

УДК 502.3:502.175:574.21(476-25)

**О.С. РЫШКЕЛЬ**, канд. с./х. наук, доцент,  
доцент кафедры инженерной психологии и эргономики  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Беларусь

**Н.А. ГЛИНСКАЯ**, канд. с./х. наук, доцент,  
доцент кафедры биохимии и биоинформатики<sup>1</sup>

**Е.С. СИЛЬЧЕНКО**  
ассистент кафедры биохимии и биоинформатики,  
магистр прикладной биотехнологии<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Полесский государственный университет,  
г. Пинск, Республика Беларусь

*Статья поступила 6 октября 2023 г.*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ХВОИ СОСНЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСТОТЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА МИНСКА И ГОРОДА ПИНСКА**

*В последние годы наблюдается высокая техногенная нагрузка на окружающую среду. Это приводит к поступлению большого количества загрязняющих веществ в воздушный бассейн города, что отрицательно влияет как на состояние природной среды, так и на здоровье населения.*

*Качество атмосферного воздуха является важнейшей характеристикой экологического состояния любой территории, поэтому наблюдение, оценка и прогноз его загрязнения, а также выработка рекомендаций для принятия решений в области управления качеством атмосферного воздуха являются важными задачами мониторинга, проводимого на пунктах наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, включенных в Государственный реестр пунктов наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь.*

*В статье представлены результаты исследований (2019-2020 гг.) по оценке загрязнения воздуха четырех районов города Минска, а также города Пинска и близлежащего района.*

*По результатам оценки состояния хвои сосны обыкновенной следует отметить, что из-за меньшей техногенной нагрузки на растения, показатели загрязнения города Пинска и близлежащего района по повреждению и усыханию хвои сосны значительно лучше (доля поврежденных хвоинок (2-3 класс) – от 2% до 8%, доля усохших хвоинок (2-3 класс) – от 3% до 5%, по сравнению с результатами по четырем районам города Минска (доля поврежденных хвоинок (2-3 класс) – от 6% до 27%, доля усохших хвоинок (2-3 класс) – от 5% до 30%.*

**Ключевые слова:** *загрязнение, атмосферный воздух, биомониторинг, фитоиндикация, сосна обыкновенная.*

**RYSHKEL A.**, PhD in Agric. Sc., Associate Professor  
Associate Professor of Engineering Psychology and Ergonomics,  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics Minsk, Republic of Belarus

**GLINSKAYA N.**, PhD in Agric. Sc., Associate Professor  
Department of Biochemistry and Bioinformatics<sup>1</sup>

**SILCHENKO E.**

Master of Applied Biotechnology, Assistant at the Department of Biochemistry and Bioinformatics<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Polesky State University, Pinsk, Republic of Belarus

## COMPARATIVE ANALYSIS OF PINE NEEDLES TO DETERMINE THE PURITY OF THE ATMOSPHERIC AIR OF THE CITY OF MINSK AND THE CITY OF PINSK

*In recent years, there has been a high technogenic load on the environment. This leads to the entry of a large amount of pollutants into the city's air basin, which negatively affects both the state of the natural environment and the health of the population.*

*The quality of atmospheric air is the most important characteristic of the ecological state of any territory, therefore, monitoring, assessment and forecast of its pollution, as well as the development of recommendations for decision-making in the field of atmospheric air quality management are important tasks of monitoring carried out at observation points for the state of atmospheric air included in the State Register of observation points of the National Environmental Monitoring System in the Republic Belarus.*

*The article presents the results of studies (2019-2020) on the assessment of air pollution in four districts of the city of Minsk, as well as the city of Pinsk and the surrounding area.*

*According to the results of the assessment of the state of pine needles, it should be noted that due to the lower man-made load on plants, the pollution indicators of the city of Pinsk and nearby area for damage and drying of pine needles are much better (the proportion of damaged needles (2-3 class) is from 2% to 8%, the proportion of shrunken needles (2-3 class) is from 3% to 5%), compared with the results for four districts of Minsk (the proportion of damaged needles (2-3 grade) – from 6% to 27%, the proportion of shrunken needles (2-3 grade) – from 5% to 30%).*

