

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ВЫЯВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕРРИТОРИЮ КАМПУСА РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ

Р.Х. Мамаджанов\*, А.П. Хаустов\*\*, М.М. Редина\*\*\*, М.У. Умаров\*\*\*\*

**Аннотация.** В статье подчеркивается актуальность проведения экологического мониторинга состояния атмосферного воздуха, выявляются зеленые зоны кампуса РУДН и зоны с повышенным содержанием загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, оценивается факторная нагрузка источников техногенного воздействия – автомобильных дорог на окружающую среду кампуса.

DOI 10.23671/VNC.2018.1.12025

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, кластерный анализ, факторный анализ, факторы техногенного воздействия, автомобильные дороги.

**Актуальность исследования.** В рамках проведения в 2017 году на территории Российской Федерации Года экологии, а также с целью реализации положений государственной экологической политики в части, касающейся обеспечения благоприятной окружающей среды и развития программ экологического образования, ведущими университетами нашей страны проводится активная работа по разработке и реализации инновационных экологических проектов [1, 2]. В соответствии с этим в Российском университете дружбы народов (далее РУДН) разработана программа по проведению экологического мониторинга территории кампуса, одним из разделов которой является экологический мониторинг состояния атмосферного воздуха [3]. Соответственно, целью исследования является экологический мониторинг состояния атмосферного воздуха и выявление факторов техногенного воздействия на окружающую природную среду кампуса РУДН. Постановка цели потребует решения следующих задач:

- оценить состояние атмосферного воздуха на пробных площадках кампуса РУДН;
- выделить наиболее подверженные техногенному воздействию участки, а также «зеленые» зоны с фоновым содержанием загрязняющих веществ;
- определить факторы техногенного воздействия на окружающую природную среду кампуса и оценить степень их нагрузки.

**Материалы и методы.** Замеры содержания загрязняющих веществ проводили в мае 2017 года. Исследуемая территория была разделена

на 16 участков прямоугольной формы.

По результатам инвентаризации возможных источников техногенного воздействия на окружающую природную среду кампуса РУДН нами установлено, что единственным источником такого воздействия являются автомобильные дороги Ленинский проспект и Миклухо-Маклая. В соответствии с этим точки отбора проб атмосферного воздуха находились на разном расстоянии от автомобильных дорог, по периметру исследуемых участков. В общей сложности было выделено 33 точки опробования (рис. 1).

В каждой точке определяли расстояние до автомобильных дорог Ленинского проспекта и Миклухо-Маклая, проводили по три замера содержания оксида углерода (СО), диоксида азота (NO<sub>2</sub>) и сажи. Таким образом, всего было проведено 363 замера.

Перечень загрязняющих веществ определяли в соответствии с приоритетным списком загрязнителей, образующихся при неполном сгорании топлива в двигателях автотранспорта [4].

Расстояние до автомобильных дорог вычисляли с помощью линейки на карте, в компьютерной программе Google Earth Pro.

Прибором для измерения содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе послужил переносной газоанализатор ГАНГ-4 [5].

Отбор проб атмосферного воздуха проводили в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01-86 [5]. При выборе участков опробования учитывали расстояние до автомобильных дорог, климатические условия, формы рельефа, географическое положение.

\* Мамаджанов Роман Хасанович – к. б. н., ст. преподаватель кафедры прикладной экологии Российского университета дружбы народов (matadzhanov\_rkh@rudn.university).

\*\* Хаустов Александр Петрович – д. г.-м. н., профессор кафедры прикладной экологии Российского университета дружбы народов (khaustov\_ar@rudn.university).

\*\*\* Редина Маргарита Михайловна – д. э. н., доцент, декан экологического факультета Российского университета дружбы народов (redina\_tm@rudn.university).

