21,91	20,22
Верхняя Базаиха, 8 км после с.п. Маганск	3П1С6Ос+Б	40	III	11,49	36,60
Средняя Базаиха, р. Сынжул, исток	8П1С1Е	82	I	20,70	19,98
Средняя Базаиха, р. Сынжул, устье	4ПЗСЗЕ+Б	44	I	19,50	19,20
Нижняя Базаиха, р. Моховая, устье	5Е1С1ПЗБ+Ос	21	I	7,83	9,63
Нижняя Базаиха, р. Моховая, 2 км от устья	8С1П1Б	28	III	5,80	11,08
Нижняя Базаиха, р. Моховая, 4 км от устья	6ПЗЕ1С	52	I	21,72	26,62

Таблица 2

Содержание водорастворимой формы фтора в хвое пихты сибирской (*Abies sibirica* L.) в пересчете на вес натуральной влажности

Пробная площадь	Влажность, %	Содержание фтора, мг/кг	
		абсолютно сухой вес	на вес натуральной влажности
Верхняя Базаиха, 1 км от р.п. Береть	54	0,056	0,036
Верхняя Базаиха, возле п. Жестык	47	0,126	0,086
Верхняя Базаиха, 8 км от с.п. Маганск	54	0,185	0,120
Верхняя Базаиха, 5 км перед р. п. Береть	54	0,525	0,341
Верхняя Базаиха, за р. п. Береть, 3 км	53	2,912	1,903
Средняя Базаиха, р. Сынжул, исток	55	0,080	0,052
Средняя Базаиха, р. Сынжул, устье	56	0,000	0,000
Нижняя Базаиха, р. Моховая, устье	53	0,062	0,041
Нижняя Базаиха, р. Моховая, 2 км от устья	55	3,590	2,316
Нижняя Базаиха, р. Моховая, 4 км от устья	44	1,279	0,888

Красноярский алюминиевый завод является вторым по объемам выпускаемой продукции в мире и производит 27 % от производимого в России алюминия и 3 % от общемирового. Водосбор р. Базаиха относится к пригороду

г. Красноярска. В условиях постоянного загрязнения среды выбросами алюминиевых производств фтор, обладающий большой агрессивностью, проникает всеми доступными путями в хвойные деревья через устьица, кутикулу моло-

дых побегов, а также вторичную кору корня. Наибольшая концентрация повышенного содержания фтора наблюдается в хвое, в лубе его содержание ниже, а в заболони и корнях – наименьшее. Это приводит к значительному угнетению фотосинтезирующего аппарата растений, ослаблению, усыханию и гибели.

Исследованием содержания водорастворимого фтора в хвойных растениях занимался достаточно широкий круг исследователей (табл. 3), при этом фактические данные о содержании

водорастворимого фтора в хвое пихты сибирской в литературе отсутствуют, так как данный вид очень чувствителен к загрязнению и крайне быстро угнетается выбросами алюминиевых предприятий.

Повышенная чувствительность хвойных к фтороводороду связана с длительным сроком жизни хвои, вследствие чего развивается обширное повреждение кроны, сокращается ассимиляционная поверхность и пихта может погибнуть от углеродного голодания.

Таблица 3

Содержание водорастворимого фтора в хвойных породах промышленных зон влияния алюминиевых предприятий

