

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА УРБОЛАНДШАФТЫ Г. ЖАБИНКА *DETERMINING THE DEGREE OF ANTHROPOGENIC LOAD ON URBAN LANDSCAPES OF ZHABINKA*

И. В. МЕТЛИЦКИЙ

I. METLITSKY

e-mail: klelllheryk@yandex.by

УДК 502.5:504.5(476.7-21)

А. Л. КИНДЕЕВ

A. KINDEEV

e-mail: AKindeev@tut.by

А. А. КАРПИЧЕНКО

A. KARPICHENKA

e-mail: karpi@bsu.by

*Поступила в редакцию/
received 30.01.2024*

Аннотация. В статье рассмотрена оценка экологического состояния урболандшафтов (УЛ) г. Жабинка на основании уровня антропогенной нагрузки на них. Выделены УЛ г. Жабинка, построена картограмма кислотности почв, проведен анализ теплового загрязнения УЛ г. Жабинка с использованием снимков Landsat 8, установлены зоны теплового загрязнения, выявлены возможные причины их возникновения. Подтверждена возможность формирования острова тепла в малых городах Беларуси. Установлено, что средняя кислотность (pH_{KCl}) городских почв г. Жабинка составляет 7,00, что значительно превышает обычную кислотность (5,50–6,00), характерную для антропогенно-преобразованных сельскохозяйственных почв Беларуси. Определено, что самая высокая степень антропогенной геохимической (pH_{KCl} 7,2–7,3) и тепловой нагрузки (24,4–25,0 °С) выявлена в группах северных и юго-западных городских ландшафтов (29 % площади города).

Ключевые слова: геохимия городов, тепловое загрязнение, кислотность почв, экологические риски.

Annotation. The article discusses the assessment of the ecological state of urban landscapes (UL) in Zhabinka city based on the level of anthropogenic load on them. The Zhabinka's UL was identified, a cartogram of soil acidity was constructed, an analysis of thermal pollution of the Zhabinka's UL was carried out using Landsat 8 images, zones of thermal pollution were established, and possible causes of their occurrence were identified. The possibility of heat island formation in small towns of Belarus has been confirmed. It has been established that the average acidity (pH_{KCl}) of urban soils in Zhabinka is 7.00, which significantly exceeds the usual acidity (5.50–6.00) characteristic of anthropogenically transformed agricultural soils of Belarus. It was determined that the highest degree of anthropogenic geochemical (pH_{KCl} 7.2–7.3) and thermal load (24.4–25.0 °C) was identified in groups of northern and southwestern urban landscapes (29 % of the city area).

Keywords: urban geochemistry, thermal pollution, soil acidity, environmental risks.

Введение

Совершенствование городской среды в рамках концепции устойчивого развития невозможно без контролируемого преобразования природных

ландшафтов для удовлетворения растущих потребностей общества. Многочисленные эмпирические данные свидетельствуют, что существует квадратичная зависимость между загрязнением окружа-



ющей среды и экономическим ростом. На ранних этапах индустриального развития страны экономический рост напрямую связан с ухудшением состояния окружающей среды, в то время как на поздних этапах эта связь обратная: с экономическим ростом состояние окружающей среды улучшается [1, 2, 3].

В настоящее время Беларусь постепенно переходит от доминирующей роли промышленности в экономике к преобладанию сферы услуг с постоянно растущей долей населения, занятого в сфере услуг и сосредоточенного в городах [4]. Таким образом, существует возможность повышения экономической и социальной эффективности городского населения за счет комплексного улучшения экологического состояния городов.

Экологическое состояние города может оцениваться через ряд индикаторов, в качестве которых могут выступать воздух, почвы, воды, животные, растения, бактерии. Почвы выступают в качестве связующего звена между другими компонентами урболандшафта, депонируя тяжелые металлы и органические загрязнители из воздушной и водной среды. Поступающие в результате техногенной миграции тяжелые металлы (ТМ) в той или иной степени фиксируются почвой. Процесс фиксации включает адсорбцию, осаждение, коагуляцию, межпакетное поглощение глинистыми минералами. Параллельно идет процесс удаления ТМ из почвы в результате выщелачивания, потребления растениями, эрозии, в существенной мере зависящий от геохимической обстановки.

В настоящее время имеется информация о состоянии почв Минска, Светлогорска, Гомеля, Гродно, Мозыря, Березовки, Новополоцка и городов, включенных в перечень объектов Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС), в которых осуществляется наблюдение за химическим загрязнением городских почв [5]. При этом в ряде быстрорастущих населенных пунктов, получивших статус города в последнее десятилетие, мониторинг не ведется. Главной причиной отсутствия данной информации о других

городах Беларуси является масштабность и дороговизна подобных исследований.

Таким образом, целью настоящего исследования является выявление урболандшафтов в малых городах Беларуси (на примере г. Жабинка) и оценка степени антропогенного влияния. В ходе достижения поставленной цели предлагается решение следующих задач:

1. Определение структуры урболандшафтов города.
2. Оценка степени теплового загрязнения по данным дистанционного зондирования Земли.
3. Анализ кислотности почв урболандшафтов в качестве ландшафтно-геохимического индикатора их техногенной трансформации.
4. Формирование предложений по оптимизации урболандшафтов с целью снижения экологических рисков.

Основная часть

Анализ литературных источников

Существует несколько различных подходов к выделению и классификации урболандшафтов, предложенных разными авторами, среди которых наиболее известными и детальными являются классификации Н. С. Касимова и А. И. Перельмана, М. А. Глазовской, Г. И. Марцинкевич, В. С. Хомича [6–9]. Однако подобные сложные классификации могут иметь практическое использование только в пределах городов с хорошо развитой системой мониторинга за состоянием окружающей среды [10, 11]. Отсутствие единой методики выделения, классификации и исследования урболандшафтов, а также различная приборно-аналитическая база научных учреждений приводит к ряду сложностей при сопоставлении данных различных исследователей [11, 12].

О необходимости разработки нового единого методического подхода к исследованию УЛ в городах Беларуси говорится в работе Н. К. Чертко и А. А. Карпиченко [11]. В связи с этим сейчас для городов Беларуси с ограниченным количеством информации о состоянии окружающей среды

используется более простой подход к классификации УЛ, содержащий 4 классификационные ступени (класс – тип – группа видов – вид). Способ опробован на таких городах Беларуси, как Пинск, Орша, Жодино, Брест, Гомель [9, 12, 13]. С учетом региональных особенностей, данная классификация может применяться и к малым городам.