**Keywords:** *pollution, atmospheric air, biomonitoring, phytoindication, Pinus sylvestris L.*

**Введение.** Как известно, основными компонентами атмосферно воздуха являются азот (78%), кислород (21%), углекислый газ (0,03%), аргон (0,94%) и небольшое количество других газов – гелия, неона и др., а также водяной пар.

В состав атмосферного воздуха входят различные примеси природного и антропогенного происхождения. К естественным химическим компонентам относятся соединения, которые накапливаются в результате природных процессов – извержений вулканов, магнитной или гидротермальной активности. К искусственным загрязнителям атмосферного воздуха, накопление которых в основном связано с работой автотранспорта и промышленных предприятий, причисляют оксиды углерода, серы и азота, твердые частицы (пыль, зола, сажа), углеводороды, аммиак, сероводород, сероуглерод, озон, полициклические ароматические углеводороды, хлор- и фторорганические соединения, свинец, кадмий, ртуть, пахучие многокомпонентные соединения и др. Они могут причинять ущерб человеку и различным объектам окружающей среды, строениям и архитектурным памятникам, металлическим и бетонным конструкциям [1, с. 29; 2, с. 100].

Проблема надлежащего качества атмосферного воздуха весьма актуальна в силу изменчивости этой среды, зависимости ее

состояния от сочетания многих факторов (метеоусловий, орографии, размещения источников выбросов и пр.), динамичности происходящих в ней процессов, влияния ее на здоровье населения.

В связи с усилением антропогенного воздействия на окружающую среду и ухудшением экологической обстановки актуальной задачей экологии является разработка таких методов контроля состояния окружающей среды, которые максимально точно локализовали бы неблагоприятные ситуации и давали возможность оптимизировать природоохранные затраты. Для наблюдения и оценки состояния атмосферного воздуха, а также для определения степени его загрязнения применяются методы биоиндикации.

Изучение растений в населенных пунктах – это одно из важных направлений экологии. Такие исследования проводятся с разными целями: для оценки изменений растительных сообществ в условиях сильной антропогенной нагрузки, для отбора растений, пригодных для озеленения, для мониторинга за состоянием окружающей среды с помощью растений – биоиндикации. Биомониторинг осуществляется не только путем наблюдений за состоянием фитоценоза в целом или популяцией определенного вида, но и за отдельными растениями-индикаторами, в качестве которых используются традиционные объек-

ты, такие как лишайники, водоросли, зообентос, травянистые растения и их сообщества, древесно-кольцевые структуры, представители почвенной микрофауны. На уровне вида обычно производят специфическую индикацию какого-то одного загрязнителя, а на уровне популяции или фитоценоза – общего состояния среды [3, с. 22; 4, с. 74; 5, с. 146].

В нашей работе индикаторными объектами, указывающими на наличие загрязняющего вещества в воздухе своими морфологическими реакциями в процессе роста и развития, являются хвоинки сосны обыкновенной. С помощью анализа их состояния можно дать оценку степени загрязнения атмосферного воздуха без лишних затрат на оборудование и реактивы [2, с. 104].

Цель наших исследований – определение состояния хвои сосны обыкновенной для определения чистоты атмосферного воздуха. Задачами является изучение состояния хвои сосны обыкновенной на разных участках двух городов Республики Беларусь, проведение сравнительного анализа количества поврежденной хвои сосны и обобщение результатов исследования, на основе которых сделаны выводы.

**Материалы и методы исследования.** Исследования проводились в 2019-2020 гг.

Объект исследований – хвоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Место исследований – город Минск и город Пинск.

