



Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 1 (51). Март, 2024

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugotek
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





УДК УДК 630*182(571.51)

МОНИТОРИНГ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

СКРИПАЛЬЩИКОВА
Лариса Николаевна

кандидат биологических наук, Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/28, lara@ksc.krasn.ru

ШУШПАНОВ
Александр Сергеевич

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий» им. академика М. Ф. Решетнева, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/28; 660037, г. Красноярск, пр. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, shas87@bk.ru

БАРЧЕНКОВ
Алексей Павлович

кандидат биологических наук, Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН; Сибирский федеральный университет, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/28; 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79, alexbarchenkov@mail.ru

ПОНОМАРЕВА
Татьяна Валерьевна

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/28, bashkova_t@mail.ru

КАЛУГИНА
Ольга Владимировна

кандидат биологических наук, Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, olignat32@inbox.ru

БЕЛЯНИН
Александр Владимирович

АО «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод», 660111, г. Красноярск, ул. Пограничников, 40, Aleksandr.Belyanin@rusal.com

ФОМИЧЕВ
Игорь Вячеславович

АО «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод», 660111, г. Красноярск, ул. Пограничников, 40, Igor.Fomichev@rusal.com

Ключевые слова:
Красноярская
лесостепь
снеговой покров
сосняки разнотравные
техногенная пыль
валовый фтор
рН талой снеговой
воды
зоны загрязнения
пригородной
территории

Аннотация: В статье приведены результаты шестилетних наблюдений (2016–2022 гг.) по аккумуляции техногенной пыли в снеговом покрове в сосновых насаждениях Красноярской лесостепи, произрастающих по основному переносу промышленных выбросов г. Красноярск, в сравнении с сосняками, растущими в условиях фона. Представлены количественные характеристики содержания твердых фторидов в пылевом остатке снеговых вод. Результаты сравнения пылевых нагрузок в зимние периоды 2016–2022 гг. с ранее проведенными многолетними исследованиями показывают, что в настоящее время пылевые нагрузки на сосняки снизились в среднем в 2 раза. Содержания валовой формы фтора в твердом осадке незначительные в сравнении с кларками этого элемента в земной коре. Кислотность талых снеговых вод на обследованной территории колеблется в пределах от 6.32 (слабокислые) до 7.36 (слабощелочные). Выявленные формы зон загрязнения снегового покрова варьируют в зависимости от количества ветров ЮЗ направлений, которые сносят промышленные выбросы г. Красноярск на исследуемые массивы. В настоящее время исследуемые сосновые насаждения произрастают в зоне среднего загрязнения.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 28 февраля 2024 года

Подписана к печати: 27 марта 2024 года

Введение

В связи с интенсивным развитием промышленности и транспортной системы в атмосферу, почву, водную среду и растительность поступает большое количество загрязняющих веществ. Это сопряжено с негативными экологическими последствиями для природной среды и здоровья населения. Загрязнение воздушного бассейна техногенными эмиссиями определяет необходимость мониторинга загрязнения. В северных регионах России удобным индикатором загрязнения приземных слоев атмосферы является снежный покров, который сохраняется в течение 6–8 месяцев. В отличие от дождевых осадков, снег аккумулирует загрязняющие вещества, поступающие с выбросами промышленных предприятий, в течение длительного периода времени. Проходя сквозь полог древостоя, частицы снега захватывают вещества, накопленные на поверхности хвои, побегов и стволов деревьев, тем самым изменяя свой состав. По данным А. А. Молчанова (1973), во всех лесных насаждениях, кроме темнохвойных, снега накапливается больше, чем в поле и на открытых пространствах, где за счет испарения и сдувания высота снежного покрова снижается.

В урбоэкосистемах наблюдаются наибольшие изменения в составе атмосферного воздуха. Ученых давно привлекла возможность использования снежного покрова как индикатора загрязняющей среды. В городах в зимний период и во время снеготаяния экологический мониторинг необходим для

оценки состояния частей геосфер Земли. Именно снег служит надежным диагностическим показателем аккумуляции и распределения загрязняющих веществ (Демиденко, Турыгина, 2019).

Мониторинг загрязнения снежного покрова позволяет получить реальную суммарную величину выпадений загрязняющих веществ, отражающую уровень загрязнения приземных слоев атмосферы. Контроль загрязнения снежного покрова также имеет важное значение для понимания процессов загрязнения почв в результате атмосферного переноса (Игнатенко и др., 2012; Белозерцева и др., 2017). Данные о содержании веществ в снежном покрове являются единственными материалами для оценки регионального загрязнения атмосферы в зимний период на больших территориях и выявления ареала распространения загрязняющих веществ от промышленных центров.