Исследование теплового излучения поверхности с помощью космических снимков уже ранее проводилось как в зарубежных исследованиях, так и в Беларуси для таких городов, как Минск, Бобруйск, Пинск и Орша [12, 14, 15]. При этом всегда исследовались достаточно крупные города с населением более 100 тыс. человек, но процессы распределения температуры поверхности малых городов Беларуси, в том числе возможность формирования городских островов тепла, не исследовались. В то же время существует ряд подобных исследований для малых городов Австралии, США, Словении [16–18].

Применению показателя кислотности почв для оценки экологического состояния почв, в том числе как индикатора подвижности ТМ в почве посвящен ряд работ [19–21], в которых указывается на наличие сдвига реакции почвенной среды в сторону подщелачивания. В некоторых работах, однако, указывается на возможность подкисления почв [8, 22, 23]. Напрямую поступление в почву соединений ТМ действительно может приводить к ощутимому повышению pH_{KCl} среды, однако это характерно только для почв с превышением суммарного показателя загрязнения грунтов тяжелыми металлами в 20 раз, наблюдаемым на территории крупных металлургических предприятий, мест нефтедобычи, шламоотвалов или свалок [8, 24]. В то же время для большинства городов поступление в почву ТМ связано с попаданием в почву строительного и бытового мусора, золы от сгорания топлива или выбросов промышленных предприятий и транспорта, пыли с автомагистралей, применением противогололедных смесей на основе каменной соли в холодный период и т. п., что в свою очередь существенно

влияет на изменение реакции городских почв в сторону подщелачивания [20, 21, 25].

Следовательно, возможна оценка степени геохимической трансформации урболандшафта на основании отклонения ожидаемой средней кислотности от действительной. Подобный анализ показывает на возможные изменения условий миграции тяжелых металлов, в заметной мере определяемых кислотнo-щелочными условиями [7], что позволяет выявить зоны существенной техногенной геохимической трансформации УЛ, для которых при необходимости возможно проведение более детального исследования с увеличенной частотой пробоотбора.

Объект и методы исследования

Одним из быстрорастущих городов Беларуси, испытывающих значительный уровень техногенной нагрузки, является г. Жабинка [26, 27], который находится на западе Брестской области в непосредственной близости от г. Бреста (с 2014 г. – город-спутник Бреста) [28, 29]. Расположен на месте впадения р. Жабинка в р. Мухавец. На 1 января 2023 г. население города составило 14 231 человек, плотность населения составляет 785 чел./км². Город занимает площадь в 18,12 км², из которых 49,7 % занимают расположенные в городской черте земельные участки с усадебной застройкой и садоводческие товарищества (с.т.) (5,7 %), в том числе находящиеся внутри границ санитарно-защитных зон промышленных предприятий (с.т. «Дружба-2008», с.т. «Ягодный Край»).

Город Жабинка является транспортным узлом (железные дороги Брест–Минск и Брест–Гомель, автомобильные дороги международного и республиканского значения М1, Р104, Р7) с крупными промышленными предприятиями – ОАО «Жабинковский сахарный завод», ОАО «Жабинковский комбикормовый завод», КУМПП ЖКХ «Жабинковское ЖКХ», УП «Жабинковская ПМК-10», АБЗ «Жабинка», ООО «Вермикулитная компания», ООО «ДАГРАЛЕС», ЗАО «КОНСУЛ».

Методика исследования

Большинство современных УЛ крупных городов представляют собой сочетание антропоген-



ных и техногенных объектов с незначительной долей естественных природных элементов, поэтому для районирования территории при решении практических задач достаточно функционального зонирования. В малых городах доля природного влияния существенно выше, что обуславливает необходимость изучения как особенностей формирования урболандшафтов, так и их современного геоэкологического состояния совместно с предысторией его формирования.

Класс ландшафтов отождествляется с понятием «городской ландшафт» и включает всю территорию, подвергшуюся градостроительной трансформации; тип выделяется с учетом функций, выполняемых градостроительными объектами; группа видов – с учетом местоположения и характера природного ландшафта, вид – с учетом типа градостроительного использования территории [9].

Выделение и картографирование урболандшафтов выполнены в программном пакете QGIS на основе карты геологических отложений и схемы функционального зонирования города [29]. При выделении также учитывались исторические особенности формирования города, с учетом влияния техногенных – железной и автомобильных дорог, а также природных осей – рек Мухавец и Жабинка.

Для оценки теплового загрязнения применялась методика, использованная при аналогичных работах по г. Орше и Пинску [12] на основе космических снимков Landsat 8 (получены с использованием ресурса *EarthExplorer*). В ходе выполнения расчетов использованы красный и ближний инфракрасный спектральные каналы съемочной аппаратуры *Operational Land Imager* и дальний инфракрасный спектральный канал съемочной аппаратуры *Thermal Infrared Sensor* [30, 31]. В результате выполнения расчетов получены растровые изображения температуры земной поверхности с выходным пространственным разрешением 30 м.

Изменение геохимической обстановки в верхних горизонтах почв оценивалось через кислотность (pH_{KCl}). Были отобраны 72 почвенные

пробы на территории г. Жабинка, преимущественно супесчаного гранулометрического состава. Отбор проб производился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 и ГОСТ 17.4.02-84 с глубины 0–19,9 см на основании схемы функционального зонирования города в количестве, пропорциональном размеру функциональной зоны, со сгущением в зонах более интенсивного техногенного воздействия (не менее одной пробы на одну функциональную зону).

Анализ обменной кислотности почв производился на поверенном в установленном порядке рН-метре рН-150М с помощью солевой вытяжки. Проводилась проверка на содержание карбонатов в почве с помощью 10%-го раствора HCl.

Результаты и их обсуждение

Выделение урболандшафтов и оценка их состояния являются способами выявления проблемных зон и установления причин их возникновения, поиска новых территорий для застройки и модернизации уже существующих, создания экологического каркаса и обеспечения связности территории, что в совокупности приведет к достижению главной цели – повышению устойчивости и комфортности городской среды (см. рисунок 1).

В результате анализа выделенных УЛ было установлено, что УЛ г. Жабинка характеризуются высокой однородностью, в первую очередь из-за полного доминирования усадебной застройки в структуре городского жилья. Производственные предприятия и их санитарно-защитные зоны локализованы в северной и юго-западной частях города вдоль железной дороги, которая делит город на части: южную – жилую и северную – промышленную.

Данная дифференциация является благоприятным фактором для формирования в южной части города природно-урбанизированной планировочной схемы с природной осью в виде р. Мухавец.

Для исследования тепловых рисков были выбраны снимки самого холодного и самого теплого месяца (19 января и 14 июля 2021 г. соответственно). Снимки в обоих случаях сделаны в 09:19 GMT.

Средняя температура воздуха в январе составляет -3°C , в июле – около $20,6^{\circ}\text{C}$ [29, 32].

