

УДК: 504.06

И. З. Каманина, С. П. Каплина, Т. В. Стогов

Оценка экологического состояния наукограда Дубна

*Представлены результаты биоиндикационных исследований растительности методом флуктуирующей асимметрии листовой пластины березы белой (*Betula alba*), проведенных по единой системе пробоотбора, заложенной в 1997 году. Дана оценка интенсивности движения и шумовой нагрузки автотранспорта на основных магистралях правобережной части г. Дубны. Дана оценка динамики изменения состояния изученных показателей.*

*В результате проведенных исследований показано, что величина коэффициента флуктуирующей асимметрии березы (*Betula alba*) в период с 2003 по 2019 гг. снижается, что может свидетельствовать о стабилизации антропогенной нагрузки на территории г. Дубны. Интенсивность движения автотранспорта в правобережной части города за последние пять лет возросла в среднем на 20%. Высокие уровни шума, превышающие нормативные значения, выявлены вдоль автомагистралей правобережной части г. Дубны. Выявлена слабая корреляционная зависимость между величиной коэффициента флуктуирующей асимметрии и интенсивностью движения автотранспорта на территории г. Дубны. Полученные данные представляют интерес для районирования территории г. Дубны по уровню экологического благополучия.*

Ключевые слова: биомониторинг, флуктуирующая асимметрия, интенсивность движения автотранспорта, шумовая нагрузка

Об авторах

Каманина Инна Здиславовна – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна». *E-mail:* kamanina@uni-dubna.ru 141981 Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, 19.

Каплина Светлана Петровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна».

Стогов Тимофей Владимирович – студент кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна».

Изучение состояния компонентов урбо-экосистем является важнейшей задачей, т.к. негативные последствия урбанизации проявляются не только в крупных мегаполисах, но и в средних и малых городах и даже поселках.

Город Дубна, основанный в 1956 году, – наукоград мирового значения, численность постоянного населения составляет 74 985 чел. (2019), площадь территории составляет 6336 га. Находится город в северной части Московской области. Несмотря на экологическое благополучие в целом, на территории города выделяются неблагоприятные районы, приуроченные к промышленным зонам и автодорогам. В городе находятся высокотехнологические предприятия, в том числе, системы военно-промышленного комплекса России. В последние годы в связи с активным развитием и ростом населения значительно увеличились транспортные потоки. Цель настоящего исследования – мониторинг экологического со-

стояния Дубны.

Методы исследования

Оценка экологического состояния г. Дубны проводилась по данным биоиндикации методом флуктуирующей асимметрии. Величина флуктуирующей асимметрии билатерально симметричных организмов характеризует мелкие ненаправленные нарушения стабильности развития и является интегральным ответом организма на состояние окружающей среды [9].

В качестве биоиндикатора была использована береза (*Betula alba*), как вид наиболее широко распространенный в г. Дубне и используемый для биоиндикационных исследований на территории города с 1997 г. Образцы листьев березы отбирали по методике, разработанной в 1997 году Лабораторией биоиндикации Калужского государственного педагогического университета им. Циолковского [8]. Выборка листьев осуществлялась с 2–3 близко растущих деревьев на площади 10² или на аллее длиной 30–40 м. Для анализа использовались только средневозрастные растения. Ли-

стья отбирались из нижней части кроны, на уровне поднятой руки, с максимального количества доступных веток с юга, севера, востока и запада, не менее 25 листьев с одной площадки пробоотбора. Всего было исследовано 30 точек и собрано 900 образцов листьев березы (*Betula alba*) с охватом всех функциональных зон города (промышленной, селитебной, рекреационной). Во всех образцах была измерена длина первой жилки от основания справа и слева, а также определена разница длин. Далее был рассчитан коэффициент флуктуирующей асимметрии по формуле: $\sigma_d^2 = \frac{\sum (d_{l-r} - M_d)^2}{n-1}$, где

$M_d = \frac{\sum d_{l-r}}{n}$ – среднее арифметическое различие между сторонами; $d_{l-r} = \frac{2(d_l - d_r)}{d_l + d_r}$ – относительное различие значений признаков между

левой (d_l) и правой (d_r) сторонами (с учетом знака); n – численность выборки.