\*\*\*\* Умаров Мухади Умарович – д. б. н., профессор, Академия наук Чеченской Республики, заведующий отделом экологии и биологии; г. Грозный, (umarovbiolog@mail.ru)

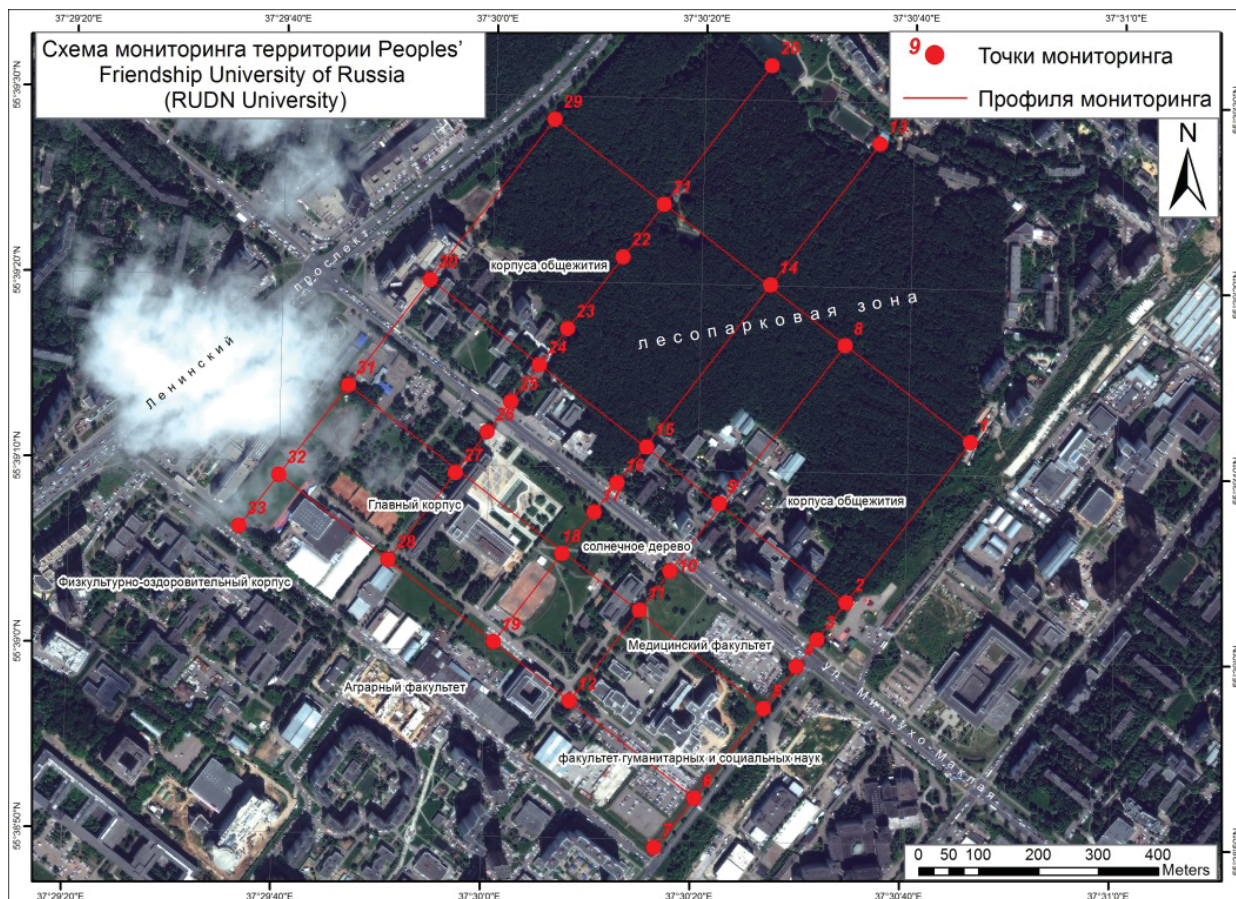


Рис. 1. Карта отбора проб на территории кампуса РУДН

Данные о климатических условиях на момент проведения исследований представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что небольшая скорость ветра и температура окружающей среды, отмеченные на момент проведения исследований, были благоприятными, с точки зрения накопления загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха.

Анализ эмпирических данных включал математико-статистическую обработку в программе SPSS Statistics, версия 17.0., и графическую визуализацию в программе ArcGis.

Математико-статистическую обработку данных проводили методами кластерного и факторного анализа [6].