По данным наблюдений на метеорологической станции г. Жабинка температура на время 12:00 GMT составляла 33°C [32]. В ходе анализа данных было установлено, что июльская температура поверхности в границах города на момент съемки варьируется от $21,7^{\circ}\text{C}$ до $28,7^{\circ}\text{C}$ и в среднем составляет $25,2^{\circ}\text{C}$ (среднеквадратическое отклонение = $1,3^{\circ}\text{C}$). Разница температуры воздуха, полученной на метеостанции, и температуры поверхности объясняется разницей времени между данными измерениями. На прилегающих к городу территориях (на удалении до 5 км) среднее значение температуры поверхности составляет $23,6^{\circ}\text{C}$ (т. е. ниже на $1,6^{\circ}\text{C}$) и находится в пределах от $21,1$ до 29°C , что свидетельствует о формировании положительных тепловых аномалий в черте города (см. рисунок 2).

В июле наиболее высокие температуры поверхности (до 29°C) ожидаемо наблюдаются в границах урболандшафтов, характеризующихся доминированием промышленных комплексов. В районах многоэтажной застройки температура в среднем на 2°C выше, чем в зонах частного сектора и составляет $27,1^{\circ}\text{C}$, что объясняется высокой озелененностью УЛ с доминированием усадебной застройки, а также большей плотностью тепловыделяющих элементов и лучшей аккумуляцией тепла многоэтажных зданий. Наиболее низкие значения температуры поверхности (22 – 23°C) отмечаются в границах природных территорий, покрытых естественной растительностью: лесного массива на востоке города (УЛ 9), городского парка (УЛ 2), а также в долине р. Мухавец и районе водохранилища Визжар, находящегося на севере УЛ 15 за чертой города.

Отдельного внимания заслуживает выявленный в пределах УЛ 3 городской остров тепла, сформировавшийся даже несмотря на малый размер города. Максимальные температуры в центре города на $0,5^{\circ}\text{C}$ ниже максимальных температур промышленных комплексов, однако средняя тем-

пература поверхности УЛ 3 наиболее высокая среди всех УЛ г. Жабинка и составляет $26,6^{\circ}\text{C}$, что на $1,4^{\circ}\text{C}$ выше средней температуры поверхности города.

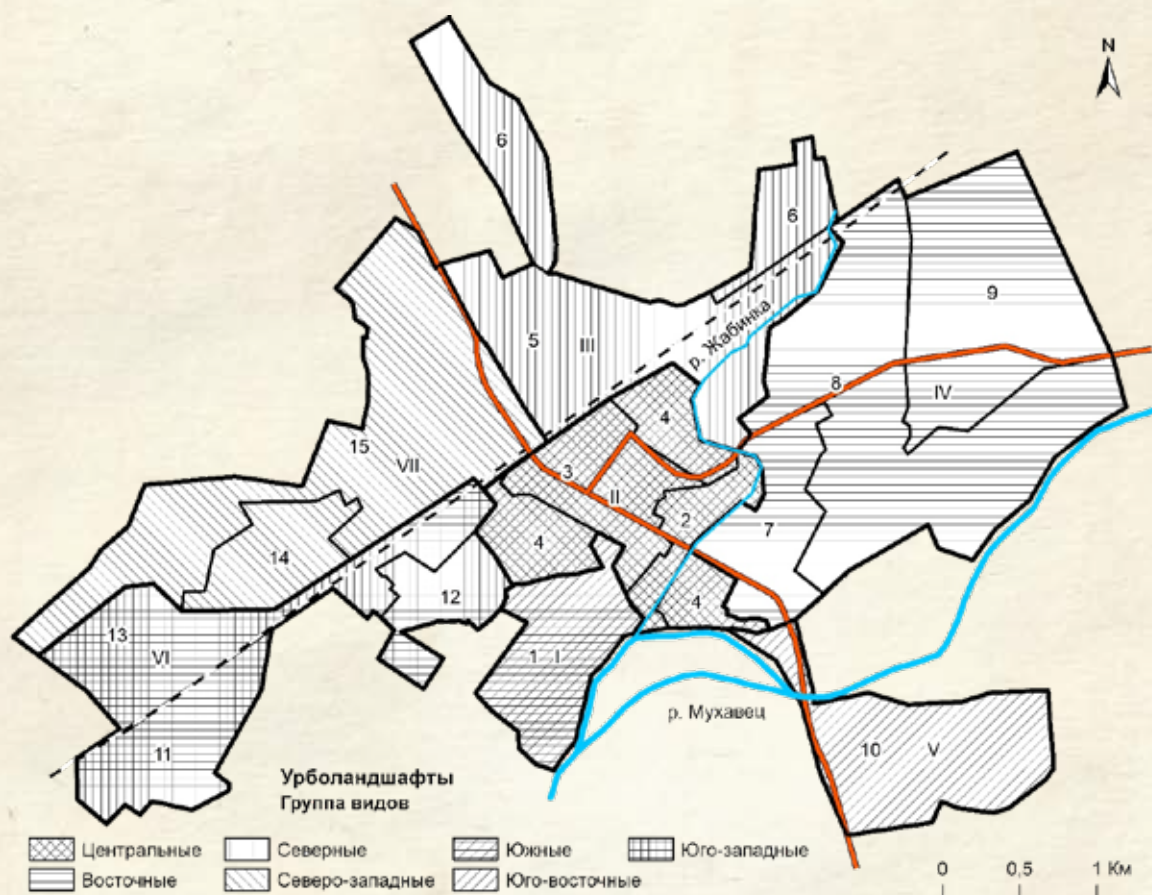
По данным наблюдений на метеорологической станции г. Жабинка температура на время 12:00 GMT составляла -11°C [32]. Январская температура поверхности в границах города на момент съемки варьируется от $-21,1^{\circ}\text{C}$ до $-15,1^{\circ}\text{C}$ и в среднем составляет -18°C ($\sigma = 0,7$), что на $1,3^{\circ}\text{C}$ выше средней температуры поверхности на прилегающей территории (см. рисунок 3).

Разница температуры воздуха, полученной на метеостанции, и температуры поверхности объясняется разницей времени между данными измерениями и более низкой температурой воздуха (до -15°C) в предыдущие дни.

В январе наиболее высокие температуры поверхности наблюдаются в русле р. Мухавец и поверхности водохранилища Визжар, аккумулирующих тепло. Относительно высокую максимальную температуру (-16°C) имеют многоквартирные дома УЛ 7. Остров тепла в центре города (УЛ 3) выражен слабее, чем летом, но все еще выделяется повышенной на 1°C , по сравнению с городом, средней температурой. Вследствие формирования воздушного буфера за счет заснеженных крон деревьев температура лесного массива УЛ 9 в отдельных местах повышается до $-16,6^{\circ}\text{C}$. На территории остальных УЛ температура поверхности однородна и колеблется в пределах от -17 до -19°C .