Минск – крупнейший промышленный центр и транспортный узел страны. Такие предприятия города, как «Атлант», «Интеграл», «Минский тракторный завод», «Горизонт» и др. производят более одной пятой объема промышленной продукции республики, экспортируемой во многие страны мира. Однако они оказывают негативное влияние на экологическую ситуацию города.

В то же время, следует отметить, что город Минск характеризуется большим количеством лесопарковых зон. Обеспеченность населения ландшафтно-рекреационными территориями ( $m^2/чел$ ), согласно ТКП 45-3.01-116-2008, должна составлять в жилой застройке – 9-10, территории общего пользования – 9-11 [6, с. 29].

Исследования проводили в лесопарках, которые расположены в четырех районах города Минска (Партизанском, Заводском,

Центральном, Ленинском). Они имеют отличия по площади, видовому и количественному составу флоры и фауны, степени промышленной загрязненности, антропогенной нагрузке.

Партизанский район – самый промышленный район города Минска. Общая площадь составляет  $64.6 км^2$ . Здесь расположены такие промышленные предприятия, как ОАО «Минский тракторный завод», ОАО УКХ «Минский моторный завод», ОАО «Минский завод шестерен», ОАО «Минский электротехнический завод им. В.И. Козлова», ОАО «Минский завод автоматических линий им. П.М. Машерова», ОАО «УКХ «Белкоммунмаш» и др.

Заводской район расположен в юго-восточной части города Минска на площади  $58 км^2$ . Граничит с Партизанским и Ленинским районами. В районе расположены такие гиганты индустрии, как ОАО «Минский подшипниковый завод», ОАО «Минский завод колесных тягачей», ООО «Завод автомобильных прицепов и кузовов «МАЗ-Купава», ОАО «Минский автомобильный завод» – управляющая компания холдинга «Белавтомаз», ОАО «Минскжелезобетон», ОАО «Минскдрев», ОАО «Гормолзавод №2» и др.

Центральный район размещен на площади  $22 км^2$ . На его территории наиболее крупными являются ЗАО «Атлант», СП ЗАО «Милавица», КУП «Минскхлебпром», ОАО «Пивоваренная компания Аливария», ООО «ТРАЙПЛ», СЗАО «ТрайплЭнерго».

Ленинский район занимает площадь свыше  $23 км^2$ . Территория района имеет большую транспортную и промышленную нагрузку. Среди 14 промышленных предприятий наиболее крупными являются ООО «МотоВелоЗавод», ОАО «Камволь», ОАО «Минск Кристалл», кондитерская фабрика СОАО «Коммунарка». Пятую часть территории района занимают парки, скверы, бульвары, искусственные и естественные водоемы, среди которых парк имени Грековой, Александровский сквер, Лошицкое садово-парковое хозяйство.

В ходе исследований отбор хвои сосны проводили на учетных полосах в центре лесопарка «Степанка» Партизанского района, парка «имени 50-летия Великого Октября» Заводского района, парка «Победы» Цен-

трального района, Лошицкого парка Ленинского района.

Пинск – город, расположенный на юге республики Беларусь, на реке Пина, в 193 км на восток от Бреста. Он является крупным транспортным узлом. Здесь проходят железнодорожная и автомагистраль Гомель-Брест, речной судоходный путь по Пине, Припяти. В городе работает более 50 промышленных предприятий (ЗАО «Амкодор-Пинск» – производитель дорожно-строительной техники, ОАО «Пинский завод средств малой механизации», ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев» – крупнейшее белорусское деревообрабатывающее предприятие, ОАО «Полесье» – трикотажное предприятие и др.). Качество атмосферного воздуха в городе, в первую очередь, зависит от объемов выбросов загрязняющих веществ данных предприятий.

Для проведения исследований выбрали две учетные территории: первая в городе Пинске вблизи улицы Парковой, вторая – за городом на участке смешанного леса. Расстояние между двумя учетными территориями около 50 км (принято произвольно).

