

Научная статья

УДК 502.3 551.58

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-124-137

## ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В Г. МАГНИТОГОРСКЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЕГО МОНИТОРИНГА

**Ирина Павловна Опупина<sup>1</sup>, Владимир Александрович Шкляев<sup>2</sup>, Наталья Валерьевна Костылева<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> ФГБУ УралНИИ «Экология», г. Пермь, Россия<sup>1, 2, 3</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия<sup>1</sup> oputinaip@ecologyperm.ru, Author ID: 1129432<sup>2</sup> shklyaeavl@yandex.ru, Author ID: 148009<sup>3</sup> nkost@ecologyperm.ru, Author ID: 132383

**Аннотация.** В 2016 г. в г. Магнитогорске специалистами ФГБУ УралНИИ «Экология» был проведен научный эксперимент по оценке влияния загрязнения атмосферного воздуха на растительность в разных районах города. Цель исследования – оценка состояния растительности в разных районах методом измерения показателей флуоресценции хлорофилла и содержания каротиноидов в листьях клена ясенелистного для разработки предложений по модернизации системы мониторинга атмосферного воздуха г. Магнитогорска. На основании результатов расчетов рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе определены 13 точек на территории г. Магнитогорска, в которых производился отбор опытных образцов клена ясенелистного для дальнейшего исследования в лаборатории (пять точек, непосредственно граничащие с основной площадкой градообразующего предприятия и территориями расположения крупных дочерних предприятий; пять точек, расположенные на селитебной территории в левобережном промышленном узле; две точки, расположенные на селитебной территории в правобережной части города; одна точка в селитебной территории города, наиболее удаленная от градообразующего предприятия, характеризующая «фоновое» значение загрязнения атмосферного воздуха). В процессе исследования в листьях клена ясенелистного определялись относительный показатель замедленной флуоресценции хлорофилла (ОПЗФ) и содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов). В результате проведенных исследований на территории г. Магнитогорска определены районы, в которых загрязнение атмосферного воздуха в наибольшей и наименьшей степени оказывает влияние на растительность. Цель проведенного исследования достигнута. Полученные результаты исследований использованы в дальнейшем при разработке предложений по модернизации системы мониторинга атмосферного воздуха г. Магнитогорска. Сделан вывод о возможности использования результатов исследования растительности, а именно значений ОПЗФ и содержания каротиноидов, в качестве косвенного метода оценки эффективности существующей сети ПНЗ.

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферного воздуха, антропогенная нагрузка, расчеты рассеивания выбросов загрязняющих веществ, флуоресценция хлорофилла, содержание каротиноидов

**Для цитирования:** Опупина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В. Индикация состояния растительности в г. Магнитогорске для оценки качества атмосферного воздуха и совершенствования его мониторинга // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 124–137. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-124-137

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-124-137

## INDICATION OF THE CONDITION OF VEGETATION IN MAGNITOGORSK FOR ASSESSING THE QUALITY OF ATMOSPHERIC AIR AND IMPROVING ITS MONITORING SYSTEM

**Irina P. Oputina<sup>1</sup>, Vladimir A. Shklyayev<sup>2</sup>, Natalya V. Kostyleva<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> UralNII Ecology, Perm, Russia<sup>1, 2, 3</sup> Perm State University, Perm, Russia<sup>1</sup> oputinaip@ecologyperm.ru, Author ID: 1129432<sup>2</sup> shklyaeavl@yandex.ru, Author ID: 148009<sup>3</sup> nkost@ecologyperm.ru, Author ID: 132383

## Метеорология

Опутьина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

**Abstract.** In 2016, specialists from the research institute UralNII Ecology conducted a scientific experiment in Magnitogorsk to assess the impact of atmospheric air pollution on vegetation in different parts of the city. The purpose of the study was to assess the condition of vegetation in different areas by measuring chlorophyll fluorescence and carotenoid content in ash maple leaves in order to develop proposals for modernizing the atmospheric air monitoring system in Magnitogorsk. Based on the modeling of pollutant dispersion in the atmospheric air, 13 points were identified in the territory of Magnitogorsk, where experimental samples of ash-leaved maple were collected for further research in the laboratory (five points directly bordering the main site of the city-forming enterprise and the territories of its large subsidiaries; five points located in the residential area in the left-bank industrial hub; two points located in the residential area in the right-bank part of the city; one point in the residential area of the city, most remote from the city-forming enterprise and characterizing the 'background' value of atmospheric air pollution). During the research, the relative index of delayed chlorophyll fluorescence (DCF) and the content of photosynthetic pigments (carotenoids) were determined in the leaves of the ash-leaved maple. As a result of the studies, the areas of the city of Magnitogorsk were identified where atmospheric air pollution had the greatest and the least impact on vegetation. The purpose of the study was achieved. The results of the studies were subsequently used in the development of proposals for the modernization of the atmospheric air monitoring system in Magnitogorsk. It is concluded that it is possible to use the results of the study of vegetation, namely the DCF values and the content of carotenoids, as an indirect method for assessing the effectiveness of the existing network of POPs.

**Keywords:** atmospheric air pollution, anthropogenic load, pollutant emission dispersion calculations, chlorophyll fluorescence, carotenoid content

**For citation:** Oputina I.P., Shklyayev V.A., Kostyleva N.V. (2024). Indication of the condition of vegetation in Magnitogorsk for assessing the quality of atmospheric air and improving its monitoring system. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 124–137. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-124-137

## Введение

Благоприятная окружающая среда, в том числе безопасный уровень качества атмосферного воздуха, в Российской Федерации является ценностью, охраняемой законом [5].

Для принятия решений, направленных на достижение безопасного уровня качества атмосферного воздуха, необходимо в первую очередь оценить его текущее состояние. Для этого в Российской Федерации на постоянной основе осуществляется мониторинг загрязнения атмосферного воздуха с использованием прямых (инструментальных) и косвенных (расчетный мониторинг, оценка воздействия загрязнения атмосферы на различные объекты окружающей среды и другие) методов [8–12].

Инструментальные методы оценки состояния атмосферного воздуха являются более весомыми с точки зрения репрезентативности результатов. При этом для организации эффективной и репрезентативной системы инструментального мониторинга желательное предварительное проведение научных исследований для уточнения особенностей организации мониторинга.

Одним из направлений исследований качества атмосферного воздуха могут являться биологические методы оценки физиологического состояния живых организмов [7, 21], в частности оценка изменения клеточного метаболизма.

Клеточным метаболизмом называют все биохимические превращения в живой клетке.

При разработке и использовании методов оценки физиологического состояния живых организмов важно получить информацию об изменении клеточного метаболизма под влиянием внешних факторов. Эти изменения можно зафиксировать задолго до того, как результат таких воздействий проявится у организмов в видимых признаках [1].

