

## КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 630\*18:632.15

### ТЕХНОГЕННЫЕ НАГРУЗКИ НА БЕРЕЗНЯКИ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Л. Н. Скрипальщикова<sup>1</sup>, Т. В. Пономарева<sup>1</sup>, Е. В. Бажина<sup>1</sup>, А. П. Барченков<sup>1</sup>,  
А. В. Белянин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

<sup>2</sup> АО «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод»  
660111, Красноярск, ул. Пограничников, 40

E-mail: lara@ksc.krasn.ru, bashkova\_t@mail.ru, genetics@ksc.krasn.ru, barchenkov@pochta.ru,  
Aleksandr.Belyanin@rusal.com

Поступила в редакцию 07.08.2017 г.

Определены техногенные нагрузки на древостой и почвы в березовых массивах разнотравного типа леса, V–VIII классов возраста, расположенных в Красноярской лесостепи в буферной зоне выбросов промышленных предприятий г. Красноярска и в условиях фона. Исследования проводили на мониторинговых пробных площадях по общепринятым методикам и с использованием сертифицированных методов определения содержания фтора в листьях и почве в конце вегетационного периода. Установлены количественные показатели аккумуляции техногенной пыли на поверхности листьев березы повислой *Betula pendula* Roth и содержания валовой формы фтора в ассимилирующей массе. Обнаружено, что количественные показатели аккумуляции техногенной пыли уменьшились в сравнении с ранее установленными, что, вероятно, связано с уменьшением объемов промышленных выбросов, поступающих с прилегающей к березнякам индустриальной площадки города. Почвы под березняками разнотравными исследовали впервые. Они характеризуются как антропогенно преобразованные и техногенные, измененные в результате многолетнего воздействия на них пылевых и газообразных выбросов промышленных предприятий города, а также в результате рекреационной нагрузки. Установлено, что содержание общего фтора в почвенных горизонтах различно и характеризуется как норма, принятая в литературе (Танделов, 2012). Наиболее высокие концентрации фтора зафиксированы в верхнем 0–5-сантиметровом и в нижнем минеральном 10–20-сантиметровом слоях почвы в березняке разнотравно-злаковом в северо-восточном направлении от Красноярска.

**Ключевые слова:** березняки разнотравные, техногенные нагрузки, ассимилирующая масса, антропогенно преобразованные почвы, техногенная пыль, валовой фтор.

DOI: 10.15372/SJFS20170611

#### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время значительные территории лесных экосистем как в России, так и в мире подвергаются мощному аэротехногенному загрязнению. Освоение природных ресурсов и развитие научно-технического прогресса приводят к нарушению экологического равновесия, разрушению естественных экосистем и другим негативным последствиям. Особенно уязвими

ми оказались экосистемы бореального пояса (Forest Decline..., 1989, 1993). Ответная реакция лесных экосистем находится в прямой зависимости от дозы поступления токсических выбросов в природные среды и продолжительности их воздействия (Рожков, Михайлова, 1989).

Лесные экосистемы красноярской лесостепи длительное время подвергаются мощному антропогенному прессу выбросов промышленности краевого центра – г. Красноярска. В лесо-

степной зоне, примыкающей к Красноярску, в основном произрастают сосновые и березовые насаждения, которые выполняют основную средообразующую роль, являясь «легкими» города. В настоящее время в Красноярской лесостепи в результате интенсивной хозяйственной деятельности происходят широкомасштабное обеднение состава и структурное упрощение многих биологических экосистем, что приводит к уменьшению их оптимальной степени функционирования и стабильности (Антипова, 2012).

Определение уровней антропогенной нагрузки в условиях постоянно изменяющейся окружающей среды в нарушенных многолетним техногенным прессом лесных экосистемах актуально и позволяет своевременно разработать защитные и природоохранные мероприятия. Степень техногенных нагрузок на лесные экосистемы можно устанавливать по содержанию токсичных ингредиентов в ассимиляционной массе растений (Рожков, Михайлова, 1989; Лесные экосистемы..., 1990). Их накопление в фитомассе древесных растений отражает уровень загрязнения окружающей атмосферы.