Все полученные результаты были обработаны методами математической статистики с использованием программы *Microsoft Excel*. На основе полученных данных была построена картасхема распределения значений коэффициента флуктуирующей асимметрии березы (*Betula Alba*) на территории Дубны при помощи программного комплекса *Surfer* (версия 12.0).

Кроме того, была изучена интенсивность движения автотранспорта и шумовая нагрузка на территории правобережной части Дубны. Большинство транспортных магистралей города проходит в непосредственной близости (15–50 м) от жилой застройки, представленной в основном многоэтажными домами (5–9 этаже). Исследования по влиянию автотранспорта на окружающую среду на территории г. Дубны ведутся с 1998 г.

Анализ интенсивности движения автотранспорта проводился визуальным методом согласно нормативному документу по методам учёта интенсивности движения транспортных потоков (ГОСТ 32965-2014) [3; 10]. На основе изучения схемы улично-дорожной сети города и информации о транспортной нагрузке был составлен перечень основных автомагистралей (и их участков) с повышенной интенсивностью движения и перекрестков с высокой транспортной нагрузкой. Учет ин-

тенсивности транспортного потока проводился на 18 участках наблюдения в обоих направлениях движения по следующим группам транспорта: легковые, грузовые (свыше 3,5 т), мотоциклы, автобусы. Подсчет вели в момент максимальной интенсивности движения – в пятницу с 17 до 21 часа, в субботу с 9 до 12 часов и в воскресенье с 17 до 21 часа.

Измерение шума проводилось вдоль основных автомагистралей на 18 ключевых участках, согласно методике [1; 2] в двух местах, на расстоянии 7 м от проезжей части и в 5 метрах от жилой застройки. Измерения проводили с использованием шумомера «Экофизика-110А».

На основе полученных данных была построена картасхема распределения интенсивности движения автомобилей и картасхема шумовой нагрузки правобережной части Дубны при помощи программного комплекса *MapInfo* (версия 14.0).

Исследования, представленные в данной научной работе, являются продолжением многолетнего мониторинга антропогенной нагрузки и состояния окружающей среды, проводимого на территории города, и выполнены по единой методике [4; 5; 6; 7; 11].

Результаты исследований

Оценка состояния окружающей среды по данным биоиндикации. Проведенные исследования показали, что коэффициент флуктуирующей асимметрии листьев березы (*Betula Alba*) в 2019 г. варьирует от 0,0014 до 0,0050, среднее значение составляет 0,0034. Участки с высокими значениями коэффициента флуктуирующей асимметрии выявлены в левобережной части в районе площади Космонавтов (0,0050), ул. Кирова (0,0047), в правобережной части на проспекте Боголюбова (0,0043), в районе завода «Тензор» (0,0048), поста ГАИ (0,0049). Минимальные значения коэффициента флуктуирующей асимметрии наблюдаются на территории садовых товариществ «Репка-1» и «Репка-2», ул. Ленина, д. 55 в левобережной части и ул. Юркино 5 (<0,0020).

Анализ динамики коэффициента флуктуирующей асимметрии березы (*Betula Alba*) за 2003, 2008 и 2019 гг. показал снижение минимального, максимального и среднего значения коэффициентов (табл. 1).

Таблица 1. Статистические показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии березы (*Betula Alba*)

Год	\bar{X}	Min	Max
2003	0,0072	0,0018	0,0178
2008	0,0043	0,0016	0,0094
2019	0,0034	0,0014	0,0050

Примечание: среднее значение (\bar{X}), максимум (max), минимум (min).

Распределение значений коэффициента в 2003 году весьма неравномерно и колеблется от 0,0018 до 0,0178, среднее значение составило 0,0072. На территории города выделяются несколько участков с коэффициентом флуктуирующей асимметрии от 0,0200 до 0,0100 [5; 8]. Это восточная граница садового товарищества «Весна», в районе гаражного

кооператива у завода «Тензор», южная граница полигона ТБО «Дубна левобережная», в районе Северной канавы.

Распределение значений коэффициента в 2008 г. колеблется от 0,0016 до 0,0094. Среднее значение коэффициента снизилось по сравнению с 2003 г. почти в два раза (табл. 1, рис. 1), что говорит о стабилизации качества окружающей среды в городе.