Порода	Место отбора фитомассы хвои	Концентрация водорастворимого фтора, мг/кг	Литературный источник
Сосна обыкновенная	- 8 км от БрАЗ; - 32 км	2,1 0,43	Рунова, 2010 [7]
	- 10 км от БрАЗ; - 29 км; - 34 км	1,98 0,97 15,92	Рунова, 2012 [8]
	Под факелом алюминиевого завода (КрАЗ, БрАЗ)	410,0	Павлов, 1998 [11]
	- зона сильного загрязнения: 12–22 км от БрАЗ; - зона среднего загрязнения: 20–30 км; - зона слабого загрязнения 50–60 км	13,76 13,38 11,41	Чжан, 2008 [10]
Лиственница сибирская	- 8 км от БрАЗ; - 32 км	17,4 0,78	Рунова, 2010 [7]
	- 10 км от БрАЗ; - 29 км; - 34 км	17,4 0,78 14,62	Рунова, 2012 [8]
	Под факелом алюминиевого завода (КрАЗ, БрАЗ)	690,0	Павлов, 1998 [11]
	Под факелом алюминиевого завода (КрАЗ, БрАЗ)	410,0	Павлов, 1998 [11]
Хвойные деревья	Городские и пригородные леса г. Братска	1,20 – 35,59	Рунова, 2015 [9]
Пихта сибирская	- 17 км от КрАЗ;	0,06	Получено в данной работе
	- 18 км;	2,91	
	- 33 км;	0,08	
	- 41 км;	0,06	
	- 46 км;	3,59	
	- 47,2 км	6,40	

Примечание. Здесь и далее: БрАЗ – Братский алюминиевый завод, КрАЗ – Красноярский алюминиевый завод, САЗ – Саяногорский алюминиевый завод.

Пространственная динамика содержания водорастворимого фтора представлена на рисунке 1. Наблюдаются два пика загрязнения – на расстоянии 18 и 46 км от источника загрязнения. Это явление объясняется тем, что наиболее тяжелые фторсодержащие частицы оседают ближе к городу, на расстоянии 18–33 км от факела завода «ОАО РУСАЛ Красноярск». В свою очередь, фтор в газообразном состоянии, выброс которого по объему очень значителен (порядка 700 тонн в год), оседает в 50-километровой зоне от алюминиевого производства [20]. Согласно рисунку 2, газообразные вещества, выбрасываемые предприятием, по объему опережают твердые, а по географии распространения распространяются на более дальние расстояния.

Если сравнивать полученную пространственную динамику с исследованиями других авторов, то, например, Е.М. Рунова (2012) определила водорастворимый фтор в хвое лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и сосны

обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в зависимости от расстояния и получила схожие результаты – зафиксированы два пика максимальных концентраций ионов фтора – на расстоянии 10 и 34 км от источника выбросов.

Определение валового фтора проводилось в экспериментальной лаборатории Новосибирского института органической химии. Из 10 образцов фитомассы хвои только в 20 % был обнаружен фтор. Было получено, что среднее содержание валового фтора в хвое пихты сибирской составило 2050 мг/кг. Полученные результаты достаточно высоки и не согласуются с литературными данными, описанными в таблице 4. Кроме того, традиционно валовую концентрацию элемента в растении сравнивают с кларком в живом веществе. Согласно В.В. Добровольскому [21], кларковое число фтора в растениях равно 3,5 мг/кг.

Таким образом, результаты химического анализа валового фтора не репрезентативны.

