

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ МЕГАПОЛИСА НА ЕСТЕСТВЕННУЮ ИОНИЗАЦИЮ ВОЗДУХА ПРИГОРОДНОЙ ЛЕСНОЙ ЗОНЫ

Н. В. Кравченко¹, В. А. Рогов¹, С. Г. Лукинова², Л. В. Шатохина¹

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский Рабочий», 31

²Красноярский государственный аграрный университет
Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 90

Цель данной работы – определение состояния воздушной среды лесного массива от экологической обстановки мегаполиса (г. Красноярск). Задачи: провести исследования физических и химических свойств лесного воздуха – наличие отрицательных и положительных ионов; сравнить данные проведенных исследований за период 1998–2021 годов; провести анализ динамики загрязняющих веществ воздушной среды мегаполиса за период 2015–2019 гг.; получить математические зависимости влияния загрязняющих веществ мегаполиса на ионизацию воздуха пригородных лесных зон. Объектами исследования являются: естественная ионизация воздуха пригородной лесной зоны – количество отрицательных и положительных ионов; загрязняющие вещества воздушной среды мегаполиса. Измерение ионизации проводилось счетчиком аэроионов малогабаритным МАС-01 в течение 13 лет в теплый период года. Анализ количества загрязняющих веществ проводился по данным Государственного доклада о состоянии и охране окружающей среды за период 2015–2019 гг. В статье приведены данные по загрязняющим веществам, наиболее влияющим на снижение количества отрицательных ионов лесного воздуха, его целебные свойства. Получены математические зависимости влияния загрязняющих веществ на количество отрицательных ионов воздушной среды и коэффициент униполярности пригородных зон, определены значимые факторы, по которым получена математическая модель, позволяющая прогнозировать влияние загрязняющих веществ воздушной среды мегаполиса на количество отрицательных ионов в пригородной зоне. Установлено, что увеличение значимых загрязняющих веществ (оксид углерода, бензапирен, диоксид серы) на единицу приводит к снижению количества отрицательных ионов в среднем на 900 е/см³. В лабораторных условиях определено влияние отрицательных и положительных ионов на содержание пыли в воздушной среде. Полученные результаты исследований позволят прогнозировать и разработать мероприятия по созданию зон в мегаполисе, приближенных к экологически чистым регионам по состоянию воздушной среды, и разработать технические устройства по очистке воздуха в помещениях.

Ключевые слова: ионизация воздуха; отрицательные и положительные ионы, загрязняющие вещества; лесной воздух; пригородная зона.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 6, P. 495–501

INFLUENCE OF POLLUTANTS IN THE AIR MEDIUM OF A MEGAPOLIS ON NATURAL IONIZATION OF AIR IN THE SUBURBAN FOREST ZONE

Nataliya V. Kravchenko¹, Vadim A. Rogov¹, Svetlana G. Lukinova², Ludmila V. Shatohina¹

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

²Krasnoyarsk State Agrarian University
90, Mira prospekt, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

The purpose of this work is to determine the influence of pollutants from the megalopolis (Krasnoyarsk) on the natural ionization of air in the suburban forest zone. Objectives: to conduct research on the physical and chemical properties of forest air – the presence of negative and positive ions; compare the data of the studies carried out for the period 1998–2021; analyze the dynamics of air pollutants in the megalopolis for the period 2015–2019; to obtain mathematical dependences of the influence of the pollutants of the megalopolis on the ionization of the air in the suburban forest zones. The objects of research are: natural ionization of air in the suburban forest zone – the number of negative and positive ions; air pollutants of the megalopolis. The measurement of ionization was carried out with a small-size air ion counter MAC-01 for 13 years in the warm season. The analysis of the amount of pollutants was carried out according to the State Report on the State and Protection of the Environment for the period 2015–2019. The article provides data on the pollutants most affecting the decrease in the amount of negative ions of forest air, its healing properties. Mathematical dependences of the influence of pollutants on the number of negative ions of the air environment and the coefficient of unipolarity of suburban zones are obtained, significant factors are determined,

according to which a mathematical model is obtained that allows predicting the influence of pollutants of the megalopolis air environment on the number of negative ions in the suburban zone. It was found that an increase in significant pollutants (carbon monoxide, benzopyrene, sulfur dioxide) per unit leads to a decrease in the number of negative ions by an average of 900 e/cm³. The effect of negative and positive ions on the dust content in the air was determined in laboratory conditions. The obtained research results will make it possible to predict and develop measures to create zones in the metropolis that are close to environmentally friendly regions in terms of the state of the air environment, and to develop technical devices for indoor air purification.