С помощью кластерного анализа выделяли однородные и неоднородные участки содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе [7]. Кластеризацию точек опробования проводили по методу ближайшего соседа, согласно которому, максимально схожие по

содержанию загрязняющих веществ точки опробования, расположенные на максимально близком расстоянии друг от друга, объединяются в кластеры и формируют дендрограмму (графы с определенной степенью связанности). Расстояние, на котором происходило объединение кластеров между собой, принимали как Евклидово расстояние.

Факторный анализ использовали для выявления количества факторов и определения степени их нагрузки переменными (содержание CO, NO<sub>2</sub>, сажи) в атмосферном воздухе кампуса РУДН [8]. Количество и степень нагрузки факторов переменными оценивали по матрице повернутых значений, при этом нагрузка считалась приемлемой при  $f \geq 0,5$ .

**Результаты.** Результаты замеров содержа-

Таблица 1  
Основные климатические параметры на момент проведения исследований (по данным метеостанции а/п Внуково)

Параметры	Температура (°C)	Ветер	Скорость ветра
Время суток			
День	+19	Северо-восточный	1 м/с
Вечер	+16		

ния загрязняющих веществ (СО, NO<sub>2</sub> и сажи) представлены ниже на рис. 2 (а, б, в), на котором видно, что по максимальным и минимальным значениям содержание оксида углерода (СО) и сажи существенно меньше предельно допустимой концентрации (далее ПДК), в то время как содержание диоксида азота (NO<sub>2</sub>) по максимальным значениям превышает предельно допустимую норму более чем в 5 раз.

Необходимо отметить, что максимальные значения содержания СО и NO<sub>2</sub> и сажи выявлены в точке 29, расположенной в непосредственной близости от автомобильной дороги Ленинский проспект (рис. 1).

Пространственное распределение содержания загрязняющих веществ изображено на рис. 3 (а, б, в).

Из рис. 3 видно, что по направлению к северу, в сторону расположения автомобильной дороги Ленинский проспект, отмечено максимальное содержание СО, NO<sub>2</sub> и сажи, соответственно 1,47 мг/м<sup>3</sup>, 1,08 мг/м<sup>3</sup> и 0,055 мг/м<sup>3</sup>, в то время как фоновое содержание искомым показателей (минимальное содержание химических элементов, выявленное на определенном участке территории, не подвергшейся техногенному воздействию), отмечено в лесопарковой зоне – 0,06 мг/м<sup>3</sup>, 0,07 мг/м<sup>3</sup>, 0,018 мг/м<sup>3</sup> соответственно. По направлению к улице Миклухо-Маклая отмечено незначительное увеличение (по сравнению с фоновым) содержания СО, NO<sub>2</sub> и сажи.

Учитывая скорость ветра (северо-восточный), а также динамичность воздушной среды, можно предположить, что повышенные концентрации и миграция СО, NO<sub>2</sub> и сажи в атмосферном воздухе формируют геохимические аномалии, то есть участки сосредоточения загрязняющих веществ, в которых зафиксировано их повышенное содержание, и «зеленые» зоны, или зоны с фоновым содержанием иссле-

