

могут оказать влияние на фитосанитарное состояние посадок ивы и тополя при расширении монокультурных плантаций [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Республики Беларусь от 16 ноября 2015 года № 461 «О проекте международного договора» (Указ Президента Республики Беларусь от 16 ноября 2015 года № 461 «О проекте международного договора»). Режим доступа: [http://www.etalonline.by/document/?regnum=p31500461&q\\_id=0](http://www.etalonline.by/document/?regnum=p31500461&q_id=0) - Дата доступа 27.09.2021.
2. *Stobrawa, K. Poplars (Populus spp.): Ecological Role, Applications and Scientific Perspectives in the 21st Century (Reviewpaper)*. 2014. *Baltic Forestry* 20(1): 204-213 Режим доступа: [https://www.balticforestry.mi.lt/bf/PDF\\_Articles/2014-20\[1\]/Poplars\\_Ecological%20Role.Applications%20and%20Scientific%20Perspectives\[Review\].pdf](https://www.balticforestry.mi.lt/bf/PDF_Articles/2014-20[1]/Poplars_Ecological%20Role.Applications%20and%20Scientific%20Perspectives[Review].pdf) Дата доступа 27.01.2022.
3. *Kuzovkina, Y.A.; Quigley, M.F. Willows Beyond Wetlands: Uses of Salix L. Species for Environmental Projects March 2005 Water Air and Soil Pollution* 162(1):183-204. Режим доступа: [http://cag.uconn.edu/plsc/plsc/files/Kuzovkina\\_2\\_3892275331.pdf](http://cag.uconn.edu/plsc/plsc/files/Kuzovkina_2_3892275331.pdf) Дата доступа 27.01.2022.
4. *Копиця В. Н. Вредители промышленных энергетических плантаций быстрорастущей ивы в условиях Республики Беларусь*, В. Н. Копиця, О. И. Родькин, О. А. Шкутник, №7 № 1(7)2009, Экологический вестник,

## ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В Г. МИНСКЕ ЗА ПЕРИОД 2020–2021 гг. ПО ДАННЫМ АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ CHANGES IN AIR TEMPERATURE IN MINSK CITY FOR THE PERIOD 2020–2021 DATA FROM AUTOMATIC METEOROLOGICAL STATIONS

**Т. В. Шлендер<sup>1</sup>, Е. А. Чумаков<sup>2</sup>,  
А. О. Сычевский<sup>2</sup>, Е. А. Прокопчик<sup>2</sup>, М. А. Крупская<sup>2</sup>  
T. Schlender<sup>1</sup>, Y. Chumakov<sup>2</sup>, A. Sychevskiy<sup>2</sup>, Y. Prakopchik<sup>2</sup>, M. Krupskaya<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Национальный научно-исследовательский центр озоносферы БГУ  
<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, Факультет географии и геоинформатики  
г. Минск, Республика Беларусь  
[timajaya@mail.ru](mailto:timajaya@mail.ru)  
[zhenya.chumakov.02@mail.ru](mailto:zhenya.chumakov.02@mail.ru)  
[a.i.g.o.r@mail.ru](mailto:a.i.g.o.r@mail.ru)  
[ogurchikop7@gmail.com](mailto:ogurchikop7@gmail.com)  
[mandelshtamoo@gmail.com](mailto:mandelshtamoo@gmail.com)

<sup>1</sup>National Ozone Monitoring and Research Center BSU  
<sup>2</sup>Faculty of geography and geoinformatics BSU, Minsk, Republic of Belarus

В работе рассматривается климат города, его характерные черты и факторы. Делается акцент на распределение температуры воздуха в городе, городском острове тепла и методах ее исследования. Приводятся данные автоматических метеорологических станций и дорожных измерительных станций г. Минска и пригорода обработанные в Python. Построены карты температур воздуха г. Минска за период 2020-2021 гг. за весь период и в отдельные месяцы года в программе ГИС ArcGIS. Полученные результаты относительно схожи с данными спутниковых снимков поверхностной температуры. Сравнивается мощность городского острова тепла г. Минска в различные сезоны года и с другими прошлыми исследованиями по г. Минска.