Keywords: air ionization; negative and positive ions, pollutants; forest air; suburban area.

ВВЕДЕНИЕ

Целебные свойства лесного воздуха определяются большим количеством отрицательных ионов по сравнению с положительными (тяжелыми). За счет природной радиации электроны «стекают» с иголок (листья) древесных растений и, взаимодействуя с нейтральной молекулой кислорода, образуют отрицательные ионы, так называемые «витамины» воздуха [5; 7]. Если ионизированная молекула осела на частице жидкости или пылинке, то образуется положительный, «тяжелый» ион. Отрицательные ионы имеют весьма непродолжительный период существования. Наряду с продуктами ионообразования в атмосфере непрерывно идёт процесс ионоуничтожения. Соединяясь друг с другом, ионы противоположного заряда рекомбинируются, образуя нейтральную молекулу. Возможна рекомбинация не только лёгких ионов, но и тяжёлых. Помимо явления рекомбинации известное значение в ионоуничтожающих процессах имеет явление диффузии и адсорбции ионов за счет воздействия загрязняющих веществ в воздушной среде мегаполиса. Продолжительность существования отрицательных ионов, даже в наиболее благоприятных условиях, в среднем, обычно измеряется несколькими десятками секунд. Положительные ионы менее подвижны и более прочно удерживают электрический заряд, они более долговечны [5; 17; 18].

Исследования воздушной среды лесного массива, и влияние летучих веществ на ее состав и чистоту посвящено много работ [4; 5; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 19; 20; 21]. Однако естественная ионизация, в состав которой входят отрицательные и положительные ионы, определяющие целебные свойства воздуха, влияние загрязняющих веществ на естественную ионизацию воздушной среды пригородной лесной зоны недостаточно изучены, поэтому является одной из задач наших исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является воздушная среда пригородных зон лесного массива. **Целью** исследования является определение влияния загрязняющих веществ на естественную ионизацию воздуха пригородной лесной зоны.

Для выполнения поставленной цели, были определены следующие **задачи**: провести исследования физических и химических свойств лесного воздуха – наличие отрицательных и положительных ионов и летучих веществ, выделяемых древесными растениями; сравнить данные проведенных нами масштабных исследований за период 1998–2021 годов; провести

анализ динамики загрязняющих веществ воздушной среды мегаполиса за период 2015–2019 гг.; получить математические зависимости влияния загрязняющих веществ мегаполиса на ионизацию воздуха пригородных лесных зон; провести исследование влияния униполярной и биполярной ионизации во взаимодействии с летучими веществами на осаждения пыли и газов в воздушной среде в лабораторных условиях.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения физических свойств воздуха использовался счетчик аэроионов малогабаритный МАС-01. Измерения проводились в теплый период года (июнь–август) в течение дня с 12:00 часов до 15:00 часов по местному времени. В каждом месте измерения проводились не менее трех раз. Для анализа динамики количества загрязняющих веществ воздушной среды мегаполиса использовались данные государственного доклада о состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2015–2019 гг. [1]. Влияние униполярной и биполярной ионизации во взаимодействии с летучими веществами на осаждения пыли и газов в воздушной среде проводилось с помощью опытной установки – генератора ионов. В качестве летучих веществ использовалась легкая фракция эфирных масел (пихта, сосна, можжевельник), распыляемая ультразвуковым генератором.

Динамика положительных и отрицательных ионов за последние годы показывает увеличение положительных ионов за счет адсорбции загрязняющих веществ мегаполиса, что подтверждают проведенные нами теоретические исследования [6; 16].