Цель исследований заключалась в определении уровня современных техногенных нагрузок на пригородные березняки Красноярска, произрастающие в зоне воздействия промышленных выбросов и в фоновых условиях, в виде техногенной пыли и фтора в листьях и почве.

В ходе исследований решались следующие задачи:

1. Определение аккумуляции пыли листовой поверхностью березняков и содержания общего фтора в ассимиляционной массе.

2. Установление количественных показателей аккумуляции общего фтора в почвах в березняках разнотравных.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основное загрязнение исследуемой территории происходит преимущественно от выбросов промышленных предприятий, объектов энергетики и автотранспорта (Государственный доклад..., 2017). Согласно докладу, в атмосферу Красноярска и прилегающих территорий в 2016 г. от стационарных источников поступило 196.9 тыс. т загрязняющих веществ, от передвижных – 127.3 тыс. т. В загрязняющих атмосферу выбросах присутствуют твердые и газообразные вещества, в аэрозолях – в основном оксиды серы, азота и углерода.

С 2009 г. на Красноярском алюминиевом заводе АО «РУСАЛ» начался переход на новую технологию, получившую название «Экологичный Содерберг». Эта технология позволяет снижать объемы вредных для окружающей среды выбросов (<http://www.rusal.ru>).

Определение антропогенных нагрузок проводилось в 2016 г. на мониторинговых пробных площадях (ПП) в березняках разнотравных, произрастающих в буферной зоне воздействия промышленных предприятий Красноярска (ПП1–4) и в фоновых условиях (ПП5, 6) в юго-восточном и северо-восточном направлениях от города. Лесоводственно-таксационные характеристики изучаемых березовых массивов приведены в табл. 1.

Аккумуляцию пыли изучали адаптированным к лесным объектам седиментометрическим

**Таблица 1.** Лесоводственно-таксационные характеристики исследованных березовых насаждений

№ ПП, условное название	Координаты		Состав древостоя, тип леса	Средние		Класс		Полнота древостоя
	с. ш.	в. д.		высота, м	диаметр, см	бонитета	возраста	
1 «Речфлот»	56°05'	93°10'	10Б, злаково-разнотравный	16.1	15.4	IV	V	0.8
2 «Дачи»	56°03'	93°09'	10Б + С, разнотравно-злаковый	23.4	14.2	III	V	0.7
3 «Есаулово»	56°08'	93°11'	10Б, разнотравно-злаковый	23.1	17.0	III	VI	0.6
4 «Березовка»	56°02'	93°10'	10Б + С, разнотравно-осочковый	20.5	17.0	II	V	0.9
5 «Погорелка»	56°21'	92°57'	10Б + Ос, С разнотравный	20.5	22.7	II	VI	0.9
6 «Академгородок»	55°99'	92°75'	10Б, разнотравный	22.0	30.0	IV	VIII	0.6

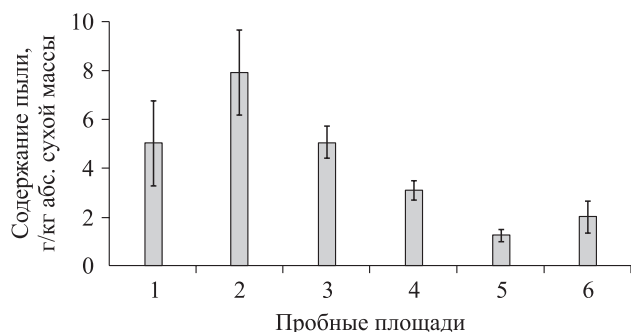
методом (Детри, 1973). На каждой ПП с пяти модельных ветвей пяти модельных деревьев по периметру в нижней части кроны отбирали образцы листьев. Каждый образец взвешивали и промывали в 1 л дистиллированной воды с последующей фильтрацией через абсолютно сухой беззольный фильтр. Количество пыли определяли на 1 кг абсолютно сухой массы листьев.

