



Столыпинский

вестник

1.6.15 Землеустройство, кадастр и мониторинг земель

Научная статья

УДК 339.54.012+338.001.36

DOI: [10.55186/2713-1424-2026-47-64](https://doi.org/10.55186/2713-1424-2026-47-64)

ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН ВЕТРОВОГО ДИСКОМФОРТА С ПОМОЩЬЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА САЛЕХАРД

Е .Д. Подрядчикова, П. М. Пандырева

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Аннотация. В статье рассматривается методика выделения зон ветрового дискомфорта в арктических городах с использованием геоинформационного анализа и цифровой модели рельефа ArcticDEM. Предложен подход, основанный на комплексной оценке экспозиции и крутизны склонов, а также плотности застройки. Разработана балльно-весовая шкала, позволяющая ранжировать территорию по степени ветровой нагрузки. Апробация выполнена на материалах города Салехард.

Ключевые слова: общественные пространства, Арктическая зона РФ, цифровая модель рельефа, ветровая защита, геоинформационный анализ растров

Original article

IDENTIFICATION OF WIND DISCOMFORT ZONES USING GEOINFORMATION ANALYSIS: A CASE STUDY OF THE CITY OF SALEKHARD

E.D. Podryadchikova, P. M. Pandyreva

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Abstract. The article discusses a methodology for identifying wind discomfort zones in Arctic cities using geoinformation analysis and the ArcticDEM digital elevation model. An approach is proposed based on a comprehensive assessment of slope exposure and steepness, as well as building density. A point-weight scale has been developed to rank the territory according to the degree of wind load. The method was tested using materials from the city of Salekhard.

Keywords: public spaces, Arctic zone of the Russian Federation, digital elevation model, wind protection, geoinformation analysis of rasters

Введение. В условиях Арктики именно ветер, усиливающий охлаждающий эффект, становится одним из главных факторов дискомфорта при длительном пребывании на открытых пространствах (Белкин и др., 2016, с. 7). Низкие температуры и сильные ветры сокращают время комфортного пребывания на открытом воздухе, в связи с этим актуальной задачей является разработка методики оценки ветрового режима территории и выделение зон ветрового дискомфорта.

Цель исследования – разработка и апробация методики пространственного анализа ветрового дискомфорта в арктическом городе на основе интеграции цифровой модели рельефа (ЦМР) ArcticDEM, данных об уклонах и экспозиции склонов, а также плотности застройки.

Город Салехард относится к зоне наибольшей дискомфортности климата (Глава 6. Опасные природные явления на территории субъектов Арктической зоны России, 2014, с. 163). Согласно данным метеорологических наблюдений, для г. Салехарда характерно преобладание

ветров юго-западного, западного и южного направлений. Повторяемость направлений ветра составляет: север – 8%, северо-восток – 9%, восток – 10%, юго-восток – 10%, юг – 12%, юго-запад – 21%, запад – 17%, северо-запад – 13% (Роза ветров в Салехарде). Среднегодовая скорость ветра составляет около 1,8 м/с, в зимний период скорость ветра может достигать 4–5 м/с, а при порывах – до 10–12 м/с согласно нормативным данным (СП 131.13330.2020 (строительная климатология)/

Материалы и методы. Методы моделирования рельефа урбанизированных территорий рассмотрены в работе (Клебанович, Бакун 2012, с. 79).

Для исследования использована ЦМР ArcticDEM – специализированный продукт, созданный на основе стереоскопической обработки спутниковых снимков в рамках инициативы Национального агентства геопространственной разведки (NGA) и Национального научного фонда (NSF) США. ArcticDEM имеет высокое разрешение (до 2 м) и покрывает всю территорию суши севернее 60° с.ш. В отличие от глобальных цифровых моделей рельефа (SRTM, ASTER GDEM), ArcticDEM оптимизирован для высоких широт и обеспечивает значительно более высокую детализацию арктической зоны. Качество и ограничения ArcticDEM проанализированы в исследовании (Рыльский и др., 2025, с. 180 и Полякова и др., 2020, с. 12)

Геоинформационный анализ растров выполнен в программном обеспечении ArcMap. В отличие от традиционных подходов, основанных на усреднённых климатических показателях, ГИС-анализ даёт возможность учитывать локальную неоднородность рельефа и антропогенных барьеров, выделять участки с различной ветровой нагрузкой и визуализировать результаты в виде карт (Salman, 2021, с. 1-17) Предлагаемая методика основывается на предположении, что ветровая нагрузка на территории города определяется тремя группами факторов:

1. рельефом местности (экспозиция и крутизна склонов);

2. плотностью застройки, создающей естественные ветрозащитные барьеры;

3. характеристиками ветрового режима (направление и скорость ветра).

Методика выделения зон ветрового дискомфорта состоит из четырех этапов, общая схема показана на рисунке 1.