Резкое увеличение количества положительных ионов в 2021 году можно объяснить прошедшими пожарами в теплый период года на обширных лесных территориях Сибирского региона.

Проведены исследования по содержанию ионов пригородной зоны в зависимости от удаленности от мегаполиса. В табл. 2 представлены средние значения количества отрицательных и положительных ионов. Измерения проводились в июле в течение дня с 12.00 часов до 15.00 часов по местному времени. Разность во времени дает некоторый разбег в соотношениях положительных и отрицательных ионов.

Коэффициент униполярности определяется отношением положительных ионов к отрицательным:

$$K = \frac{e^+}{e^-},$$

где e^+ – количество положительных ионов в 1 см³;
 e^- – количество отрицательных ионов в 1 см³.

Из формулы видно, что чем больше количество отрицательных ионов (чище воздух), тем меньше значение коэффициента униполярности.

Анализ данных (табл. 2) показывает, что с увеличением расстояния от мегаполиса коэффициент униполярности уменьшается. При этом в сосновом лесу (40–45 км от мегаполиса) количество отрицательных ионов больше по сравнению с лесостепной зоной (60–65 км от мегаполиса).

На основании проведенных исследований и данных государственного доклада о состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2015–2019 гг. [1] представлены данные, таблица 3.

Вредные вещества воздушной среды мегаполиса, представленные в таблице, имеют I–III класс опасности. Наблюдается увеличение их концентрации за последние годы, кроме взвешенных веществ.

Основными источниками загрязнения воздушной среды являются промышленные предприятия, а именно: «РУСАЛ Красноярск», Красноярские ТЭЦ, Красноярский Цементный завод, малые котельные, частный сектор; и ежегодно увеличивающийся парк автомобилей на 3–5 %.

Для определения влияния загрязняющих веществ на ионизацию воздуха пригородных лесных зон получены математические зависимости.

Математические модели строились по исходным данным вредных веществ, загрязняющих городскую атмосферу, таких как: взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид азота, бензапирен, диоксид серы.

Для изучения взаимосвязей факторов (вредных веществ, загрязняющих атмосферу) и результативной переменной (количество отрицательных ионов) использовался метод статистических уравнений зависимостей. Этот метод применяют при малочисленных выборках [2; 3].

В нашем исследовании полученные статистические уравнения зависимостей выражают как однофакторные, так и многофакторные математические модели. Для расчета параметров уравнений зависимостей использовались следующие модели:

1) однофакторная прямая линейная связь при увеличении факторного и результативного признаков

$$y_x = y_{\min} \left(1 + bd \frac{x_i}{x_{\min} - 1} \right);$$

2) однофакторная обратная линейная связь при увеличении факторного и уменьшении результативного признаков

$$y_x = y_{\max} \left(1 - bd \frac{x_i}{x_{\min} - 1} \right);$$

3) многофакторная обратная линейная связь при увеличении факторных и уменьшении результативного признаков

$$Y = Y_{\max} \left(1 - B \sum_j d \frac{x_{ji}}{x_{\min} - 1} \right).$$

Найденные уравнения статистических зависимостей для каждого исследуемого фактора (X1–X5):

$$y_{2x1} = 9600 \left(1 + 0,562d \frac{x_{1i}}{x_{\max} - 1} \right);$$

$$y_{2x2} = 9600 \left(1 - 0,222d \frac{x_{2i}}{x_{\min} - 1} \right);$$

$$y_{2x3} = 9600 \left(1 + 0,385d \frac{x_{3i}}{x_{\max} - 1} \right);$$

$$y_{2x4} = 9600 \left(1 - 0,278d \frac{x_{4i}}{x_{\min} - 1} \right);$$

$$y_{2x5} = 9600 \left(1 - 0,465d \frac{x_{5i}}{x_{\min} - 1} \right).$$

Анализируя полученные результаты, очевидно, что факторы: взвешенные вещества (X1), диоксид азота (X3), не оказывают значимого влияния на количество отрицательных ионов, остальные факторы X2, X4 и X5 имеют положительный тренд с результирующим признаком Y2 – количество отрицательных ионов.