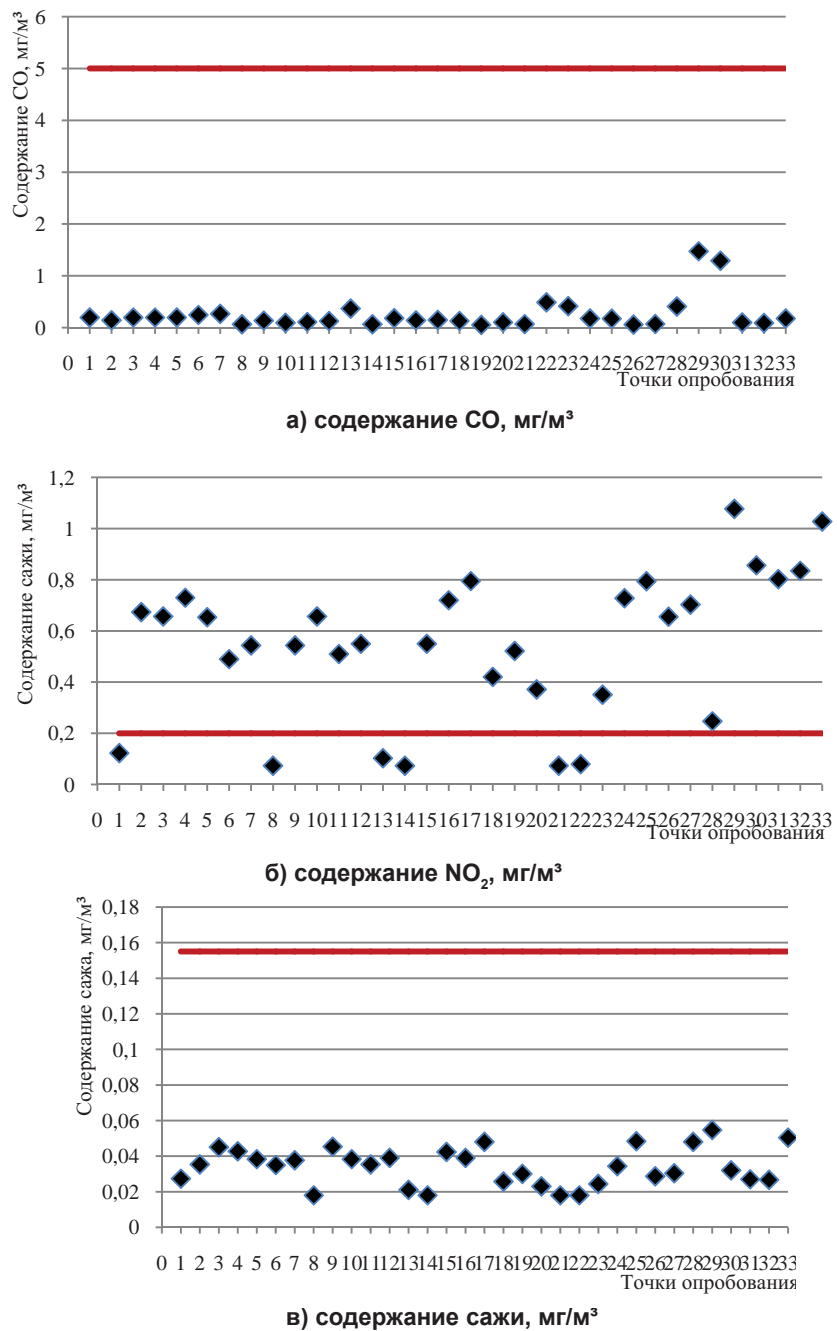


Рис. 2. Содержание загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха кампуса РУДН

Таблица 2  
Кластеризация точек опробования по содержанию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе кампуса РУДН

Кластеры	1	2	3	4
Точки опробования	8,14,21	1,23,28,13,22,17,25,31,32,3,5,4,24	5,4,24,16,2,10	29,30

дуемых компонентов [9, 10]. Для подтверждения этого тезиса проведем кластеризацию точек опробования по содержанию СО, NO<sub>2</sub> и сажи в атмосферном воздухе (таблица 2).