Вторым индикатором техногенной трансформации урболандшафтов выступает кислотность почвы, пространственное распределение которой внутри УЛ представлено на рисунке 4.

Анализируя пространственное распределение значений pH_{KCl} , можно заметить, что УЛ 6, 11, 13 и точки № 6 и 22, где выявлены соответственно наибольшие средние и максимальные значения, приурочены к оси, на которой расположены крупнейшие промышленные предприятия города и



I. Южные на пресноводных известковых отложениях:

1. Промышленные, производственные и складские территории.

II. Центральные на пресноводных известковых отложениях:

2. Парки и открытые озелененные территории.

3. Общественная застройка общегородского центра, торгового, учебного, спортивного, культурного, административного назначения и жилая многоквартирная и усадебная застройка городского типа.

4. Жилая усадебная застройка городского типа и общественная застройка торгового типа.

III. Северные на водно-ледниковой равнине:

5. Промышленные, производственные и складские территории.

6. Жилая усадебная застройка сельского типа.

IV. Восточные на водно-ледниковой равнине:

7. Жилая многоквартирная и общественная застройка учебного, торгового и медицинского назначения.

8. Жилая усадебная застройка городского и сельского типа, массивы лесной растительности и открытые озелененные территории.

9. Леса, дачные территории садовых товариществ.

V. Юго-восточные на водно-ледниковой равнине и аллювиальных отложениях р. Мухавец:

10. Жилая усадебная застройка городского и сельского типа.

VI. Юго-западные на водно-ледниковой равнине:

11. Жилая усадебная застройка сельского и городского типа.

12. Жилая усадебная застройка городского типа.

13. Промышленные, производственные и складские территории.

VII. Северо-западные на водно-ледниковой равнине:

14. Жилая многоквартирная и общественная застройка учебного, торгового и культурного назначения, лесопарки и открытые озелененные территории.

15. Жилая усадебная застройка городского типа, дачные территории садовых товариществ.

Рисунок 1 – Урболандшафты г. Жабинка

железнодорожные пути. Среднее значение pH_{KCl} в 300-метровой буферной зоне вокруг достигает 7,32 ($\sigma = 0,25$) при среднем значении pH_{KCl} на всей территории г. Жабинка 7,00 ($\sigma = 0,45$). Учитывая

схожесть почвообразующих процессов на территории города, можно предположить, что данная аномалия связана непосредственно с техногенным воздействием. Также стоит отметить, что

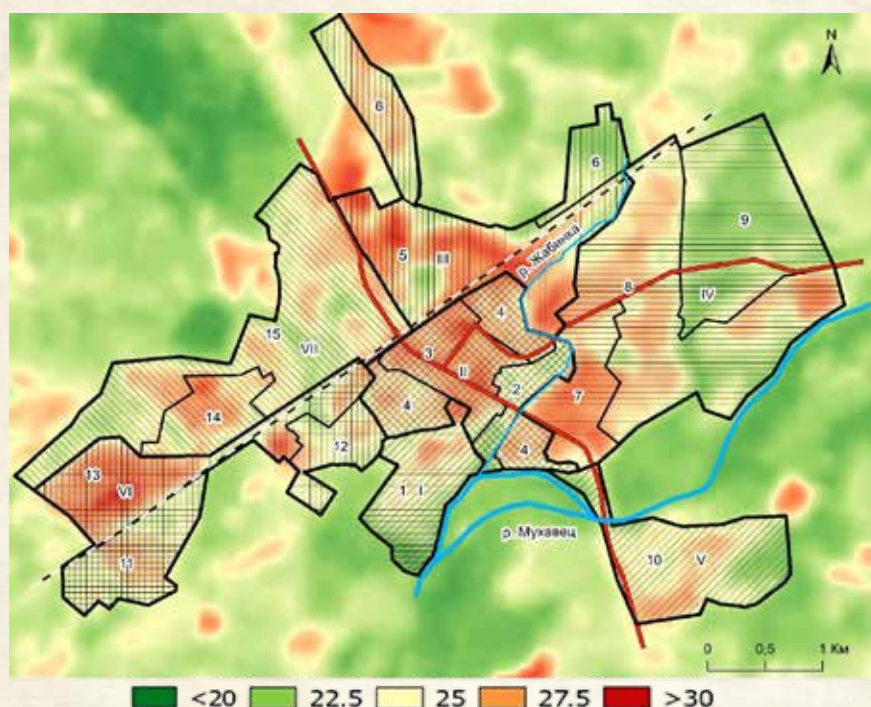


Рисунок 2 – Температура поверхности урболандшафтов г. Жабинка в июле, °С

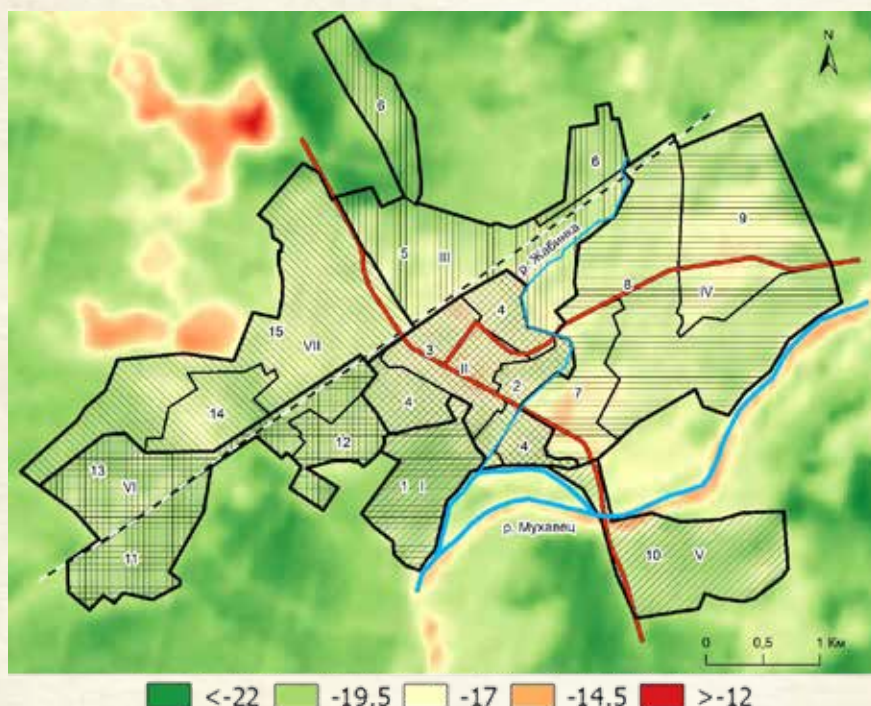


Рисунок 3 – Температура поверхности урболандшафтов г. Жабинка в феврале, °С

среди территорий с одноэтажной застройкой наибольшие средние значения pH_{KCl} характерны для УЛ с преобладанием одноэтажной застройки сельского типа – бывших деревень, недавно включенных в состав города.