Следующий этап исследования посвящен степени влияния значимых факторных переменных: оксида углерода (X2), бензапирена (X4) и диоксида серы (X5) на результирующий признак. Проведен корреляционный анализ, результаты которого отражены в табл. 4.

Таблица 1

Динамика изменения количественного содержания отрицательных и положительных ионов за период 1998–2021 годов в пригородных зонах лесного массива (40–45 км от мегаполиса)

Период	1998	2003	2008	2013	2018	2021
Количество отрицательных ионов, е/см ³	10 000	9 000	9 000	9 200	7 000	7500
Количество положительных ионов, е/см ³	50	150	200	300	350	3000

Таблица 2

Ионизация воздуха пригородной лесной зоны в зависимости от удаленности от мегаполиса

Расстояние от мегаполиса, км	20 (лесостепная зона)	40-45 (сосновый бор)	60-65 (лесостепная зона)
Количество положительных ионов, е/см ³	4100	3090	2500
Количество отрицательных ионов, е/см ³	6500	7500	5050
Коэффициент униполярности	0,63	0,4	0,5

Таблица 3

Динамика содержания вредных веществ в воздухе мегаполиса за 2015–2019 гг.

Год	Взвеш. вещ-ва	Диоксид серы	Оксид углерода	Диоксид азота	Бензапирен
2015	0,92	0,15	0,3	0,9	3,7
2016	0,85	0,22	0,45	0,85	5,1
2017	0,78	0,16	0,45	0,55	5,3
2018	0,7	0,36	0,47	0,9	6,5
2019	0,6	0,48	0,5	0,8	4,0

Таблица 4

Показатели статистических зависимостей

Уравнения статистических зависимостей	Коэффициент корреляции r_{xy}	Индекс корреляции R	Разность g_{xy} и R	Устойчивость связи, K
$y_{2x_2} = 9600 \left(1 - 0,221d \frac{x_{2i}}{x_{\min}} - 1 \right)$	0,906861	0,902872	0,004	Неустойчивая очень низкая связь
$y_{2x_4} = 9600 \left(1 - 0,278d \frac{x_{4i}}{x_{\min}} - 1 \right)$	0,652466	0,592523	0,05	Неустойчивая низкая связь
$y_{2x_5} = 9600 \left(1 - 0,465d \frac{x_{5i}}{x_{\min}} - 1 \right)$	0,988215	0,986969	0,001	Устойчивая очень высокая связь

По результатам устойчивости связи значимых факторов, делаем вывод, что диоксид серы оказывает самое высокое устойчивое влияние на уменьшение количества отрицательных ионов.

Последний этап нашего исследования посвящен многофакторному анализу. Уравнение многофакторной зависимости результативного признака от факторов X_2 , X_4 и X_5 имеет вид:

$$Y_{x_2x_4x_5} = Y_{\max} \left(1 - B \left(d \frac{x_{2i}}{x_{2\min}} - 1 + d \frac{x_{4i}}{x_{4\min}} - 1 + d \frac{x_{5i}}{x_{5\min}} - 1 \right) \right) =$$

$$= 9600 \left(1 - 0,097 \left(d \frac{x_{2i}}{x_{2\min}} - 1 + d \frac{x_{4i}}{x_{4\min}} - 1 + d \frac{x_{5i}}{x_{5\min}} - 1 \right) \right).$$

Динамика влияния загрязняющих веществ на количество отрицательных ионов представлена на графике (рис. 1).

Выбор формулы расчета параметров уравнения многофакторной зависимости основывается на использовании моделей вычисления зависимостей с одним фактором.

