

УДК 911.2:551.58 (476.5)

UDC 911.2:551.58 (476.5)

**ВЕТРОВОЙ РЕЖИМ
ГОРОДА МИНСКА****WIND CONDITIONS
OF MINSK CITY****А. Н. Витченко,***доктор географических наук,
профессор кафедры геоэкологии БГУ;***И. А. Телеш,***кандидат географических наук,
доцент кафедры инженерной
психологии и эргономики БГУИР***A. Vitchenko,***Doctor in Geography, Professor of
the Department of Geo-Ecology, BSU;***I. Telesh,***PhD in Geography, Associate Professor
of the Department of Engineering
Psychology and Ergonomics, BSUIR*

Поступила в редакцию 11.01.23.

Received on 11.01.23.

Анализ средних годовых и месячных характеристик ветрового режима Минска показал, что в 1980–2020 гг. в городе скорость ветра характеризуется умеренной временной изменчивостью. На протяжении рассматриваемого периода наблюдается устойчивая тенденция к снижению средней годовой, месячной скорости ветра и количества дней с его средней суточной скоростью ≥ 5 м/с. Более высокая скорость ветра и количество дней с его средней суточной скоростью ≥ 5 м/с приходится на 1980–1994 гг., а более низкие показатели соответствуют второй половине рассматриваемого периода. Средняя годовая скорость ветра в Минске за 1980–2020 гг. составила 2,2 м/с, при C_v 21,82 %. При сохранении современной тенденции ее изменения к 2040 г. этот показатель сократится до 1,1 м/с. Наиболее высокие значения средней месячной скорости ветра характерны для зимнего периода, а минимальные – для летнего. В Минске в период 1980–2020 гг. преобладали ветры западного направления с повторяемостью 17,7 %. Повторяемость южных ветров составила 16,0 %. Ветры северо-западного и юго-западного направлений наблюдались примерно с одинаковой повторяемостью, соответственно – 14,5 % и 13,1 %. Повторяемость юго-восточных, восточных и северных ветров была небольшая, соответственно 10,8 %, 10,2 % и 9,9 %. Минимальная повторяемость соответствовала северо-восточным ветрам – 7,9 %. Повторяемость штилей в среднем составила 9,3 %.

Ключевые слова: ветровой режим, город, климат, скорость ветра, направление ветра, годовая динамика, сезонная динамика, прогнозный сценарий.

Analysis of average annual and monthly characteristics of wind conditions in Minsk showed that in 1980–2020 wind speed in the city is characterized by moderate temporal variability. Throughout the period under consideration there is a steady tendency towards a decrease in the average annual and monthly wind speed and the number of days with its average daily speed ≥ 5 m/s. The higher wind speed and the number of days with its average daily speed ≥ 5 m/s occur in 1980–1994, and the lower values correspond to the second half of the period under consideration. The average annual wind speed in Minsk for 1980–2020 was 2.2 m/s, with a C_v of 21.82%. If the current trend of its change persists, this figure will decrease to 1.1 m/s by 2040. The highest values of average monthly wind speed are typical for winter period, and minimum – for summer period. Winds of western direction prevailed in Minsk during 1980–2020 with frequency of 17.7 %. The frequency of southern winds was 16.0 %. Winds of north-western and south-western directions were observed with approximately the same frequency, respectively – 14.5 % and 13.1 %. The frequency of south-eastern, eastern and northern winds was small (10.8 %, 10.2 % and 9.9 %, respectively). The minimum frequency of occurrence corresponded to northeasterly winds – 7.9 %. The frequency of calm weather averaged 9.3 %.

Keywords: wind conditions, city, climate, wind speed, wind direction, annual dynamics, season dynamics, forecast scenario.

Введение. Ветер относится к числу климатических факторов, оказывающих существенное влияние на формирование погоды и климата. От него зависит работа коммунальной службы городов, транспорта, градостроительство, размещение промышленных предприятий и т. д. Ветер способствует переносу воздушных масс с разными физическими свойствами, выравнивает температурные различия между отдельными районами города, оказывает существенное влияние на состояние загрязненности его воздушного бассейна.