Загрязнение техногенными выбросами – одна из характерных особенностей урбанизированной природной среды г. Красноярск и прилегающих к нему территорий (Красноярская лесостепь). Здесь на протяжении длительного времени функционируют крупные предприятия, относящиеся к машиностроительной, теплоэнергетической и металлургической отраслям промышленности. Однако в последние годы на предприятиях г. Красноярск, в первую очередь на металлургическом производстве и объектах теплоэнергетики, проводится ряд мероприятий по модернизации производства, ввод в эксплуатацию экологических ресурсосберегающих и природозащитных технологий, но

вых очистных сооружений (Государственный доклад..., 2023; РУСАЛ..., 2024). Это не могло не отразиться на экологической ситуации в целом. Исходя из этого изучение динамики аккумуляции техногенной пыли в снежном покрове необходимо для выявления изменений площади зон загрязнения на пригородной лесостепной территории с низким процентом лесистости в связи с применением новых экологических технологий. Мониторинг загрязнения снежного покрова на пригородной территории весьма актуален, т.к. количественные показатели загрязнения снежного покрова позволяют выявить техногенные нагрузки на пригородные леса при определении их современного экологического состояния в целях подбора и проведения в лесных экосистемах природоохранных мероприятий.

Цель работы – оценить уровень загрязнения снежного покрова в хвойных насаждениях, произрастающих в Красноярской лесостепи, в направлении основного переноса промышленных выбросов и в фоновых условиях. В связи с поставленной целью выполнялись следующие задачи:

1. Мониторинг аккумуляции техногенной пыли в снежном покрове открытых про-

странств и под пологом сосновых насаждений.

2. Создание схемы, отражающей интенсивность загрязнения пригородной территории г. Красноярска техногенной пылью, используя интерполяцию данных наших натуральных исследований аккумуляции пыли снежным покровом открытых пространств и под пологом лесных массивов.

3. Определение pH талой снеговой воды и пространственно-временное распределение твердых фторидов в пылевом осадке снеговых вод.

Материалы

Исследования по аккумуляции техногенной пыли проводились на 6 мониторинговых пробных площадях (ПП) в сосняках разнотравной группы типов леса 5–6-го классов возраста, произрастающих в Красноярской лесостепи (рис. 1). Краткая характеристика ПП приведена в табл. 1. Проведенные нами ранее исследования (Skripal'shchikova et al., 2022) по оценке экологического состояния сосновых насаждений на мониторинговых пробных площадях позволили сделать вывод, что древостои сосны на ПП 1–3 характеризуются как нарушенные, на ПП 4–6 – как фоновые (условно чистые).

Таблица 1. Характеристика мониторинговых пробных площадей в сосновых насаждениях Красноярской лесостепи

№ ПП	Расположение пробной площади	Координаты ПП	Направление ПП от кластера промышленных объектов	Расстояние от кластера промышленных объектов, км	Тип леса
1	Сосняк СНТ «Строитель»	93°11' в. д. 56°06' с. ш.	Восточное	9.5	Разнотравно-осочково-зеленомошный
2	Березовский бор	93°10' в. д. 56°02' с. ш.	Юго-восточное	10	Осочково-разнотравный
3	Есаульский бор	93°15' в. д. 56°08' с. ш.	Северо-восточное	14.5	Разнотравно-осочково-зеленомошный
4	Сосновое насаждение в Академгородке	92°44' в. д. 55°59' с. ш.	Западное	21	Разнотравно-зеленомошный
5	Погорельский бор	92°57' в. д. 56°22' с. ш.	Северное	30.5	Разнотравно-осочковый
6	Сосняк д. Сухая	92°27' в. д. 56°14' с. ш.	Северо-западное	39	Осочково-разнотравный

Методы

Экспериментальные исследования по определению аккумуляции пыли в снежном покрове проводились в 2016–2022 гг. Отбор образцов снега осуществлялся в период максимальных снегозапасов, в частности в конце февраля – начале марта по методике РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Часть II. Региональное загрязнение атмосферы» (2024). В лабораторных условиях пробы растапливали при комнатной температуре, измеряли объем талой снеговой воды. Далее пробы фильтровались через бумажные фильтры (синяя лента), предварительно высушенные и взвешенные. По окончании фильтрования

всего объема снеговой воды фильтры высушивались и взвешивались. Количество пыли на фильтре определялось по разнице между заполненным фильтром и сухим чистым. Определение pH талой воды проводили на pH-метре ОР-265/1.

Количественные показатели содержания валовой формы фтора в твердом осадке снеговой воды (в фильтрах) определяли спектрофотометрически при длине волны 540 нм с индикатором ксиленоловым оранжевым после сухого озоления пробы и дистилляции полученной золы с водяным паром в хлорной кислоте, используя серноокисное серебро для удаления сопутствующих примесей хлора (Киселева, 1966; Руководство..., 1979; Mikhailova, 2000).