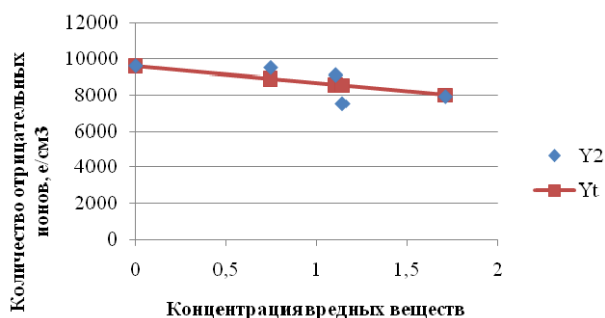


Рис. 1. График многофакторной зависимости количества отрицательных ионов от загрязняющих веществ

Параметр уравнения $B = 0,097$ означает, что изменение совокупного размера отклонений коэффициентов сравнения факторных признаков на единицу приводит к изменению размера отклонений коэффициентов сравнения результативного признака в 0,097 раз. То есть, при увеличении вредных веществ на единицу количество отрицательных ионов в пригородной зоне уменьшается в среднем на 900 е/см³.

Для определения влияния отрицательных и положительных ионов на содержание пыли в воздушной среде проведены оригинальные исследования в лабораторных условиях. Разработана и смонтирована лабораторная установка (рис. 2), легкая фракция эфирных масел древесных растений (ель, сосна, кедр, можжевельник, разнотравье) распылялась ультразвуковым генератором. Концентрация эфирных масел в воздухе определялась счетчиком СЧ-001, изготовленного в Институте космических исследований РАН. Результаты осаждения тонкодисперсной пыли (менее 10 мкм) в лабораторном помещении в зависимости от разных условий, представлены на рис. 3.



Рис. 2. Лабораторная установка «Генератор ионов»

На рисунке приведены зависимости от времени (t , мин) концентрации взвешенных частиц пыли (C , $\text{мг}/\text{м}^3$) в воздухе без добавок (кривая 1), в воздушной ионизированной среде (кривая 3) и с примесью фитонцидов (кривые 2, 4 и 5). При униполярном заряде (кривая 4) коэффициент униполярности K_e близок к нулю. При биполярном заряде (кривая 5) – $K_e = 0,3 - 1$.

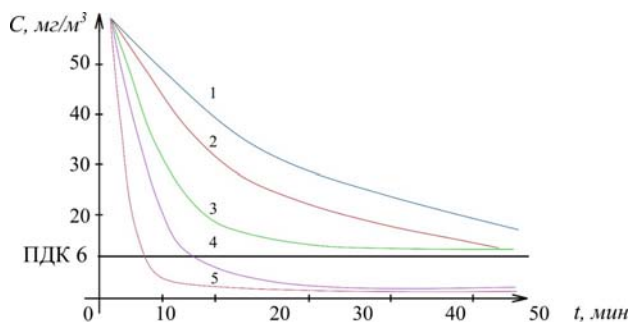


Рис. 3. Зависимость концентрации пыли от вида обработки воздуха:

1 – естественное осаждение пыли; 2 – под воздействием летучих вещества; 3 – под воздействием ионизации; 4 – под воздействием ионизации и летучих веществ (униполярный заряд); 5 – под воздействием ионизации и летучих веществ (биполярный заряд)

При одном и том же дисперсном составе аэрозоль с биполярным зарядом содержит меньшее число цепочных агрегатов, чем аэрозоль с униполярным зарядом (рисунок 4). Такой эффект объясняется кулоновским притяжением разноименно заряженных частиц, за счет которого и повышается вероятность присоединения частицы на боковую поверхность агрегата. В случае униполярно заряженного аэрозоля наличие потенциала отталкивания обуславливает максимальную вероятность присоединения частицы на концах цепочки [5].

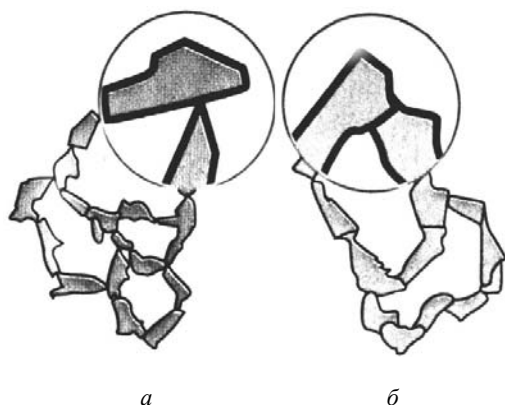


Рис. 4. Основные виды контактов между частицами аэрозоля:

а – униполярный заряд аэрозоля; б – биполярный заряд аэрозоля

Исследования показали, что отрицательные ионы в сочетании с летучими веществами (униполярный заряд) оказывают эффективное влияние на снижение запыленности, загазованности воздушной среды. При биполярном заряде процесс осаждения идет интенсивнее.