Одним из методов, получивших широкое распространение в экологических исследованиях, является регистрация у растительных объектов различных параметров флуоресценции хлорофилла [3, 6]. Метод заключается в определении относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла (ОПЗФ) и исследовании содержания фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в листьях растения.

*Метеорология**Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.*

Важным предварительным элементом исследования параметров флуоресценции хлорофилла является правильный выбор растительности, которая, с одной стороны, может обеспечить явный результат исследований, с другой стороны, распространена на территории Российской Федерации.

В настоящей работе в качестве объекта исследования для оценки физиологического состояния был выбран клен ясенелистный. Прежде всего, данный вид растительности является очень распространенным в городах Российской Федерации, следовательно, отбор проб возможно провести в любых районах и территориях населенных пунктов. Кроме того, согласно проведенным исследованиям [2], в листьях клена ясенелистного выявлена зависимость содержания каротиноидов от антропогенной, в том числе от техногенной, нагрузки на территории произрастания.

С целью разработки подходов к созданию эффективной системы мониторинга атмосферного воздуха для г. Магнитогорска в 2016 г. специалистами ФГБУ УралНИИ «Экология» был проведен научный эксперимент по оценке влияния загрязнения атмосферного воздуха на растительность в разных районах города.

Основной целью исследования стала оценка состояния растительности в разных районах методом измерения показателей флуоресценции хлорофилла и содержания каротиноидов в листьях клена ясенелистного для разработки предложений по модернизации системы мониторинга атмосферного воздуха г. Магнитогорска.

**Материалы и методы исследования**

В соответствии с научными исследованиями [2, 3, 6] установлено, что при использовании методов измерения параметров фотосинтетического аппарата растений, в частности метода регистрации ОПЗФ, возможно обнаружить изменение клеточного метаболизма растений, которое зависит от внешних факторов.

Суть явления замедленной флуоресценции заключается в наличии слабого, длительно затухающего свечения, испускаемого хлорофиллом после светового возбуждения в фотосинтезирующих клетках [18].

В качестве объекта исследования в г. Магнитогорске были выбраны листья клена ясенелистного (лат. *Ácer negúndo*) как наиболее распространенного вида растительности на городских территориях. Предметом исследования являлось содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в листьях клена ясенелистного, произрастающего в различных районах г. Магнитогорска.

В августе 2016 г. специалистами ФГБУ УралНИИ «Экология», в соответствии с положениями «Методики» [4], был произведен отбор образцов исследуемого растения. Для проведения исследования авторами «Методики» [4] положения указанной методики были доработаны в части возможности применения для листьев клена ясенелистного.

Отобранные в точках исследования образцы представляли собой срезанные ветки клена ясенелистного. Для отбора образцов выбирались деревья приблизительно одного возраста и размера. После отбора образцов срезанные ветки (образцы) были погружены нижними частями в емкость с водой для транспортировки в г. Пермь. Отбор образцов производился в течение приблизительно трех часов. Образцы были отобраны в схожих микроклиматических условиях, в один вегетационный период. Вышеуказанные особенности выбора опытного материала для исследования позволяют производить сравнение таких образцов.

В течение одних суток отобранные образцы были доставлены в лабораторию Естественно-научного института ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (ЕНИ ПГНИУ). В лаборатории ЕНИ ПГНИУ силами специалистов кафедры БОП ПГНИУ при помощи флуориметра «Фотон-10» в пробах, полученных из отобранных образцов, проводилось измерение относительного показателя замедленной флуоресценции.

*Метеорология**Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.*

Для всесторонней оценки условий произрастания опытных образцов, а также условий, наблюдающихся непосредственно в период отбора, были зафиксированы и проанализированы наблюдаемые при отборе образцов метеорологические условия.

В период отбора (август 2016 г.), по данным Челябинского ЦГМС – филиала ФГБУ «Уральское УГМС» [20], а также сайта «Расписание погоды» [13], отмечалась аномально жаркая погода: средняя месячная температура воздуха на 5–7 градусов выше нормы. Преобладающее направление ветра в августе и в среднем за летний сезон – северо-северо-восточное. Преобладающая скорость ветра в среднем за летний сезон составляла 2–4 м/с. Наблюдаемые направление и скорость ветра являются типичными для летнего периода в г. Магнитогорске.

Поскольку основной источник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в городе – ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» – располагается на северо-востоке относительно центральной части города (селитебной территории), при наблюдаемом (преимущественном) северо-северо-восточном направлении ветра загрязнению атмосферного воздуха выбросами загрязняющих веществ в наибольшей степени подвергалась именно центральная часть города.

Предварительно, до проведения отбора образцов, на основании данных проекта нормативов предельно допустимых выбросов ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК») и проекта единой санитарно-защитной зоны, специалистами ФГБУ УралНИИ «Экология» при помощи УПРЗА «Эколог» (вер. 3.1), в которой реализованы положения действующей на момент проведения исследования «Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86)» [19], был произведен расчет рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Для 76 загрязняющих веществ были рассчитаны координаты (в узлах регулярной сетки с шагом 500 м) точек максимальных концентраций (точек максимума) на селитебной территории г. Магнитогорска и значения концентраций в этих точках. Для дальнейшего рассмотрения были отобраны только те точки максимума, в которых рассчитанные концентрации превышали ПДК м.р. Далее отобранные точки максимума наносились на карту местности.

Исходя из мест расположения точек максимума и физической возможности подъезда на автотранспорте на территории г. Магнитогорска, было определено 13 пробных площадок для отбора образцов.

Важно отметить, что точки, в которых в конкретный момент времени наблюдаются максимальные концентрации, могут не совпадать с точками максимальных концентраций, полученных теоретическим путем по результатам расчетов рассеивания, поскольку реализованный в программном продукте подход подразумевает перебор метеопараметров для выявления наиболее неблагоприятных метеоусловий для рассеивания и соответствующие им наибольшие концентрации загрязняющих веществ. В результате длительных наблюдений установлено, что при неизменных качественном и количественном составе выбросов уровень загрязнения атмосферного воздуха может различаться в несколько раз в дни с разными метеорологическими условиями [17]. Для того чтобы точнее определить точки максимальных концентраций, необходимо для каждого конкретного периода времени привлекать фактические данные о погодных условиях.

В период проведения исследования отмечался штиль или очень слабый ветер (1 м/с), поэтому направления и скорости ветра, соответствующие максимальным концентрациям загрязняющих веществ по результатам расчета рассеивания, не могли соответствовать фактически наблюдаемым в день проведения исследования метеорологическим условиям.

Места расположения точек отбора образцов и точек максимума концентраций на территории г. Магнитогорска по результатам расчета рассеивания отражены на рис. 1.