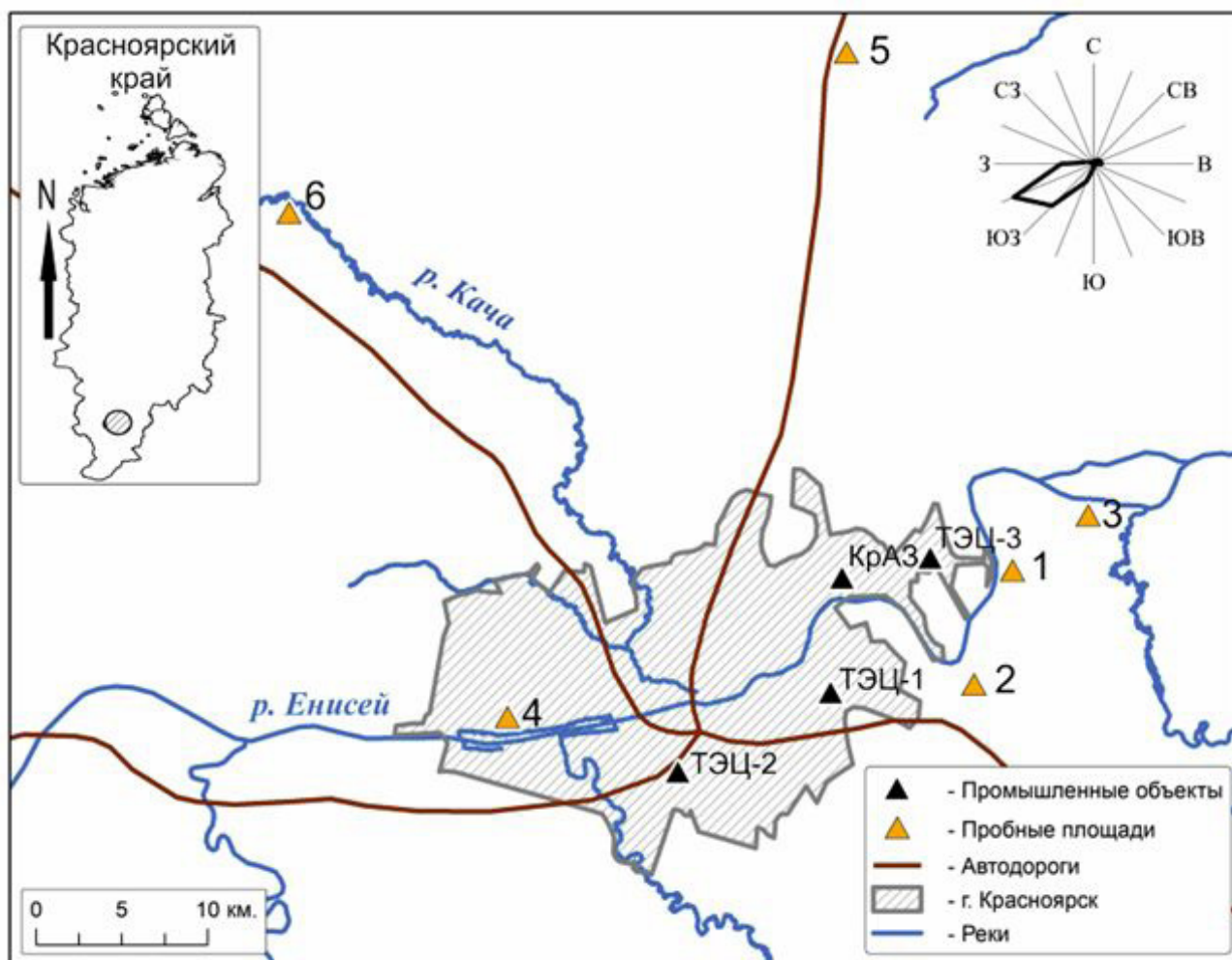


Рис. 1. Карта-схема расположения пробных площадей в сосняках разнотравных Красноярской лесостепи

Fig. 1. Map-diagram of the location of sampling areas in the herb pine forests of the Krasnoyarsk forest-steppe

Для создания схемы, отражающей интенсивность загрязнения, использовалась интерполяция данных натурных исследований по аккумуляции пыли снежным покровом на открытых пространствах и под пологом лесных массивов, полученных в зимние периоды 2016–2022 гг. Интерполяционная карта-схема построена с использованием метода Кригинга или регрессии на основе гауссовских процессов (Matheron, 1963; Resources for ArcMap..., 2024). Этот метод основан на статистических моделях, включающих анализ автокорреляции (статистических

отношений между измеренными точками). Применяя метод Кригинга, мы имеем возможность не только создавать поверхность прогнозируемых значений, но и предоставлять некоторые измерения достоверности или точности прогнозируемых значений.