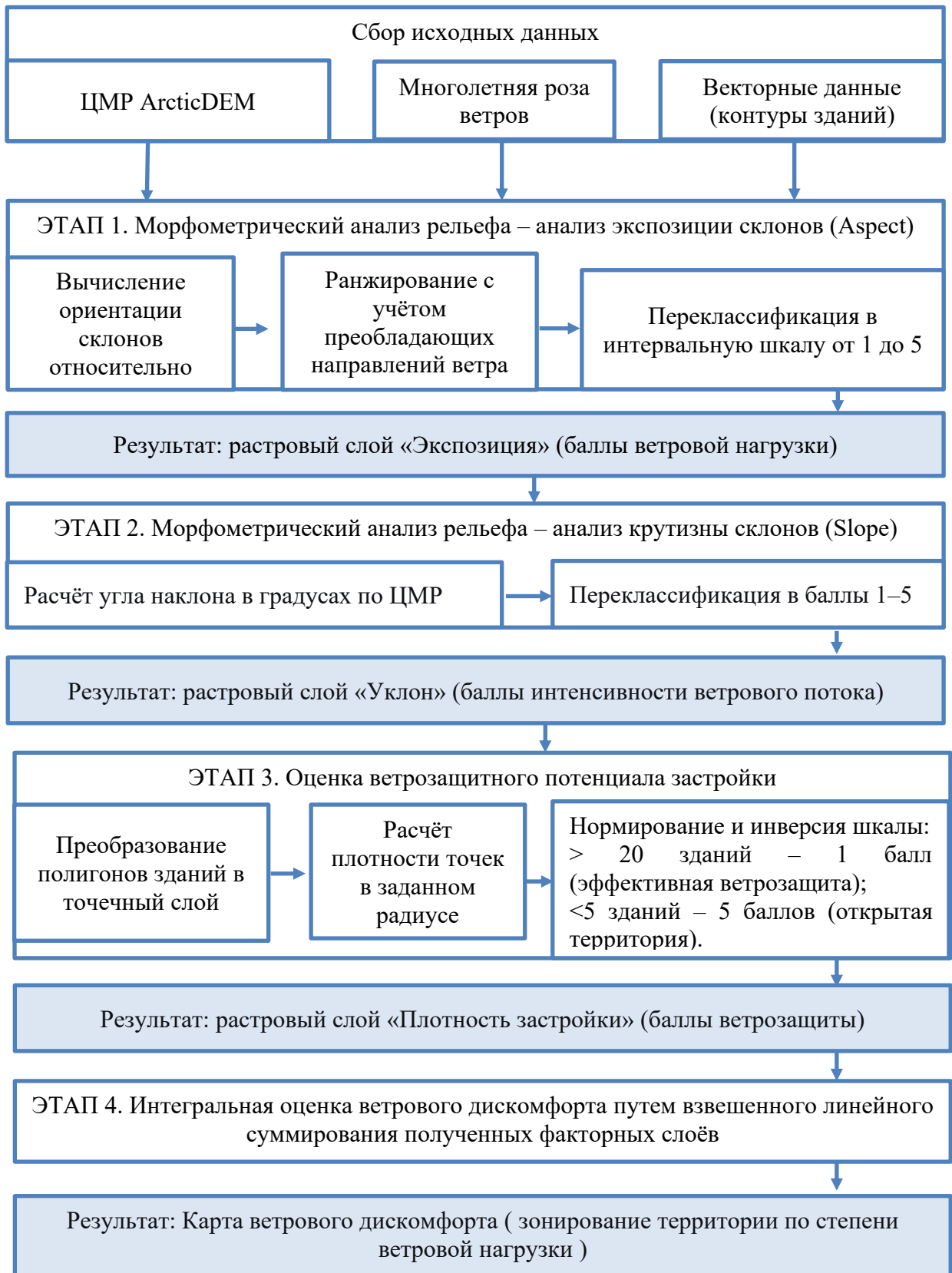


Рисунок 1. Схема методики выделения зон ветрового дискомфорта

Figure 1. Flowchart of the methodology for identifying wind discomfort zones

Предложенная методика и результаты ее апробации имеют ряд ограничений, которые следует учитывать при интерпретации результатов. В исследовании использована только плотность застройки (количество зданий в радиусе) без учёта их высоты, формы и ориентации относительно ветра, тогда как реальная ветрозащита зависит также от этажности и сплошности фасадов. Весовые коэффициенты определены для равнинной территории г. Салехарда, поэтому для городов со сложным рельефом или иной розой ветров требуют корректировки. Кроме того, модель не учитывает локальные вихревые потоки и аэродинамическую тень от отдельных зданий. Данные OpenStreetMap, использованные для расчёта плотности застройки, могут содержать пропуски и неточности в атрибутах зданий. Цифровая модель рельефа ArcticDEM, несмотря на разрешение 2 м, в условиях плотной застройки может сглаживать мелкие формы рельефа и антропогенные изменения (насыпи, выемки). Также следует отметить, что роза ветров принята постоянной, а сезонная изменчивость направлений и скоростей ветра не учитывается. Несмотря на перечисленные ограничения, предлагаемая методика даёт достоверную пространственную оценку относительного ветрового дискомфорта и может использоваться для первичного зонирования территории.