Все выбранные точки были условно поделены на несколько категорий:

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

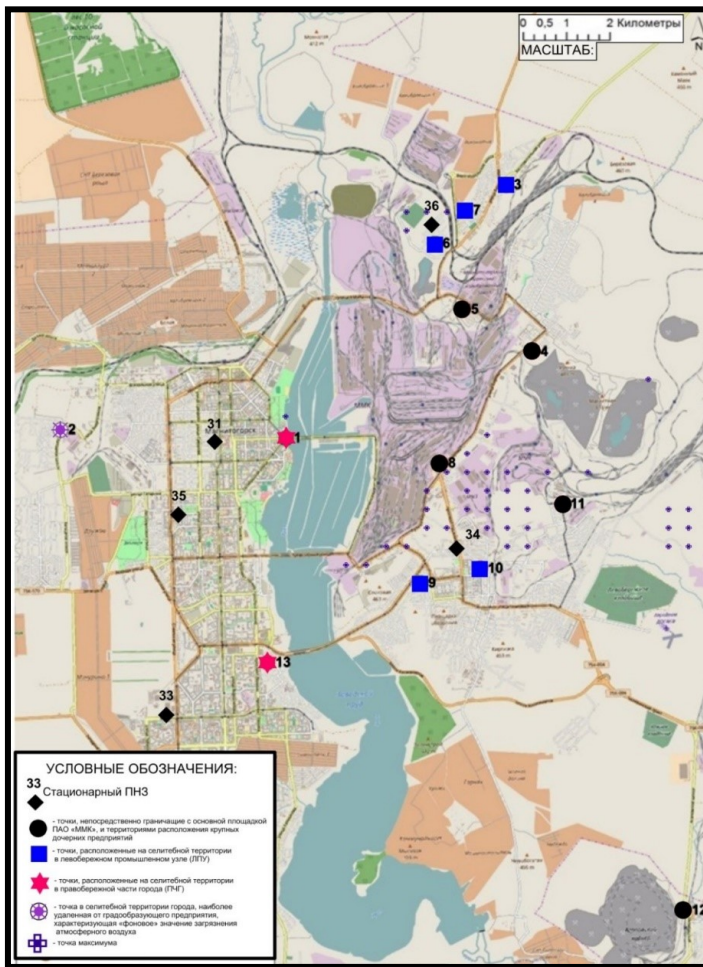


Рис. 1. Расположение точек отбора образцов, точек максимума концентраций на территории г. Магнитогорска

Fig. 1 Location of sampling points and points of maximum concentration on the territory of Magnitogorsk

фиксировались фактические значения температуры и влажности воздуха с использованием многофункционального тестера окружающей среды MS6300, также отмечались фактические скорость и направление ветра (табл. 1). Суммарно было отобрано 260 проб, по которым выполнено 390 измерений.

– точки, непосредственно граничащие с основной площадкой градообразующего предприятия – ПАО «ММК» и территориями расположения крупных дочерних предприятий: № 4, 5, 8, 11, 12 (черный круг на рис. 1);

– точки, расположенные на селитебной территории в левобережном промышленном узле (ЛПУ): № 3, 6, 7, 9, 10 (синий квадрат на рис. 1);

– точки, расположенные на селитебной территории в правобережной части города (ПЧГ): № 1, 13 (розовая шестиконечная звезда на рис. 1);

– точка в селитебной территории города, наиболее удаленная от градообразующего предприятия, характеризующая «фоновое» значение загрязнения атмосферного воздуха: № 2 (фиолетовый круг с восьмью лучами по окружности на рис. 1).

На рис. 1 также приведена информация о масштабе карты (правый верхний угол), местах расположения стационарных постов наблюдения сети Росгидромет (черный ромб с номером поста), точках максимума концентраций по результатам расчета рассеивания (маленький фиолетовый крестик с закрашенным в центре квадратом).

На каждой площадке отбирались по две ветки 45–50 см длиной с наличием не менее пяти зеленых листьев среднего размера типичной формы, от которых в последующем отбиралось 10 проб. При отборе образцов

Таблица 1

Метеорологические параметры на пробных площадках в г. Магнитогорске  
Meteorological parameters at sample plots in Magnitogorsk

№ точки отбора проб	Температура воздуха, °C	Влажность, %	Ветер, направление и скорость (м/с)	Время отбора (местное)
1	23,7	48	штиль	5:19
2	22,1	49	штиль	5:35
3	21,0	52	штиль	5:50
4	20,7	58	штиль	6:05
5	19,8	57	штиль	6:15
6	19,2	59	штиль	6:27
7	18,5	60	штиль	6:36
8	20,1	60	штиль	6:57

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

Окончание табл. 1

№ точки отбора проб	Температура воздуха, °С	Влажность, %	Ветер, направление и скорость (м/с)	Время отбора (местное)
9	20,1	64	штиль	7:10
10	21,4	63	штиль	7:22
11	22,2	57	штиль	7:34
12	23,7	56	штиль	7:50
13	24,0	53	ССЗ, 1 м/с	8:17

## Результаты

По результатам проведенных лабораторных исследований были получены значения относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла (ОПЗФ) ассимиляционных органов клена ясенелистного и содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в исследуемых образцах.

Диаграмма средних значений относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла (ОПЗФ) ассимиляционных органов клена ясенелистного приведена на рис. 2.

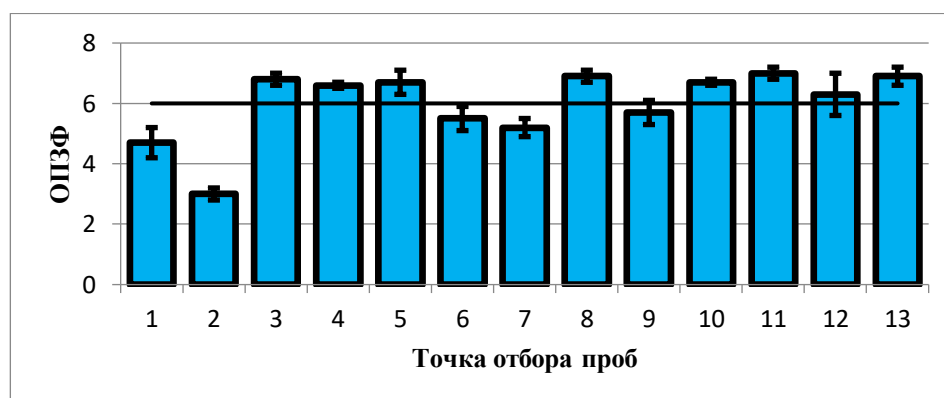


Рис. 2. Значения относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла (ОПЗФ) (на ось абсцисс нанесены номера площадок, на ось ординат – уровень ОПЗФ)

Fig. 2. Values of the relative index of delayed chlorophyll fluorescence

По рис. 2 можно сделать вывод о том, что среднее значение ОПЗФ по всем пробным площадкам составляет «6», соответствующее высокой синтетической активности (средняя синтетическая активность – 3), что свидетельствует о том, что в среднем на исследуемой территории растительность подвергается значимому воздействию внешних факторов. Повышение синтетической активности свидетельствует о включении дополнительных защитных функций у представителей данной растительности для лучшей адаптации к условиям окружающей среды. Следует понимать, что включение дополнительных защитных функций растительности не может продолжаться бесконечно. При превышении определенных пределов жизненные функции растения будут угнетены.