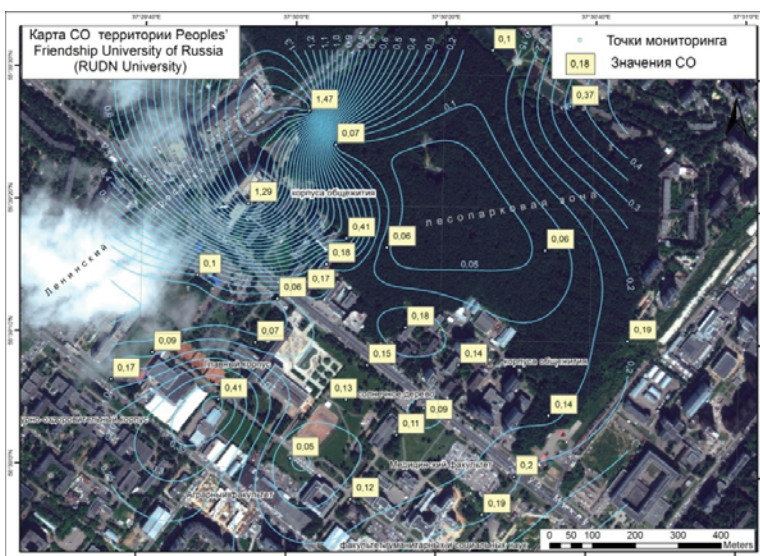
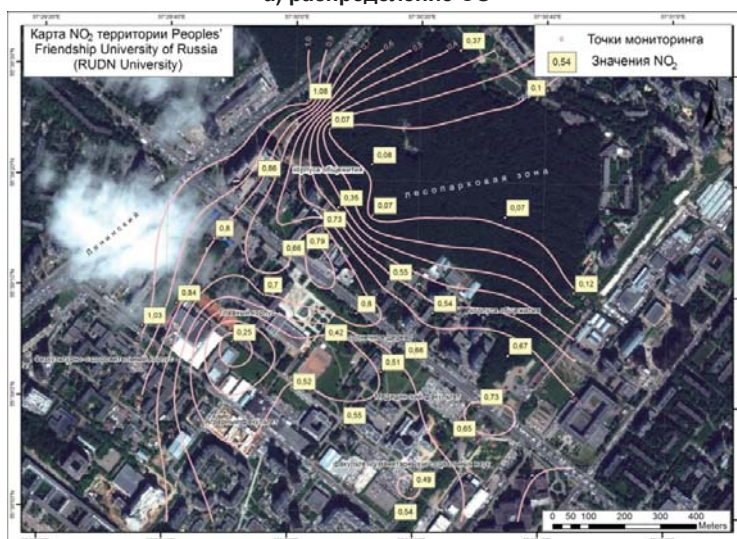
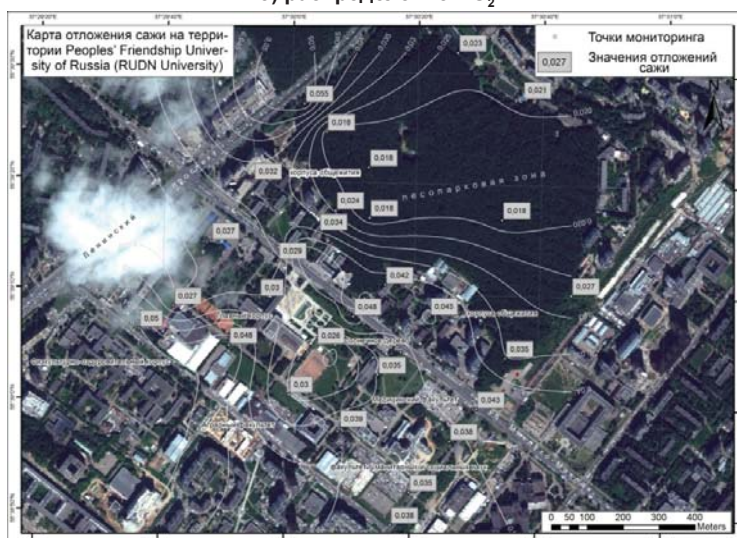
Из таблицы 2 видно, что всего выделено 4 кластера, каждый из которых включает определенное количество однородных точек опробования содержания загрязняющих веществ. Сопоставив данные о содержании  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  и сажи в исследуемых точках (рис. 2), а также данные, приведенные в таблице 2, можно сказать, что геохимическую аномалию формируют кластеры 3 и 4, «зеленую» зону – кластеры 1, 2. Следует отметить, что по количеству однородных точек опробования, входящих в состав каждого кластера, площадь «зеленой» зоны кампуса значительно больше площади загрязненной зоны.

Этапы объединения кластеров и расстояние между ними представлены на дендрограмме (рис. 4), из которого видно, что четыре сформированных кластера последовательно объединяются между собой в три этапа.

На первом этапе кластеры 1 и 2 объединяются на расстоянии  $r = 5$  и формируют зеленую зону территории кампуса. На втором этапе, на расстоянии  $r = 25$ , происходит объединение 2 и 3 кластеров (переходная зона). Объединение на относительно большом расстоянии указывает на то, что по содержанию  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  и сажи эти кластеры принципиально отличаются друг от друга, т. е. среднее значение содержания загрязняющих веществ в 3 кластере выше, чем в кластере 1 и 2. На третьем этапе, на расстоянии  $r = 5$ , кластеры 3 и 4 объединяются между собой, формируя геохимическую аномалию, так как в этих кластерах отмечены высокие значения содержания  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  и сажи.