Результаты. Понятие комфортной городской среды в условиях Крайнего Севера рассмотрено в работах (Малышкин, Томица, 2018, с. 232 и Лупачева, 2022, с. 106) Одним из ключевых факторов, снижающих комфорт на открытых пространствах, является ветер, характер которого во многом определяется рельефом местности. Для оценки влияния рельефа на ветровой режим первым этапом является построение карты экспозиции склонов (Aspect). Инструмент Aspect в ArcMap позволяет определить ориентацию каждого склона относительно сторон света.

Для обеспечения сопоставимости данных и дальнейшей оценки растр был переклассифицирован в балльную шкалу от 1 до 5, где 1 – минимальная ветровая нагрузка (наиболее комфортные условия), 5 – максимальная

ветровая нагрузка (наиболее дискомфортные условия). Шкалы балльной оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Балльная шкала оценки ветровой нагрузки по экспозиции склонов

Table 1. Point scale for assessing wind load by slope exposure

Экспозиция	Градусы	Балл
Северная	0-45	1
Северо-восточная	45-90	2
Восточная	90-135	3
Юго-восточная	135-180	4
Южная	180-225	5
Юго-западная	225-270	5
Западная	270-315	4
Северо-западная	315-360	3

Растр, полученный после классификации, представлен на рисунке 2.

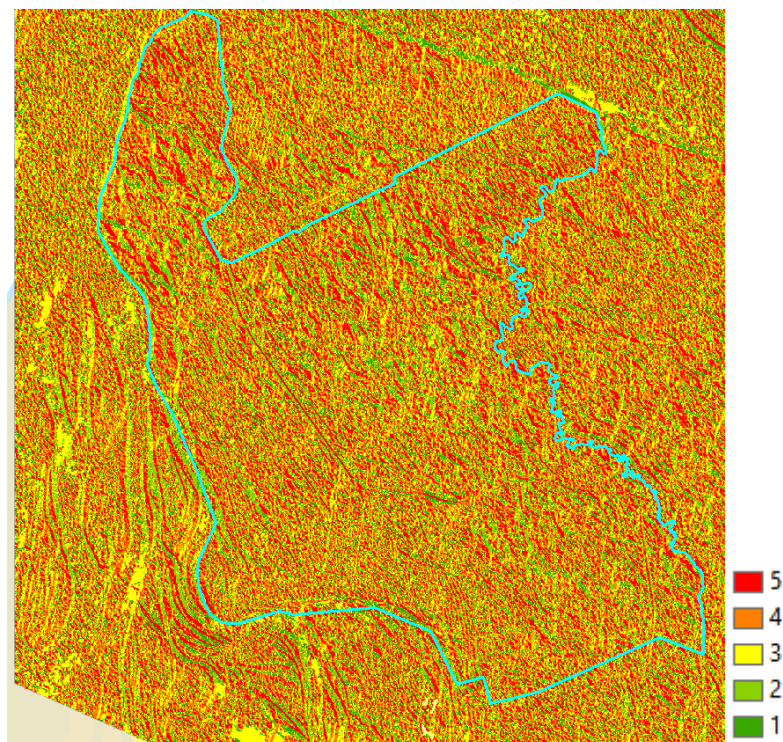


Рисунок 2. Ветровая нагрузка согласно балльной оценке экспозиции (цветовая шкала: от зеленого (1) до красного (5))

Figure 2. Wind load according to the point assessment of slope exposure (color scale: from green (1) to red (5))

На основе розы ветров г. Салехарда, где преобладают юго-западные и южные ветры, наиболее неблагоприятными с точки зрения ветровой нагрузки являются склоны, ориентированные навстречу господствующему потоку – то есть юго-западной и южной экспозиции. Склоны противоположной экспозиции (северо-восточные) находятся в зоне «ветровой тени» и характеризуются пониженной ветровой нагрузкой. Результатом промежуточного анализа стал растр, показывающий расположение склонов.

Вторым этапом является расчёт уклона рельефа (Slope). Крутизна склона влияет на скорость ветра: на наветренных склонах ветер ускоряется, тогда как на пологих участках и в низинах его скорость снижается. Инструмент Slope в ArcMap позволяет получить растровый слой, где каждому пикселю соответствует значение уклона в градусах. Так же, как и при расчете экспозиции, растр был переклассифицирован. Шкалы балльной оценки представлены в таблице 2, границы диапазонов выбраны из соображений равномерного распределения по диапазону уклонов на исследуемой территории.