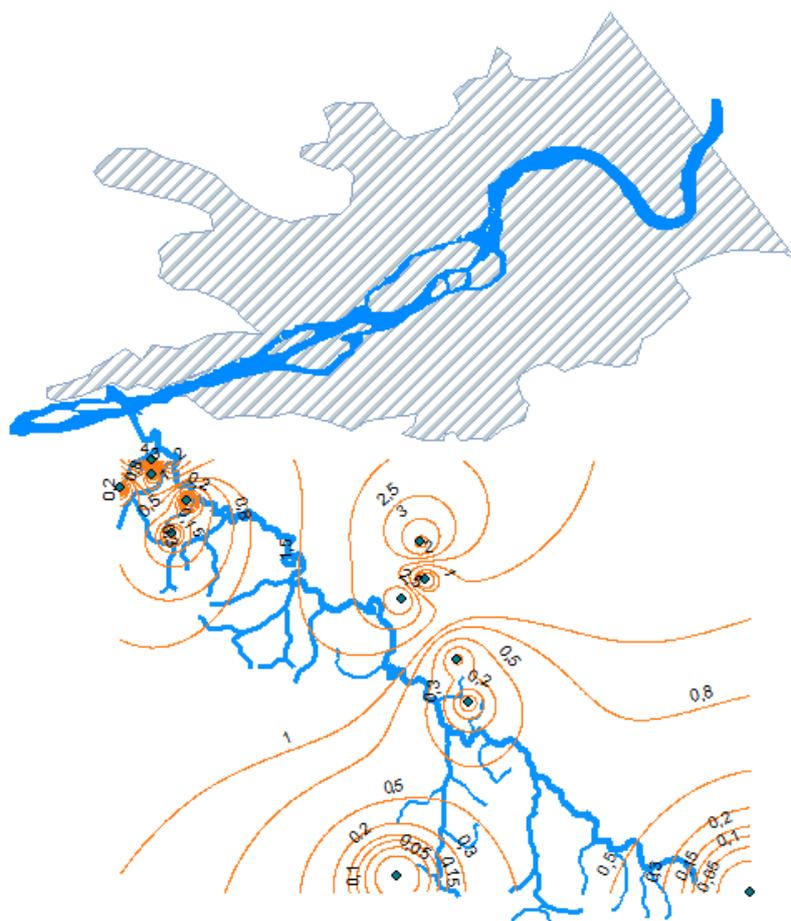


Рис. 1. Пространственная динамика водорастворимого фтора в хвое пихты сибирской *Abies sibirica* L. бассейна р. Базаиха

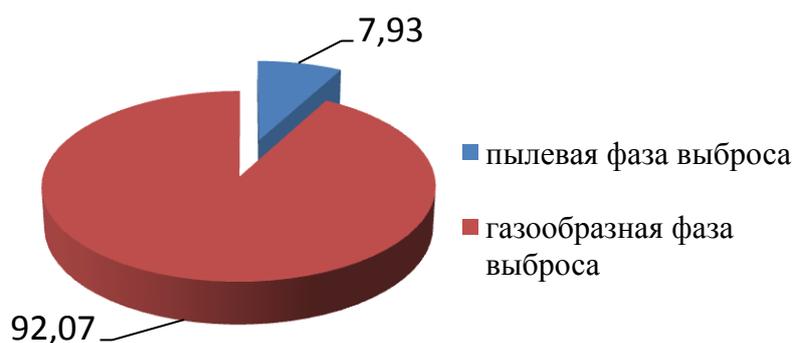


Рис. 2. Объемы выбросов различных компонентов по агрегатному состоянию ОАО «РУСАЛ Красноярск»

Таблица 4

Содержание валового фтора в хвойных породах промышленных зон влияния алюминиевых предприятий

Порода	Место отбора фиомассы хвои	Концентрация валового фтора, мг/кг	Литературный источник
1	2	3	4
Сосна обыкновенная	В зоне влияния алюминиевого завода (КрАЗ, БрАЗ)	545,0	Павлов, 1998 [11]
	- 4–6 км от факела БрАЗ;	161,0–210,0	Рожков, 1989 [3]
	- 10–15 км;	51,0–89,0	
	- до 40 км	13,0–20,0	
	- 3–15 км от САЗ;	7,9	Градобоева, 2014 [22]
	- 20–25 км;	5,5	
- 35–40 км;	5,2		
- 60–65 км;	3,8		
- 120 км	3,4		
	- 1 км от факела БрАЗ;	32,0–65,0 мг%	Соков, 1979 [2]
	- 4 км;		
	- 20 км;		
	- 40 км;		
	- 100 км		
	Минусинский бор	2,01–5,27	Григоренко, 2015 [23]
	- г. Мончегорск (Мурманская обл.), в зоне влияния медно-никелевого металлургического комбината;	3,0–4,0	Кизеев, 2009 [24]
	- г. Кандалакша (Мурманская обл.), алюминиевый завод	27,0	