The paper considers the climate of the city, its characteristic features and factors. Emphasis is placed on the distribution of air temperature in the city, urban heat island and methods of its study. Data from automatic meteorological stations and road measuring stations in Minsk and its suburbs are given. Maps of air temperatures in Minsk for the period 2020-2021 were built for the whole period and in certain months of the year. The obtained results are relatively similar to the data of satellite images of land surface temperature. The range of the urban heat island in Minsk in different seasons of the year is compared with other previous studies in Minsk.

*Ключевые слова:* климат города, городской остров тепла, автоматические метеостанции, ArcGIS, температура воздуха

*Keywords:* urban climate, urban heat island, automatic weather stations, ArcGIS, air temperature.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-186-190>

Климат – многолетний режим погоды для данной местности, которая зависит от солнечной радиации, подстилающей поверхности, рельефа и циркуляции атмосферы [1]. Городской климат отличается тем, что, помимо выше перечисленного, дополнительными, а зачастую и основными факторами являются состав и свойства подстилающей поверхности (альbedo, геометрия зданий, улиц), степень застройки (этажность, плотность) и антропогенные выбросы (газовые и тепловые) автотранспорта и промышленных предприятий [2]. Таким образом, изменения глобального климата происходят на фоне роста площадей и населения городов, что создает локальные и микроклиматические особенности города. В работе [3] выделяются слои в различных масштабах города. Слой, располагающийся ниже уровня крыш зданий (так называемый пологий городской слой, urban canopy layer, UCL) и между особо стоящих зданий, относится к микромасштабу (см. рис. 1). Здесь важную роль в этом городском микроклимате играют характеристики радиационного обмена, между стенами зданий, растениями и геометрией улиц. Слой, до 100-150 м высотой и в пределах нескольких кварталов, улиц, так называемый городской пограничный слой (urban boundary layer, UBL) относится к локальному масштабу климата города. И последний слой в рамках 1 км высотой над городом относится к планетарному граничному слою (planetary boundary layer, PBL), где воздух свободный и мало подвержен влиянию города.

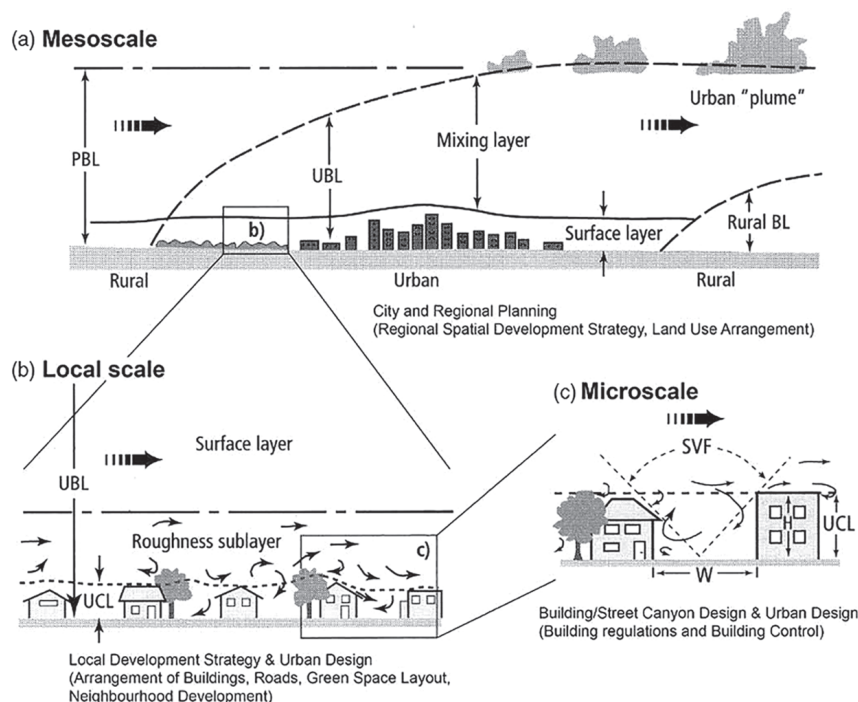


Рисунок 1 – Различные масштабы и слои городского климата [3].