Таблица 2. Балльная шкала оценки ветровой нагрузки по уклону

Table 2. Point scale for assessing wind load by slope steepness

Уклон, градусы	Балл
<2	1
2-5	2
5-10	3
10-15	4
>15	5

Переклассифицированный растр представлен на рисунке 3.

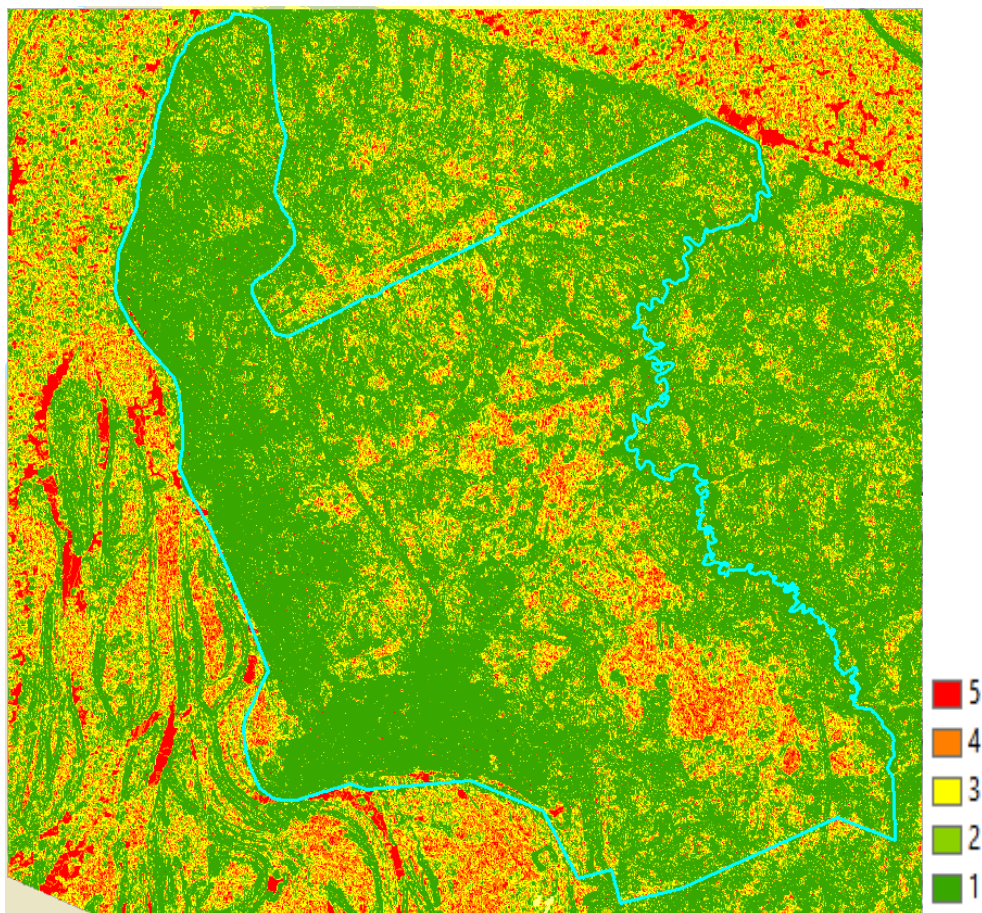


Рисунок 3. Ветровая нагрузка согласно бальной оценке уклона (цветовая шкала: от зеленого (1) до красного (5))

Figure 3. Wind load according to the point assessment of slope steepness (color scale: from green (1) to red (5))

На третьем этапе для учёта влияния застройки на ветровой режим выполняется расчёт плотности застройки. Для этого исходные полигоны зданий (данные OpenStreetMap) преобразуются в точечный слой (Feature to Point), после чего с помощью инструмента «Плотность точек» (Point Density) рассчитывается плотность застройки в радиусе 200 м. Такое значение радиуса выбрано исходя из того, что 200 м – это типичная ширина квартала или расстояние влияния зданий на ветровой режим, согласно градостроительным норма (4. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений : СП 42.13330.2016) . Полученный

растр плотности застройки нормализуется и переводится в балльную шкалу – таблица 3, рисунок 4.