1	2	3	4
	В зоне влияния Полевского криолитового завода и Первоуральско-Ревдинского промышленного узла	55,0–193,0	Шебалова, 2008 [25]
	Бассейн Верхней Ангары	0,96–1,01 *10–3% от сухой массы	Калугина, 2010 [26]
	Польша, лесной массив, около 15 км от завода – источника загрязнения фтором	180,0–230,0	Karolewski, 2000 [27]
	В радиусе 40 км от г. Красноярск	2–20	Скрипальщикова, 2009 [13]
Сосна сибирская	Заповедник «Хакасский»	1,45–2,45	Шуркина, 2016 [28]
	Заповедник «Кузнецкий Алатау»	0,38–3,71	Бажина, 2013 [14]
	Природный парк «Ергаки»	2,0	Третьякова, 2008 [15]
Лиственница сибирская	В зоне влияния алюминиевого завода (КрАЗ, БрАЗ)	980,0	Павлов, 1998 [11]
	- 4–6 км от факела БрАЗ;	179,0–110,0	Рожков, 1989 [3]
	- 10–15 км; - до 40 км	93,0–55,0 19,0–24,0	
Ель сибирская	В зоне влияния алюминиевого завода (КрАЗ, БрАЗ)	570,0	Павлов, 1998 [11]
	- 4 – 6 км от факела БрАЗ;	182,0–122,0	Рожков, 1989 [3]
	- 10 – 15 км; - до 40 км	86,0–51,0 29,0–8,0	
Ель обыкновенная	Польша, лесной массив, около 15 км от завода – источника загрязнения фтором	75,0–140,0	Karolewski, 2000 [27]
Пихта сибирская	Заповедник «Кузнецкий Алатау»	0,3–4,2	Бажина, 2013 [14]
	Природный парк «Ергаки»	1,1	Третьякова, 2008 [15]
Хвойные деревья	Красноярск, Академгородок	138,0	Отнюкова, 2012 [29]

Заключение. Таким образом, в работе на 10 пробных площадях была отобрана фитомасса хвои пихты сибирской в бассейне реки Базаихи на содержание разных форм фтора. Описано их расположение и таксационные показатели древостоя для каждой пробной площади. Промежуточный класс бонитета рассматриваемых насаждений – II, возраст относится к группе «средневозрастные».

Впервые было описано содержание водорастворимых соединений фтора в хвое пихты сибирской в пригородных лесах г. Красноярск в условиях водосбора р. Базаиха. Диапазон изменения концентраций составил 0,056–3,59 мг/кг при сред-

нем значении $1,39 \pm 0,7$ мг/кг. Сделана оценка пространственной динамики содержания водорастворимого фтора в хвое пихты сибирской. Выявлены два пика загрязнения, которые показывают, что хвоя поглощает производные фтора, сорбированные в пыли в 20-километровой зоне от алюминиевого завода, а газообразные соединения активно ассимилируются растениями в 50-километровой зоне влияния производства.

Авторы выражают благодарность заместителю директора заповедника «Столбы» А.А. Кнорре за возможность проведения исследовательских работ на данной территории.