ВЫВОДЫ

По результатам многолетних исследований естественной ионизации воздуха пригородной зоны и по данным количества загрязняющих веществ города Красноярска, проведены теоретические исследования и получены статистические зависимости влияния отдельных видов загрязнения на количество отрицательных ионов. По результатам анализа статистических зависимостей определены значимые факторы и получена математическая модель, позволяющая прогнозировать и определять совокупное влияние этих факторов на ионизацию воздуха пригородной зоны. В среднем за период 2015–2019 годов количество отрицательных ионов в пригородной зоне уменьшилось на 22 %. В лабораторных условиях определена зависимость концентрации тонкодисперсной пыли от способа обработки воздуха. При биполярном заряде процесс идет интенсивнее.

Полученные результаты исследований позволяют прогнозировать и разработать мероприятия по созданию зон в мегаполисе, приближенных к экологически чистым регионам по состоянию воздушной среды, и разработать технические устройства по очистке воздуха в помещениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2015–2019 гг. : Государственный доклад / М-во экологии и рационального природопользования Красноярского края. КГБУ «ЦРМПиО-ОС», Красноярск, 2016–2020.
2. Кулинич Е. И. Эконометрия. М. : Финансы и статистика, 2001. 301 с.
3. Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высшая школа, 1990. 352 с.
4. Мосина Л. В. Антропогенное изменение лесных экосистем в условиях мегаполиса Москва : дис. ... д-ра биол. наук. М., 2002. 374 с.
5. Рогов В. А. Влияние отрицательных ионов и летучих терпеноидов на очистку воздушной среды производственных помещений деревообрабатывающих предприятий : монография. М. : МГУЛ, 2002. 222 с.
6. Рогов В. А., Кравченко Н. В., Карлова О. В. Влияние техногенных факторов на воздушную среду лесных массивов // Решетневские чтения : материалы XXV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева : в 2 ч. Красноярск, 2021. С. 69–71.
7. Рогов В. А., Рогов А. В., Степень Р. А. Оздоровление воздушной среды производственных помещений зелеными растениями // Химия растительного сырья. 2008. № 4. С. 181–184.
8. Рогов В. А., Степень Р. А., Кулак В. В. Влияние летучих терпеноидов растений и отрицательных ионов на организм человека и окружающую среду в помещениях // Хвойные бореальной зоны: теорет. и научно-практ. журнал, 2015. Т. 33. С. 168–170.
9. Слепых В. В. Антимикробные и ионизирующие свойства древесной растительности под влиянием абиотических факторов : дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2010. 272 с.

10. Степень Р. А. Экологическая и ресурсная значимость летучих терпеноидов сосняков Средней Сибири // Химия растительного сырья. 1999. № 2. С. 125–129.

11. Степень Р. А., Репях С. М. Запасы терпеноидных соединений в сосновых лесах Красноярской лесостепи // Сибирский экологический журнал. 2005. Т. 12, № 1. С. 13–16.

12. Степень Р. А., Соболева С. В. Летучие выделения хвойных древесных растений и их значимость : монография. Германия : LAP LAMBERT Acad. Publ., 2017. 68 с.

13. Gaman George Artur, Călămar Angelica, Ghetie Gheorghe, Kovacs Marius, Toth Lorand. Influence of volatile organic compound emissions on the environment and aspects regarding the legislation in the field. 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM At: Albena, Bulgaria. June 2014. Albena, SGEM, 2014.

14. Jarmo K. Holopainen, Jonathan Gershenzon. Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. Trends in Plant Science, 2010, vol. 15, pp. 176–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.01.006>.