Определение качества атмосферного воздуха по оценке состояния хвои сосны обыкновенной проводили путем отбора на учетных полосах с ветвей 25 деревьев (8-15 летнего возраста, на высоте до 5 метров) со средней части кроны по два побега одинаковой длины (примерно по 10-12 см). С них отбирали хвою второго и третьего года жизни и визуальную оценивали. Степень повре-

ждения и усыхания хвои определяли по шкалам (табл. 1, 2) [3, с. 23].

**Результаты и их обсуждение.** В связи с высоким промышленным потенциалом и значительной нагрузкой автотранспорта на состояние воздушного бассейна г. Минска экологическая обстановка, сложившаяся в столице, требует постоянного внимания к вопросам предотвращения загрязнения атмосферного воздуха.

На территории всех четырех районов города Минска было исследовано практически одинаковое количество хвоинок (6274-6308 штук).

Следует отметить, что наибольшее количество хвоинок первого класса, для которого характерны хвоинки без пятен, обнаружено в Ленинском районе – 82%, несколько меньше в Центральном – 78%. Заводской и Партизанский районы отличаются по данному показателю от предыдущих районов более низкими значениями (54% и 46% соответственно) (рис. 1).

К тому же, в Партизанском и Заводском районах отмечено наибольшее количество поврежденных хвоинок (27% и 23% соответственно), причем одинаковое их количество как второго, так и третьего классов.

В Центральном и Ленинском районах количество поврежденных хвоинок (2-го и 3-го классов) незначительное, а их количество с большим числом крупных черных и желтых пятен во всю ширину хвоинки составляет лишь 8% и 6% соответственно.

Таблица 1. – Классы повреждения хвои сосны обыкновенной

Класс	Повреждение хвои
1	хвоинки без пятен
2	с небольшим числом мелких пятен
3	с большим числом черных и желтых пятен, некоторые из них крупные, во всю ширину хвоинки

Таблица 2. – Классы усыхания хвои сосны обыкновенной

Класс	Усыхание хвои
1	нет сухих участков
2	усыхание кончика на 2-5 мм
3	усохла треть хвоинки
4	вся хвоинка желтая или более половины ее длины сухая

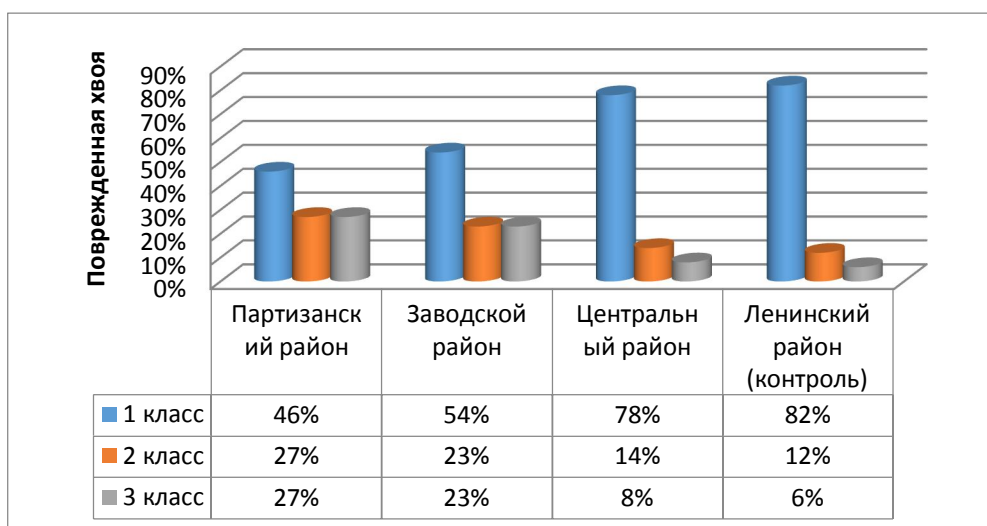


Рисунок 1. – Показатели загрязнения районов Минска по повреждению хвои сосны

Проанализировав количество усохшей хвои, можно отметить, что сохранилась такая же тенденция, как по повреждению хвои сосны.