Полученные данные кислотности почв урболандшафтов и их статистические показатели представлены в таблицах 1 и 2.

Закономерность повышения среднего значения pH_{KCl} в зависимости от степени антропогенной нагрузки проявляется также в распределении значений в зависимости от функционального назначения территории. Существует прямая связь между характерной для определенной функциональной зоны степенью техногенного воздействия на почвы и значениями pH_{KCl} (см. таблицу 2).

Наиболее высокий средний показатель pH_{KCl} наблюдается на территории УЛ 6, 11 (*жилая усадебная застройка сельского типа*), и 13 (*промышленные, производственные и складские территории*). Все три УЛ характеризуются очень высокой однородностью пространственного распределения кислотности. На территории УЛ 13 расположен сахарный завод. Так, УЛ 6 и УЛ 11 представляют собой недавно присоединенные в состав города деревни, подщелачивание почв которых в основном происходит за счет широкого распространения печного отопления и внесения удобрений в почвы приусадебных участков.



Наиболее высокие максимальные значения pH_{KCl} наблюдаются на территории УЛ 8 (жилая усадебная застройка городского и сельского типа, массивы лесной растительности и открытые озелененные территории) и УЛ 15 (жилая усадебная застройка городского типа, однако данные значения не являются выбросами и должны использоваться в дальнейшем анализе. Максимальное значение pH_{KCl} УЛ 15 соответствует точке отбора №6, расположенной на территории, находящейся на перекрестке главных дорог, ведущих к расположенным в 200 м крупного гаражного кооператива и комплекса многоквартирных домов и в 600 м от сахарного завода. Максимальное значение pH_{KCl} УЛ 8 соответствует точке отбора №22, также расположенной на

перекрестке дорог в частном секторе, в 600 м от комбикормового завода.

Наиболее низкие средние значения pH_{KCl} наблюдаются на территории УЛ 2 (парки и открытые озелененные территории), УЛ 7 (жилая многоквартирная и общественная застройка учебного, торгового и медицинского назначения) и УЛ 9 (леса, дачные территории садовых товариществ). Кислотность почв зеленых зон ожидаемо выше, чем среднегородская, за счет естественных процессов подкисления почвы при процессах почвообразования и разложения органического вещества грибной микрофлорой. Также на низкий показатель pH_{KCl} может влиять удаленность от автомобильных и железных дорог, крупных промышленных предприятий. УЛ 7 характеризуется высокой озелененно-

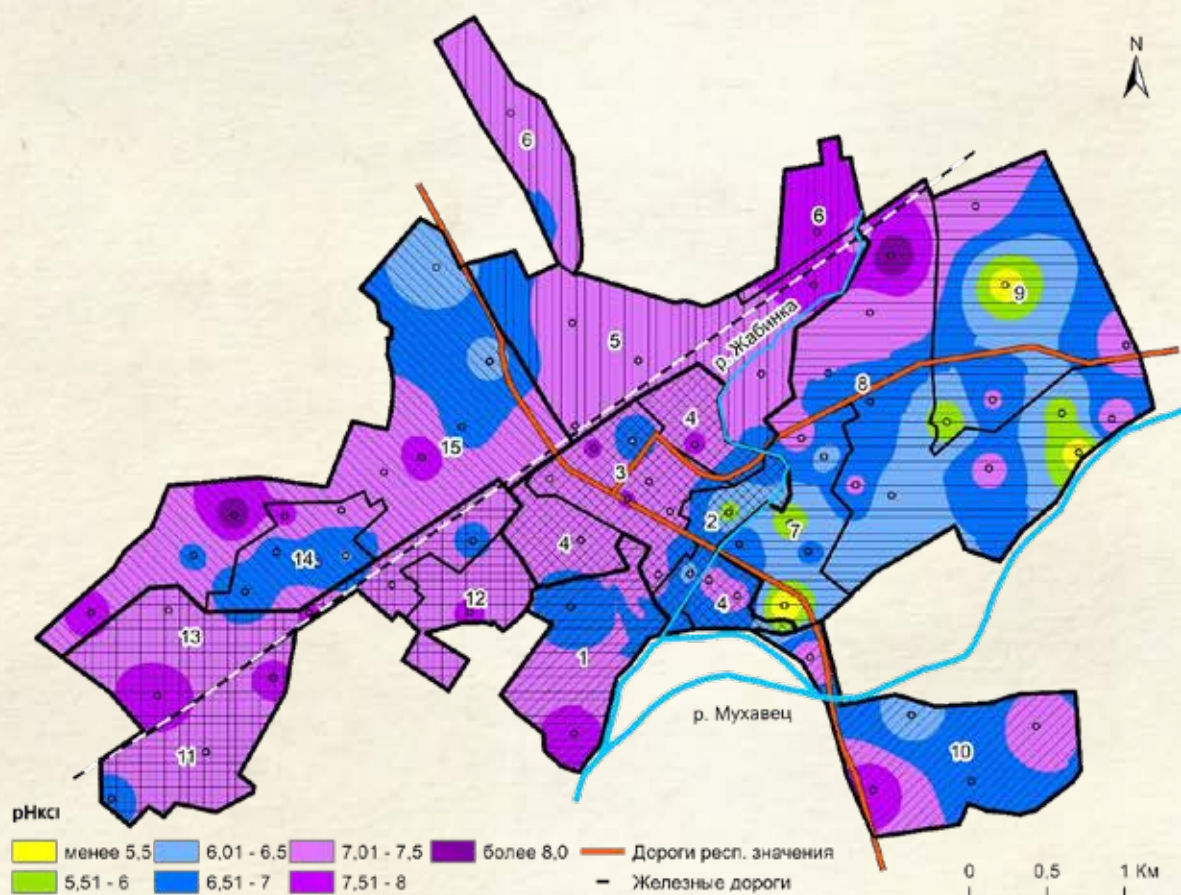


Рисунок 4 – Картограмма кислотности почв урболандшафтов г. Жабинка (цифрами обозначены виды УЛ)

Таблица 1 – Кислотность урболандшафтов

Номер вида УЛ	$pH_{KCl\text{средн}}$	σ	$pH_{KCl\text{max}}$	$pH_{KCl\text{min}}$	Размах варьирования
1	7,15	0,25	7,65	6,66	0,99
2	6,57	0,30	7,18	5,77	1,41
3	7,18	0,20	7,60	6,47	1,13
4	7,08	0,25	7,60	5,62	1,97
5	7,24	0,22	7,70	6,37	1,33
6	7,30	0,25	7,80	6,95	0,85
7	6,37	0,43	7,29	4,90	2,39
8	6,78	0,54	8,55	5,10	3,45
9	6,57	0,46	7,39	5,20	2,19
10	6,98	0,33	7,90	6,16	1,74
11	7,34	0,16	7,62	6,89	0,73
12	7,28	0,13	7,58	6,98	0,60
13	7,31	0,20	7,75	6,78	0,97
14	6,94	0,26	7,66	6,45	1,21
15	7,06	0,41	8,39	6,10	2,29

стью дворовых пространств и наличием буферных объектов в виде многоэтажных зданий, препятствующих осаждению загрязнителей из аэрозолей. Наиболее низкие минимальные значения pH_{KCl} наблюдаются на территории УЛ 7, 8, 9. Данные показатели можно было бы считать статистическим выбросом, однако точки отбора проб (№ 65, 36, 69), соответствующие им, расположены на территории лесных насаждений, для которых подобные показатели кислотности являются нормой.