На основании полученных показателей ОПЗФ можно сделать вывод о том, что в точках № 1, 6, 7, 9 (удаленность от металлургического комбината 100–200 м) состояние растительности можно оценить как хорошее. В пробах, отобранных в точках № 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 13, отмечена повышенная фотосинтетическая активность на фоне некоторого ухудшения состояния растительности.

Повышенная фотосинтетическая активность, как правило, в условиях города свидетельствует о включении дополнительных защитных функций для повышения устойчивости при непрерывном воздействии внешних факторов среды. При этом состояние растительности в этих точках (№ 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 13) характеризуется как удовлетворительное.

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

Часть указанных точек (№ 3, 10, 11, 12, 13) удалены от территории Магнитогорского металлургического комбината дальше, чем точки № 1, 6, 7, 9, поэтому ухудшение состояния растительности в этих точках требует отдельного пояснения.

В соответствии с [17] концентрация примеси из-за наличия эффекта переноса газовой струи, исходящей из высокого нагретого источника выбросов, мала вблизи источника выбросов и возрастает с увеличением расстояния от трубы за счет остывания струи и опускания к поверхности земли, достигая максимума в приземном слое на некотором расстоянии от источника выброса (эффект «переброса струи»). Максимальные концентрации в этом случае отмечаются обычно на расстоянии 10–40 высот труб, что объясняет дополнительную экологическую нагрузку на растения в указанных точках.

Наименьшее значение ОПЗФ отмечено в точке № 2 (ОПЗФ=3), что указывает на низкий уровень устойчивости растений к стрессовому воздействию, которое обычно отмечается у растений, произрастающих на менее загрязненных территориях. При этом точка № 2 была выбрана в наименее загрязненном районе в качестве эталона «фоновое» загрязнения.

Диаграмма результатов проведенных анализов на содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в отобранных пробах (средние значения) приведена на рис. 3.

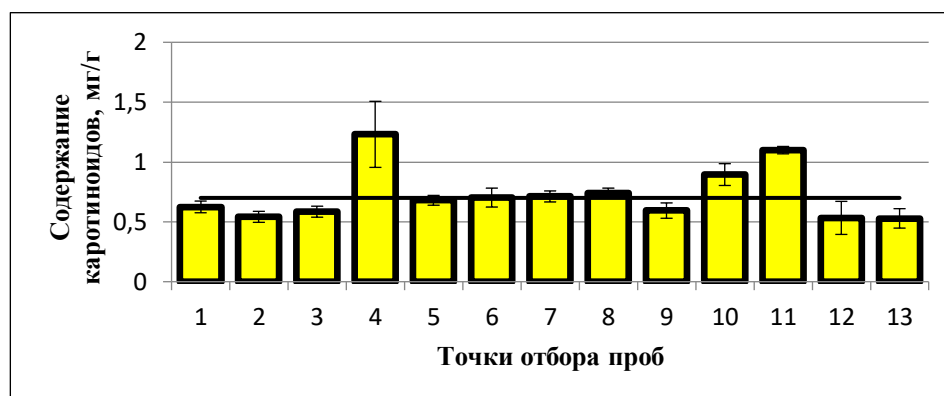


Рис. 3. Содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в листьях, мг/г (на ось абсцисс нанесены номера площадок, на ось ординат – содержание каротиноидов)

Fig. 3. Content of photosynthetic pigments (carotenoids) in leaves, mg/g

По рис. 2 можно сделать вывод о том, что растительность в 10 точках (№ 1–3, 5–9, 12–13) из 13 находится примерно в одинаковых условиях, несмотря на удаленность от металлургического комбината. У растительности в точках № 4 ( $1,231 \pm 0,276$  мг/г), № 10 ( $0,895 \pm 0,091$  мг/г) и № 11 ( $1,099 \pm 0,031$  мг/г) (удаленность от металлургического комбината 0–250 м) выявлена повышенная активность каротиноидов, что говорит о значимой антропогенной, в том числе техногенной, нагрузке на эти растения. Содержание каротиноидов в листьях клена ясенелистного в опытных образцах с территорий с повышенной антропогенной, в том числе техногенной, нагрузкой выше по сравнению с опытными образцами с территорий условного контроля [2], что подтверждается результатами анализов проб из образцов, отобранных в точке № 2, выбранной в наименее загрязненном районе в качестве эталона «фоновое» загрязнения.

На основании полученных значений содержания фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в листьях для территории г. Магнитогорска пониженное содержание каротиноидов (0,529–0,625 мг/г) отмечается в точках № 1–3, 9, 12–13, среднее (0,680–0,741 мг/г) – в точках № 5–8, повышенное (0,895–1,231 мг/г) – в точках № 4, 10–11.

Показатель отклонения уровня фотосинтетической активности от средних по городу значений и содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) приведены на рис. 4.

Показатель отклонения уровня фотосинтетической активности от средних по городу значений приведены на рис. 4 в виде пуансонов различной окраски:

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

- белым цветом отмечена точка, в которой уровень фотосинтетической активности растений ниже среднего на 25 % и более (точка № 2);
- темно-зеленым цветом отмечены точки, в которых уровень фотосинтетической активности растений ниже среднего на 10–25 % (две точки: № 1, 7);
- светло-зеленым цветом отмечены точки, в которых уровень фотосинтетической активности растений ниже среднего на 10 % и менее (две точки: № 6, 9);