Исследования ветрового режима большого города начались довольно давно. Более ста лет назад было установлено основное и общее отличие ветрового режима урбанизированных территорий – уменьшение скорости ветра по сравнению с приго-

родными незастроенными территориями. Еще в 1909 г. в результате наблюдений в Берлине с использованием анемометра В. Кремсер впервые установил эту закономерность. Последующие исследования, проведенные в разных городах мира, также подтвердили снижение средней скорости ветра в урбанизированной среде [1]. Значительный вклад в развитие исследований трансформаций ветрового режима в городе внесли Г. Ландсберг [1–4], Т. Оке, А. Кристен [2], А. Барлаг, В. Каттлер [3], Э. Эрелл, Д. Перлмуттер, Т. Уильямсон [4] и др.

В среднем за год снижение скорости ветра в городах по сравнению с их окрестностями составляет около 30 %. Практически во всех исследованиях отмечается, что в городе больше безветренных дней и дней со слабыми ветрами, не превышающими

2 м/с, чем в сельской местности. Количество штилей в городах увеличивается на 20 %. Максимальная скорость ветра в большинстве случаев в среднем на 10–30 % ниже по сравнению с незастроенной территорией. В местах с застройкой высокой плотности и внутри групп построек, образующих замкнутые и полузамкнутые внутридворовые территории, скорость ветра снижается на 70 % и более [5].

В Беларуси вопросы оценки ветрового режима урбанизированных районов как самостоятельной задачи рассматриваются достаточно редко. Учитывая большое влияние ветрового режима на все сферы жизни и деятельности населения городов и современные тенденции изменения климата, возникает необходимость в более глубоком изучении ветрового режима урбанизированных территорий.

Основная часть. Основной целью исследования является оценка ветрового режима г. Минска и определение его возможных изменений. Расчеты основных характеристик ветрового режима осуществлялись на основе комплексной географической информационной системы геоэкологической оценки комфортности климата [6].

В качестве базовых параметров ветрового режима определялись средние, максимальные и минимальные месячные и годовые значения скорости и направления ветра. Также были выполнены расчеты среднего квадратичного отклонения (σ) и коэффициента вариации (C_v), этих характеристик, которые позволяют объективно оценить изменение ветрового режима в городе.

Повторяемость различных направлений ветра вычислялась для каждого из восьми румбов и выражалась в процентах к общему числу случаев, когда отмечался ветер. Штили в это число не включались. Они вычислялись отдельно и выражались в процентах от общего числа наблюдений. Такая особенность обработки направления ветра связана с сильной зависимостью повторяемости штилей от различных факторов: близость деревьев, зданий может привести к резкому увеличению числа штилей.

На основе результатов оценки скорости ветра был разработан сценарий ее возможного изменения до 2040 г. Двадцатилетний лаг прогноза обусловлен периодом выборки исходной информации. При анализе исходной выборки выполнялась процедура проверки «выбросов», далее определялось уравнение регрессии изменения скорости ветра, вычислялось среднее квадратичное отклонение и доверительные интервалы, рассчитывались прогнозные значения [7; 8].

Для характеристики ветрового режима Минска были использованы средние суточные данные ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиационного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь о скорости и направлении ветра за 41-летний период (1980–2020 гг.), которые были затем обобщены и интерпретированы с учетом их межгодовой изменчивости и сезонной динамики.