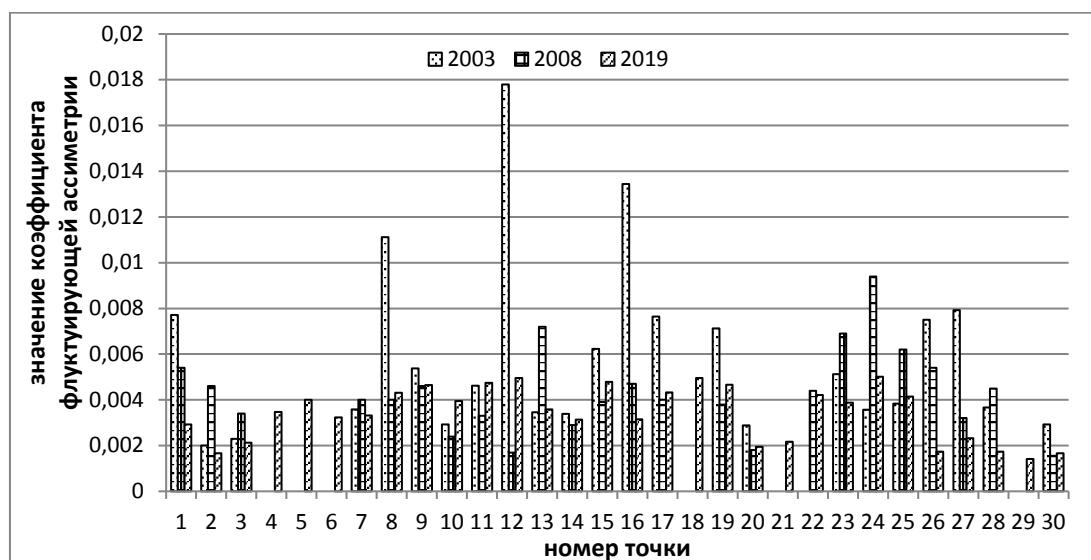


Рис. 1. Динамики значений коэффициента флуктуирующей асимметрии березы (*Betula Alba*): 1 – ул. Александровка (напротив СКС); 2 – ул. Юркино, д. 5а; 3 – ул. Юркино (рядом с высоковольтной линией); 4 – ул. Университетская (конечная остановка); 5 – Рябиновый проезд; 6 – ул. Университетская, д. 7; 7 – проезд Энергетиков, д. 7 (через дорогу); 8 – лесной участок напротив вокзала «Дубна»; 9 – ул. академика Балдина, д. 3 (круговое движение); 10 – ул. академика Балдина (поворот в сторону Ратмино); 11 – напротив садового товарищества «Мичуринец»; 12 – набережная р. Волги, в 50 м. от лодочной станции; 13 – между ДК «МИР» и гостиницей «Дубна»; 14 – 150 м до поворота на ул. Приборостроителей; 15 – напротив завода «Тензор»; 16 – рядом со зданием завода «Тензор» (рядом гаражи); 17 – проспект Боголюбова, д. 28; 18 – 500 м от поста ГАИ (дорога в Кимры); 19 – ул. Кирова, д. 165; 20 – Чапаевский переезд, д. 3; 21 – Коммунальный пер., д. 3; 22 – пересечение ул. Кирова и ул. Березняка; 23 – ул. Орджоникидзе, д. 20; 24 – площадь Космонавтов (перед ДК «Октябрь»); 25 – ул. Тверская, д. 48; 26 – ул. Новая (рядом с прудом); 27 – березовая роща между «Репка-1» и «Репка-2»; 28 – «Репка-1», мостик через Северную канаву; 29 – ул. Ленина, д. 55; 30 – в лесу напротив сектора 2 «Репки-2»

Проведенная оценка состояния окружающей среды города Дубны по данным биоиндикации в целом свидетельствует о благоприятной экологической обстановке на террито-

рии города. При незначительном изменении минимальных значений коэффициента флуктуирующей асимметрии березы (*Betula Alba*), отмечается снижение максимальных значений

более чем в 3 раза, средних значений – более чем в 2 раза за период 2003–2019 гг. Это может свидетельствовать о довольно устойчивой антропогенной нагрузке на территории Дубны.