Водорастворимые формы фтора сильно варьируют и во времени, и в различных ландшафтах (Танделов, 2012), поэтому определяли его валовую форму. Отбор образцов почвы осуществляли осенью в период максимального накопления данного элемента по слоям 0–5, 5–10 и 10–20 см. Содержание фтора в листьях и почве определяли в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ ГЦАС «Красноярский» ионометрическим методом (Методические указания..., 1995). Уровни техногенных нагрузок по пыли и фтору и степень загрязнения березовых фитоценозов определяли в соответствии с нормативными документами (Руководящий документ..., 1991).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что максимальное количество пыли приходится на березняки, произрастающие под факелом ТЭЦ-3 (ПП2) (рис. 1).

Ранее установлено (Современное состояние..., 1990), что в выбросах тепловых станций, работающих на бурых углях Ирша-Бородинского разреза, пылевая составляющая преобладает над газовой. Березняки ПП1–4 накапливают на поверхности ассимиляционной массы от 3 до 8 г пыли на 1 кг сухой массы, что почти в 3 раза ниже, чем установлено по результатам исследований 2013 г., когда максимальная пылевая нагрузка на листовую поверхность этих березняков составляла 20 г (Скрипальщикова и др.,



**Рис. 1.** Распределение пыли на поверхности листьев березы повислой в березняках разнотравных в конце вегетационного периода 2016 г.

2016). В условиях фона на листьях накапливается 1–2 г пыли. При этом распределение пыли по кронам модельных деревьев на ПП может существенно меняться в зависимости от количества фитомассы в кроне и индивидуального расположения дерева как в пологе, так и по отношению к ветровому потоку (Скрипальщикова, 1997). Вариация распределения пыли по деревьям в пределах исследованных фитоценозов изменяется от 28.9 до 72.0 %. Содержание общего фтора в листьях березы, определенное в конце вегетационного периода 2016 г., приведено в табл. 2.

Из таблицы видно, что в листовой массе модельных деревьев фтор может накапливаться в количестве от 2.2 до 28.8 мг на 1 кг сухой массы. Минимальные значения установлены в листьях фоновых берез (ПП5, «Погорелка»), максимальные – в листовой массе на ПП3 («Есаулово»). Фтористые соединения не участвуют в метаболизме растений, и их повышенные концентрации как на поверхности, так и внутри листьев вызывают ожоги, некрозы, способствуют замедлению основных физиологических функций (Рожков, Михайлова, 1989). Согласно данным А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиас (1989), норма содержания фтора в ассимилирующих органах растений, не вызывающая нарушений стабильности развития листовых пластинок, составляет 5–30 мг/кг сухой массы. Некоторые исследователи относят березовые насаждения к гипераккумулянтам, в надземной части биомассы которых может содержаться до 963 мг фтора на 1 кг сухой массы (Franzaring et al., 2006). Наши исследования показали, что в конце вегетационного периода 2016 г. в листовой массе всех исследуемых березовых насаждений верхний предел содержания фтора не превышен.

Сравнение с исследованиями предыдущих лет показало снижение верхнего предела аккумуляции общего фтора почти в 2 раза. Так, по данным 2009 г. содержание общего фтора в листе модельных деревьев ПП3 могло достигать 48.5 мг/кг абс. сухой массы (Скрипальщикова и др., 2009). Аккумуляция фтора в листе модельных деревьев значительно варьирует (см. табл. 2). Например, на ПП фоновых объектов (ПП5 «Погорелка», ПП6 «Академгородок») концентрация фтора изменяется от 2.2 до 15.4 и от 6.0 до 17.7 мг/кг абс. сухой массы. Значительное варьирование концентраций фтора можно объяснить влиянием на химический состав растений содержания мобильной формы этого химического элемента в почве исследуемых объектов.