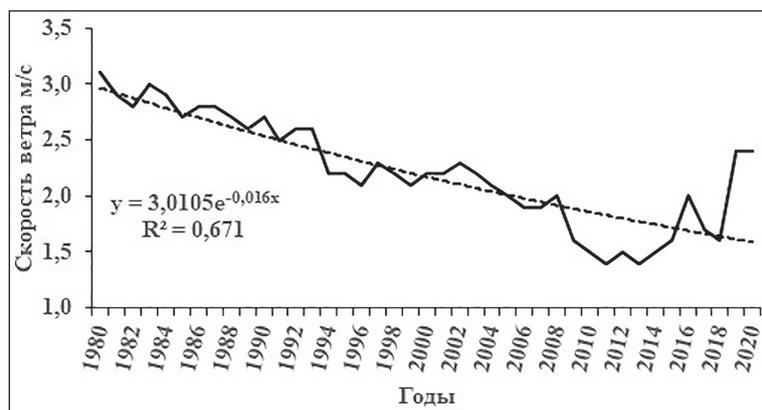


Рисунок 1 – Средняя годовая скорость ветра в Минске за период 1980–2020 гг., м/с

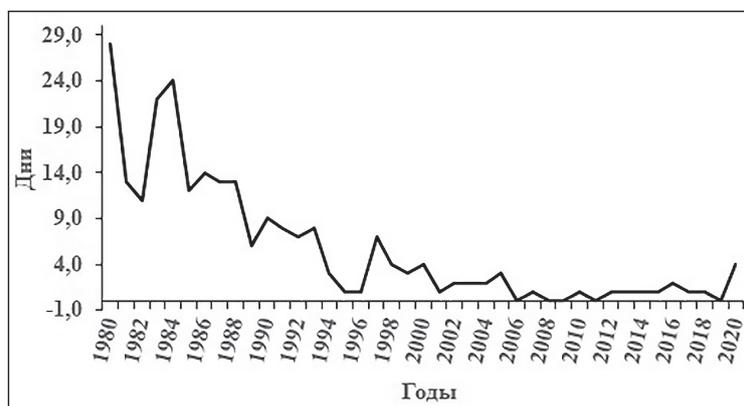


Рисунок 2 – Количество дней со средней суточной скоростью ≥ 5 м/с в Минске за период 1980–2020 гг.

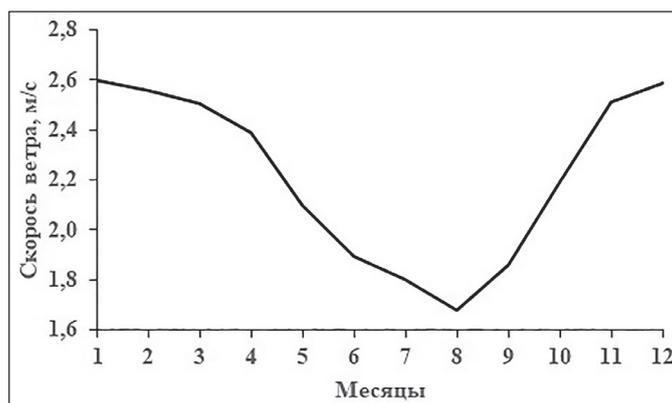


Рисунок 3 – Средняя месячная скорость ветра в Минске за период 1980–2020 гг., м/с

Оценка ветрового режима города Минска осуществлялась на основе его средних годовых и месячных параметров. Средняя годовая скорость ветра в 1980–2020 гг. в Минске характеризовалась умеренной временной изменчивостью (рисунок 1).

На протяжении рассматриваемого периода наблюдалась устойчивая тенденция к снижению скорости ветра и количества дней со средней суточной скоростью ≥ 5 м/с. Более высокая скорость ветра и количество дней со средней суточной скоростью ≥ 5 м/с приходится на 1980–1994 гг., а более низкие показатели соответствуют второй половине рассматриваемого периода (рисунок 2).

Максимальная скорость ветра наблюдалась в 1980 (3,1 м/с), 1983 (3,0 м/с), 1981 и 1984 (2,9 м/с) гг., а минимальная – в 2011 и 2013 (1,4 м/с), 2010, 2012 и 2014 (1,5 м/с) гг. Средняя годовая скорость ветра в Минске за 1980–2020 гг. составила 2,2 м/с, при C_v 21,82 %. Согласно прогнозному сценарию изменения средней годовой скорости ветра в Минске ожидается, что к 2040 г. она сократится с 2,2 м/с до 1,1 м/с. Максимальное количество дней со средней суточной скоростью ≥ 5 м/с было в 1980 г. (28 дней). В 2006, 2008, 2009, 2011 и 2019 гг. таких дней не наблюдалось.