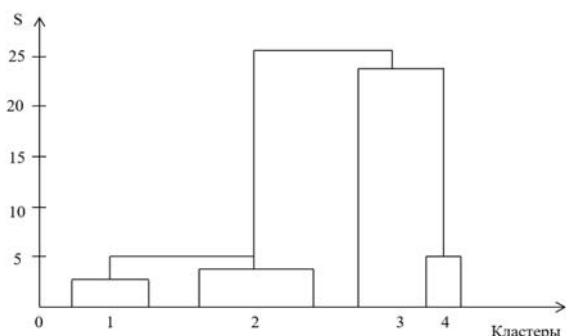
Методом факторного анализа определим количество и степень нагрузки факторов переменными ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  и сажи), оказывающими воздействие на состояние атмосферного воздуха. Для этого сначала выявим группу факторов, влияющих на загрязнение атмосферного воздуха, затем определим степень нагрузки факторов переменными (таблица 3).

Из таблицы 3 видно, что всего выделено два фактора. Первый фактор складывается из трех, наиболее значимых переменных: расстояние до ул. Миклухо-Маклая, содержания  $\text{NO}_2$

а) распределение  $\text{CO}$ б) распределение  $\text{NO}_2$ 

в) распределение сажи

Рис. 3. Распределение загрязняющих веществ в районе расположения кампуса РУДН



**Рис. 4. Дендрограмма кластеров по содержанию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе кампуса РУДН**

и сажи, каждая из которых имеет нагрузку (f) -0,572; 0,753 и 0,929 соответственно. Из этого следует, что с уменьшением расстояния до автомобильной дороги Миклухо-Маклая содержание  $\text{NO}_2$  и сажи будет только увеличиваться. Второй фактор состоит из двух переменных: расстояние до автомобильной дороги Ленинский проспект и содержание  $\text{CO}$ , нагрузка которых (f) составляет -0,972 и 0,462 соответственно. Это говорит о том, что при уменьшении расстояния до автомобильной дороги Ленинский проспект содержание  $\text{CO}$  может только увеличиваться. Исходя из вышесказанного, необходимо отметить, что вклад в загрязнение атмосферного воздуха диоксидом азота и сажей вносит техногенный источник – автомобильная дорога Миклухо-Маклая; вклад в загрязнение атмосферного воздуха оксидом углерода – автомобильная дорога Ленинский проспект.

**Выводы.** По результатам проведенного нами исследования необходимо сделать вывод о том, что:

1. Содержание загрязняющих веществ оксида углерода ( $\text{CO}$ ) и сажи в исследуемых точках по максимальным и минимальным значениям ниже предельно допустимой концентрации, в то время как содержание диоксида азота ( $\text{NO}_2$ ) превышает предельно допустимую норму более чем в 5 раз. Максимальное содержание  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  и сажи зафиксировано вблизи автомобильной дороги Ленинский проспект (точки 29 и 30) на уровне  $1,47 \text{ мг/м}^3$ ,  $1,08 \text{ мг/м}^3$  и  $0,055 \text{ мг/м}^3$  соответственно. Фоновое значение содержания исследуемых компонентов отмечено в лесопарковой зоне (точки 8, 14, 21 и 22) на уровне  $0,06 \text{ мг/м}^3$ ,  $0,07 \text{ мг/м}^3$ ,  $0,018 \text{ мг/м}^3$  соответственно.

2. Сопоставив результаты пространственного распределения загрязняющих веществ на территории кампуса РУДН, а также данные кластерного анализа, необходимо сделать вывод о том, что наиболее подверженные техногенному воздействию

участки содержания  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  и сажи расположены в непосредственной близости от автомобильных дорог Ленинский проспект и Миклухо-Маклая. Такие зоны формируют кластеры 3 и 4, объединенные между собой на расстоянии  $r = 5$ . «Зеленую» зону кампуса формируют участки опробования, расположенные в лесопарковой зоне, на большом расстоянии до автомобильных дорог Ленинский проспект и Миклухо-Маклая. Такие участки объединяются на расстоянии  $r = 5$  и составляют кластеры 1 и 2. По количеству однородных точек опробования, входящих в состав каждого кластера, необходимо отметить, что площадь «зеленой» зоны территории кампуса больше площади загрязненной зоны.