Оценка интенсивности движения автотранспорта на территории г. Дубны. В ходе работы был произведен анализ интенсивности движения автотранспорта в правобе-

режной части города в соответствии с принятой методикой [3; 10] в период максимальной нагрузки. На основе полученных данных измерения интенсивности транспортного потока была построена картосхема интенсивности движения автомобилей на территории правобережной части Дубны (рис. 2).

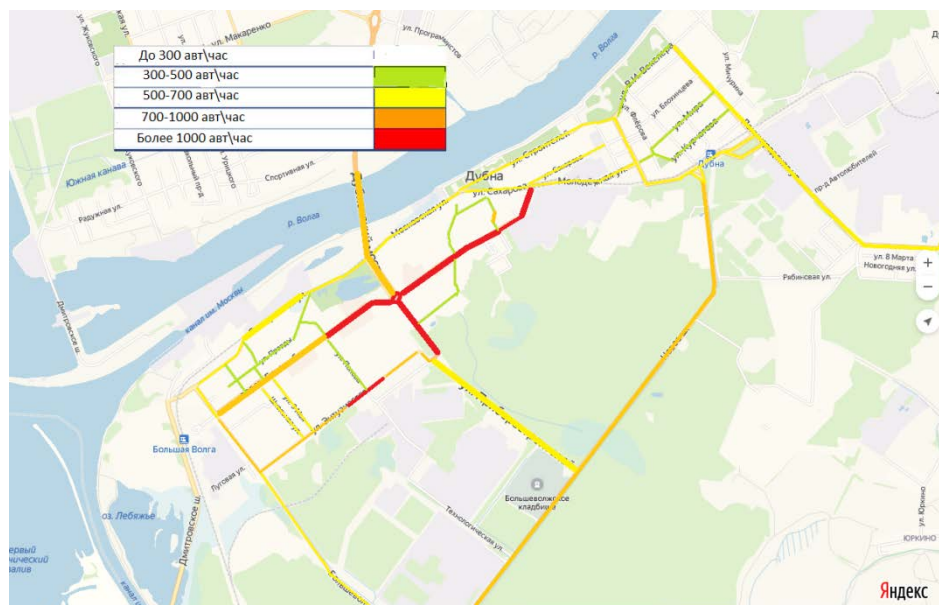


Рис. 2. Картосхема интенсивности транспортного потока г. Дубны

Как показали результаты, наиболее загруженный участок находится в центре города, проспект Боголюбова, ул. Вернова, ул. Энтузиастов. На данных участках интенсивность движения автотранспорта составляет более 1000 авт./час. Самая высокая интенсивность движения зафиксирована на проспекте Боголюбова возле торгового центра «Маяк» (1848 авт./ч). Подавляющее большинство транспортного потока составляют легковые автомобили. Большая часть территории правобережной части города (улицы Приборостроите-

лей, Сахарова, Ленинградская и т.д.) средне загружена, интенсивность движения составляет не более 700 авт./ч. Минимальная интенсивность движения, не превышающая 500 авт./ч., наблюдается в Институтской части (ул. Жолио-Кюри и ул. Мира).

Анализ динамики интенсивности движения автотранспорта на территории г. Дубны показал, что в период с 1998 по 2019 гг. в 85% случаев на обследованных участках интенсивность движения автотранспорта значительно возросла (рис. 3).