Минимальные значения pH_{KCl} приурочены к лесопарковым зонам и обусловлены природными процессами, что позволяет характеризовать УЛ с преобладанием лесопарковых зон и зеленых на-

саждений как испытывающие наименьшую антропогенную нагрузку среди УЛ г. Жабинка.

На основании интерполяции полученных данных pH_{KCl} и температуры поверхности была выполнена оценка степени антропогенной нагрузки на УЛ. Оценка антропогенной геохимической нагрузки была проведена на основе карты урболандшафтов с использованием карты континуального распределения кислотности. Ранжирование типов риска выполнено с учетом отклонения показателя pH_{KCl} от значения 7,0, соответствующего нейтральной кислотности среды и средней кислотности урболандшафтов г. Жабинка (см. рисунок 5).

Самая высокая степень антропогенной геохимической нагрузки (pH_{KCl} 7,2–7,34) выявлена в группах северных и юго-западных городских ландшафтов (29 % площади города). В пределах этих территорий сосредоточено до 90 % производственных и коммунально-складских объектов города, главный тип жилой застройки: сельская усадебная, есть объекты транспортной инфраструктуры, главным из которых является ось железной дороги. Средняя степень нагрузки (pH_{KCl} 7,0–7,2) характерна для 34 % территории города и сформировалась в группах центральных, северо-западных и южных УЛ, где господствует усадебная застройка городского типа, есть кластеры жилой многоквартирной, общественной застройки и парково-рекреационные зоны. Низкой степенью нагрузки (pH_{KCl} меньше 7,0) отличаются группы восточных и юго-восточных УЛ (37 %

Таблица 2 – Кислотность функциональных зон

Наименование	$pH_{KCl\text{средн}}$	σ	$pH_{KCl\text{max}}$	$pH_{KCl\text{min}}$	Размах варьирования
Зоны транспортной, инженерной инфраструктуры	7,28	0,22	7,81	6,61	1,20
Производственные зоны	7,23	0,24	7,75	6,32	1,43
Иные территориальные зоны	7,19	0,31	7,80	6,20	1,60
Жилые зоны усадебной застройки	7,01	0,43	8,55	5,19	3,36
Общественно-деловые зоны	6,81	0,60	7,60	4,90	2,70
Зоны специального назначения	6,63	0,61	7,33	5,80	1,52
Жилые зоны многоэтажной застройки	6,60	0,44	7,47	5,36	2,11
Рекреационные зоны	6,59	0,42	7,85	5,20	2,65



площади города), для которых характерны большие массивы зеленых насаждений, усадебной застройки сельского и городского типа, дачных территорий и новой многоквартирной застройки.

В границах групп урболандшафтов г. Жабинка выделены три типа тепловых рисков на основе превышения средней температуры поверхности над комфортным для человека уровнем (около 23 °С) (см. рисунок 6).

Самая высокая степень антропогенной тепловой нагрузки (24,4–25,0 °С) наблюдается в границах юго-западной, северной и центральной групп (40 % площади города). Средний уровень тепловой нагрузки (25–25,5 °С) отмечен для группы северо-западных УЛ (18 % площади города). Низ-

кий уровень тепловой нагрузки (более 25,5 °С) отмечен для групп северо-западных, южных и восточных УЛ (42 % площади города).

Заключение

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Даже в малых городах, не отличающихся обилием многоэтажных зданий в центре города, может происходить формирование острова тепла (на 1–2 °С выше средней температуры поверхности города, что сопоставимо с показателями городов с населением 1 млн человек), которое необходимо учитывать при оценке экологической ситуации в городе и планировании его дальнейшего развития.