3. По данным факторного анализа можно сказать, что всего следует выделять два фактора, оказывающих непосредственное влияние на содержание  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  и сажи в атмосферном воздухе. Первый фактор включает переменные: расстояние до ул. Миклухо-Маклая, содержание  $\text{NO}_2$  и сажи, каждая из которых имеет нагрузку (f) на фактор -0,572, 0,753 и 0,929 соответственно. Второй фактор состоит из переменных: расстояние до автомобильной дороги Ленинский проспект и содержание  $\text{CO}$ , с нагрузкой (f) -0,972 и 0,462 соответственно.

Учитывая вышеизложенное, необходимо дополнить, что, несмотря на обнаруженные максимальные концентрации  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  и сажи вблизи автомобильной дороги Ленинский проспект, вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносит и автомобильная дорога Миклухо-Маклая, об этом свидетельствуют результаты факторного анализа. То есть при дальнейшем изучении влияния техногенных факторов, воздействующих на окружающую природную среду кампуса, необходимо учитывать влияние двух автомобильных дорог.

В качестве практических рекомендаций необходимо отметить, что в дальнейшем целесообразно разработать программу исследования влияния техногенных источников – автомобильных дорог Ленинский проспект и Миклухо-Маклая на почвенную среду кампуса РУДН, а также на состояние растительного и животного мира.

**Таблица 3**  
Степень нагрузки факторов переменными

Переменные	Фактор (нагрузка, f)	
	1	2
Расстояние до автомобильной дороги Миклухо-Маклая	-0,572	-0,083
Расстояние до автомобильной дороги Ленинский проспект	0,202	-0,972
$\text{CO}$	0,128	0,462
$\text{NO}_2$	0,753	0,019
Сажа	0,929	0,349

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хаустов А.П., Редина М.М., Алейникова А.М., Мамаджанов Р.Х. Техносферная безопасность социально значимых территорий: экологический мониторинг кампуса РУДН/ В сб.: V Международная научно-практическая конференция «Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы». – Воронеж-Севастополь: Издательство «Научная книга», 2017. 472 с.
2. Дзайнуков А.Б. и др. Геолого-экологические проблемы охраны и рационального использования природных ресурсов Горной Дигории / А.Б. Дзайнуков, В.Ф. Качурин, А.Т. Кантемирова, Д.И. Смирнов // Вестник Владикавказского научного центра. – Владикавказ: Издательство ВНЦ РАН, 2010. Том 10. Выпуск 4, с. 30–35.
3. A. Khaustov, M. Redina, A. Aleinikova, R. Mamadzhanov. Green campus of the green university: the RUDN-university experience / 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. Conference Proceedings, 2017, Vol. 17. Issue 54, 65-72 pp
4. ГОСТ Р 56162-2014. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктов. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200113823> (дата обращения: 06.10.2017).
5. ГОСТ 31370-2008. Газ природный. Руководство по отбору проб. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 02.10.2017).
6. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высш. Шк, 1990. 352 с.
7. Латушкина Е.Н. Кластерный анализ как метод геоэкологических исследований / Е.Н. Латушкина // Науч. тр. МПГУ. Сер.: Естественные науки, 2003. С. 451–454.
8. Мамаджанов Р.Х., Латушкина Е.Н. Моделирование процессов распределения температуры по поверхности свалочной толщи полигонов ТБО Чеченской Республики // Вестник МГОУ, 2015. № 5. С. 69–77.
9. Хаустов А.П., Редина М.М. Нормирование антропогенных воздействий и оценки природоёмкости территорий. – М.: РУДН, 2008. 282 с.
10. Попова Л.Ф. Комплексная эколого-химическая оценка и нормирование качества почвенно-растительного покрова городских экосистем (на примере Архангельска): автореф. дисс. д-ра биол. наук: 03.02.08 / Попова Людмила Федоровна. – Архангельск: Северный (Арктический) Федеральный Университет им. М.В. Ломоносова, 2015. 35 с.