Таблица 3. Балльная шкала оценки ветровой нагрузки по плотности застройки

Table 3. Point scale for assessing wind load by building density

Кол-во зданий в радиусе 200 м.	Балл
<5	5
5-10	4
10-15	3
15-20	2
>20	1

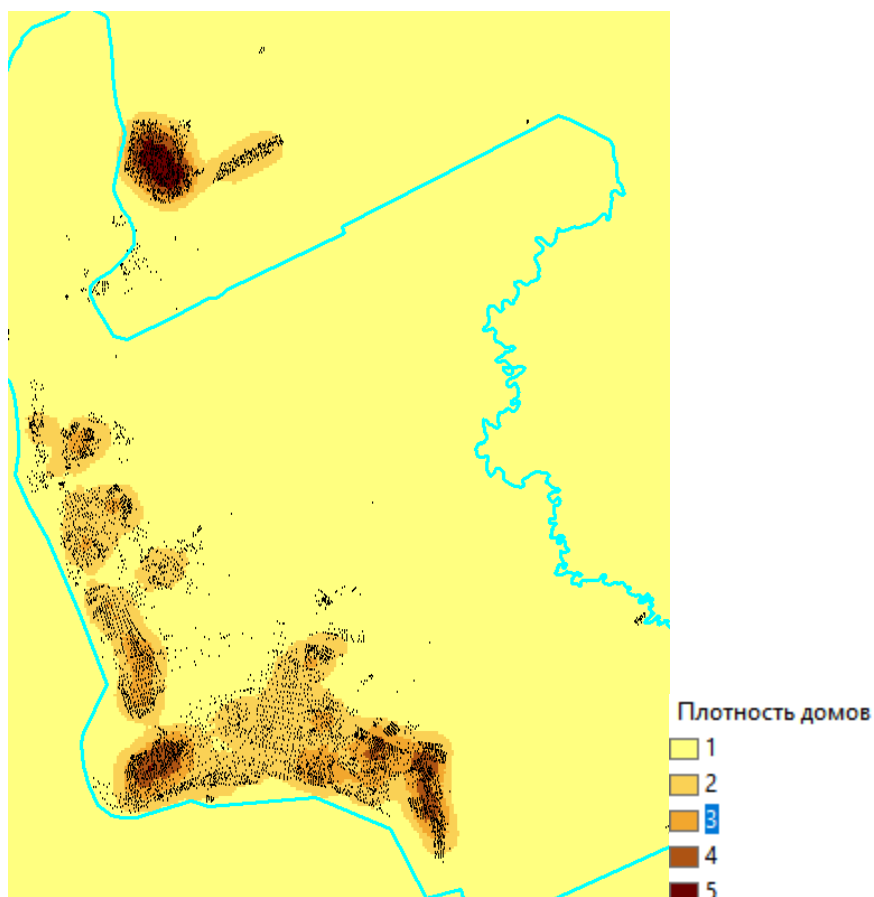


Рисунок 4. Анализ плотности зданий количество зданий в радиусе 200 м

Figure 4. Building density analysis: number of buildings within a 200 m radius

Итоговая карта ветрового дискомфорта формируется путём взвешенного суммирования балльных слоёв экспозиции, уклона и плотности застройки. Веса определены экспертным методом на основе анализа чувствительности; при изменении веса уклона на $\pm 0,1$ итоговая классификация меняется не более чем на 5% территории. Весовой коэффициент 0,4 для экспозиции и плотности застройки выбран исходя из их определяющей роли в формировании ветрового режима в условиях равнинной местности г. Салехарда. Уклон рельефа в данных условиях играет меньшую роль и имеет вес 0,2. Таким образом, итоговая формула имеет вид:

$$\text{Итоговый индекс ветрового дискомфорта} = (\text{"Экспозиция"} \times 0,4) + (\text{"Уклон"} \times 0,2) + (\text{"Плотность застройки"} \times 0,4) \quad (1)$$

Результатом является карта ветрового дискомфорта территории г. Салехарда (рисунок 5).