Литература

1. Шихранов О.Г. Влияние фторидов на древесную растительность в санитарно-защитной зоне Братского алюминиевого завода: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Красноярск, 2004. – 21 с.
2. Соков М.К. Влияние фтористых выбросов алюминиевых заводов на состояние хвойных лесов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Красноярск, 1979. – 24 с.
3. Рожков А.С., Михайлова Т.А. Действие фторсодержащих эмиссий на хвойные деревья. – Новосибирск, 1989. – 130 с.
4. Михайлова Т.А., Бережная Н.С., Афанасьева Л.В. [и др.]. Воздействие фторсодержащих соединений на состояние хвойных лесов Предбайкалья // Лесоведение. – 2005. – № 2. – С. 38–45.
5. Михайлова Т.А., Калугина О.В., Афанасьева Л.В. [и др.]. Тренды содержания химических элементов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в разных условиях произрастания и при техногенной нагрузке // Сиб. экол. журн. – 2010. – № 2. – С. 239–247.
6. Рунова Е.М., Костромина О.А. Оценка состояния лиственных древостоев в зонах техногенного воздействия // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 6. – С. 121–127.
7. Рунова Е.М., Аношкина Л.В. Формирование газоустойчивого ассортимента древесных растений в условиях повышенной техногенной нагрузки // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 6. – С. 76–81.
8. Рунова Е.М., Аношкина Л.В., Аверина Г.А. Влияние фтористых соединений на состояние городской растительности // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – № 2 (14). – С. 126–129.
9. Рунова Е.М., Чжан С.А., Пузанова О.А. Влияние длительного загрязнения промышленными выбросами на жизнеспособность светлохвойных таежных лесов // Системы. Методы. Технологии. – 2015. – № 1 (25). – С. 162–168.
10. Чжан С.А., Рунова Е.М., Пузанова О.А. Исследование состояния хвои древесных пород // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2008. – № 21. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-sostoyaniya-hvoi-drevesnyh-porod> (дата обращения: 13.10.2017).
11. Павлов И.Н. Изучение сорбции фтора в листьях древесных растений // Химия растительного сырья. – 1998. – № 2. – С. 37–43.
12. Павлов И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. – Улан-Удэ, 2006. – 360 с.
13. Скрипальщикова Л.Н., Татаринцев А.И., Зубарева О.Н. [и др.]. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска. – Новосибирск: Гео, 2009. – 179 с.
14. Бажина Е.В., Сторожев В.П., Третьякова И.Н. Усыхание пихтово-кедровых лесов Кузнецкого Алатау в условиях техногенного загрязнения // Лесоведение. – 2013. – № 2. – С. 15–21.
15. Третьякова И.Н., Бажина Е.В., Пахарькова Н.В. [и др.]. Состояние пихтово-кедровых лесов природного парка «Ергаки» и их флуоресцентная диагностика // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – XXV, № 3-4 – С. 237–243.
16. Лесохозяйственный регламент лесничества «Государственный природный заповедник «Столбы». – URL: <https://www.mnr.gov.ru/>.
17. Таксация леса: учеб-метод. пособие. – М., 2008. – 133 с.
18. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды. – М.: ВЛАДОС, 2003. – 288 с.
19. РД 52.24.360-2008. Массовая концентрация фторидов в водах. Методика выполнения измерений потенциометрическим методом с ионселективным электродом. – Ростов н/Д, 2008. – 16 с.
20. Корректировка сводного тома предельно допустимых выбросов для г. Красноярска (Том ПДВ). Том I. Книга 1. Пояснительная записка. – Красноярск, 2012. – 630 с. – URL: <http://www.krasecology.ru/About/PDV>.
21. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М.: Академия, 2003. – 400 с.
22. Градобоева Н.А., Елизарьев В.В., Таранова Ф.А. [и др.]. Мониторинг фторидного состояния агрофитоценоза в зоне деятельности ОАО «РУСАЛ Саяногорск» // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 1. – С. 43–49.