Результаты

Данные за зимние периоды шести лет наблюдений (2016–2022 гг.) по аккумуляции в снежном покрове природной и техногенной пыли на открытых пространствах и под пологом хвойных насаждений приведены на рис. 2.

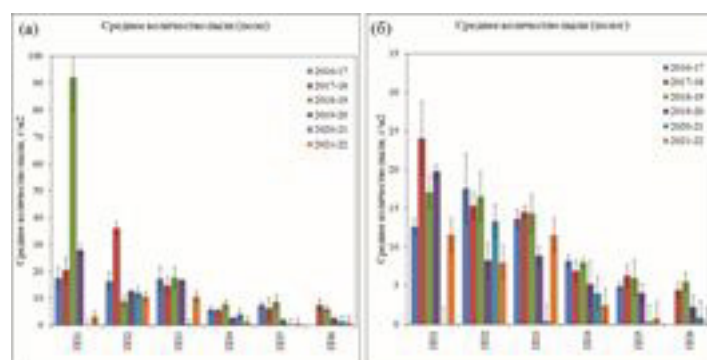


Рис. 2. Характер седиментации пыли в снежном покрове Красноярской лесостепи на открытых пространствах (поле) (а) и под пологом (б)

Fig. 2. The nature of dust sedimentation in the snow cover of the Krasnoyarsk forest-steppe in open spaces (field) (a) and under the canopy (б)

Шестилетний период наблюдений как в контрольных насаждениях, так и в нарушенных сосновых массивах показал, что количественные характеристики аккумуляции пыли варьируют (см. рис. 2а, б). Наибольшее количество пыли аккумулируется в снежном покрове на ПП 2, как на открытых участках, так и под пологом. Следует отметить, что в зимний период 2019 г. на открытой территории ПП 1 было выявлено максимальное количество пыли, превышающее данные 2017 г. в 2 раза. На ПП 1 высокое содержание пылевых частиц в снеге обусловлено влиянием ТЭЦ-3, т.е. высоким содержанием пылевой фракции в составе ее выбросов, а также влиянием строительной пыли, поступающей от ведущейся застройки данной территории. Несколько меньшее количество твердых частиц обнаружено в снежном покрове на ПП 3, расположенной в восточном направлении от города. Выявленный характер накопления пыли в этом лесном массиве может быть обусловлен плотной биофизической конструкцией сосняка и, следовательно, более высокой задерживающей способностью, а также переносом техногенной пыли в восточном

направлении преобладающими ветрами. Минимальное количество природной пыли установлено в снежном покрове сосняка на ПП 6 вблизи д. Сухая. С зимы 2019/2020 г. отчетливо прослеживается тенденция уменьшения осевшего количества пыли в исследуемых сосняках как под пологом, так и на открытых пространствах, что обусловлено прежде всего меньшим поступлением пыли техногенного характера на исследуемые объекты с ветрами основного ЮЗ направления, а также варьированием количества техногенной пыли, выбрасываемой промышленными предприятиями города. Последнее обусловлено заменой фильтров на ТЭЦ города на более эффективные электрофильтры, а также реконструкцией ТЭЦ 1 (Попов, 2020; Государственный доклад..., 2022).

В 80-х гг. прошлого столетия исследуемые сосняки в зимний период подвергались более высоким пылевым нагрузкам, (Скрипальщикова и др., 2009). Результаты сравнения пылевых нагрузок в зимние периоды 2016–2022 гг. с ранее проведенными многолетними исследованиями показывают, что за этот зимний период нагрузки на сосняки

снизились в среднем в 2 раза.

Использование метода Кригинга позволило выделить следующие зоны загрязнения

пригородной территории за исследованные зимние периоды: высокого, среднего, слабого и условно чистую (рис. 3).

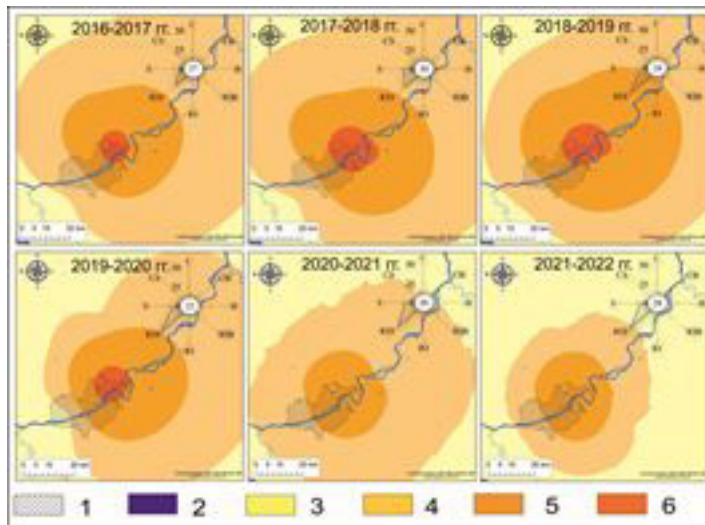


Рис. 3. Вариации форм зон техногенного пылевого загрязнения пригородной территории, выделенных по наземным исследованиям. Условные обозначения: 1 – территория г. Красноярск, 2 – водоемы и реки; зоны загрязнения: 3 – условно чистая (2), 4 – слабого ($5\text{--}10\text{ г/м}^2$), 5 – среднего ($10\text{--}25\text{ г/м}^2$), 6 – высокого загрязнения ($>25\text{ г/м}^2$)