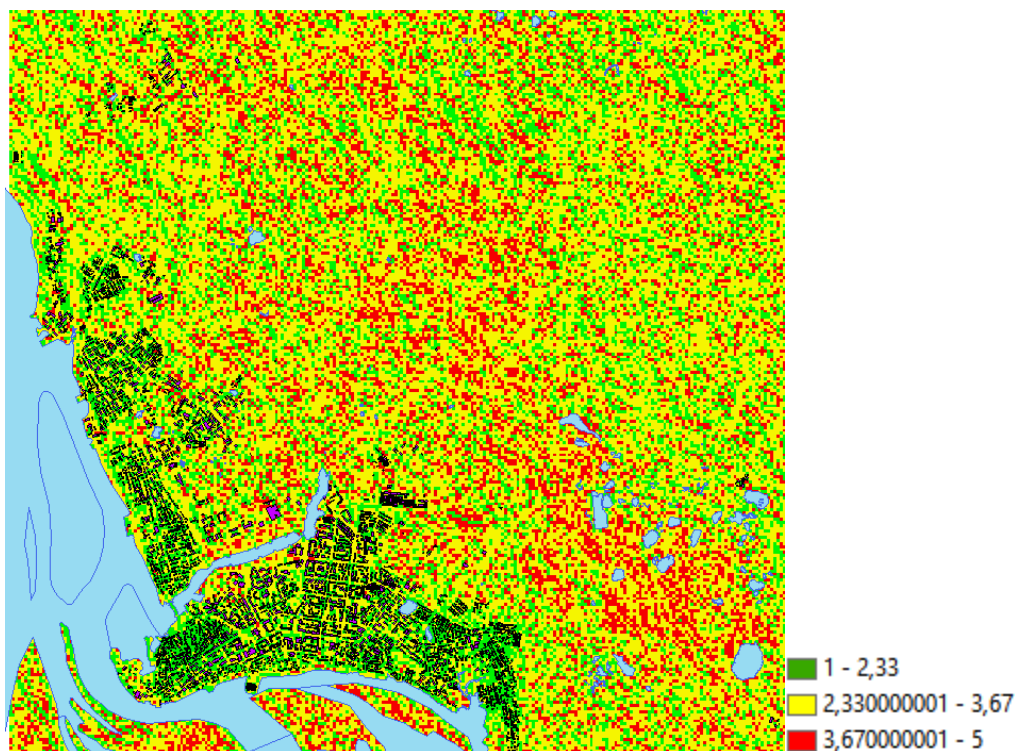


Рисунок 5. Карта ветрового дискомфорта г. Салехард

Figure 5. Map of wind discomfort in the city of Salekhard

На карте ветрового дискомфорта г. Салехард выделены три категории территорий:

– зоны низкого ветрового дискомфорта (значение индекса 1,00-2,33) – наиболее комфортные и защищённые территории. К ним относятся участки с высокой плотностью застройки (много домов, создающих естественную ветрозащиту), а также участки, защищённые рельефом (северные склоны).

– зоны среднего ветрового дискомфорта (значение индекса 2,34-3,67) – территории с умеренной ветровой нагрузкой. К ним относятся участки со средней плотностью застройки или пологими склонами.

– зоны высокого ветрового дискомфорта (значение индекса 3,68-5,00) – наиболее неблагоприятные участки.

Фрагмент карты на рисунке 6 демонстрирует, что территории, находящиеся вблизи реки, где преобладает высокий уклон, и практически отсутствуют здания, относятся к зоне высокого ветрового дискомфорта, в то время как участки, находящиеся между домами, защищены от ветра.

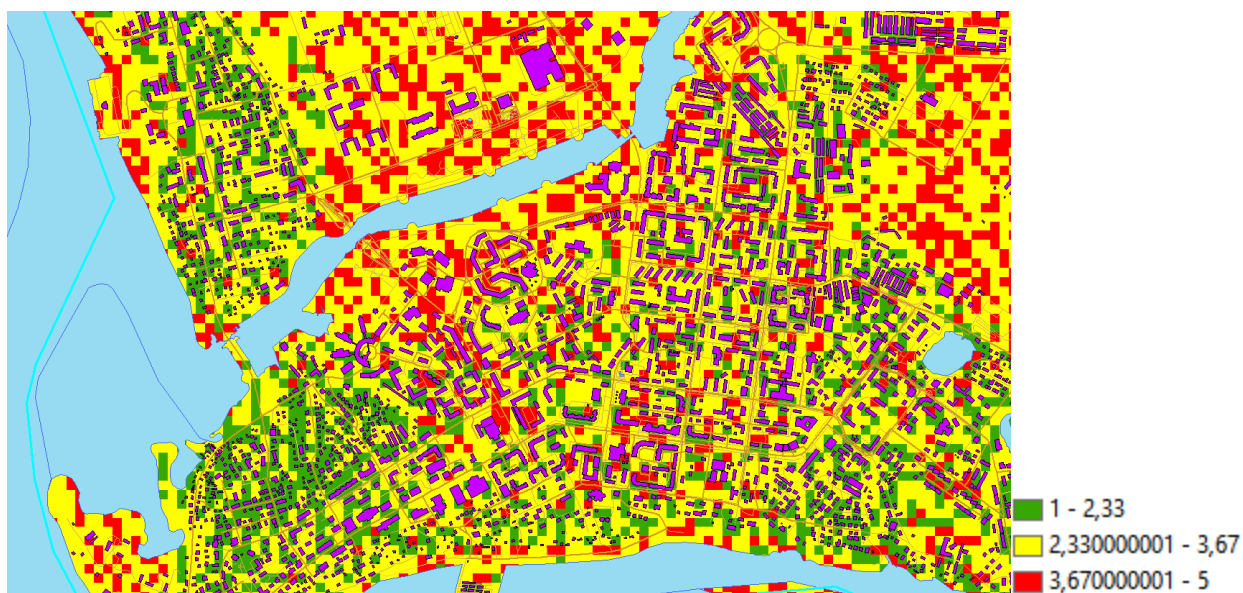


Рисунок 6. Фрагмент совмещения карты ветрового дискомфорта и векторного слоя, отображающего расположение зданий г. Салехард

Figure 6. Fragment of the overlay of the wind discomfort map and building locations in the city of Salekhard

Зоны высокого ветрового дискомфорта (отмечены красным) локализуются в юго-западной части города, а также на открытых возвышенных участках. Это соответствует склонам юго-западной и южной экспозиции (наветренным по отношению к ветрам) с низкой плотностью застройки. Отсутствие естественных ветрозащитных барьеров в сочетании с ориентацией склонов навстречу ветру формирует максимальную ветровую нагрузку. Данные территории являются наименее пригодными для размещения общественных пространств без ветрозащитных сооружений.