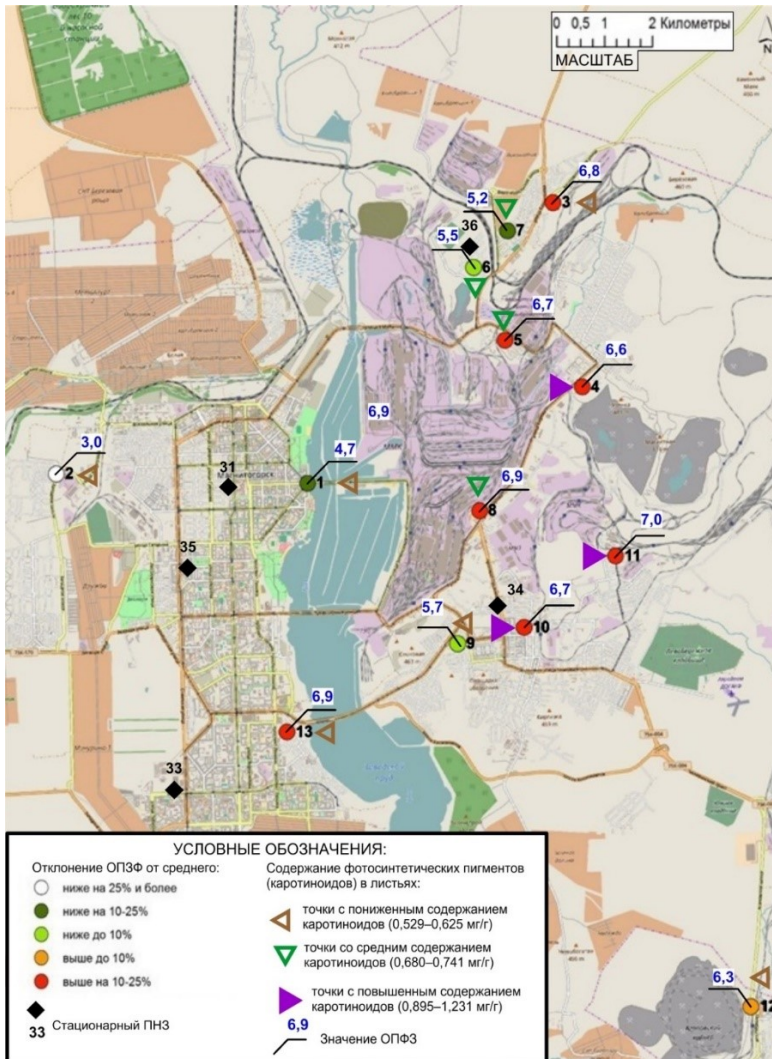


Рис. 4. Значение ОПЗФ и содержания каротиноидов в точках отбора образцов на территории г. Магнитогорска  
 Fig. 4 The values of delayed chlorophyll fluorescence and the content of carotenoids at sampling points in the territory of Magnitogorsk

- оранжевым цветом отмечена точка, в которой уровень фотосинтетической активности растений выше среднего на 10 % и менее (точка № 12);

- красным цветом отмечены точки, в которых уровень фотосинтетической активности растений выше среднего на 10–25 % (7 точек: № 3, 4, 5, 6, 10, 11, 13).

В точках, отмеченных белым, темно-зеленым и светло-зеленым цветом, растительность в меньшей степени задействует адаптационные к загрязнению окружающей среды механизмы, и, следовательно, можно сказать, что в данных точках в течение длительного времени отмечается более низкий уровень антропогенной, в том числе техногенной, нагрузки, в сравнении с точками, отмеченными оранжевым и красным цветом.

Точки, в которых отмечено повышенное содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в растениях (№ 4, 10, 11), свидетельствующее о большем антропогенном, в том числе техногенном, воздействии, отмечены на рис. 4 фиолетовыми стрелками.

## Обсуждения

Результаты исследования показали повышенные уровни (в сравнении со средним по городу) относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла различной степени, свидетельствующие о повышенном уровне стресса для растительности, в семи точках отбора образцов: точки № 3–5, 8, 10, 11, 13.

Повышенное содержание (в сравнении со средним по городу) фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в листьях, свидетельствующее о значимой антропогенной, в том числе техногенной, нагрузке на растительность, отмечено в трех точках отбора образцов: № 4, 10, 11.

Таким образом, из всех 13 точек отбора образцов в трех точках (№ 4, 10, 11) результаты исследований по двум показателям одновременно указали на усиленную антропогенную, в



## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

том числе техногенную, нагрузку, оказываемую на растительность. При этом, поскольку состояние растительности характеризует длительный период загрязнения, можно предположить, что именно в этих точках в атмосферном воздухе преимущественно отмечаются повышенные уровни загрязнения постоянно.

Результаты проведенных исследований могут дать дополнительную информацию для расстановки постов наблюдения за состоянием атмосферного воздуха.

На рис. 1 и 3 отмечены места расположения стационарных постов наблюдения (ПНЗ) Росгидромета за загрязнением атмосферного воздуха. Всего на территории г. Магнитогорска размещены пять ПНЗ: три (№ 31, 33, 35) в левобережной и два (№ 34, 36) в правобережной части города.

Важной частью процесса разработки предложений для модернизации существующей системы мониторинга является оценка эффективности действующей системы.

Самым очевидным методом оценки эффективности наблюдений мог бы стать метод, при котором одновременно с измерениями на ПНЗ на протяжении длительного времени осуществлялись бы инструментальные исследования содержания одних и тех же загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в дополнительных точках в различных частях города по аналогичной программе (полная, неполная программы). Однако такой метод является крайне затратным и не всегда оправданным. В данном случае альтернативой многочисленным измерениям могут служить исследования состояния растений.

Поскольку состояние растений характеризует длительное воздействие загрязнения атмосферного воздуха (для лиственных – один сезон), то проведенные в результате эксперимента исследования, показанные в настоящей статье, можно использовать в качестве косвенного метода одновременной оценки эффективности существующей сети наблюдений и состояния атмосферного воздуха.

Как уже было указано ранее, для определения местоположения точек отбора образцов для проведения оценки состояния растительности предварительно был проведен расчет рассеивания загрязняющих веществ при помощи УПРЗА «Эколог». В результате анализа расчета рассеивания, а также проведенных ранее исследований в г. Магнитогорске [14–16] были определены точки на территории города, в которых ожидался высокий, средний или низкий уровень длительного загрязнения атмосферного воздуха. Результаты ожидаемого и фактического уровня антропогенной, в том числе техногенной, нагрузки на растительность, а также расстояние от точек отбора образцов до ближайшего ПНЗ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Ожидаемый и фактический уровень антропогенной нагрузки на растительность в г. Магнитогорске  
Expected and actual level of anthropogenic pressure on vegetation in Magnitogorsk

№ точки отбора образцов	Характеристика	Ожидаемый уровень загрязнения	Фактический уровень загрязнения	Ближайший ПНЗ (№, расстояние)
1	Селитебная территория в ПЧГ	Низкий	ОПЗФ выше на 10–25 %, средняя активность каротиноидов	№ 31 на запад 1,5 км
2	Фоновое значение уровня загрязнения	Минимальный	ОПЗФ ниже на 25 % и более, средняя активность каротиноидов	№ 31 на восток 3,6 км
3	Селитебная территория в ЛПУ	Средний	ОПЗФ выше на 10–25 %, средняя активность каротиноидов	№ 36 на юго-запад 2,1 км
4	Граница основной площадки градообразующего предприятия	Высокий	ОПЗФ выше на 10–25 %, повышенная активность каротиноидов	№ 36 на северо-запад 3,2 км
5	Граница основной площадки градообразующего предприятия	Высокий	ОПЗФ выше на 10–25 %, средняя активность каротиноидов	№ 36 на север 1,7 км