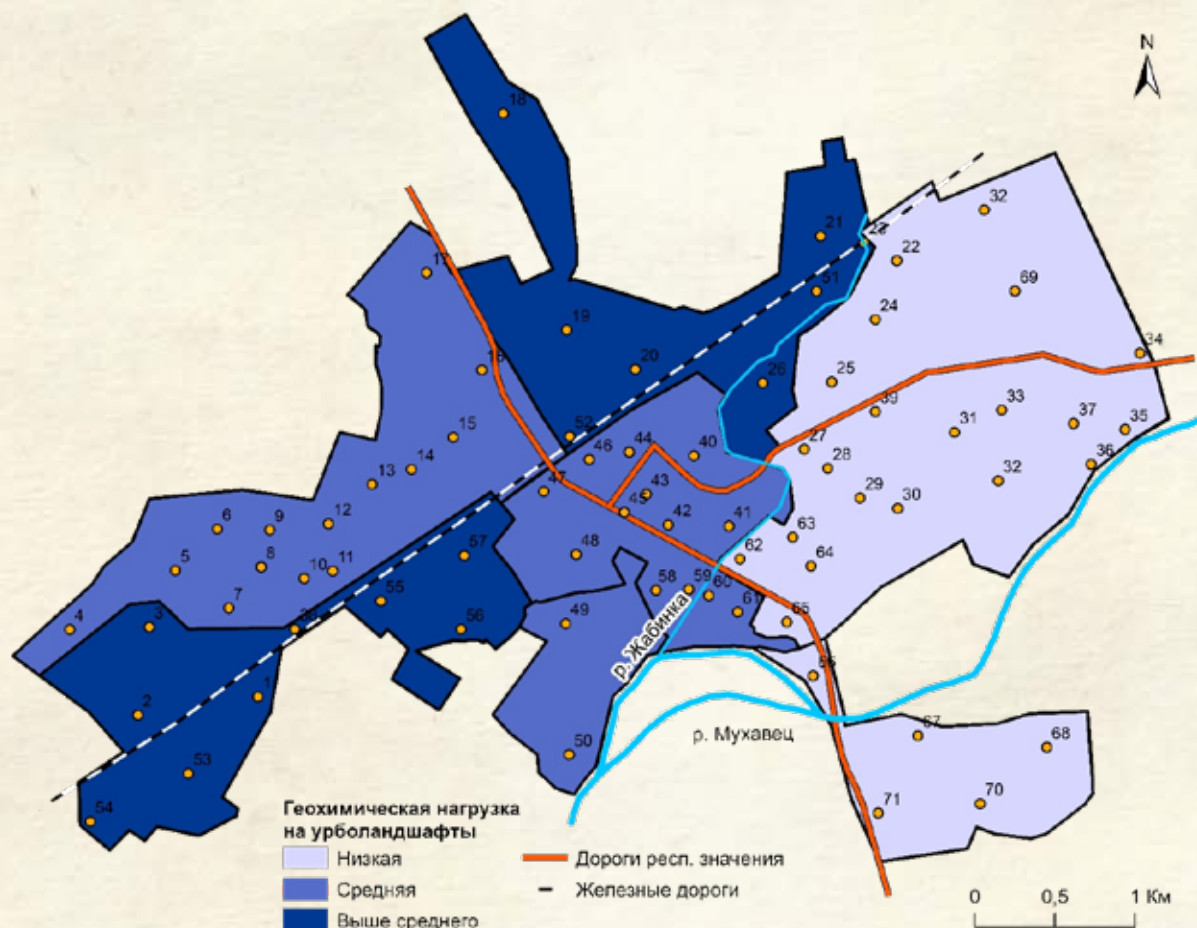


Рисунок 5 – Степень антропогенной геохимической нагрузки на урболандшафты г. Жабинка (буквами обозначены группы урболандшафтов)

2. Жилая застройка различных типов в различной степени влияет на пространственное распределение теплового загрязнения и геохимической трансформации почвенного покрова урболандшафта, отмечен кумулятивный эффект.

3. Средняя кислотность (pH_{KCl}) городских почв г. Жабинка составляет 7,00, что существенно превышает обычную кислотность (5,50–6,00), характерную для антропогенно преобразованных сельскохозяйственных почв Беларуси. Данное обстоятельство позволяет говорить об изменении класса водной миграции геохимических ландшафтов (подщелачивании) в результате техногенеза.

4. Ось юго-западной–северной группы УЛ характеризуется максимальной степенью геохими-

ческой трансформации, что позволяет считать их относительно неблагоприятными районами города. По аналогии восточные и юго-восточные УЛ являются менее подверженными техногенезу и, следовательно, более экологически благоприятными районами города.

5. Экологическая обстановка города в целом оценена как достаточно благоприятная и соответствует концепции развития города с природно-урбанизированной планировочной структурой. Результаты исследования могут использоваться для дальнейшего анализа экологического состояния города, разработки и улучшения существующих градостроительных планов, формирования рыночных цен на участки и недвижимость.