В Ленинском районе наблюдалось наибольшее количество хвоинок первого класса (86%) и наименьшее количество третьего класса, для которого характерно треть усыхания поверхности (5%) (рис. 2).

Высокая доля усохших хвоинок отмечается по второму классу в Партизанском и Заводском районах (30% и 32% соответственно).

Нужно отметить, что доля усохших хвоинок третьего класса по всем исследуемым

районам города невысокая – от 5% (Ленинский район) до 17% (Партизанский район).

Повреждений, при которых вся хвоинка желтая или более половины ее длины сухая, не отмечено ни в одном административном районе города Минска.

Проведенная оценка показала, что растения сосны обыкновенной, произрастающие в Партизанском и Заводском районах столицы, испытывают большую техногенную нагрузку, что отражается на состоянии хвои и объясняется, вероятно, высокой антропогенной нагрузкой и низкими показателями средней озелененности жилых и производственно-коммунальных зон.

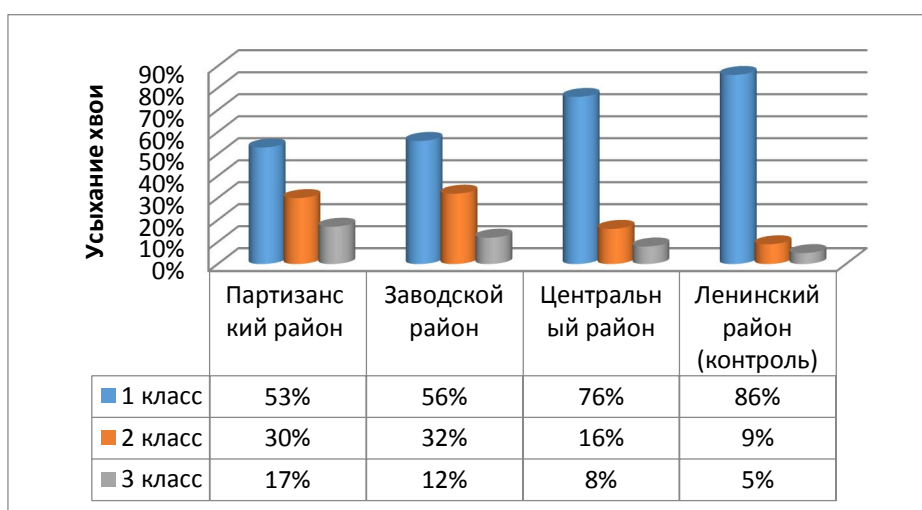


Рисунок 2. – Показатели загрязнения районов Минска по усыханию хвои сосны



Благоприятнее ситуация складывается в Центральном и Ленинском районах г. Минска. Несмотря на большое количество производств, данные районы имеют достаточное количество зеленых зон, способствующих частично снизить негативное влияние предприятий и транспорта.

В целом, состояние атмосферы города Минска является приемлемым для проживания. Однако условия городской среды оказывают негативное влияние на чистоту воздуха.

Проведенные обследования учетных территорий города Пинска и Пинского района показали несколько другие результаты.

Количество хвои сосны обыкновенной, отобранной согласно методике для визуальной оценки, было несколько больше, чем в городе Минске (6982-7021 шт.).

Доля поврежденных хвоинок по городу Пинску составила 87% первого класса, где

хвоинки без пятен, 8% второго класса, при наличии небольшого числа мелких пятен и 5% третьего класса с большим числом черных и желтых пятен, некоторые из них крупные, во всю ширину хвоинки (рис. 3).

Следует отметить, что процент поврежденной хвои незначительный и находится в пределах значений, которые были получены по Ленинскому району города Минска как наиболее благоприятному.