Таблица 2. Содержание фтора в листьях березы повислой

№ ПП	Содержание фтора в листе модельных деревьев, мг/кг абс. сухой массы				
	1	2	3	4	5
1	16.2 ± 1.6	13.0 ± 1.3	16.9 ± 1.7	8.5 ± 1.3	14.7 ± 1.5
2	12.0 ± 1.2	16.2 ± 1.6	15.1 ± 1.5	11.4 ± 1.1	10.9 ± 1.1
3	9.1 ± 1.4	10.7 ± 1.1	5.4 ± 0.8	14.4 ± 1.4	28.8 ± 2.9
4	14.1 ± 1.4	7.2 ± 1.1	10.0 ± 1.0	22.8 ± 2.3	15.4 ± 1.5
5	12.8 ± 1.3	15.4 ± 1.5	4.4 ± 0.7	2.2 ± 0.3	3.4 ± 0.5
6	9.7 ± 1.4	6.0 ± 0.9	17.7 ± 1.8	7.6 ± 1.1	13.8 ± 1.4

Почвы под березняками разнотравными на изучаемой территории исследовали впервые. Установлено, что они имеют развитый профиль с признаками трансформации верхних горизонтов. По характеру нарушений их можно отнести к городским (урбопочвы), естественные типы которых изменены в результате химического и механического загрязнения. Исследуемые почвы по гранулометрическому составу относятся к легко-, средне- и тяжелосуглинистым, по показателям кислотности – к слабокислым или нейтральным. Все исследуемые участки характеризуются однородным напочвенным покровом. Проективное покрытие травянистой растительности составляет на разных ПП от 30 до 80 %.

Проблема фторидного загрязнения почв и экосистем является в настоящее время весьма важной. В литературе приводятся неоднозначные экспериментальные данные, разноречи-

вые суждения о динамике поступления фтора в почвы и механизмах его закрепления или миграции (Сергиенко, 1985; Полонский, Полонская, 2013).

В период с 2004 по 2012 г. в окрестностях Красноярска наблюдалось снижение количества промышленных выбросов фтора (Демиденко, Жбанчиков, 2014), в период 2012–2014 гг. отмечена тенденция уменьшения аккумуляции фтора в пахотном слое сельскохозяйственных земель (Жбанчиков, 2017).

Результаты обследования почв в березняках показали, что концентрации валового фтора на всех участках не превышают допустимого уровня (Танделов, 2012) (рис. 2).

Содержание выше фоновых значений наблюдается на ближайших к КрАЗу ПП (ППЗ «Есаулово», ПП1 «Речфлот»). Наиболее высокие значения фтора отмечены в верхнем 0–5-сантиметровом слое.