Fig. 3. Variations in the forms of man-made dust pollution zones in suburban areas identified by ground-based studies. Symbols: 1 – the territory of Krasnoyarsk, 2 – reservoirs and rivers; pollution zones: 3 – conditionally clean (2), 4 – weak pollution ($5\text{--}10\text{ g/m}^2$), 5 – medium pollution ($10\text{--}25\text{ g/m}^2$), 6 – high pollution ($>25\text{ g/m}^2$)

На рис. 3 видно, что формы зон загрязнения снежного покрова варьируют в зависимости от количества ветров ЮЗ направлений, которые сносят промышленные выбросы г. Красноярск на исследуемые массивы. Установлено, что зона высокого загрязнения снежного покрова максимальна в зимний период 2017/18 г., что соответствует максимуму ветров ЮЗ направлений и 30 % количества штилей данного периода (на рисунке количество штилей представлено за период максимальных снегозапасов с октября по февраль). В зимние периоды 2020/21 и 2021/22 гг. по количественным характеристикам седиментируемой в снеговом покрове пыли выделяется только 3 зоны загрязнения: слабая, средняя и условно чистая; зона высокого загрязнения отсутствует.

Характер форм зон пылевого загрязнения пригородной территории объясняется рядом комплексно действующих факторов, влияющих на распространение промышленных эмиссий города. Прежде всего это условия рассеивания примесей в зимние месяцы, когда значительно возрастает повторяемость инверсионного распределения температуры, слабых ветров и туманов. Особенности рельефа города вызывают своеобразный характер загрязнения: селитебная

часть города находится в долине реки, пригород имеет холмистый рельеф. Под влиянием неровностей местности изменяется турбулентный режим воздушных масс, что влечет за собой существенное изменение распределений концентраций при удалении от источника и седиментации их в низких участках рельефа. Поэтому максимальное загрязнение испытывает город.

В ходе работ по изучению кислотности (pH) талого снега на всех исследуемых ПП установлено, что этот показатель в разные годы варьирует незначительно, средние значения pH за шестилетний период исследований приведены в табл. 2. В нарушенных, загрязненных сосновых насаждениях pH как в поле, так и под пологом близок к нейтральной среде и колеблется от 7.04 до 7.21, на фоновых территориях показатель pH варьирует от 6.22 до 6.76, что характеризует талые снеговые воды как слабокислые. Полученные нами данные согласуются с результатами других исследователей. Например, по данным И. О. Гребенщиковой (2013), для г. Иркутска значения pH снеговой воды составляют от 6.2 до 7.2. Крупномасштабные наблюдения за химическим составом снега на территории России, проведенные в 2000–2013 гг. (Ветров и др., 2015), показали,

что практически во всех регионах значения pH снега равны более 5.0. При этом отмечается, что в городах наблюдается подщелачивание, значения pH возрастают до 7.4 (Кобелев и др., 2019).

Таблица 2. Среднегодовые значения pH снеговой воды на открытых участках и под пологом насаждений на обследованных ПП в период 2016–2022 гг.

	№ ПП	рН
1	поле	7.04 ± 0.03
	полог	7.18 ± 0.05
2	поле	7.21 ± 0.06
	полог	7.36 ± 0.06
3	поле	7.18 ± 0.03
	полог	7.07 ± 0.04
4	поле	6.76 ± 0.03
	полог	6.72 ± 0.02
5	поле	6.62 ± 0.09
	полог	6.59 ± 0.04
6	поле	6.59 ± 0.05
	полог	6.22 ± 0.04

Определение в твердом осадке снеговых вод валового фтора как одного из наиболее фитотоксичного элемента, поступающего в составе выбросов алюминиевого производства и предприятий теплоэнергетического комплекса, работающих на бурых углях, показало, что его максимальные концентрации содержатся на ПП 1 в загрязненных насаждениях как на открытых участках, так и под пологом сосняков (СНТ, Березовский и Есаульский боры), произрастающих на рас-

стоянии 9.5, 10 и 14.5 км от промышленного кластера. В фоновых объектах, произрастающих вне основного переноса промышленных выбросов (Погорельский бор, сосняки в Академгородке и д. Сухая), концентрации фтора в твердом осадке снеговых вод меньше почти в 2 раза (табл. 3). В сравнении с кларками этого элемента в земной коре и концентрацией в незагрязненных почвах в почву за зимний период со снеговыми водами поступают небольшие его концентрации.