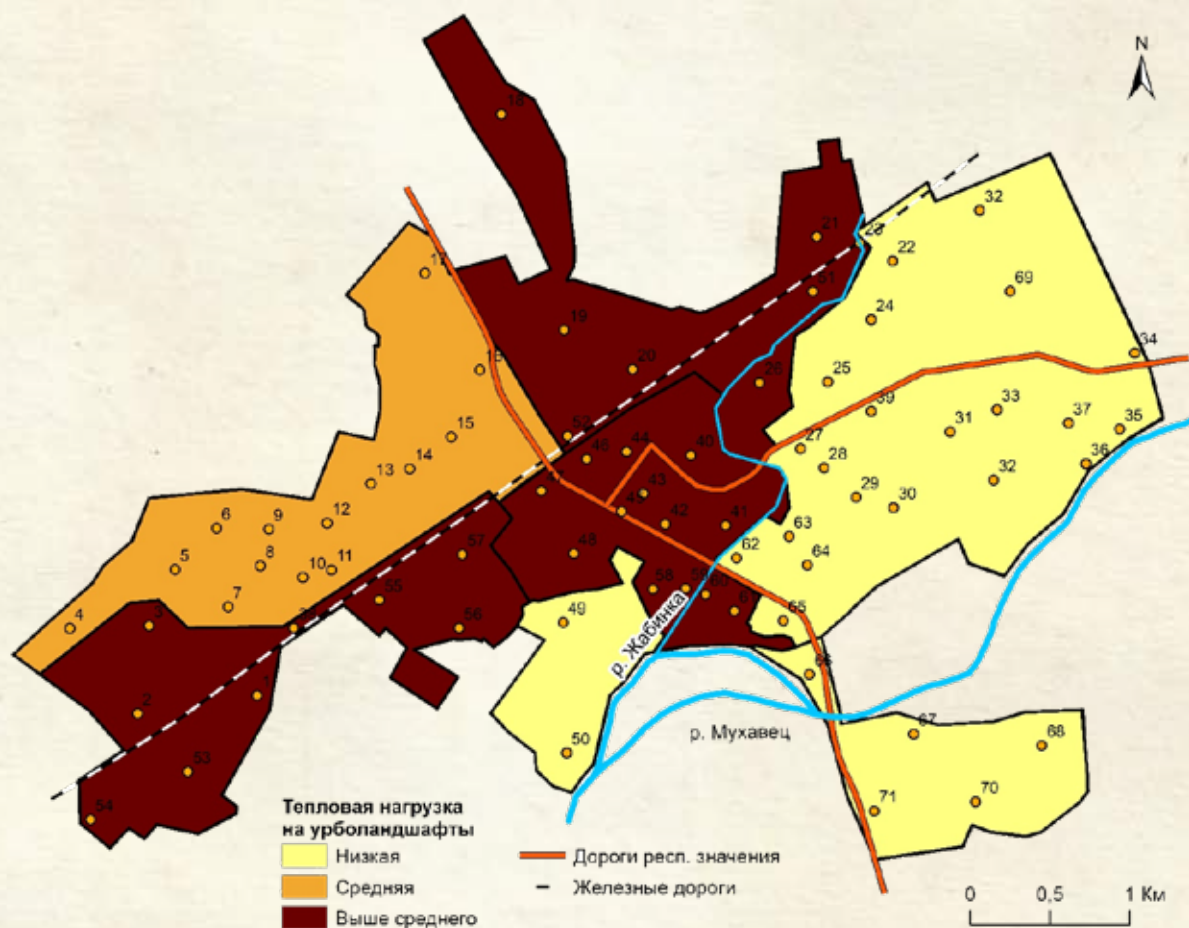


Рисунок 6 – Степень антропогенной тепловой нагрузки на урболандшафты г. Жабинка



СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Оценка влияния уровня загрязнения окружающей среды на экономический рост / О. В. Кудрявцева [и др.] // Научные исследования экономического факультета. – 2017. – Т. 9. – Вып. 3. – С. 68–80.
2. Grossman, G. M. 2 Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement / G. M. Grossman, A. B. Krueger // The Mexico-US Free Trade Agreement. – 1993. – Т. 11, № 2. – Р. 13.
3. Yasin, I. Catechizing the environmental-impression of urbanization, financial development, and political institutions: a circumstance of ecological footprints in 110 developed and less-developed countries / I. Yasin, N. Ahmad, M. A. Chaudhary // Social Indicators Research. – 2020. – Т. 147. – Р. 621–649.
4. Труд и занятость в Республике Беларусь. Статистический буклет / предс. ред. коллегии И. В. Медведева. – Минск : Нац. стат. комитет Респ. Беларусь, 2022. – Гл. 1. – С. 9–10.
5. Мониторинг земель [Электронный ресурс] / Главный информационно-аналитический центр национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. – Режим доступа: <https://nsmos.by/environmental-monitoring/monitoring-zemel>. – Дата доступа: 09.09.2023.
6. Касимов, Н. С. Геохимическая систематика городских ландшафтов / Н. С. Касимов, А. И. Перельман // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, География. – 1994. – № 4. – С. 36–42.
7. Глазовская, М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М. : Высшая школа, 1988. – 350 с.
8. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. – Минск : Минсктиппроект, 2004. – 260 с.
9. Марцинкевич, Г. И. История формирования г. Бреста и проблемы изучения городских ландшафтов / Г. И. Марцинкевич, Д. А. Трофимчук // Веснік Брэскага ўніверсітэта. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2016. – № 2. – С. 76–82.
10. Урболандшафты г. Пінска: классификация, эколого-геохимическая оценка, способы оптимизации / Г. И. Марцинкевич [и др.] // Вестн. Бел. гос. ун-та. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2015. – № 3. – С. 70–75.
11. Чертко, Н. К. Теория, методика и практика геохимических исследований урболандшафтов / Н. К. Чертко, А. А. Карпиченко // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2016. – № 3. – С. 129–132.
12. Формирование и оценка экологических рисков урболандшафтов в промышленных городах Беларуси / Г. И. Марцинкевич [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Сер. География. Геология. – 2021. – № 2. – С. 45–62.
13. Счастлиная, И. И. Урболандшафты города Гомеля: классификация, характеристика, обеспеченность зелеными насаждениями / И. И. Счастлиная, Е. А. Ярошевич // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии : материалы VI Международной научной конференции (к 100-летию со дня рождения профессора В. А. Деметьева) / под ред. А. Н. Витченко. – Минск : Белорус. гос. ун-т. – 2018. – С. 235–238.
14. Изучение теплового загрязнения г. Минска в летнее и зимнее время года по данным спутника Landsat-8 / Т. В. Шлендер [и др.] // Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века. – 2021. – С. 379–382.
15. Счастлиная, И. И. Оценка температуры земной поверхности урболандшафтов г. Бобруйска (Беларусь) / И. И. Счастлиная, Д. С. Воробьев // отв. ред. С. В. Панков. – 2022. – С. 431–440.
16. Urban heat island features of southeast Australian towns / S. J. Torok [et al.] // Australian Meteorological Magazine. – 2001. – Vol. 50, № 1. – Р. 1–13.
17. Chieppa, J. Using “Local Climate Zones” to detect urban heat island on two small cities in Alabama / J. Chieppa, A. Bush, C. Mitra // Earth Interactions. – 2018. – Vol. 22, № 16. – Р. 1–22.
18. Ivajnšič, D. The effect of weather patterns on winter small city urban heat islands / D. Ivajnšič, I. Žiberna // Meteorological Applications. – 2019. – Vol. 26, № 2. – Р. 195–203.
19. Калманова, В. Б. Кислотность почв как показатель экологического состояния городской территории (на примере г. Биробиджана) / В. Б. Калманова, Р. М. Коган // Региональные проблемы. – 2008. – № 10. – С. 83–86.
20. Чугай, Н. В. Кислотность почв как индикатор экологического состояния городской территории / Н. В. Чугай, Е. Ю. Шубина // Биологический круговорот питательных веществ при использовании удобрений и биоресурсов в системах земледелия различной интенсификации. – 2021. – С. 220–222.
21. Середа, Л. О. Оценка эколого-геохимического состояния почвенного покрова городского округа город Воронеж / Л. О. Середа, Л. А. Яблонских, С. А. Куропат // Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология. – 2015. – № 4. – С. 59–65.
22. Соболева, Е. В. Экологическое состояние селитебных территорий по степени загрязнения почв тяжелыми металлами / Е. В. Соболева, М. А. Шишлова // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 2. – С. 12–16.
23. Чеснокова, С. М. Оценка устойчивости почв урбанизированных территорий, загрязненных тяжелыми металлами / С. М. Чеснокова, Е. Ю. Алхутова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 1–5. – С. 1245–1248.
24. Водяницкий, Ю. Н. Современные тенденции загрязнения почв тяжелыми металлами / Ю. Н. Водяницкий // Агрохимия. – 2013. – № 9. – С. 88–96.
25. Воробейчик, Е. Л. Многолетняя динамика содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах почв в районе воздействия медеплавильного завода в период сокращения объемов его выбросов / Е. Л. Воробейчик, С. Ю. Кайгородова // Почвоведение. – 2017. – № 8. – С. 1009–1024.
26. Демографический ежегодник Республики Беларусь / предс. ред. коллегии И. В. Медведева. – Минск : Нац. стат. комитет Респ. Беларусь, 2018. – Гл. 2.6. – С. 157–159.
27. Демографический ежегодник Республики Беларусь / предс. ред. коллегии И. В. Медведева. – Минск : Нац. стат. комитет Респ. Беларусь, 2019. – Гл. 2.4. – С. 144–164.
28. Генеральный план города-спутника Жабинка. Экологический доклад по стратегической экологической оценке [Электронный ресурс] / М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://zhabinka.brest-region.gov.by/uploads/files/PZ-3-Ekologicheskij-doklad-po-SEO.pdf>. – Дата доступа: 09.09.23.
29. О развитии городов-спутников [Электронный ресурс] / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&po=P31400214>. – Дата доступа: 09.09.2023.
30. Isaya, Ndossi M. Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: a PyQGIS plugin / Ndossi M. Isaya, U. Avdan // Remote sensing. – 2016. – Vol. 8, № 5. – Р. 413.
31. Avdan, U. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data / U. Avdan, G. Jovanovska // J. of sensors. – 2016. – Vol. 2016. – Р. 1–8.
32. Архив погоды в Жабинке (Брестская область) [Электронный ресурс] GlobalWeather. – Режим доступа: https://global-weather.ru/archive/zhabinka_brestskaya_oblast. – Дата доступа: 09.09.2023.