23. Григоренко А.В., Грибов А.И. Морфометрические параметры хвои, элементный состав хвои и компонентный состав эфирного масла *Pinus Sylvestris* L. Минусинского бора в условиях антропогенного загрязнения // Вестн. Перм. ун-та. – 2015. – Вып. 4. – С. 359–365.
24. Кизеев А.Н., Жиров В.К., Никанов А.Н. Влияние промышленных эмиссий предприятий Кольского полуострова на ассимиляционный аппарат сосны // Экология человека. – 2009. – № 1. – С. 9–14.
25. Шебалова Н.М., Залесов С.В. Лесные экосистемы зон сильного аэротехногенного загрязнения // Лесной вестник. – 2008. – № 3. – С. 102–106.
26. Калугина О.В., Михайлова Т.А., Нестеренко О.И. Оценка эколого-физиологического состояния сосновых древостоев в бассейне реки Верхняя Ангара // Лесной вестник. – 2010. – № 6. – С. 30–33.
27. Piotr Karolewski, Jerzy Siepak, Hanna Gramowska. Response of Scots pine (*Pinus sylvestris*), Norway spruce (*Picea abies*) and Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) needles to environment pollution with flourine compounds // Dendrobiology. – 2000. – Vol. 45. – P. 41–46.
28. Шуркина В.В. Результаты ежегодного мониторинга содержания фтора и тяжелых металлов в хвое кедра и почве заповедника «Хакасский» (кластерный участок «Малый Абакан») // Научные исследования в заповедниках и национальных парках Ю. Сибири. – Новосибирск, 2016. – Вып. 6. – С. 65–68.
29. Отнюкова Т.Н., Жижаяев А.М., Кутафьева Н.П. Элементный состав биоиндикаторов атмосферного загрязнения на территории г. Красноярска // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 2. – С. 123–127.
- lesov: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. – Krasnojarsk, 1979. – 24 s.
3. Rozhkov A.S., Mihajlova T.A. Dejstvie ftorsoderzhashhijh jemissij na hvojnje derev'ja. – Novosibirsk, 1989. – 130 s.
4. Mihajlova T.A., Berezhnaja N.S., Afanas'eva L.V. [i dr.]. Vozdejstvie ftorsoderzhashhijh soedinenij na sostojanie hvojnnyh lesov Predbajkal'ja // Lesovedenie. – 2005. – № 2. – S. 38–45.
5. Mihajlova T.A., Kalugina O.V., Afanas'eva L.V. [i dr.]. Trendy soderzhanija himicheskijh jelementov v hvoe sosny obyknovennoj (*Pinus sylvestris* L.) v raznyh uslovijah proizrastanija i pri tehnogennoj nagruzke // Sib. jekol. zhurn. – 2010. – № 2. – S. 239–247.
6. Runova E.M., Kostromina O.A. Ocenka sostojanija listvennyh drevostoev v zonah tehnogennoj vozdejstvija // Vestnik KrasGAU. – 2007. – № 6. – S. 121–127.
7. Runova E.M., Anoshkina L.V. Formirovanie gazoustojchivogo assortimenta drevesnyh rastenij v uslovijah povyshennoj tehnogennoj nagruzki // Vestnik KrasGAU. – 2010. – № 6. – S. 76–81.
8. Runova E.M., Anoshkina L.V., Averina G.A. Vlijanie ftoristyh soedinenij na sostojanie gorodskoj rastitel'nosti // Sistemy. Metody. Tehnologii. – 2012. – № 2 (14). – S. 126–129.
9. Runova E.M., Chzhan S.A., Puzanova O.A. Vlijanie dlitel'nogo zagrjaznenija promyshlennymi vybrosami na zhiznesposobnost' svetlohvojnnyh taezhnyh lesov // Sistemy. Metody. Tehnologii. – 2015. – № 1 (25). – S. 162–168.
10. Chzhan S.A., Runova E.M., Puzanova O.A. Issledovanie sostojanija hvoi drevesnyh porod // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. – 2008. – № 21. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-sostoyaniya-hvoi-drevesnyh-porod> (data obrashhenija: 13.10.2017).
11. Pavlov I.N. Izuchenie sorbcii ftora v list'jah drevesnyh rastenij // Himija rastitel'nogo syr'ja. – 1998. – № 2. – S. 37–43.
12. Pavlov I.N. Drevesnye rastenija v uslovijah tehnogennoj zagrjaznenija. – Ulan-Udje, 2006. – 360 s.
13. Skripal'shhikova L.N., Tatarincev A.I., Zubareva O.N. [i dr.]. Jekologicheskoe sostojanie prigorodnyh lesov Krasnojarska. – Novosi-

Literatura

1. Shihranov O.G. Vlijanie ftoridov na drevesnuju rastitel'nost' v sanitarno-zashhitnoj zone Bratskogo aljuminievogo zavoda: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk. – Krasnojarsk, 2004. – 21 s.
2. Sokov M.K. Vlijanie ftoristyh vybrosov aljuminievyyh zavodov na sostojanie hvojnnyh