Таблица 3. Содержание твердых фторидов в твердом осадке снегового покрова в поле и под пологом в сосновых насаждениях Красноярской лесостепи, мг/кг

Усредненное значение содержания F в снеговом покрове за период с 2016 по 2022 г.												
№ ПП	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	поле						полог					
Содержание F в мг/кг	2.47 ± 0.35	1.26 ± 0.24	1.83 ± 0.23	0.80 ± 0.08	0.97 ± 0.10	1.08 ± 0.12	1.79 ± 0.40	1.84 ± 0.53	1.33 ± 0.21	0.77 ± 0.14	0.85 ± 0.08	0.90 ± 0.16
Кларки фтора в верхней части земной коры по литературным данным												
660 мг/кг – А. П. Виноградов (1962)												
720 мг/кг – А. А. Беус и др. (1976)												
510 мг/кг – Н. А. Григорьев (2009)												
Для большинства природных («незагрязненных») почв содержания фтора колеблются в пределах 150–400 мг/кг (Виноградов, 1957).												

Заключение

Шестилетние наблюдения за количественными характеристиками аккумуляции пыли антропогенного характера в пригородных сосновых насаждениях позволили выявить тенденцию уменьшения аккумуля-

руемой пыли и твердых фторидов (валовая форма) в снеговом покрове пригородных сосняков. В настоящее время исследуемые сосновые насаждения произрастают в зоне среднего загрязнения. Их экологическое состояние характеризуется как стабильное (Skripal'shchikova et al., 2022). В целом по

сравнению с прошлым столетием за зимний период техногенные нагрузки, а именно в пылевой составляющей, на сосновые экосистемы, произрастающие в радиусе 30 км от г. Красноярска, уменьшились почти в 2 раза. Последнему способствовало уменьшение промышленных объектов в г. Красноярске и переход ТЭЦ города на более мощное очистное оборудование (электрофилтры).

Кислотность талых снеговых вод на обследованной территории колеблется в преде-

лах от 6.32 (слабокислые) до 7.36 (слабощелочные). Полученные данные согласуются с исследованиями кислотности снеговых вод в других регионах. Определенные значения рН для снега на пробных площадях находятся в тех же интервалах, что и для почвы. Таким образом, талые воды не оказывают влияние на смещение реакции почвенного раствора и дальнейшую мобилизацию токсичных соединений в почве.

Библиография

- Белозерцева И. А., Воробьева И. Б., Власова Н. В., Янчук М. С., Лопатина Д. Н. Химический состав снега экватории озера Байкал и прилегающей территории // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 90–99.
- Беус А. А., Грабовская Л. И., Тихонова Н. В. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1976. 248 с.
- Ветров В. А., Кузовкин В. В., Манзон Д. А. Кислотность атмосферных осадков и атмосферные выпадения серы и азота в Арктической зоне Российской Федерации по данным мониторинга химического состава снежного покрова // Метеорология и гидрология. 2015. № 10. С. 44–53.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: АН СССР, 1957. 238 с.
- Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
- Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2021 году». Красноярск, 2022. 321 с.
- Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2022 году». Красноярск, 2023. 366 с.
- Гребенщикова В. И. Геохимическая специфика состава снеговой воды некоторых городов Иркутской области // Вода: Химия и экология. 2013. № 2 (56). С. 19–25.
- Григорьев Н. А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
- Демиденко Г. А., Турыгина О. В. Антропогенное загрязнение городской среды. Красноярск: Краснояр. гос. пед. университет им. В. П. Астафьева, 2019. 170 с.
- Игнатенко О. В., Сенченко М. В., Мещерова Н. А. Зонирование селитебной территории г. Братска по уровню загрязнения снежного покрова // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 3 (15). С. 138–149.
- Киселева Е. Н. Анализ фторсодержащих соединений. М.; Л.: Химия, 1966. 220 с.
- Кобелев В. О., Поповичева О. Б., Шинкарук Е. В., Агбалиян Е. В., Колесников Р. А., Новигатский А. Н. Кислотность атмосферных осадков зимнего периода на территории районов Ямало-Ненецкого автономного округа с различной антропогенной нагрузкой // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2019. № 1 (102). С. 81–88. DOI: 10.26110/ARCTIC.2019.102.1.011
- Молчанов А. А. Влияние леса на окружающую среду. М.: Наука, 1973. 360 с.
- Попов А. Е. Как сделать теплоснабжение Красноярска более экологичным? Электроотопление, газификация или глубокая модернизация действующей угольной генерации – что выбрать горожанам? // Сетевое издание «Кислород.ЛАЙФ». 2020. URL: <https://sibgenco.online/upload/iblock/67a/67a3cf47de35ee17f03ed69f01eec496.pdf> (дата обращения: 20.03.2024).
- РД 52.04.186-89. «Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Часть II. Региональное загрязнение атмосферы». URL: <https://base.garant.ru/5370042/> (дата обращения: 20.03.2024).
- Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 448 с.
- РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод ("РУСАЛ Красноярск", КрАЗ). URL: <https://заводы.рф/factory/rusal-krasnoyarsk-kraz> (дата обращения: 20.03.2024).
- 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. Милютин. Новосибирск: Гео, 2009. 179 с.
- Matheron G. Principles of geostatistics // Economic Geology. 1963. Vol. 58. P. 1246–1266.
- Mikhailova T. A. The physiological condition of pine trees in the Prebaikalia (East Siberia) // Forest Pathol. 2000. Vol. 30. P. 345–359. DOI: 10.1046/j.1439-0329.2000.00221.x
- Resources for ArcMap. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/kriging-in-geostatistical-analyst.htm> (дата обращения: 20.03.2024).