THE ECOLOGICAL MONITORING  
OF THE ATMOSPHERIC AIR STATE AND THE MAN-  
MADE IMPACT FACTORS IDENTIFICATION ON THE  
CAMPUS OF THE PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

R. Mamadzhanov\*, A. Khaustov\*\*, M. Redina\*\*\*, M. Umarov\*\*\*\*

\*PhD of biological science, head teacher of applied of ecology Peoples Friendship University of Russia (mamadzhanov\_rkh@rudn.university)

\*\* Dr., professor of applied of ecology Peoples Friendship University of Russia (khaustov\_ap@rudn.university)

\*\*\* Dr., dean of the ecological faculty Peoples Friendship University of Russia

\*\*\*\* Dr., professor, head of biology and ecology department of Academy of science in Chechen Republic (umarovbiolog@mail.ru).

**Abstract.** The article stresses the relevance of the atmospheric air state ecological monitoring. The green zones of the PFUR campus and zones with high pollution content in the atmosphere have been identified, the factor loading of the man-made impact sources (such as roads affecting the environment) is estimated.

**Keywords:** ecological monitoring, cluster analysis, factor analysis, factors of the man-made impact, roads.

## REFERENCES

1. Khaustov A.P., Redina M.M., Aleynikova A.M., Mamadzhanov R.Kh. Tekhnosfernaya bezopasnost' sotsial'no znachimykh territoriy: ekologicheskiy monitoring kampusa RUDN / V sb.: V Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Ekologicheskaya geologiya: teoriya, praktika i regional'nye problemy». – Voronezh-Sevastopol': Izdatel'stvo «Nauchnayakniga», 2017. 472 s.
2. Dzaynukov A.B. idr. Geologo-ekologicheskie problemy okhrany i ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnykh resursov Gornoy Digorii / A.B. Dzaynukov, V.F. Kachurin, A.T. Kantemirova, D.I. Smirnov // Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo tsentra. – Vladikavkaz: Izdatel'stvo VNTs RAN, 2010. Tom 10. Vypusk 4, s. 30–35.
3. A. Khaustov, M. Redina, A. Aleinikova, R. Mamadzhanov. Green campus of the green university: the RUDN-university experience / 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. Conference Proceedings, 2017, Vol. 17. Issue 54, 65-72 pp
4. ГОСТ R 56162-2014. Vybrosy zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu. Metod raschetavybrosov otavtotransporta pri provedenii svodnykh raschetov dlya gorodskikh naselennykh punktov. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200113823> (data obrashcheniya: 06.10.2017).
5. ГОСТ 31370-2008. Gaz prirodnny. Rukovodstvo po otboru prob. URL: <http://www.consultant.ru> (data obrashcheniya: 02.10.2017).
6. Lakin G.F. Biometriya. – М.: Vyssh. Shk, 1990.352 s.
7. Latushkina E.N. Klasternyy analiz kak metod geoekologicheskikh issledovaniy / E.N. Latushkina // Nauch. tr. MPGU. Ser.: Estestvennye nauki, 2003. S. 451–454.
8. Mamadzhanov R.Kh., Latushkina E.N. Modelirovanie protsessov raspredeleniya temperatury po poverkhnosti svalochnoy tolshchi poligonov TBO Chechenskoy Respubliki // Vestnik MGOU, 2015. № 5. S. 69–77.
9. Khaustov A.P., Redina M.M. Normirovanie antropogennykh vozdeystviy i otsenki prirodnoemkosti territoriy. – М.: RUDN, 2008. 282 s.
10. Popova L.F. Kompleksnaya ekologo-khimicheskaya otsenka i normirovanie kachestva pochvenno-rastitel'nogo pokrova gorodskikh ekosistem (na primere Arkhangel'ska): avtoref. diss. ... d-rabiol. nauk: 03.02.08 / Popova Lyudmila Fedorovna. – Arkhangel'sk: Severnyy (Arkticheskiy) Federal'nyy Universitetim. M.V. Lomonosova, 2015. 35 s.