В связи с этим возникает проблема городского острова тепла (ГОТ) как явление характерное только для городских территорий, в том числе и для различных масштабов и слоев городского климата. Как для всего города в целом, так и для отдельных его локальных зон и микромасштабных территорий планировки. ГОТ можно исследовать несколькими методами: наземные – когда используются данные, в пределах города, наземных метеостанций, автоматических метеостанций (АМС), ручных измерений, автомобильных или других транспортных средств перемещения метеопараметры; дистанционные – использование спутниковых снимков для определения поверхностной температуры (land surface temperature, LST) и расчета на основе этих данных ГОТ; численные – применение математических моделей для описания метеопараметров в рамках городской застройки с учетом радиационных и теплофизических свойств подстилающей поверхности. В каждом из методов есть свои преимущества и недостатки. Например, численные модели позволяют полностью отразить все критерии ГОТ, но могут иметь погрешности в степени параметризации и интерполяции ГОТ. Спутниковые методы позволяют оценить LST с учетом реальной городской застройки в широком пространственном охвате в один момент времени, но имеют малый временной интервал (раз в две недели получить снимок над конкретным регионом и только в конкретное время суток) или грубую степень съемки (шаг съемки от 30 м до 1 км масштаба). Наземные методы позволяют определить метеопараметры только в локальной точке местности и степень достоверности будет высока в зависимости от калибровки прибора, но не учитывать состояние климата на соседней улице или внутри квартала. Так или иначе все методы актуальны для исследования ГОТ.

Так как само явление ГОТ известно давно (еще в начале 19 века), но данная проблема не теряет актуальности и в настоящее время. Поскольку в Беларуси последние, крупные работы, которые рассматривали климат города, ГОТ были лишь в прошлом веке, в конце 70-х годов. основополагающая работа М. А. Гольберга [4] была посвящена климату г. Минска, где были представлены основные характеристики климата столицы Беларуси в различные сезоны года по сравнению с пригородными метеостанциями за 4 летний период, полученные по наземным

данным метеостанций. Была сформирована мезоклиматическая схема районов г. Минска на основе метеостанций в различных частях города с учетом плотности городской застройки за период 1971-1972 гг. Было замечено, что высокая плотность застройки и промышленных территорий в Заводском районе влияет на ночные температуры, значения которых схожи с центральной частью города в безоблачные дни. Выделен ГОТ по кривым температуры воздуха окраинных и городских станций в различные сезоны года. В июле центр теплее, чем окраины на 1,3 °С, а в январе – на 0,5 °С. Были сделаны микроклиматические съемки с учетом экспозиции и планировки зданий в районе Зеленого луга и ул. Орловской в ясные теплые дни. Представлена биоклиматическая характеристика г. Минска по классификации Федоровой.

В идеале, для полноценного понимания образования и развития ГОТ необходимо выполнять комплексные исследования всех факторов, влияющих на температуру воздуха в городе, теплового, радиационного баланса городской подстилающей поверхности и антропогенных выбросах.

В данной случае исследование ГОТ г. Минска проводилось по наземным автоматическим метеостанциям и дорожным измерительным станциям (ДИС) за период 2020–2021 гг. Этот период выбран из-за доступности полных рядов данных такого рода. Были использованы все метеостанции города, расположенные на улицах Шаранговича, Тимирязева, Богдановича, Независимости, Уручье, Радиальная, Корженевского. Для пригородных показаний температуры воздуха были использованы данные метеостанций Аэропорта М-2 и пос. Самохваловичи. Данные ДИС были использованы для станций Цна, Кунцещина, Чижовка (все в районе МКАД), пос. Хагежино, пос. Слобода, пос. Привольный, пос. Раубичи и Горошки. Пригородные точки были использованы с целью лучшей интерполяции границ города. Все сырые данные с АМС или ДИС имеют дискретность в 10 минут. Поэтому был разработан алгоритм обработки данных температуры воздуха в среднемесячные значения в программе Python. В итоге были получены данные температуры воздуха для каждого месяца за 2 года. Итоговые карты температуры воздуха г. Минска строились в программе ГИС ArcGIS с использованием интерполяции сплайн.