Skripal'shchikova L. N., Barchenkova A. P., Goncharova I. A., Ponomaryova T. V., Shushpanov A. S., Tatarintsev A. I. Contemporary Ecological State of Pine Biogeocenoses of the Krasnoyarsk Forest Steppe // Contemporary Problems of Ecology. 2022. Vol. 15, No. 7. P. 919–927. DOI: 10.1134/S1995425522070204 (Russian Text published in Lesovedenie. 2022. No. 1. P. 61–71. DOI: 10.31857/S0024114822010090).

Благодарности

Исследование выполнено в рамках базового научного проекта: FWES-2024-0023.

MONITORING OF TECHNOGENIC POLLUTION OF SNOW COVER IN PINE PLANTATIONS OF THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

SKRIPALSHCHIKOVA
Larisa Nikolaevna

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RASc, 660036, Russia, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28, lara@ksc.krasn.ru

SHUSHPANOV
Alexander Sergeevich

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RASc; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 660036, Russia, Krasnoyarsk, Akademgorodok 50/28; 660037, Krasnoyarsk, Krasnoyarsky Rabochy Av., 31, shas87@bk.ru

BARCHENKOV
Alexey Pavlovich

PhD, V.N. Sukachev Institute of Forest SB RASc; Siberian Federal University, 660036, Russia, Krasnoyarsk, Akademgorodok 50/28; 660041, Krasnoyarsk, Svobodny ave., 79, alexbarchenkov@mail.ru

PONOMAREVA
Tatyana Valeryevna

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RASc, 660036, Russia, Krasnoyarsk, Akademgorodok 50/28, bashkova_t@mail.ru

KALUGINA
Olga Vladimirovna

PhD, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, 664033, Russia, Irkutsk, Lermontov st., 132, olignat32@inbox.ru

BELYANIN
Aleksander Vladimirovich

RUSAL Krasnoyarsk Aluminum Plant, 660111, Russia, Krasnoyarsk, Pogranichnikov st., 40, Aleksandr.Belyanin@rusal.com

FOMICHEV
Igor Vyacheslavovich

RUSAL Krasnoyarsk Aluminum Plant, 660111, Russia, Krasnoyarsk, Pogranichnikov st., 40, Igor.Fomichev@rusal.com

Keywords:

Krasnoyarsk forest-steppe
snow cover
mixed-grass pine forests
man-made dust
total fluorine
pH of snowmelt water
pollution zones of suburban area

Summary: The article presents the results of six years of observations (2016–2022) of the accumulation of man-made dust in the snow cover. The studies were conducted in pine plantations of the Krasnoyarsk forest-steppe, along the main transport of industrial emissions in Krasnoyarsk. A comparison was made with pine forests growing in the background. Quantitative characteristics of the content of solid fluorides in the dust residue of snow waters are given. The results of comparing dust loads in the winter periods 2016–2022 with previously conducted long-term studies show that currently dust loads on pine forests have decreased by an average of 2 times. The contents of the total form of fluorine in solid sediment are insignificant in comparison with the clarke (percent abundance) of this element in the earth's crust. The acidity of snowmelt waters in the surveyed area ranges from 6.32 (slightly acidic) to 7.36 (slightly alkaline). The identified forms of snow cover pollution zones vary depending on the number of the South-westerly winds

that carry industrial emissions from Krasnoyarsk to the studied massifs. Currently, the pine plantations under study grow in an area with moderate pollution.