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

Окончание табл. 2

№ точки отбора образцов	Характеристика	Ожидаемый уровень загрязнения	Фактический уровень загрязнения	Ближайший ПНЗ (№, расстояние)
6	Селитебная территория в ЛПУ	Средний	ОПЗФ ниже 10 % и менее, средняя активность каротиноидов	№ 36 менее 0,3 км на север
7	Селитебная территория в ЛПУ	Средний	ОПЗФ ниже на 10–25 %, средняя активность каротиноидов	№ 36 менее 0,3 км на юго-запад
8	Граница основной площадки градообразующего предприятия	Высокий	ОПЗФ выше на 10–25 %, средняя активность каротиноидов	№ 34 на юго-восток 1,7 км
9	Селитебная территория в ЛПУ	Средний	ОПЗФ ниже на 10 % и менее, средняя активность каротиноидов	№ 34 на северо-восток 1,1 км
10	Селитебная территория в ЛПУ	Средний	ОПЗФ выше на 10–25 %, повышенная активность каротиноидов	№ 34 на северо-запад 0,8 км
11	Граница крупных дочерних объектов градообразующего предприятия	Высокий	ОПЗФ выше на 10–25 %, повышенная активность каротиноидов	№ 34 на юго-запад 2,5 км
12	Граница крупных дочерних объектов градообразующего предприятия	Высокий	ОПЗФ выше на 10 % и менее, средняя активность каротиноидов	–
13	Селитебная территория в ПЧГ	Низкий	ОПЗФ выше на 10–25 %, средняя активность каротиноидов	№ 33 на юго-запад 2,6 км

В результате анализа данных из табл. 2 можно сделать вывод, что из 13 точек отбора образцов только в трех точках результаты исследований по двум показателям одновременно указали на усиленную антропогенную, в том числе техногенную, нагрузку, оказываемую на растительность (№ 4, 10, 11 – выделены в таблице серым цветом). При этом точки № 4 и 11 расположены на границах производственных площадок, и в данных точках ожидался высокий уровень длительного загрязнения атмосферы. А точка № 10 расположена на селитебной территории в левобережной части города (левобережный промузел), и в данной точке ожидался средний уровень длительного загрязнения атмосферного воздуха.

Отдаленность ПНЗ от места отбора образцов в точках с максимальной антропогенной, в том числе техногенной, нагрузкой на растительность составляет: точка № 4 – ПНЗ № 36 на северо-запад 3,2 км; точка № 10 – ПНЗ № 34 на северо-запад 0,8 км; точка № 11 – ПНЗ № 34 на юго-запад 2,5 км.

Наименьшее расстояние от точек отбора образцов имеет ПНЗ № 36: менее 0,3 км на север от точки № 6 и менее 0,3 км на юго-запад от точки № 7. При этом в точках № 6–7 отмечена средняя активность каротиноидов и ОПЗФ ниже среднего – не менее чем на 10 %, что говорит о слабом влиянии загрязнения атмосферного воздуха на растительность в этих точках и, следовательно, о низком длительном уровне загрязнения атмосферного воздуха.

Таким образом, местоположение ПНЗ № 36, с точки зрения непрерывного и продолжительного влияния загрязнения атмосферного воздуха на растительность, не может в полной мере характеризовать загрязнение на территории г. Магнитогорска.

Результаты исследования в точках № 3, 6, 7 показывают, насколько разным может быть влияние длительного загрязнения атмосферного воздуха на растительность на относительно небольшом отрезке местности (расстояние между точками № 6 и 3 составляет порядка 2000 м). При этом расстояние между ПНЗ города существенно больше, чем расстояние между точками

*Метеорология**Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.*

№ 3, 6, 7. При наличии такой разряженной сети ПНЗ невозможно уверенно заявлять о репрезентативности данных о качестве атмосферного воздуха в городе, полученных на основе результатов измерений на ПНЗ. Следовательно, для развития и повышения эффективности системы наблюдений за состоянием атмосферного воздуха в г. Магнитогорске необходимо не только увеличить количество ПНЗ, но и установить их в точках максимального ожидаемого загрязнения атмосферного воздуха.

**Заключение**

В результате проведенных в 2016 г. исследований растительности в разных районах г. Магнитогорска были получены значения ОПЗФ ассимиляционных органов клена ясенелистного и содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в исследуемых образцах (рис. 2–3). Цель проведенного исследования достигнута, а полученные результаты исследований были использованы при разработке предложений по модернизации системы мониторинга атмосферного воздуха г. Магнитогорска.

Результаты исследований показали, что среднее значение ОПЗФ по всем пробным площадкам составляет 6 (высокая синтетическая активность), что свидетельствует о том, что в среднем на исследуемой территории растительность подвергается значимому воздействию внешних факторов. В точках № 1, 6, 7, 9 состояние растительности можно оценить как хорошее. В пробах, отобранных в точках № 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 13, отмечена повышенная фотосинтетическая активность, свидетельствующая о наличии негативного воздействия. Наименьшее значение ОПЗФ отмечено в фоновой точке № 2, расположенной в удалении от ПАО «ММК» в жилой зоне.

В результате исследования содержания каротиноидов в листьях получен результат, свидетельствующий, что растительность в 10 точках (№ 1–3, 5–9, 12–13) из 13 находится примерно в одинаковых условиях. У растительности в точках № 4, 10, 11 выявлена повышенная активность каротиноидов, что говорит о значимой антропогенной, в том числе техногенной, нагрузке на эти деревья.

Из всех 13 точек отбора образцов только в трех точках (№ 4, 10, 11) результаты двух проведенных исследований одновременно свидетельствуют об усиленной антропогенной, в том числе техногенной, нагрузке на растительность. Таким образом, полученный результат исследования растительности частично подтвердил результаты расчета рассеивания загрязняющих веществ (табл. 2).

По результатам исследования сделан вывод о том, что в г. Магнитогорске при наличии разряженной сети ПНЗ и проведенных на них измерениях невозможно уверенно судить о репрезентативности данных о качестве атмосферного воздуха в городе. Следовательно, для наиболее объективной оценки состояния загрязнения атмосферного воздуха необходимо привлечение дополнительных источников информации.

Наиболее правильным вариантом улучшения наблюдений за состоянием атмосферного воздуха в г. Магнитогорске было бы увеличение количества ПНЗ на территории города с установкой их вблизи точек № 4 (п. Новогорняцкий, ул. Л. Чайкиной, 20а), № 10 (ул. Рубинштейна, 4) и № 11 (п. Горнорудный).