Полученные итоговые данные представлены в таблице 1 и рисунках 1 и 2. Учитывая то, что данные станций имеют несколько особенностей территориального размещения, то распределение температуры воздуха может не соответствовать привычному пониманию характера изменения температуры воздуха, например, по данным спутника или микроклимата отдельных зон города. Все ДИСы установлены на дорожных трассах, где тепловой нагрев больший по отношению к прилегающим территориям. Некоторые АМС установлены на территории промышленных зон, такие как АМС на ул. Корженевского, ул. Радиальная и ул. Тимирязева, а некоторые в частном секторе как АМС на ул. Богдановича, или в продуваемом месте, как АМС на ул. Бобруйская. В связи с этим могут выделяться микроклиматические характеристики зон расположения АМС. Поэтому и рассматриваются среднемесячные значения температуры воздуха, чтобы максимально нивелировать микромасштабную, внутримассовую атмосферную, суточную флуктуацию выбранной переменной величины. Таким образом, все зависит от подстилающей поверхности в нашем случае (либо это асфальт, либо трава и деревья, либо промышленная зона). На рисунке 1 представлена многолетняя климатическая характеристика температуры воздуха для г. Минска за период 2020–2021 гг. Видно, что наибольшие значения (8,7–8,9 °С) температуры воздуха характерны для северо-западной и центральной и юго-восточной части города. Прохладные (7,1–7,4 °С) зоны наблюдаются на севере, северо-востоке и юго-западе. В целом, учитывая то, что интерполяция сплайн не фиксирует свойства поверхности города, данное распределение соответствует данным поверхностной температуры (LST) г. Минска по снимкам спутника Landsat-8 [5], где лесопарковым зонам соответствуют более низкие температуры, а городской застройке и промышленным зонам – более высокие значения.

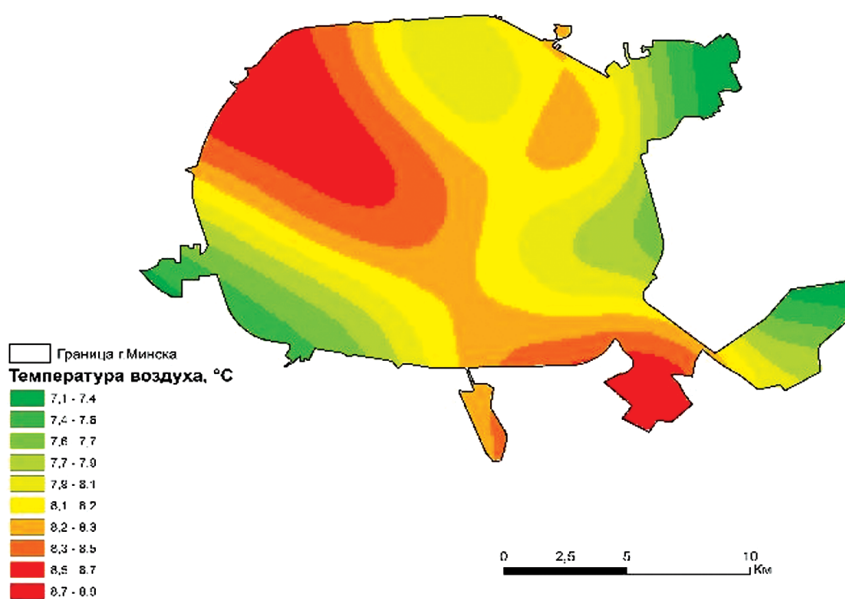


Рисунок 1 – Карта распределения средней температуры воздуха г. Минска за период 2020–2021 гг.

Таблица 1 – Средняя температура воздуха (°C) для АМС и ДИС в г. Минске и пригороде за период 2020–2021 гг.

АМС	Шаранговича	Бобруйская	Корженевского	Тимирязева	Богдановича	Независимости	Радиальная		Уручье	
Тер за 2020-2021, С	7,87	8,41	7,86	8,64	8,04	8,29	8,04		7,71	
Тер июнь	19,58	20,34	19,93	20,13	19,53	20,11	19,90		19,20	
Тер февраль	-2,50	-3,02	-2,55	-2,13	-2,75	-2,17	-2,45		-2,78	
ДИС	Цна	Чижовка	Кунцевщина	Хаткежино	Слобода	Раубичи	Привольный	Горошки	Аэропорт М2	Самохваловичи
Тер за 2020-2021	8,24	8,46	8,40	7,79	7,74	7,78	8,03	7,65	7,53	7,89
Тер июнь	19,10	19,82	20,37	18,72	18,90	19,37	19,00	18,72	18,80	19,45
Тер февраль	-2,46	-2,40	-2,45	-2,88	-2,74	-2,78	-2,68	-2,64	-2,95	-2,77