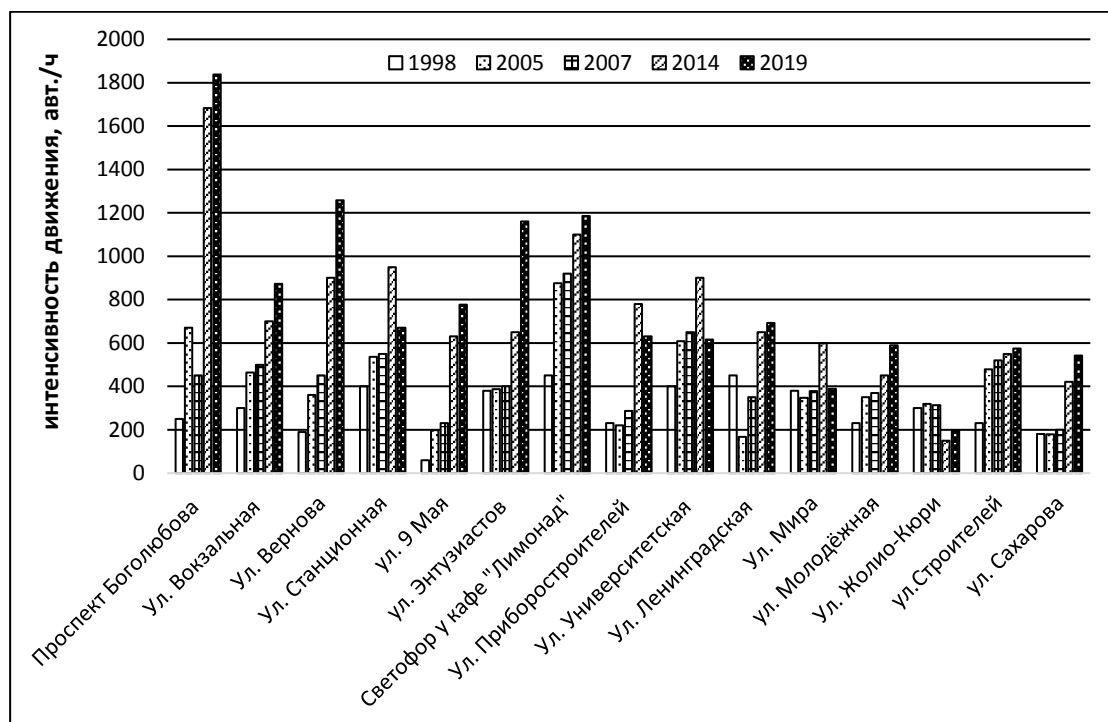


Рис. 3. Динамики интенсивности транспортного потока на территории г. Дубны

Наиболее загруженным участком стал проспект Боголюбова. Это обусловлено активной жилой застройкой района Большая Волга, строительством вдоль проспекта Боголюбова торговых и торгово-развлекательных центров («Терминал», «Маяк» и др.), а также строительством и вводом в эксплуатацию моста через р. Волгу (конец 2018 г.), соединяющего правобережную и левобережную части города. Основной рост интенсивности движения отмечается в период с 1998 по 2014 годы. За последние 5 лет (2014–2019 гг.) интенсивность движения автотранспорта возросла на 15%. Проспект Боголюбова по-прежнему остается наиболее загруженным участком дорог 1638 авт./ч в 2014 году и 1848 авт./ч в 2019 году. Строительство и ввод в эксплуатацию долгожданного моста через р. Волгу, соединяющего правобережную и левобережную части, привело к изменению схемы движения автотранспорта в городе и еще большей нагрузке на проспект Боголюбова.

Оценка шумовой нагрузки на территории г. Дубна. Большинство автотранспортных

магистралей города проходит в непосредственной близости (15–50 м) от жилой застройки, представленной в основном многоэтажными домами (5–9 этаже). Для оценки шумовой нагрузки были проведены замеры уровня шума в правобережной части города (табл. 2). По результатам была построена шумовая картосхема (рис. 4).

Показатели уровня шума вдоль автомагистралей на территории правобережной части города Дубны характеризуются значительным варьированием в диапазоне от 67 до 87,5 дБ(А), при этом на территории, прилегающей к жилым домам, эквивалентный уровень шума снижается не значительно и составляет 64,9–81,3 дБ(А) (табл. 2). Следует отметить, что данные значения превышают санитарные нормы в 55 дБ(А), принятые для акустического загрязнения селитебных территорий в дневное время. Наименьшие значения эквивалентного уровня шума наблюдаются в институтской части города и на его окраинах.