15. Louise A Fletcher, Lindsey F Gaunt, Clive B Beggs, Simon J Shepherd, P Andrew Sleight, Catherine J Noakes, Kevin G Kerr. Bactericidal action of positive and negative ions in air. BMC Microbiology, 2007, no. 7:32. DOI: 10.1186/1471-2180-7-32.

16. Rogov V., Kravchenko N., Bagaeva O., Guseva A., Sugak E. Anthropogenic impact on the air environment condition of megalopolis and suburban areas of forestland. E3S Web of Conferences: Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2019). France, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014903013>.

17. Sara Comini, Narcisa Mandras, Maria Rita Iannantuoni, Francesca Menotti, Andrea Giuseppe Musumeci, Giorgia Piersigilli, Valeria Allizond, Giuliana Banche, Anna Maria Cuffini. Positive and negative ions potentially inhibit the viability of airborne gram-positive and gram-negative bacteria. MicrobiolSpectrum, 2021, vol. 9. DOI: 10.1128/Spectrum.00651-21.

18. Stephanie Licht, Austin Hehir, Stephen Trent, Darren Dunlap, Khash Borumand, Mark Wilson, Ken Smith. Use of Bipolar Ionization for Disinfection within Airplanes. Boeing, 2021. 23 p. Available at: <https://www.boeing.com/confident-travel/downloads/Boeing-Use-of-Bipolar-Ionization-for-Disinfection-within-Airplanes.pdf>.

19. Svetlana Volodarets, Aleksandr Glukhov, Irina Zaitseva. Phytoncide activity of woody plants under the conditions of steppe zone. Ekologia Bratislava, 2018, vol. 37, pp. 219–229. DOI:10.2478/eko-2018-0018.

20. Taghreed A Ibrahim, Atef A El-Hela, Hala M El-Hefnawy, Areej M Al-Taweel, Shagufta Perveen. Chemical composition and antimicrobial activities of essential oils of some coniferous plants cultivated in Egypt. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 2017, vol. 16. DOI: 10.22037/ijpr.2017.1949.

21. Yiqi Xie, Libo Tian, Xu Han, Yan Yang. Research Advances in Allelopathy of Volatile Organic Compounds (VOCs) of Plants. Horticulturae, 2021, vol. 7, no. 278. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090278>.

REFERENCES

1. O sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy v Krasnoyarskom kraye v 2015–2019 gg. : Gosudarstvennyy doklad / M-vo ekologii i ratsional'nogo prirodoopol'zovaniya Krasnoyarskogo kraya. KGBU «TsRMPiOOS», Krasnoyarsk, 2016–2020.

2. Kulinich E. I. Ekonometriya. M. : Finansy i statistika, 2001. 301 s.

3. Lakin G. F. Biometriya. M. : Vysshaya shkola, 1990. 352 s.

4. Mosina L. V. Antropogennoye izmeneniye lesnykh ekosistem v usloviyakh megalopolisa Moskva : dis. ... d-ra biol. nauk. M., 2002. 374 s.

5. Rogov V. A. Vliyaniye otritsatel'nykh ionov i letuchikh terpenoidov na ochistku vozduшной sredy proizvodstvennykh pomeshcheniy derevoobrabatvyvayushchikh predpriyatiy : monografiya. M. : MGUL, 2002. 222 s.

6. Rogov V. A., Kravchenko N. V., Karlova O. V. Vliyaniye tekhnogennykh faktorov na vozduшnuyu sredu lesnykh massivov // Reshetnevskiy chteniya : materialy XXV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. pamyati general'nogo konstruktora raketno-kosmicheskikh sistem akademika M. F. Reshetneva : v 2 ch. Krasnoyarsk, 2021. S. 69–71.

7. Rogov V. A., Rogov A. V., Stepen' R. A. Ozdorovleniye vozduшной sredy proizvodstvennykh pomeshcheniy zelenymi rasteniyami // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2008. № 4. S. 181 – 184.

8. Rogov V. A., Stepen' R. A., Kulak V. V. Vliyaniye letuchikh terpenoidov rasteniy i otritsatel'nykh ionov na organizm cheloveka i okruzhayushchuyu sredu v pomeshcheniyakh // Khvoynyye boreal'noy zony: teoret. i nauchno-prakt. zhurnal, 2015. T. 33. S. 168–170.