Анализ сезонной динамики средней месячной скорости ветра в Минске показал, что во все сезоны года более высокая скорость ветра, как и ее средних годовых значений, в основном была характерна для периода с 1980 по 1994 г., а минимальные значения приурочены к периоду с 1995 по 2020 г. Наиболее высокие значения средней месячной скорости ветра свойственны для зимнего периода, а минимальные для летнего (рисунок 3).

В январе скорость ветра варьировала от 4,2 (1984) до 1,5 м/с (2013), феврале – от 3,9 (1984) до 1,4 (2015) м/с, марте – от 3,9 (1980) до 1,7 (2021–2012, 2018) м/с, апреле – от 3,4 (1989) до 1,4 (2014) м/с, в мае – от 3,1 (1980) до 1,2 (2012) м/с, июне – от 2,9 (1980) до 1,0 (2012) м/с, июле – от 2,9 (1980) до 1,0 (2012, 2013) м/с, августе – от 2,4 (1980, 1983) до 0,9 (2013) м/с, сентябре – от 2,9 (1983) до 1,0 (2009, 2011) м/с, октябре – от 3,6 (1980) до 1,0 (2011) м/с, ноябре – от 3,9 (1983) до 1,5 (2011, 2018) м/с, декабре – от 3,6 (1983) до 1,5 (2014) м/с. Наибольшая межгодовая изменчивость скорости ветра характерна для октября (C_v 27,73 %), а наименьшая – для марта (C_v 22,4 %).

Анализ средних годовых характеристик направления ветра показал, что в Минске с 1980 по 2020 г. преобладали западные ветры, повторяемость которых составила 17,7 %, при коэффициенте вариации (C_v) – 20,12 % (таблица 1). Повторяемость южных ветров составила 16,0 %, при C_v 16,44 %. Минимальная повторяемость соответствовала северо-восточным ветрам – 7,9 %, при C_v 24,3 %. Ветры северо-западного и юго-западного направлений наблюдались примерно с одинаковой повторяемостью, соответственно – 14,5 % при C_v 19,66 % и 13,1 % при C_v – 14,66 %. Повторяемость юго-восточных, восточных и северных ветров была небольшая, соответственно 10,8 % при C_v 24,53 %, 10,2 % при C_v 24,31 % и 9,9 % при C_v 20,3 %. Количество штилей заметно увеличивалось с 2001 г. и в среднем составило 9,3 %, при C_v 62,58 %.

В разрезе сезонов года в Минске за период с 1980 по 2020 г. наибольшая повторяемость характерна для ветра западного и северо-западного направлений, однако это наблюдалось не во все сезоны. С октября по декабрь отмечается преобладание ветров южного направления. Наибольшая повторяемость южных ветров отмечается в осенне-зимний период с максимумом в ноябре, а наименьшая – в летний сезон с минимумом в июле. Повторяемость юго-восточных ветров максимальная в ноябре, юго-западных – в декабре. Минимальная повторяемость юго-восточных ветров соответствует июлю, юго-западных – маю. Ветры западного направления характеризуются наибольшей повторяемостью зимой. Наименьшая повторяемость ветров данного направления отмечается весной. Ветры северной составляющей (СВ, СЗ, С) наибольшую повторяемость имеют в весенне-летний период, а наименьшую – в осенне-зимний. Максимальная повторяемость ветров северного и северо-восточного направлений отмечается в мае, а минимальная – в ноябре и декабре. Наибольшая повторяемость ветров северо-западного направления соответствует июню, а минимальная – ноябрю. Восточные ветры чаще наблюдаются в конце зимы и весной с максимумом в мае, значительно реже осенью и в начале зимы с минимумом в декабре. Повторяемость штилей достигает максимума летом в августе, а минимума – зимой в декабре.