Зоны низкого ветрового дискомфорта (отмечены зеленым) расположены в центральной и северо-восточной частях города – в пределах кварталов с высокой плотностью застройки, а также на участках, защищённых рельефом (северные и северо-восточные склоны).

Многоэтажная застройка создаёт ветрозащитный барьер, а ориентация склонов не усиливает, а ослабляет воздействие юго-западных ветров. Эти территории являются приоритетными для размещения общественных пространств, поскольку ветровой дискомфорт минимален и не требует специальных мер ветрозащиты.

Таким образом, предложенный геоинформационный анализ позволяет определить зоны ветрового дискомфорта, объединяя влияние рельефа и плотности застройки. Пространственный анализ ветрового дискомфорта для арктического города, основанная на комплексной оценке трёх факторов: экспозиции склонов, крутизны рельефа и плотности застройки. В отличие от традиционных подходов, учитывающих только климатические параметры, предложенная методика интегрирует морфометрические характеристики рельефа и антропогенные барьеры.

Список источников

1. Архив погоды в Салехарде (метеостанция 23330) // RP5. – URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Салехарде (дата обращения: 06.05.2026). – Текст : электронный.
2. Биоклиматическая оценка уровня дискомфорта среды обитания для человека в различных районах Антарктиды / В. Ш. Белкин, М. Б. Дюргеров, А. Ф. Финаев, С. И. Сороко // Физиология человека. – 2016. – Т. 42, № 2. – С. 5-15. – DOI 10.7868/S0131164616020041.
3. Глава 6. Опасные природные явления на территории субъектов Арктической зоны России // Современные проблемы Арктической зоны Российской Федерации. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2014. – С. 161-174.
4. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений : СП 42.13330.2016. утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2016 № 1034/пр : дата введения 01.07.2017. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 126 с. – Текст : непосредственный.
5. Клебанович Н.В., Бакун В.В. «Исследование возможностей применения ГИС-технологий для построения моделей рельефа урбанизированных территорий (На примере Минска)» (2012). Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии: материалы международного научного конгресса 31 окт. – 3 нояб. 2011 г. : в 2 ч. Ч. 1. – Минск: БГУ, 2011. – С . 76-81.
6. Лупачева Д. О. Сравнение уровня развития комфортной городской среды в регионах Арктической зоны Российской Федерации / Д. О. Лупачева // Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию : Материалы III Международной молодежной научно-практической конференции, Архангельск, 26–28 апреля 2022 года. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2022. – С. 106-109.

7. Малышкин А. П. Понятие комфортной городской среды в условиях Крайнего Севера / А. П. Малышкин, М. А. Томица // Северный морской путь, водные и сухопутные транспортные коридоры как основа развития Сибири и Арктики в XXI веке : Сборник докладов XX Международной научно-практической конференции, Тюмень, 23 марта 2018 года. Том 1. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 232-236.

8. Оценка исходных данных глобальной модели ArcticDEM для исследований северных территорий РФ / Е. В. Полякова, А. Л. Минеев, Ю. Г. Кутинов, З. Б. Чистова // Уральский геологический журнал. – 2020. – № 5(137). – С. 3-19.

9. Роза ветров в Салехарде : данные метеостанции 23330 // ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 06.05.2026). – Текст : электронный.

10. СП 131.13330.2020. Строительная климатология : актуализированная редакция СНиП 23-01-99* : утвержден Приказом Минстроя России от 24.06.2020 № 325/пр : дата введения 25.12.2020. – Москва : ФГБУ «РСТ», 2020. – 119 с.

11. Сравнение ЦМР ARCTICDEM с данными воздушного лазерного сканирования / И. А. Рыльский, М. С. Малеванная, Д. А. Парамонов, Р. В. Груздев // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2025. – Т. 31, № 2. – С. 178-195. – DOI 10.35595/2414-9179-2025-2-31-178-195.

12. Salman R. S. Impact Based Forecast analysis uses multi-model ensemble data and National Digital Forecast data in ArcMap 10.8.1 / R. S. Salman, Ayufitriya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 893, No. 1. – P. 012076. – DOI 10.1088/1755-1315/893/1/012076.