Несколько выше данный показатель был получен по Пинскому району. Доля здоровых хвоинок выросла до 93% (первый класс), а их количество с большой площадью повреждения снизилось до 2% (3 класс).

Иначе сложилась ситуация по усыханию хвои сосны. Результаты по исследуемому показателю одинаковые как по городу Пинску, так и по Пинскому району (рис. 4).

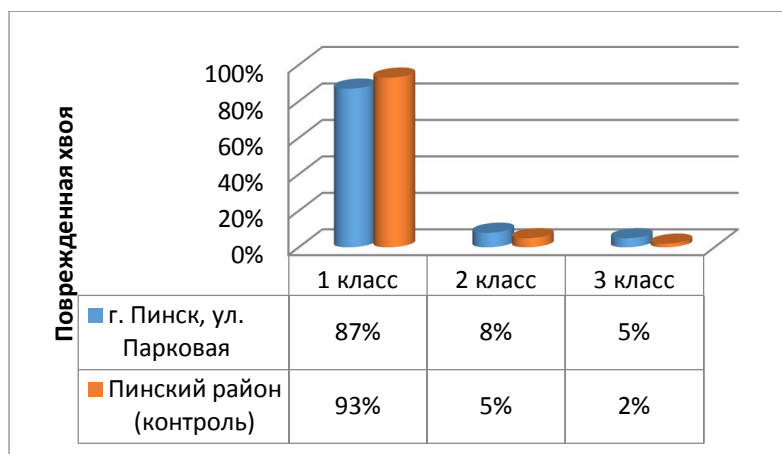


Рисунок 3. – Показатели загрязнения г. Пинска и его района по повреждению хвои сосны

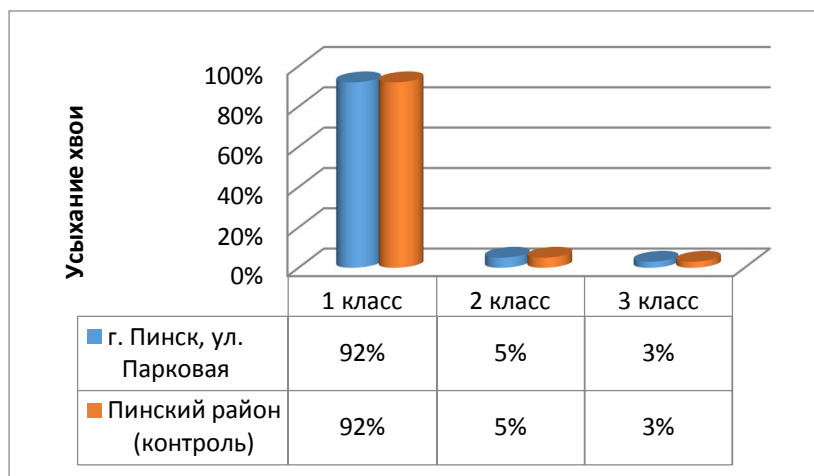


Рисунок 4. – Показатели загрязнения г. Пинска и его района по усыханию хвои сосны

Доля хвоинок первого класса (нет усохших участков) по двум учетным территориям составила 92%, второго класса (усыхание кончика на 2-5 мм) – 5%, третьего класса (усохла третья часть) – 3%.

**Заключение.** Биомониторинг осуществляется путем наблюдений за отдельными растениями-индикаторами. Методика биоиндикации по состоянию хвои сосны достаточно чувствительная и информативная, позволяющая выявить степень загрязнения атмосферы. Это, в свою очередь, поможет человеку проконтролировать чистоту воздуха, а, следовательно, своевременно принять меры по уменьшению нагрузки на окружающую среду и на свое здоровье.