Таблиця 1 – Повторяемость направлений ветра и штилей в Минске за 1980–2020 гг., %

Год	Направление ветра								Штиль
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
1980	11,1	9,0	15,3	10,6	12,9	13,8	16,1	11,2	2,3
1981	10,0	6,9	10,5	13,5	19,4	15,0	14,3	10,4	3,2
1982	11,1	6,5	8,3	9,9	16,9	13,1	17,4	16,8	4,6
1983	8,9	5,7	7,1	9,5	17,3	15,7	20,9	14,9	2,6
1984	8,8	9,8	16,4	14,8	15,2	12,7	13,3	9,2	2,8
1985	8,0	7,2	9,3	12,3	15,3	13,6	18,1	16,3	2,6
1986	7,5	7,3	10,8	14,2	16,2	13,1	15,9	15,1	3,0
1987	5,8	7,9	13,4	14,6	12,3	12,6	20,9	12,6	4,0
1988	8,0	7,1	12,4	13,3	17,9	12,3	16,1	12,9	4,0
1989	9,8	5,3	8,1	9,9	15,3	12,5	22,6	16,6	4,1
1990	6,1	5,1	9,6	8,7	16,3	17,8	23,6	12,9	4,9
1991	11,3	7,9	8,5	9,1	18,2	11,8	19,4	13,8	4,3
1992	8,3	7,0	8,6	8,9	18,6	11,0	19,9	17,7	4,1
1993	6,6	7,8	11,0	11,8	16,4	12,6	19,1	14,7	5,4
1994	8,3	7,3	9,4	9,1	19,1	15,1	14,9	16,9	8,3
1995	10,2	6,6	8,7	11,9	17,3	13,4	14,7	17,3	5,1
1996	9,3	12,7	11,9	17,6	15,5	8,4	8,8	15,8	3,8
1997	10,8	9,6	9,8	8,5	11,1	11,0	17,8	21,4	4,1
1998	11,5	8,7	8,3	11,2	15,3	14,4	18,4	12,3	6,0
1999	11,8	9,8	10,9	12,3	11,3	15,3	18,3	10,4	9,3
2000	10,3	7,3	7,5	10,9	16,3	14,8	18,3	14,6	7,8
2001	10,9	7,3	10,0	10,6	17,5	11,4	17,5	14,8	10,6
2002	12,3	11,9	9,7	8,3	15,0	13,4	17,3	12,1	10,0
2003	13,3	8,2	8,1	7,3	15,1	13,3	18,5	16,3	10,6
2004	12,2	6,8	7,4	7,9	15,8	14,9	17,2	17,8	10,2
2005	13,0	9,3	10,6	9,9	16,7	11,8	13,2	15,5	14,0
2006	12,3	10,0	9,2	7,6	16,8	13,5	16,1	14,7	15,4
2007	11,0	7,5	9,8	7,8	14,8	16,8	18,2	14,3	12,7
2008	10,4	10,4	6,9	6,6	21,6	14,9	17,2	12,0	11,1
2009	9,5	10,1	11,1	12,3	16,6	12,9	13,3	14,2	20,9
2010	9,8	11,4	14,8	13,9	16,6	11,8	12,8	8,9	18,6
2011	10,2	5,1	7,2	8,8	16,7	14,2	21,5	16,3	19,2
2012	10,3	6,4	8,3	10,3	18,2	14,3	18,7	13,5	16,8
2013	13,3	8,1	10,6	7,9	16,3	12,6	12,8	18,3	20,6
2014	7,7	6,9	16,7	11,3	22,9	12,0	13,6	8,9	20,3
2015	6,4	5,3	10,1	10,8	12,4	13,8	25,0	16,2	16,8
2016	8,8	8,6	10,9	11,8	8,8	9,3	22,8	19,1	11,4
2017	7,2	4,7	9,1	11,7	13,4	11,9	24,2	17,9	11,7
2018	10,6	5,6	13,6	17,7	15,3	8,7	14,0	14,6	15,8
2019	12,7	9,6	7,5	9,0	15,3	13,2	19,3	13,5	7,3
2020	9,8	9,0	9,2	7,5	16,2	13,8	22,3	12,4	9,9
Среднее значение за 1980–2020 гг.	9,9	7,9	10,2	10,8	16,0	13,1	17,7	14,5	9,3
Максимальное значение	13,3	12,7	16,7	17,7	22,9	17,8	25,0	21,4	20,9
Минимальное значение	5,8	4,7	6,9	6,6	8,8	8,4	8,8	8,9	2,3
σ	2,01	1,92	2,48	2,66	2,63	1,92	3,56	2,85	5,82
C_v	20,30	24,30	24,31	24,63	16,44	14,66	20,12	19,66	62,58