На рисунке 2 представлены карты распределения средней температуры воздуха для июля и февраля за доступный двухлетний период. Зимой практически для всех месяцев (декабрь, январь, февраль и март отчасти) характерна одинаковая пространственная картина. Наиболее теплые зоны – юго – восток, где основной промышленный центр города, и запад, где спальные районы и локальные промышленные зоны. Относительно прохладными зонами будут являться пойма р. Свислочь, лесопарковые зоны и большие водоемы. Летом (июнь, июль) большая часть города находится под влиянием максимальных температур – центр, юг, северо-запад и северо-восток. Наименее теплые зоны – окраины города или пригород. Зимой в пределах города амплитуда температур воздуха больше – до 5 °C, чем летом – до 1–1,5 °C. Но это данные среднемесячных многолетних показателей, где амплитуды температур малы. Если брать отдельные годы, то эти диапазоны увеличатся.

На рисунке 3 представлены кривые температур воздуха для различных АМС в пригороде и в городе. С южной стороны г. Минска это АМС в пос. Самохваловичи, с северо-западной – АМС в Аэропорт М-2, в центре города – АМС на ул. Бобруйская и ул. Независимости.

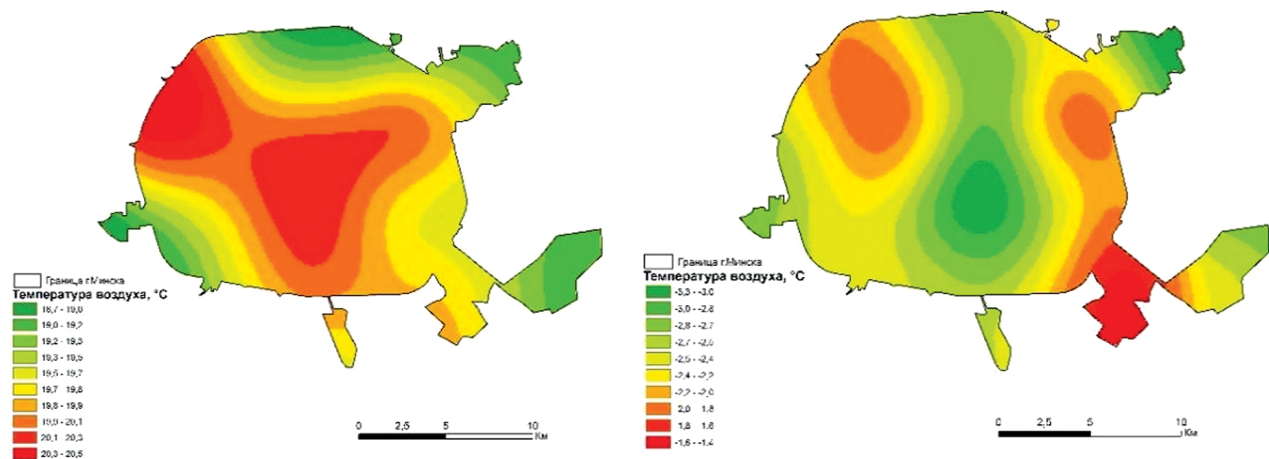


Рисунок 2 – Карта распределения средней температуры воздуха г. Минска для июня (слева) и февраля (справа) за период 2020–2021 гг.

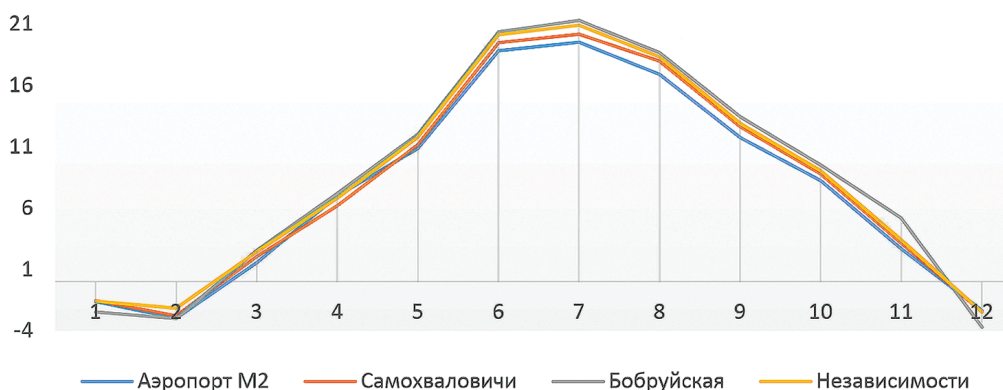


Рисунок 3 – График распределения среднемесячной температуры воздуха для АМС г. Минска и пригорода за период 2020–2021 гг.