В качестве одного из возможных путей для восполнения недостатков существующей стационарной сети проблемы разреженности сети ПНЗ можно рекомендовать внедрение маршрутных наблюдений при помощи передвижных лабораторий по полной или неполной программе.

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

## Библиографический список

1. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Сарапулцевой. 3-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 288 с.
2. Бухарина И.Н., Кузьмин П.А., Гибадулина И.И. Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Набережные Челны) // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2013. № 1. С. 20–25.
3. Григорьев Ю.С. Флуоресценция хлорофилла в биоиндикации загрязнения воздушной среды // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ). 2005, Т. 10, № 4. С. 77–91.
4. Григорьев Ю.С., Андреев Д.Н. К вопросу о методике регистрации замедленной флуоресценции хлорофилла при биоиндикации загрязнения воздушной среды на хвойных // Естественные науки. 2012, № 2 (39). С. 36–39.
5. Конституция Российской Федерации: принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020. Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
6. Лукаткин А.С., Регин В.В., Баймаков Д.И., Кренделева Т.Е., Антал Т.К., Рубин А.Б. Экологическая оценка состояния древесных растений г. Саранска по флуоресценции хлорофилла // Поволжский экологический журнал. 2011, № 1. С. 87–92.
7. Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учеб. пособие. СПб.: СПб ГТУРП, 2012. 67 с.
8. О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха: Федеральный закон от 26.07.2019 № 195-ФЗ: ред. от 26.03.2022. Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
9. Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды: Постановление Правительства Российской Федерации от 06.06.2013 № 477: ред. от 03.08.2020. Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
10. Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ: ред. от 11.06.2021. Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
11. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ: ред. от 14.07.2022. Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
12. Об утверждении правил проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию: приказ Минприроды России от 29.11.2019 № 813. Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
13. ООО «Расписание погоды»: официальный сайт. URL: <https://rp5.ru/>, (дата обращения 12.05.2023).
14. Опущина И.П., Сорокина Т.В. Характеристика состояния атмосферного воздуха в городе Магнитогорске для усовершенствования системы мониторинга // Проблемы антропогенной трансформации природной среды: материалы международной конференции, 14–15 ноября 2019 г. / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: ПГНИУ, 2019. С. 198–200.
15. Опущина И.П., Шкляев В.А. Оптимизация системы наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха в г. Магнитогорске // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка (21–22 апреля 2022 г.) / под ред. С.А. Бузмакова; ПГНИУ. Пермь, 2022. С. 316–321.
16. Опущина И.П. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе Магнитогорске и его связь с метеорологическими условиями // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады XXVI международной научно-практической конференции, Тула, 15 декабря 2019 года / Под общей редакцией В.М. Панарина. Тула: Издательство «Инновационные технологии», 2019. С. 54–57.
17. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы: утвержден Госкомгидрометом СССР; Главным государственным санитарным врачом СССР от 01.06.1989. Режим доступа: справочно-правовая система «Техэксперт». URL: <https://cndt.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
18. Рубин А.Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журнал. 2000, № 4. С. 7–13.
19. Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы «Эколог» Версия 3.0. Руководство пользователя. «Интеграл». URL: <https://integral.ru/Integral/userguides/uprza.pdf>, (дата обращения 02.05.2023).
20. Челябинский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Уральского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Челябинский ЦГМС – филиал ФГБУ «Уральское УГМС»). URL: <http://www.chelpogoda.ru/>, (дата обращения 12.05.2023).
21. Чеснокова С.М. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: учеб. пособие в 2 ч. Ч. 1. Методы биоиндикации. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. 84 с.

## References

1. Biologicheskij kontrol' okruzhayushchey sredy: bioindikatsiya i biotestirovaniye [Biological control of the environment: bioindication and biotesting]: textbook for students of higher educational institutions / ed. O.P. Melekhova and E.I. Sarapultseva. 3rd ed., stereotypical. M.: Publishing Center «Academy», 2010. 288 p.
2. Bukharina I.N. Analiz soderzhaniya fotosinteticheskikh pigmentov v list'yakh drevesnykh rasteniy v usloviyakh gorodskoy sredy (na primere g. Naberezhnyye Chelny) [Analysis of the content of photosynthetic pigments in the leaves of woody plants in an urban environment (on the example of Naberezhnyye Chelny)] / I.N. Bukharina, P.A. Kuzmin, I.I. Gibadulina // Bulletin of the Udmurt University. Series «Biology. Earth Sciences». 2013, no. 1.