References

1. Arkhiv pogody v Salekharde (meteostantsiya 23330) // RP5. – URL: https://rp5.ru/Arkhiv_pogody_v_Salekharde (data obrashcheniya: 06.05.2026). – Tekst : elektronnyy.
2. Bioklimaticheskaya otsenka urovnya diskomfortnosti sredy obitaniya dlya cheloveka v razlichnykh rayonakh Antarktidy / V. Sh. Belkin, M. B. Dyurgerov, A. F. Finaev, S. I. Soroko // Fiziologiya cheloveka. – 2016. – T. 42, № 2. – S. 5-15. – DOI 10.7868/S0131164616020041.
3. Glava 6. Opasnye prirodnye yavleniya na territorii sub"ektov Arkticheskoy zony Rossii // Sovremennye problemy Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii. – Moskva : Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut po problemam grazhdanskoy oborony i chrezvychaynykh situatsiy MChS Rossii, 2014. – S. 161-174.
4. Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroika gorodskikh i sel'skikh poseleniy : SP 42.13330.2016. utv. Prikazom Ministroya Rossii ot 30.12.2016 № 1034/pr : data vvedeniya 01.07.2017. – Moskva : Standartinform, 2017. – 126 s. – Tekst : neposredstvennyy.
5. Klebanovich N.V., Bakun V.V. «Issledovanie vozmozhnostey primeneniya GIS-tekhnologiy dlya postroeniya modeley rel'efa urbanizirovannykh territoriy (Na primere Minska)» (2012). Mezhdunarodnyy kongress po informatike: informatsionnye sistemy i tekhnologii: materialy mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa 31 okt. – 3 noyab. 2011 g. : v 2 ch. Ch. 1. – Minsk: BGU, 2011. – S. 76-81.
6. Lupacheva D. O. Sravnenie urovnya razvitiya komfortnoy gorodskoy sredy v regionakh Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii / D. O. Lupacheva // Arkticheskie issledovaniya: ot ekstensivnogo osvoeniya k kompleksnomu razvitiyu : Materialy III Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Arkhangel'sk, 26–28 aprelya 2022 goda. – Arkhangel'sk: Severnyy (Arkticheskiy) federal'nyy universitet imeni M.V. Lomonosova, 2022. – S. 106-109.

7. Malyshkin A. P. Ponyatie komfortnoy gorodskoy sredy v usloviyakh Kraynego Severa / A. P. Malyshkin, M. A. Tomitsa // Severnyy morskoy put', vodnye i sukhoputnye transportnye koridory kak osnova razvitiya Sibiri i Arktiki v XXI veke : Sbornik dokladov XX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Tyumen', 23 marta 2018 goda. Tom 1. – Tyumen' : Tyumenskiy industrial'nyy universitet, 2018. – S. 232-236.

8. Otsenka iskhodnykh dannykh global'noy modeli ArcticDEM dlya issledovaniy severnykh territoriy RF / E. V. Polyakova, A. L. Mineev, Yu. G. Kutinov, Z. B. Chistova // Ural'skiy geologicheskii zhurnal. – 2020. – № 5(137). – S. 3-19.

9. Roza vetrov v Salekharde : dannye meteostantsii 23330 // FGBU «VNIIGMI-MTsD». – URL: <http://meteo.ru/data> (data obrashcheniya: 06.05.2026). – Tekst : elektronnyy.

10. SP 131.13330.2020. Stroitel'naya klimatologiya : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-01-99* : utverzhden Prikazom Ministroya Rossii ot 24.06.2020 № 325/pr : data vvedeniya 25.12.2020. – Moskva : FGBU «RST», 2020. – 119 s.

11. Sravnenie TsMR ARCTICDEM s dannymi vozdushnogo lazernogo skanirovaniya / I. A. Ryl'skiy, M. S. Malevannaya, D. A. Paramonov, R. V. Gruzdev // InterKarto. InterGIS. – 2025. – T. 31, № 2. – S. 178-195. – DOI 10.35595/2414-9179-2025-2-31-178-195.

12. Salman R. S. Impact Based Forecast analysis uses multi-model ensemble data and National Digital Forecast data in ArcMap 10.8.1 / R. S. Salman, Ayufitriya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 893, No. 1. – P. 012076. – DOI 10.1088/1755-1315/893/1/012076.

Информация об авторе (авторах):

Подрядчикова Екатерина Дмитриевна, кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3463-1359>, podryadchikova_ed@mail.ru

Пандырева Полина Максимовна магистрант кафедры геодезии и кадастровой деятельности, polina.pandyreva@ya.ru

Information about the author (authors):

Ekaterina D. Podryadchikova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Geodesy and Cadaster, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3463-1359>, podryadchikova_ed@mail.ru

at the Department of Geodesy and Cadaster,

Polina M. Pandyreva, Master's student, Department of Geodesy and Cadastral Activities, polina.pandyreva@ya.ru

✉ **podryadchikova_ed@mail.ru**