Видно, что самая прохладная станция – это АМС в Аэропорте М-2, практически во все сезоны года там температура воздуха ниже всех остальных АМС, но отчетливо проявляется различие летом, где разница с АМС ул. Бобруйская почти на 2 °С в июле. Более теплая, за счет южной стороны пригорода, по сравнению с АМС в Аэропорте М-2 является АМС в пос. Самохваловичи, где разница с центром города составляет около 1,5 °С в июле. В зимний и весенний период амплитуда между пригородом и городом сокращается до 1 °С. Осенью – до 1–2 °С в зависимости от месяца.

В итоге, наиболее теплые районы г. Минска по данным АМС относительно схожи с данными спутниковых снимков поверхностной температуры, так как не учитывают свойства подстилающей поверхности. Теплые зоны – центр города и промышленные территории. Наименее теплые – север города, лесопарковые территории и водные объекты. Амплитуда разницы температуры воздуха пригорода и центра города достигает 2 °С летом, и 1 °С – зимой. Если сравнивать с исследованиями ГОТ г. Минска 70-годов, то современные значения ГОТ выше примерно 0,5 °С. Это и логично, так как площадь и население г. Минска возросло за 50 лет. Можно утверждать, что данные АМС не вызывают полной уверенности в их качестве измерений, так как могут быть ошибочными. Но с другой стороны, при полном отсутствии данных температуры воздуха в городе, эти станции являются относительным показателем климата города Минска. Опираясь на международный опыт в исследованиях городского климата, можно утверждать, что такого рода данные тоже используются в исследованиях ГОТ. Таким образом, дальнейшие экспериментальные измерения температуры воздуха в городских условиях помогут повысить степень изученности данной проблемы в Беларуси.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздов, О.А., Васильев, В.А., Кобышева, Н.В., Раевский, А.Н., Смекалова, Л.К., Школьный, Е.П. Климатология. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 568 с.
2. Ландсберг, Г.Е. Климат города. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 248 с.
3. Оке, Т. Р. (1976). The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands.– Atmosphere, N 14, p.268–277.
4. Гольберг, М. А. Климат Минска / М. А. Гольберг. – Мн.: Выш. шк., 1976. – 288 с.
5. Шлендер, Т.В., Жуковская, Н.В., Бурченко, Г.Д., Прокочик, Е.А., Чумаков, Е.А. Изучение теплового загрязнения г.Минска в летнее и зимнее время года по данным спутника Landsat-8. Сборник материалов 21 международной научной конференции «Сахаровские чтения 2021: экологические проблемы XXI века», Минск, Беларусь, 20–21 мая 2021, стр. 375–378

## ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ LEMNA MINOR L. К ГИПЕРАККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ STUDYING THE ABILITY OF LEMNA MINOR L. TO HYPERACCUMULATE OF HEAVY METALS

**Ю. В. Жильцова<sup>1,2</sup>, Б. Б. Меликов<sup>1,2</sup>, А. В. Васильева<sup>1,2</sup>**  
**Y. V. Zhyltsova<sup>1,2</sup>, B. B. Melikov<sup>1,2</sup>, A. V. Vasilieva<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
gebeg@iseu.by, Zhyltsova@mail.ru

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В работе в результате проведенных экспериментов по культивированию растения Lemna minor в условиях различной степени загрязнения среды тяжёлыми металлами (Cu<sup>2+</sup> и Zn<sup>2+</sup>) проанализированы физиологические показатели: средняя удельная скорость (темп) роста, ингибирование темпа роста и уменьшение урожайности. Установлена максимальная концентрация цинка (0,16 мг/л), в которой способно существовать растение L. minor, перспективное с точки зрения использования его в фиторемедиации объектов окружающей среды. Максимальная концентрация меди, в которой способно существовать растение L. minor, не было достигнуто.

In the work, as a result of the experiments on the cultivation of the plant Lemna minor under conditions of varying degrees of environmental pollution with heavy metals (Cu<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup>), physiological indicators were