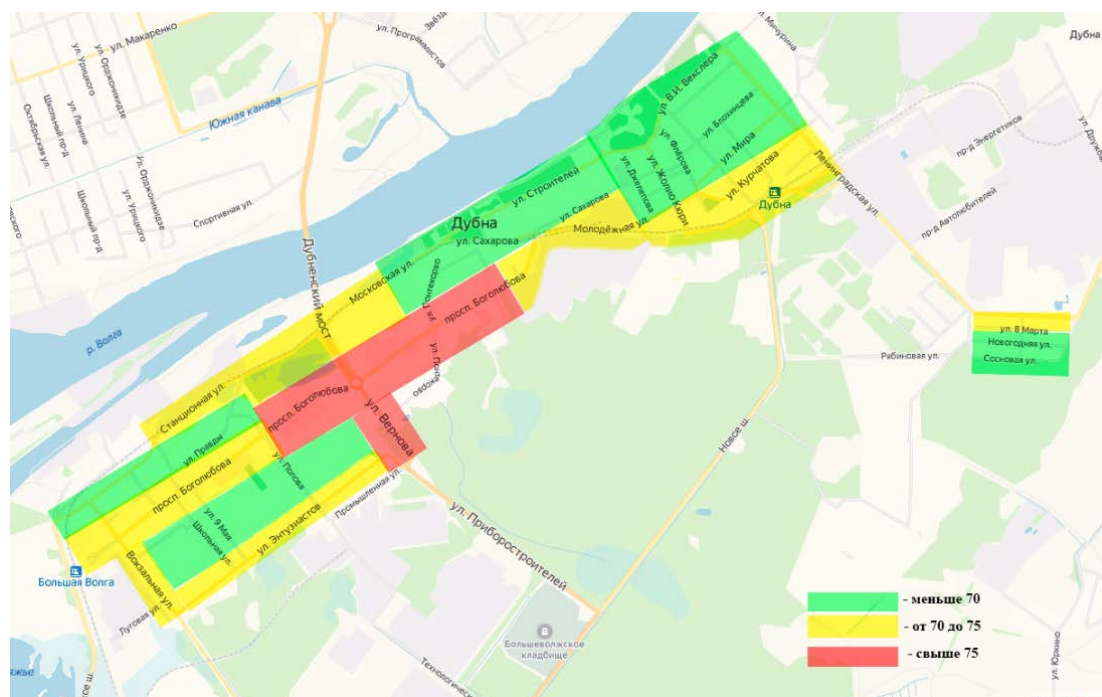


Рис. 4. Картограмма шумовой нагрузки правобережной части г. Дубны

Таблица 2. Данные измерений шумовой нагрузки в г. Дубне

№ точки	Местоположение	Эквивалентный уровень шума (у дороги), дБА	Эквивалентный уровень шума (у дома), дБА
1	пр-т Боголюбова, возле ТРЦ «Маяк»	87.5	81.3
2	пр-т Боголюбова, возле магазина «Перекресток»	80.0	75.7
3	ул. Университетская	78.0	77.8
4	светофор у кафе «Лимонад» (ул. Дачная)	74.5	71.5
5	ул. Энтузиастов, напротив рынка БВ	72.9	68.6
6	ул. Приборостроителей, в районе завода «Тензор»	73.9	-
7	ул. Вернова (на мост и под мост)	79.6	76.3
8	ул. Вернова (с моста и из-под моста)	79.2	76.3
9	ул. Ленинградская	74.2	74.0
10	ул. Мира (поликлиника)	72.6	72.0
11	ул. Молодёжная (у почты)	73.5	68.5
12	ул. Жолко-Кюри	67.0	64.9
13	ул. Вернова	82.2	76.5
14	ул. Вокзальная	75.2	71.8
15	ул. 9 мая	73.7	68.9
16	ул. Станционная	75.1	72.7
17	ул. Сахарова	72.4	70.1
18	ул. Строителей	73.6	71.1

Комплексная оценка экологического состояния г. Дубны. Проведенные биоиндикационные исследования свидетельствуют об относительном экологическом благополучии на территории г. Дубны. Несмотря на повышение интенсивности движения с каждым годом, экологическое состояние Дубны стабили-

зируется. Снижение коэффициента флуктуирующей асимметрии при возрастании автомобильной нагрузки может быть обусловлено тем, что технологии очистки выхлопных газов автомобилей совершенствуются, используется более экологически чистое топливо. С каждым годом ужесточаются требования к техническому

осмотру автомобиля, чтобы каждый автомобиль соответствовал экологическому классу и т.д. Для выявления связи между интенсивностью движения автомобильного транспорта и величиной коэффициента флуктуирующей асимметрии был проведен корреляционный анализ с использованием данных за 2008 и 2019 гг. Коэффициент корреляции составил 0,33 в 2008 г. и 0,36 в 2019 г. Полученный коэффициент корреляции попадает в диапазон 0,2–0,5, что соответствует слабой положительной корреляционной зависимости. Вместе с тем на результаты биоиндикации могут влиять другие факторы, а именно: работа котельных; дефляция почв, происходящая из-за плохого качества газонов; загрязнение почвенного покрова; физические факторы, такие как электромагнитные поля и др.