В разрезе типичных месяцев сезонов года в Минске в январе преобладали западные (21,9 %), южные (19,1 %) и юго-западные (17,3 %) ветры. Наименьшая повторяемость характерна для северо-восточных ветров (5,6 %). В апреле

наиболее выражены ветры западного (15,4 %), северо-западного (15,0%) направлений. Наименьшая повторяемость в этом месяце соответствует юго-западным ветрам (9,6 %). В июле преобладали северо-западные (20,2 %), западные (17,9 %)

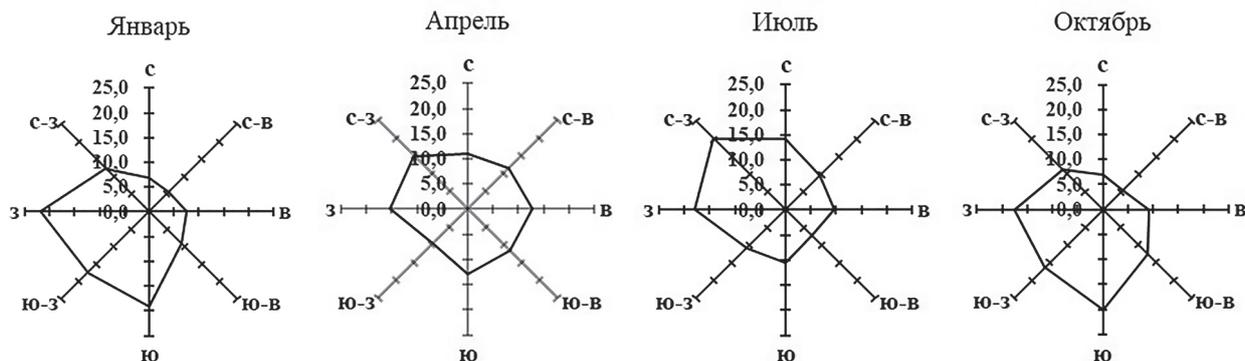


Рисунок 4 – Средняя повторяемость направления ветра в Минске за 1980–2020 гг.:
— повторяемость направления ветра

и северные (14,2 %) ветры. Наименьшая повторяемость соответствовала юго-восточным ветрам (7,2 %). В октябре максимальной повторяемости достигали южные (20,0 %), западные (17,7 %) и юго-западные (16,3 %) ветры, минимальной – северо-восточный (5,5 %) (рисунок 4).

Заключение. Анализ средних годовых и месячных характеристик ветрового режима Минска показал, что в 1980–2020 гг. в городе скорость ветра характеризовалась умеренной временной изменчивостью. На протяжении рассматриваемого периода наблюдалась устойчивая тенденция к снижению средней годовой, месячной скорости ветра и количества дней с его средней суточной скоростью ≥ 5 м/с. Более высокая скорость ветра и количество дней с его средней суточной скоростью ≥ 5 м/с приходится на 1980–1994 гг., а более низкие показатели соответствуют второй половине рассматриваемого периода. Максимальная скорость ветра наблюдалась в 1980 (3,1 м/с), а минимальная – в 2011 и 2013 (1,4 м/с) гг. Средняя годовая скорость ветра в Минске за 1980–2020 гг. составила 2,2 м/с, при C_v 21,82 %. При сохранении современной тенденции ее изменения