## Метеорология

Опутина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

3. Grigoriev Yu.S. Fluorestsentsiya khlorofilla v bioindikatsii zagryazneniya vozduшной среды [Chlorophyll fluorescence in bioindication of air pollution] // Bulletin of the International Academy of Sciences of Ecology and Life Safety (IASSES). 2005, vol. 10, no. 4, pp. 77–91.
4. Grigoriev Yu.S. K voprosu o metodike registratsii zamedlennoy fluorestsentsii khlorofilla pri bioindikatsii zagryazneniya vozduшной среды na khvoynykh [To the question of the method of registration of delayed chlorophyll fluorescence during bioindication of air pollution in conifers] / Yu.S. Grigoriev, D.N. Andreev // Natural sciences. 2012, no. 2 (39), pp. 36–39.
5. Konstitutsiya Rossiyskoy Federatsii [The Constitution of the Russian Federation]: adopted by popular vote on 12.12.1993 with amendments approved during the nationwide vote on 07.01.2020. Access mode: reference and legal system «ConsultantPlus».
6. Lukatkin A.S. Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya drevesnykh rasteniy g. Saranska po fluorestsentsii khlorofilla [Ecological assessment of the state of woody plants in the city of Saransk by chlorophyll fluorescence] / A.S. Lukatkin, V.V. Revin, D.I. Bashmakov, T.E. Krendeleva, T.K. Antal, A.B. Rubin // Povolzhsky ecological journal. 2011, no. 1, pp. 87–92.
7. Lyashenko O.A. Bioindikatsiya i biotestirovaniye v okhrane okruzhayushchey sredy [Bioindication and biotesting in environmental protection]: tutorial. St. Petersburg: St. Petersburg SUITD, 2012, 67 p.
8. O provedenii eksperimenta po kvotirovaniyu vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv i vnesenii izmeneniy v otdel'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii v chasti snizheniya zagryazneniya atmosfernogo vozdukhа [On conducting an experiment on quotas for pollutant emissions and amending certain legislative acts of the Russian Federation in terms of reducing air pollution]: Federal Law No. 195-FZ of 26.07.2019: red. dated 26.03.2022. Access mode: reference and legal system «ConsultantPlus».
9. Ob osushchestvlenii gosudarstvennogo monitoringa sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy [On the implementation of state monitoring of the state and pollution of the environment]: Decree of the Government of the Russian Federation of 06.06.2013 No. 477: red. dated 03.08.2020. Access mode: reference and legal system «ConsultantPlus».
10. Ob okhrane atmosfernogo vozdukhа [On the protection of atmospheric air]: Federal Law of 04.05.1999 No. 96-FZ: red. dated 06.11.2021. Access mode: reference and legal system «ConsultantPlus».
11. Ob okhrane okruzhayushchey sredy [On environmental protection]: Federal Law of 10.01.2002 No. 7-FZ: red. dated 14.07.2022. – Access mode: reference and legal system «ConsultantPlus».
12. Ob utverzhdenii pravil provedeniya svodnykh raschetov zagryazneniya atmosfernogo vozdukhа, vkluchaya ikh aktualizatsiyu [On approval of the rules for conducting summary calculations of atmospheric air pollution, including their updating]: order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 29.11.2019 No. 813. Access mode: legal reference system «ConsultantPlus».
13. ООО «Raspisaniye pogody»: official website. URL: <https://rp5.ru/>, (accessed 12.05.2023).
14. Oputina I.P. Kharakteristika sostoyaniya atmosfernogo vozdukhа v gorode Magnitogorske dlya usovershenstvovaniya sistemy monitoring [Characteristics of the state of atmospheric air in the city of Magnitogorsk to improve the monitoring system] / I.P. Oputina, T.V. Sorokina // Problems of anthropogenic transformation of the natural environment: proceedings of the international conference, November 14–15, 2019 / ed. S.A. Buzmakov. Perm: PSU, 2019, pp. 198–200.
15. Oputina I.P. Optimizatsiya sistemy nablyudeniya za zagryazneniyem atmosfernogo vozdukhа v g. Magnitogorske [Optimization of the monitoring system for atmospheric air pollution in Magnitogorsk] I.P. Oputina, V.A. Shklyayev // Ecological safety in the conditions of anthropogenic transformation of the natural environment: a collection of materials from the All-Russian school-seminar dedicated to the memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark (April 21–22, 2022) / ed. S.A. Buzmakova; PSNIU. Electronic data. Perm, 2022, pp. 316–321.
16. Oputina I.P. Uroven' zagryazneniya atmosfernogo vozdukhа v gorode Magnitogorske i yego svyaz' s meteorologicheskimi usloviyami [The level of atmospheric air pollution in the city of Magnitogorsk and its connection with meteorological conditions] / I.P. Oputina // Priority directions for the development of science and technology: reports of the XXVI international scientific and practical conference, Tula, 15.12.2019 / Under the general editorship of V.M. Panarina. Tula: Publishing house «Innovative technologies», 2019, pp. 54–57.
17. RD 52.04.186-89 Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery [Guidelines for air pollution control]: approved by the USSR State Committee for Hydrometeorology; Chief State Sanitary Doctor of the USSR dated 06.01.1989. – Access mode: legal reference system «Techexpert».
18. Rubin A.B. Biofizicheskiye metody v ekologicheskom monitoring [Biophysical methods in environmental monitoring] // Soros Educational Journal. 2000, no. 4, pp. 7–13.
19. Unified program for calculating air pollution «Ecolog» Version 3.0. User manual // Firm «Integral»: site. URL: <https://integral.ru/Integral/userguides/uprza.pdf>, (accessed 02.05.2023).
20. Chelyabinsk Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring – branch of the Federal State Budgetary Institution «Ural Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring» (Chelyabinsk CHEM – branch of the Federal State Budgetary Institution «Ural CHEM»): website. URL: <http://www.chelpogoda.ru/>, (accessed 12.05.2023).
21. Chesnokova S.M. Biologicheskkiye metody otsenki kachestva ob'yektov okruzhayushchey sredy [Biological methods for assessing the quality of environmental objects]: study guide in two parts – Part 1. Methods of bioindication. – Vladimir: Publishing house Vladimir state university, 2007, 84 p.

Статья поступила в редакцию: 24.08.23, одобрена после рецензирования: 10.10.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 24 August 2023; approved after review: 10 October 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

*Метеорология**Опутина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.*

## Информация об авторах

## Information about the authors

**Ирина Павловна Опутина**

научный сотрудник отдела прикладной экологии  
ФГБУ УралНИИ «Экология»;  
614039, Россия, г. Пермь, Комсомольский просп., 61а  
e-mail: oputinaip@ecologyperm.ru

**Irina P. Oputina**

Researcher, Department of Applied Ecology,  
Research Institute UralNII Ecology;  
61a, Komsomolsky prospekt, Perm, 614039, Russia  
e-mail: oputinaip@ecologyperm.ru

**Владимир Александрович Шкляев**

кандидат географических наук, доцент, профессор  
кафедры метеорологии и охраны атмосферы,  
Пермский государственный национальный  
исследовательский университет;  
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;  
научный сотрудник отдела прикладной экологии  
ФГБУ «УралНИИ «Экология»;  
614039, Россия, г. Пермь, Комсомольский просп., 61а  
e-mail: shklyaeavl@yandex.ru

**Vladimir A. Shklyayev**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,  
Professor, Department of Meteorology and Atmospheric  
Protection, Perm State University;  
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia;  
Researcher, Department of Applied Ecology, Research  
Institute UralNII Ecology;  
61a, Komsomolsky prospekt, Perm, 614039, Russia

**Наталья Валерьевна Костылева**

кандидат технических наук, начальник отдела  
прикладной экологии ФГБУ «УралНИИ «Экология»;  
614039, Россия, г. Пермь, Комсомольский просп., 61а;  
доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы  
Пермский государственный национальный  
исследовательский университет;  
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
e-mail: nkost@ecologyperm.ru

**Natalya V. Kostyleva**

Candidate of Engineering Sciences, Head of the  
Department of Applied Ecology, Research Institute  
UralNII Ecology;  
61a, Komsomolsky prospekt, Perm, 614039, Russia;  
Associate Professor, Department of Biogeocenology  
and Nature Protection, Perm State University;  
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

**Вклад авторов**

Опутина И.П. – проведение отбора опытных образцов, обработка результатов, написание разделов: «Материалы и методы исследования», «Результаты», «Обсуждения».

Шкляев В.А. – написание разделов: «Введение», «Заключение», «Обсуждения».

Костылева Н.В. – идея, организация и руководство исследованием, проведение отбора опытных образцов, написание разделов: «Введение», «Заключение».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors**

Irina P. Oputina – selection of the samples; processing of the results; writing of the sections: Research Materials and Methods, Results, Discussion.

Vladimir A. Shklyayev – writing of the sections: Introduction, Conclusion, Discussion.

Natalya V. Kostyleva – the idea; organization and management of the experiment; selection of the samples, writing of the sections: Introduction, Conclusion.

The authors declare no conflict of interest.