Received on: 28 February 2024

Published on: 27 March 2024

References

- Belozerceva I. A. Vorob'eva I. B. Vlasova N. V. Yanchuk M. S. Lopatina D. N. The chemical composition of snow in the waters of Lake Baikal and the surrounding area, *Geografiya i prirodnye resursy*. 2017. No. 1. P. 90–99.
- Beus A. A. Grabovskaya L. I. Tihonova N. V. *Geochemistry of the environment*. M.: Nedra, 1976. 248 p.
- Demidenko G. A. Turygina O. V. *Anthropogenic pollution of the urban environment*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk. gos. ped. univeritet im. V. P. Astaf'eva, 2019. 170 p.
- Grebenschikova V. I. *Geochemical specificity of the composition of snow water in some cities of the Irkutsk region*, *Voda: Himiya i ekologiya*. 2013. No. 2 (56). P. 19–25.
- Grigor'ev N. A. *Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust*. Ekaterinburg: UrO RAN, 2009. 382 p.
- Guidelines for the control of atmospheric pollution. L.: Gidrometeoizdat, 1979. 448 p.
- II. RD 52.04.186-89. «Guidelines for the Control of atmospheric pollution. Part II. Regional atmospheric pollution». URL: [https://base.garant.ru/5370042/\(data obrascheniya: 20.03.2024\)](https://base.garant.ru/5370042/(data obrascheniya: 20.03.2024)).
- Ignatenko O. V. Senchenko M. V. Mescherova N. A. Zoning of the residential territory of Bratsk by the level of snow cover pollution, *Sistemy. Metody. Tehnologii*. 2012. No. 3 (15). C. 138–149.
- Kiseleva E. N. *Analysis of fluorinated compounds*. M.; L.: Himiya, 1966. 220 p.
- Kobelev V. O. Popovicheva O. B. Shinkaruk E. V. Agbalyan E. V. Kolesnikov R. A. Novigatskiy A. N. The acidity of winter precipitation in the areas of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug with various anthropogenic loads, *Nauchnyy vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*. 2019. No. 1 (102). P. 81–88. DOI: 10.26110/ARCTIC.2019.102.1.011
- Matheron G. *Principles of geostatistics*, *Economic Geology*. 1963. Vol. 58. P. 1246–1266.
- Mikhailova T. A. The physiological condition of pine trees in the Prebaikalia (East Siberia), *Forest Pathol*. 2000. Vol. 30. P. 345–359. DOI: 10.1046/j.1439-0329.2000.00221.x
- Molchanov A. A. *The impact of forests on the environment*. M.: Nauka, 1973. 360 p.
- Popov A. E. How to make the heat supply of Krasnoyarsk more environmentally friendly? Electric heating, gasification or deep modernization of the existing coal generation – what should citizens choose?, *Setevoe izdanie «Kislorod.LAYF»*. 2020. URL: <https://sibgenco.online/upload/iblock/67a/67a3cf47de35ee17f03ed69f01eec496.pdf> (data obrascheniya: 20.03.2024).
- RUSAL Krasnoyarsk Aluminum Plant (RUSAL Krasnoyarsk, KrAP). URL: <https://zavody.rf/factory/rusal-krasnoyarsk-kraz> (data obrascheniya: 20.03.2024).
- Resources for ArcMap. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/kriging-in-geostatistical-analyst.htm> (data obrascheniya: 20.03.2024).
- Skripal'shchikova L. N., Barchenkova A. P., Goncharova I. A., Ponomaryova T. V., Shushpanov A. S., Tatarintsev A. I. Contemporary Ecological State of Pine Biogeocenoses of the Krasnoyarsk Forest Steppe, *Contemporary Problems of Ecology*. 2022. Vol. 15, No. 7. P. 919–927. DOI: 10.1134/S1995425522070204 (Russian Text published in *Lesovedenie*. 2022. No. 1. P. 61–71. DOI: 10.31857/S0024114822010090).
- Skripal'schikova L. N. Tatarincev A. I. Zubareva O. N. Perevoznikova V. D. Stasova V. V. Greshilova N. V. The ecological state of the suburban forests of Krasnoyarsk, *Otv. red. d-r biol. nauk, prof. L. I. Milyutin*. Novosibirsk: Geo, 2009. 179 p.
- State report «On the state and protection of the environment in the Krasnoyarsk Territory in 2021». Krasnoyarsk, 2022. 321 p.
- State report «On the state and protection of the environment in the Krasnoyarsk Territory in 2022». Krasnoyarsk, 2023. 366 p.
- Vetrov V. A. Kuzovkin V. V. Manzon D. A. Acidity of atmospheric precipitation and atmospheric fallout of sulfur and nitrogen in the Arctic zone of the Russian Federation according to monitoring of the chemical composition of snow cover, *Meteorologiya i gidrologiya*. 2015. No. 10. P. 44–53.
- Vinogradov A. P. *Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils*. M.: AN SSSR, 1957. 238 p.
- Vinogradov A. P. The average content of chemical elements in the main types of abyssal rocks of the Earth's crust, *Geohimiya*. 1962. No. 7. P. 555–571.