к 2040 г. этот показатель сократится до 1,1 м/с. Наиболее высокие значения средней месячной скорости ветра характерны для зимнего периода, а минимальные – для летнего. Наибольшая изменчивость скорости ветра соответствует октябрю (C_v 27,73 %.), а наименьшая – марту (C_v 22,4 %.). В Минске в период 1980–2020 гг. преобладали ветры западного направления с повторяемостью 17,7 %. Повторяемость южных ветров составила 16,0 %. Ветры северо-западного и юго-западного направлений наблюдались примерно с одинаковой повторяемостью, соответственно 14,5 % и 13,1 %. Повторяемость юго-восточных, восточных и северных ветров была небольшая, соответственно 10,8 %, 10,2 % и 9,9 %. Минимальная повторяемость соответствовала северо-восточным ветрам – 7,9 %. Повторяемость штилей в среднем составила 9,3 %. Проведенные исследования могут быть использованы в практике рационального использования естественных ресурсов города Минска при планировании и проектировании природопользования для его устойчивого развития и оптимизации среды жизнедеятельности населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Landsberg, H. E. The Urban Climate / H. E. Landsberg. – New York : Academic Press, 1981. – 275 p.
2. Urban Climates / T. R. Oke [et al.]. – Cambridge University Press, 2017. – 546 p.
3. Barlag, A. B. The significance of country breezes for urban planning / A. B. Barlag, W. Kuttler // Energy and buildings, 1990/91. – Vol. 15–16. – P. 291–297.
4. Erell, E. Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings / E. Erell, D. Pearlmutter, T. Williamson. – London, Washington, 2012. – 452 p.
5. Город, архитектура, человек и климат / М. С. Мягков [и др.] ; под ред. М. С. Мягкова. – М. : Архитектура-С, 2007. – 344 с.
6. Витченко, А. Н. Геоэкологическая оценка комфортности климата крупных городов Беларуси / А. Н. Витченко, И. А. Телеш // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия, Биология, География. – 2011. – № 2. – С. 73–78.
7. Пузаченко, Ю. Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях: учебное пособие / Ю. Г. Пузаченко. – М. : Академия, 2004. – 416 с.
8. Лудерер, Б. Высшая математика в экономике, технике, информатике: справочник / Б. Лудерер, Ф. Ноллау, К. Феттерс; авториз. пер. с нем. Б. Лудерера; науч. ред. пер. А. В. Самусенко, В. В. Казаченок. – Минск : Высшая шк., 2005. – 279 с.

REFERENCES

1. Landsberg, H. E. The Urban Climate / H. E. Landsberg. – New York : Academic Press, 1981. – 275 p.
2. Urban Climates / T. R. Oke [et al.]. – Cambridge University Press, 2017. – 546 p.
3. Barlag, A. B. The significance of country breezes for urban planning / A. B. Barlag, W. Kuttler // Energy and buildings, 1990/91. – Vol. 15–16. – P. 291–297.
4. Erell, E. Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings / E. Erell, D. Pearlmutter, T. Williamson. – London, Washington, 2012. – 452 p.
5. Gorod, arhitektura, chelovek i klimat / M. S. Myagkov [i dr.] ; pod red. M. S. Myagkova. – M. : Arhitektura-S, 2007. – 344 s.
6. Vitchenko, A. N. Geoekologicheskaya ocenka komfortnosti klimata krupnykh gorodov Belarusi / A. N. Vitchenko, I. A. Telesh // Vestnik BGU. Ser. 2, Himiya, Biologiya, Geografiya. – 2011. – № 2. – S. 73–78.
7. Puzachenko, Yu. G. Matematicheskie metody v ekologicheskikh i geograficheskikh issledovaniyah: uchebnoe posobie / Yu. G. Puzachenko. – M. : Akademiya, 2004. – 416 s.
8. Luderer, B. Vysshaya matematika v ekonomike, tekhnike, informatike: spravochnik / B. Luderer, F. Nollau, K. Fetters; avtoriz. per. s nem. B. Luderera; nauch. red. per. A. V. Samusenko, V. V. Kazachenok. – Minsk : Vysshaya shk., 2005. – 279 s.