Выводы

1. Результаты биоиндикации с использованием метода флуктуирующей асимметрии листовых пластин березы белой (*Betula alba*) позволили выявить участки с более высоким уровнем антропогенной нагрузки на территории г. Дубны. Максимальный коэффициент отмечается в левобережной части в районе площади Космонавтов. Величина значений коэффициента флуктуирующей асимметрии в период с 2003 по 2019 гг. снижается, что может свидетельствовать о стабилизации антропогенной нагрузки на территории города.

2. Интенсивность движения автотранспорта в правобережной части г. Дубны с 1998 по 2019 гг. увеличилась на 90%, при этом за последние 5 лет возросла в среднем на 15–20%. Самой загруженной улицей является проспект Боголюбова (более 1800 ав./час), что связано с интенсивной застройкой районов Большая Волга и Черная речка и введением в эксплуатацию моста через р. Волгу.

3. Выявлено, что уровень шума превышает нормативный показатель 55дБ(А). Высокие уровни шума (выше 80 дБ(А)) зафиксированы точечно, вдоль автомобильных дорог в центре правобережной части города.

4. Проведенный корреляционный анализ выявил слабую корреляционную зависимость между величиной коэффициента флуктуирующей асимметрии и интенсивностью движения автотранспорта на территории г. Дубны.

5. Несмотря на повышение интенсивности движения автотранспорта на территории города Дубны, наблюдается снижение коэф-

фициента флуктуирующей асимметрии. Вероятно, это обусловлено тем, что технологии очистки выхлопных газов автомобилей совершенствуются, используется более экологически чистое топливо, с каждым годом ужесточаются требования к техническому осмотру автомобиля, их соответствию экологическому классу и т.д.

Библиографический список

- ГОСТ 20444-2014 Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200046350> (дата обращения: 21.10.2019).
- ГОСТ 23337-2014 Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий (с Поправкой) [Электронный ресурс]. – URL.: <http://docs.cntd.ru/document/1200114242> (дата обращения: 21.10.2019).
- ГОСТ 32965-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока [Электронный ресурс]. – URL.: <http://docs.cntd.ru/document/1200132267> (дата обращения: 21.10.2019).
- Каманина И.З. Экологическое состояние г. Дубны Московской области // Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна». 2016. №2(34). С. 17–24.
- Каманина И.З., Каплина С.П., Макаров О.А., Кликодуева Н.А., Комплексная оценка экологического состояния наукограда Дубна : моногр. Дубна : ОИЯИ, 2019. 168 с.
- Каманина И.З., Савватеева О.А. Воздействие автотранспорта на окружающую среду г. Дубны // Фундаментальные исследования. 2014. № 8–7. С. 1612–1616.
- Каплина С.П. Оценка экологического состояния компонентов окружающей среды малых и средних городов севера Московской области // Автореф. на соиск. степ. к.б.н. М.: 2013. 21 с.
- Баша С.Г., Каманина И.З., Каплина С.П., Макаров О.А., Савватеева О.А. Комплексный экологический мониторинг города Дубны. Биоиндикация. Оценка состояния атмосферного воздуха // Экологический вестник Московского региона. 2004. № 4 (16). С. 96–103.
- Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур) (Утверждены Распоряжением МПР РФ от 16.10.2003 № 460-р). М., 2003. 24 с.
- Методические указания по оценке влияния выбросов автотранспорта на окружающую среду вдоль автомобильных дорог. Минск: Госко-

митет Республики Беларусь по экологии, 1993. 89 с.

11. Система экологической безопасности г. Дубны : моногр. / С.Г. Баша, Р.Г. Джамалов, К.С.

Дзюба, П.А. Игнатов [и др.] / под общ. ред. О.Л. Кузнецова. Дубна : Междунар. ун-т природы, об-ва и человека «Дубна», 2005. 88 с.

*Поступила в редакцию
22.10.2020*