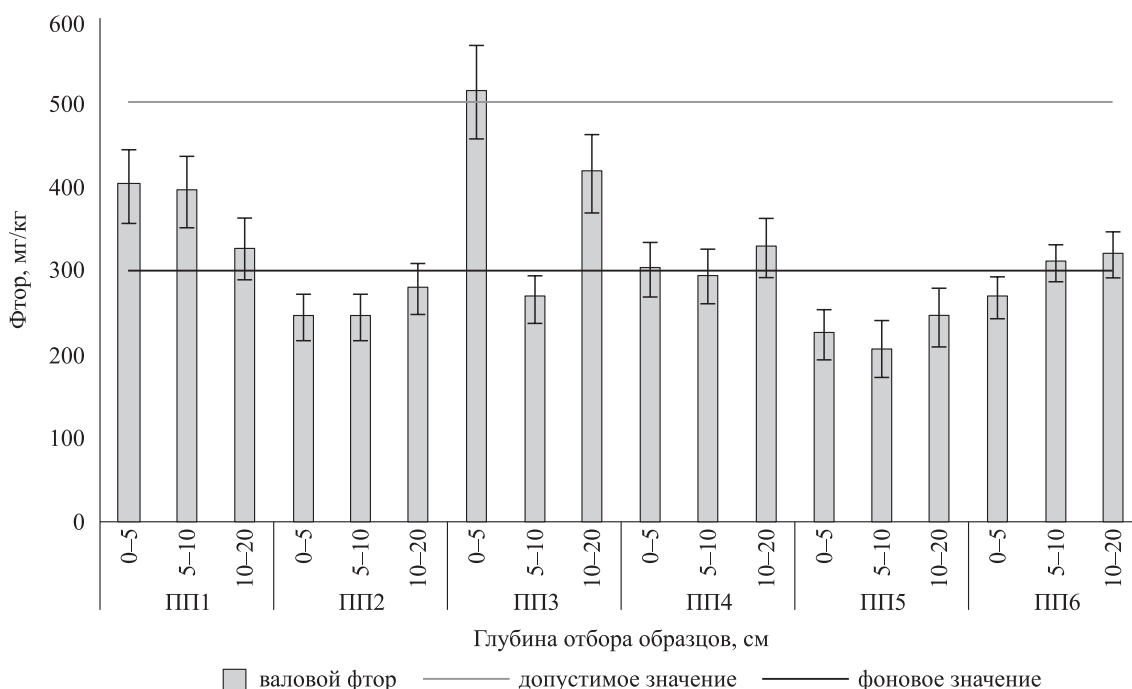


Рис. 2. Содержание валового фтора в почвах березняков разнотравных. Допустимое и фоновое значения валового фтора приведены по Ю. П. Танделову (2012).

метровом и в нижнем 10–20-сантиметровом минеральном слое почвы на ППЗ. Незначительное превышение фонового уровня зафиксировано на ПП4 («Березовка») и ПП6 («Академгородок»). На контрольном участке ПП5 («Погорелка») концентрация валового фтора соответствует ориентировочным предельно допустимым количествам для почв, которые приводят некоторые авторы в качестве нормативов для данной формы фтора (Танделов, 2012).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования аккумуляции пыли и валовой формы фтора в березняках разнотравных Красноярской лесостепи в буферной зоне загрязнения и в фоновых условиях выявили снижение уровней техногенных нагрузок на обследованные березняки в 2016 г. в сравнении с 2013 г., и в настоящее время они соответствуют таковым для зоны средней степени загрязнения (Скрипальщикова и др., 2009; Хлебопрос и др., 2012). Изменение величины пылевой нагрузки может быть связано с изменениями объемов выбросов Красноярского алюминиевого завода и соседних с ним промышленных предприятий. В листовой массе березы не выявлено критических значений содержания общего фтора, вызывающих нарушения стабильности развития листовой пластинки.

Почвы в березняках разнотравных в зоне многолетнего воздействия выбросов промышленных предприятий в юго-восточном направлении от Красноярска характеризуются как антропогенно преобразованные и техногенные. Загрязнения почв по валовому содержанию фтора не выявлено, однако на близко расположенных к источникам промышленных выбросов участках содержание фтора приближается к пределу допустимых значений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антипова Е. М. Флора внутриконтинентальных островных лесостепей Средней Сибири / Под ред. д-ра биол. наук, проф. Н. Н. Тупициной. Красноярск: Красноярск. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева, 2012. 662 с.

Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае» в 2016 году. Красноярск, 2017. 289 с.

Демиденко Г. А., Жбанчиков Д. О. Влияние водорастворимого фтора на загрязнение почв в зоне промышленных выбросов алюминиевого завода // Вестн. КрасГАУ. 2014. № 5. С. 116–119.

Детри Ж. Атмосфера должна быть чистой. М.: Прогресс, 1973. 380 с.

Жбанчиков О. Д. Оценка загрязнения фтором в системе «сельскохозяйственные земли – растения – молоко» в зоне промышленного влияния Красноярского алюминиевого завода (ОАО «Русал Красноярск») // Вестн. КрасГАУ. 2017. № 3. С. 138–144.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.

Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Под ред. В. А. Алексеева. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 200 с.

Методические указания по ионометрическому определению содержания фтора в растительной продукции, кормах и комбикормах (утв. зам. министра сельск. хоз-ва и продовольствия РФ 14.04.1995 г.). М.: ЦИНАО, 1995.

Полонский В. И., Полонская Д. Е. Фторидное загрязнение почвы и фиторемедиация (обзор) // Сельскохозяйств. биол. 2013. № 1. С. 3–14.

Рождков А. С., Михайлова Т. А. Действие фторсодержащих эмиссий на хвойные деревья / Отв. ред. А. С. Исаев. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 155 с.

Руководящий документ. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (РД 52.04.186-89). М.: Гос. комитет по гидрометеорол. СССР; Мин-во здравоохранения СССР, 1991. 530 с.

Сергиенко Л. И. Гигиеническое регламентирование валового и усвояемого фтора в почве // Гигиена и санитария. 1985. № 11. С. 78–79.