По результатам оценки состояния хвои сосны обыкновенной города Минска и города Пинска было установлено:

1. Наибольшую техногенную нагрузку (по показателю повреждения хвои) испытывают растения Партизанского района Минска (46% хвоинок – 1 класс, 27% – 3 класс) и район ул. Парковой города Пинска (87% хвоинок – 1 класс, 5% – 3 класс), а наименьшую – Ленинского района Минска (82% хвоинок – 1 класс, 6% – 3 класс.) и территория Пинского района (93% хвоинок – 1 класс, 2% – 3 класс).

2. По показателю усыхания хвои сосны в Минске наблюдалась такая же тенденция (в Партизанском районе 53% хвоинок – 1 класс, а в Ленинском районе - 86%, соответственно 17% и 5% относятся к 3 классу), а по городу Пинску и Пинскому району были получены одинаковые значения (92% – 1 класс, 3% – 3 класс).

3. В целом, состояние атмосферы города Минска и города Пинска является приемлемым для человека, однако условия городской среды оказывают негативное влияние на чистоту воздуха.

#### Список литературы

1. Рышкель, И. В. Оценка состояния атмосферного воздуха города Минска / И. В. Рышкель, О. С. Рышкель, А. Ю. Хацкевич // Вестник ПолессГУ. Сер. Природоведческих наук. – 2016. – № 2. – С. 29-33.
2. Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие / под ред. Т. Я. Ашихминой. – М.: Академический проект, 2006. – 416 с.

3. Рышкель, И. В. Использование метода биоиндикации для определения чистоты атмосферного воздуха / И. В. Рышкель, О. С. Рышкель, Ю. В. Мурашко // Экологический вестник. – 2016. – № 4 (38). – С. 22-25.
4. Мандра, Ю. А Место и роль фитоиндикации в общей системе экологического мониторинга / Ю. А. Мандра // Вестник МГТУ «Станкин». – 2010. – №1. – С. 74-79.
5. Мелехова, О. П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование : учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений – 2-е издание испр. / О. П. Мелехова, Е. И. Сарапульцева, Т. И. Евсеева. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – С. 146-153.
6. Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки: ТКП 45-3.01-116-2008. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – 2018. – 68 с.

#### References

1. Ryshkel I., Ryshkel O., Khatskevich A. Oczenka sostoyaniya atmosfernogo vozdukha goroda Minska [Assessment of the state of the atmospheric air of the city of Minsk]. *Vestnik Poleskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya prirodovedcheskikh nauk* [Bulletin of Palesky State University. Series in natural sciences]. 2016, pp. 29-33. (In Russian)
2. Ashikhmina C. *E`kologicheskij monitoring* [Environmental monitoring: an educational and methodological guide]. Moscow. Academic Project. 2006, 416 p. (In Russian)
3. Ryshkel I., Ryshkel O., Murashko S. Ispol`zovanie metoda bioindikaczii dlya opredeleniya chistoty` atmosfernogo vozdukha [Using the bioindication method to determine the purity of atmospheric air]. *E`kologicheskij vestnik* [Ecological Bulletin]. 2016, pp. 22-25. (In Russian)
4. Mandra U. Mesto i rol` fitoindikaczii v obshhej sisteme e`kologicheskogo monitoringa [The place and role of phyto-indication in the general system of environmental monitoring]. *Vestnik MGTU «Stankin»* [Bulletin of MSTU «Stankin»]. 2010, pp. 74-79. (In Russian)

5. Melekhova O., Sarapultseva E., Evseeva T. *Biologicheskij kontrol` okruzhayushhej sredy`: bioindikacziya i bio-testirovanie* [Biological control of the environment: bio-indication and biotesting: a textbook for students higher studies establishments]. Moscow. Publishing Center «Academy». 2008, pp. 146-153. (In Russian)
6. *Gradostroitel'stvo. Naseenny'e punkty`. Normy` planirovki i zastrojki: TKP 45-3.01-116-2008* [Urban planning. Localities. Planning and building standards. TKP 45-3.01-116-2008]. Minsk: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus. 2018, 68 p. (In Russian)

*Received 6 October 2023*