9. Slepikh V. V. Antimikrobnyye i ioniziruyushchiye svoystva drevesnoy rastitel'nosti pod vliyaniem abioticheskikh faktorov : dis. ... kand. biol. nauk. SPb., 2010. 272 s.

10. Stepen' R. A. Ekologicheskaya i resursnaya znachimost' letuchikh terpenoidov sosnyakov Sredney Sibiri // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 1999. № 2. S. 125–129.

11. Stepen' R. A., Repyakh S. M. Zapasy terpenoidnykh soyedineniy v sosnovykh lesakh Krasnoyarskoy lesostepi // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2005. T. 12, № 1. С. 13–16.

12. Stepen' R. A., Soboлева S. V. Letuchiye vydeleniya khvoynykh drevesnykh rasteniy i ikh znachimost' : monografiya. Germaniya : LAP LAMBERT Acad. Publ., 2017. 68 s.

13. Gaman George Artur, Călămar Angelica, Ghetie Gheorghe, Kovacs Marius, Toth Lorand. Influence of volatile organic compound emissions on the environment and aspects regarding the legislation in the field. 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM At: Albena, Bulgaria. June 2014. Albena, SGEM, 2014.

14. Jarmo K. Holopainen, Jonathan Gershenzon. Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. Trends in Plant Science, 2010, vol. 15, pp. 176–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.01.006>.

15. Louise A Fletcher, Lindsey F Gaunt, Clive B Beggs, Simon J Shepherd, P Andrew Sleight, Catherine J

Noakes, Kevin G Kerr. Bactericidal action of positive and negative ions in air. *BMC Microbiology*, 2007, no. 7:32. DOI: 10.1186/1471-2180-7-32.

16. Rogov V., Kravchenko N., Bagaeva O., Guseva A., Sugak E. Anthropogenic impact on the air environment condition of megalopolis and suburban areas of forestland. *E3S Web of Conferences: Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2019)*. France, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014903013>.

17. Sara Comini, Narcisa Mandras, Maria Rita Iannantuoni, Francesca Menotti, Andrea Giuseppe Musumeci, Giorgia Piersigilli, Valeria Allizond, Giuliana Banche, Anna Maria Cuffini. Positive and negative ions potently inhibit the viability of airborne gram-positive and gram-negative bacteria. *MicrobiolSpectrum*, 2021, vol. 9. DOI: 10.1128/Spectrum.00651-21.

18. Stephanie Licht, Austin Hehir, Stephen Trent, Darren Dunlap, Khash Borumand, Mark Wilson, Ken Smith. Use of Bipolar Ionization for Disinfection within Airplanes. Boeing, 2021. 23 p. Available at: [https://](https://www.boeing.com/confident-travel/downloads/Boeing-Use-of-Bipolar-Ionization-for-Disinfection-within-Airplanes.pdf)

www.boeing.com/confident-travel/downloads/Boeing-Use-of-Bipolar-Ionization-for-Disinfection-within-Airplanes.pdf.

19. Svetlana Volodarets, Aleksandr Glukhov, Irina Zaitseva. Phytoncide activity of woody plants under the conditions of steppe zone. *Ekologia Bratislava*, 2018, vol. 37, pp. 219–229. DOI:10.2478/eko-2018-0018.

20. Taghreed A Ibrahim, Atef A El-Hela, Hala M El-Hefnawy, Areej M Al-Taweel, Shagufta Perveen. Chemical composition and antimicrobial activities of essential oils of some coniferous plants cultivated in Egyp. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 2017, vol. 16. DOI: 10.22037/ijpr.2017.1949.

21. Yiqi Xie, Libo Tian, Xu Han, Yan Yang. Research Advances in Allelopathy of Volatile Organic Compounds (VOCs) of Plants. *Horticulturae*, 2021, vol. 7, no. 278. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090278>.

© Кравченко Н. В., Рогов В. А.,
Лукинова С. Г., Шатохина Л. В., 2022

Поступила в редакцию 11.05.2022

Принята к печати 10.11.2022