- birsk: Geo, 2009. – 179 s.
14. *Bazhina E.V., Storozhev V.P., Tret'jakova I.N.* Usyhanie pihtovo-kedrovyyh lesov Kuzneckogo Alatau v usloviyah tehnogenogo zagraznenija // *Lesovedenie*. – 2013. – № 2. – S. 15–21.
 15. *Tret'jakova I.N., Bazhina E.V., Pahar'kova N.V.* [i dr.]. Sostojanie pihtovo-kedrovyyh lesov prirodnogo parka «Ergaki» i ih fluorescentnaja diagnostika // *Hvojnye boreal'noj zony*. – 2008. – XXV, № 3-4 – S. 237–243.
 16. Lesohozjajstvennyj reglament lesnichestva «Gosudarstvennyj prirodnyj zapovednik «Stolby». – URL: <https://www.mnr.gov.ru/>.
 17. Taksacija lesa: ucheb-metod. posobie. – M., 2008. – 133 s.
 18. *Fedorova A.I., Nikol'skaja A.N.* Praktikum po jekologii i ohrane okruzhajushhej sredy. – M.: VLADOS, 2003. – 288 s.
 19. RD 52.24.360-2008. Massovaja koncentracija ftoridov v vodah. Metodika vypolnenija izmerenij potenciometriceskim metodom s ionsel'ektivnym jelektrodom. – Rostov n/D, 2008. – 16 s.
 20. Korrektirovka svodnogo toma predel'no dopustimyyh vybrosov dlja g. Krasnojarska (Tom PDV). Tom I. Kniga 1. Pojasnitel'naja zapiska. – Krasnojarsk, 2012. – 630 s. – URL: <http://www.krasecology.ru/About/PDV>.
 21. *Dobrovol'skij V.V.* Osnovy biogeohimii. – M.: Akademija, 2003. – 400 s.
 22. *Gradoboeva N.A., Elizar'ev V.V., Taranova F.A.* [i dr.]. Monitoring ftoridnogo sostojanija agrofitorcenoza v zone dejatel'nosti OAO «RUSAL Sajnogorsk» // *Problemy agrohimii i jekologii*. – 2014. – № 1. – S. 43–49.
 23. *Grigorenko A.V., Gribov A.I.* Morfometricheskie parametry hvoi, jelementnyj sostav hvoi i komponentnyj sostav jefirnogo masla Pinus Sylvestris L. Minusinskogo bora v usloviyah antropogenogo zagraznenija // *Vestn. Perm. un-ta*. – 2015. – Vyp. 4. – S. 359–365.
 24. *Kizeev A.N., Zhiron V.K., Nikanov A.N.* Vlijanie promyshlennyh jemissij predpriyatij Kol'skogo poluostrova na assimiljacionnyj apparat sosny // *Jekologija cheloveka*. – 2009. – № 1. – S. 9–14.
 25. *Shebalova N.M., Zalesov S.V.* Lesnye jekosistemy zon sil'nogo ajerotehnogenogo zagraznenija // *Lesnoj vestnik*. – 2008. – № 3. – S. 102–106.
 26. *Kalugina O.V., Mihajlova T.A., Nesterenko O.I.* Ocenka jekologo-fiziologicheskogo sostojanija osnovnyh drevostoev v bassejne reki Verhnjaja Angara // *Lesnoj vestnik*. – 2010. – № 6. – S. 30–33.
 27. *Piotr Karolewski, Jerzy Siepak, Hanna Gramowska.* Response of Scots pine (*Pinus sylvestris*), Norway spruce (*Picea abies*) and Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) needles to environment pollution with flourine compounds // *Dendrobiology*. – 2000. – Vol. 45. – P. 41–46.
 28. *Shurkina V.V.* Rezul'taty ezhegodnogo monitoringa sodержanija ftora i tjazhelyh metallov v hvoe kedra i pochve zapovednika «Hakasskij» (klasternyj uchastok «Malyj Abakan») // *Nauchnye issledovanija v zapovednikah i nacional'nyh parkah Ju. Sibiri*. – Novosibirsk, 2016. – Vyp. 6. – S. 65–68.
 29. *Otnjukova T.N., Zhizhaev A.M., Kutaf'eva N.P.* Jelementnyj sostav bioindikatorov atmosfernogo zagraznenija na territorii g. Krasnojarska // *Vestnik KrasGAU*. – 2012. – № 2. – S. 123–127.