Скрипальщикова Л. Н. Пылеулавливающие свойства лесных экосистем в лесостепных районах Средней Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.06.16. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 1997. 19 с.

Скрипальщикова Л. Н., Грешилова Н. В., Стасова В. В., Пляшечник М. А. Аккумуляционная способность и стабильность развития березняков разнотравных в зоне влияния промышленных выбросов // Вестник КрасГАУ. 2016. Вып. 7. С. 41–47.

Скрипальщикова Л. Н., Татаринцев А. И., Зубарева О. Н., Перевозникова В. Д., Стасова В. В., Грешилова Н. В. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска / Отв. ред. д-р биол. наук, проф. Л. И. Милотин. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. 190 с.

Современное состояние биоценозов зоны КАТЭКа: сб. ст. / Под ред. Л. Н. Болтневой, Н. И. Холиковой. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 208 с.

Танделов Ю. П. Фтор в системе почва–растение. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. акад. РАСХН В. Г. Минеева. Красноярск, 2012. 146 с.

- Хлебопрос Р. Г., Тасейко О. В., Иванова Ю. Д., Михайлюта С. В. Красноярск. Экологические очерки: моногр. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2012. 130 с.
- Forest decline and air pollution. A study of spruce (*Picea abies*) on acid rains / E.-D. Schulze, O. L. Lange, R. Oren (Eds.). Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag GmbH, 1989. 475 p.
- Forest decline in the Atlantic and Pacific region / R. F. Huettl, D. Mueller-Dombois (Eds.). Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag GmbH, 1993. 366 p.
- Franzaring J., Hrenn H., Schumm C., Klumpp A., Fangmeier A. Environmental monitoring of fluoride emissions using precipitation, dust, plant and soil samples // Environ. Pollut. 2006. V. 144. Iss. 1. P. 158–165.

## TECHNOGENIC LOADS ON BIRCH STANDS IN KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

L. N. Skripal'shchikova<sup>1</sup>, T. V. Ponomareva<sup>1</sup>, E. V. Bazhina<sup>1</sup>, A. P. Barchenkov<sup>1</sup>, A. V. Belyanin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

<sup>2</sup> Joint Stock Company «RUSAL Krasnoyarsk Aluminium Plant» Pogradnichnikov str., 40, Krasnoyarsk, 660111 Russian Federation

E-mail: lara@ksc.krasn.ru, bashkova\_t@mail.ru, genetics@ksc.krasn.ru, barchenkov@pochta.ru, Aleksandr.Belyanin@rusal.com

Technogenic loadings on stands and soils were established in birch forests of grassy type, of V–VIII age classes in Krasnoyarsk forest-steppe both in buffer zone of Krasnoyarsk city industrial emissions and in background conditions. The study was carried out on monitoring sample plots by established procedures with using certified methods of fluorine concentration determination in leaves and soils in late vegetation season. Quantitative data of technogenic dust accumulation on the surface of birch *Betula pendula* Roth leaves as well as total fluorine content in assimilating mass were fixed. Technogenic dust accumulation was found to be reduced in comparison with earlier data and that may be connected with decrease of industrial emissions from urban industrial site adjacent to the birch stands. The study of soils in the grassy-type birch stands was new. The soils were characterized as antropogenic-transformed and technogenic-modified because of long-term impact of dusty and gaseous industrial emissions as well as recreational loading. Concentrations of total fluorine in soil horizons were found to be various and characterized as normal, adopted in literature (Tandelov, 2012). The highest concentrations of fluorine were fixed in upper 0–5 cm and lower mineral 10–20 cm soil layers in birch stand of grass-graminea type northeast of the city.

**Keywords:** birch stands of herbaceous type, technogenic loadings, assimilating mass, antropogenically transformed soils, technogenic dust, total fluorine, Krasnoyarsk Krai.

**How to cite:** Skripal'shchikova L. N., Ponomareva T. V., Bazhina E. V., Barchenkov A. P., Belyanin A. V. Technogenic loads on birch stands in Krasnoyarsk forest-steppe // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2017. N. 6: 130–135 (in Russian with English abstract).