



УДК 911.52;504.054;504.06

ФОРМИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ УРБОЛАНДШАФТОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ

Г. И. МАРЦИНКЕВИЧ¹⁾, И. И. СЧАСТНАЯ¹⁾, А. А. КАРПИЧЕНКО¹⁾, Д. С. ВОРОБЬЕВ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Представлены результаты изучения проблемы формирования опасных природных и техногенных процессов в промышленных городах, способствующих появлению экологических рисков. К настоящему времени по этой проблеме накоплен обширный литературный материал, касающийся причин возникновения, анализа закономерностей развития, возможностей управления рисками, в том числе и экологическими. Установлено, что в перечне причин формирования рисков в городах отсутствует один из наиболее важных обнаруженных нами факторов – структура (внутреннее строение) урболандшафтов, выступающих достаточно крупными объектами городской застройки. Для определения роли этих объектов в формировании экологических рисков выбраны города Орша и Пинск, заложенные практически одновременно в начале XI в., но характеризующиеся различной историей развития. Составлены карты урболандшафтов городов, проведены геохимические исследования их почвенного покрова, выявлены геохимические и тепловые аномалии поверхности, рассчитаны объемы экосистемных услуг (поглощение углерода) зелеными насаждениями. Выяснено, что урболандшафты выполняют различные функции в системе экологических рисков: одни из них способствуют развитию опасных процессов, другие – их смягчению. Так, загрязнение почв тяжелыми металлами (с превышением содержания Pb, Cr и Cu над ПДК в 1,2–5,6 раза в Пинске), наиболее сильное прогревание поверхности (на 8–16 °С выше температуры воздуха в Пинске и Орше) и низкий объем депонирования углерода (100–500 т в год) типичны для урболандшафтов исторического центра, урболандшафтов с преобладанием промышленной застройки, урболандшафтов комплексной жилой многоэтажной, общественной и промышленной застройки. Урболандшафты, в структуре которых присутствуют элементы ландшафтно-рекреационных территорий общественного назначения (парки, лесопарки, скверы), а также сельскохозяйственные земли и водные объекты, характеризуются низким содержанием тяжелых металлов в почвах (ниже ПДК в Пинске, ниже фона в Орше), пониженной температурой поверхности (на 2–3 °С выше температуры воздуха), высоким объемом депонирования углерода (2,6–2,8 тыс. т в год). Проведена оценка вероятности рисков,

Образец цитирования:

Марцинкевич ГИ, Счастливая ИИ, Карпиченко АА, Воробьев ДС. Формирование и оценка экологических рисков урболандшафтов в промышленных городах Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2021;2:45–62.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-45-62>

For citation:

Martsinkevich GI, Shchasnaya II, Karpichenko AA, Varabyou DS. Formation and assessment of ecological risks of urban landscapes in industrial cities of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2021;2:45–62. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-45-62>

Авторы:

Галина Иосифовна Марцинкевич – доктор географических наук, профессор; научный консультант научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики.

Ирина Иосифовна Счастливая – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры географической экологии факультета географии и геоинформатики.

Александр Александрович Карпиченко – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры почвоведения и геоинформационных систем факультета географии и геоинформатики.

Дмитрий Сергеевич Воробьев – кандидат географических наук; доцент кафедры географической экологии факультета географии и геоинформатики.

Authors:

Galina I. Martsinkevich, doctor of science (geography), full professor; scientific consultant at the research laboratory of landscape ecology, faculty of geography and geoinformatics.

halinamar@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4869-8933>

Iryna I. Shchasnaya, PhD (geography), docent; associate professor at the department of geographical ecology, faculty of geography and geoinformatics.

irina.schasnaya@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6228-8861>

Aliaksandr A. Karpichenko, PhD (geography), docent; associate professor at the department of soil science and geoinformation systems, faculty of geography and geoinformatics.

karpi@bsu.by
<https://orcid.org/0000-0002-7463-4685>

Dzmitry S. Varabyou, PhD (geography); associate professor at the department of geographical ecology, faculty of geography and geoinformatics.

dzm.varabyou@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1484-3469>





связанных с описанными процессами, которая помогла выяснить, что они соответствуют категориям «приемлемые» и «пренебрежимые», предложены варианты управления рисками.

Ключевые слова: урболандшафт; экологический риск; геохимический риск; тепловой риск; экосистемные услуги; оценка риска; управление риском.

Благодарность. Публикация подготовлена в рамках проекта № 1.26 государственной программы научных исследований «Природопользование и экология» (подпрограмма «Природные ресурсы и экологическая безопасность») на 2016–2020 гг.

FORMATION AND ASSESSMENT OF ECOLOGICAL RISKS OF URBAN LANDSCAPES IN INDUSTRIAL CITIES OF BELARUS

G. I. MARTSINKEVICH^a, I. I. SHCHASNAYA^a, A. A. KARPICHENKA^a, D. S. VARABYU^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: I. I. Shchasnaya (irina.schasnaya@gmail.com)

The problems of the formation of hazardous natural and man-made processes in industrial cities, contributing to the emergence of environmental risks, are presented. To date, an extensive literary material has been accumulated on this problem, concerning the causes of its occurrence, analysis of the patterns of development, and the possibilities of managing risks, including the environmental ones. It has been established that the list of reasons for the formation of risks in cities lacks one of the most important factors that we have discovered – the structure of urban landscapes, which are quite large objects of urban development. To identify the role of these objects in the formation of environmental risks, the cities of Orsha and Pinsk were selected. These cities were laid down almost simultaneously at the beginning of the 11th century, but they have a different history of development. Maps of urban landscapes of cities were compiled, geochemical studies of their soil cover were carried out, geochemical and thermal anomalies of the surface were revealed, the volumes of ecosystem services (carbon absorption) by green spaces were calculated. It was found that urban landscapes perform various functions in the system of environmental risks: some of them contribute to the development of hazardous processes, others – to mitigate them. So, soil pollution with heavy metals (with an excess of the content of Pb, Cr and Cu over the MPC by 1.2–5.6 times in Pinsk), the strongest heating of the surface (8–16 °C higher than the air temperature in Pinsk and Orsha) and low carbon deposition (100–500 t per year) are typical for urban landscapes of the historical center, urban landscapes with a predominance of industrial buildings, urban landscapes for complex residential multi-storey, public and industrial buildings. Urban landscapes, in the structure of which there are elements of landscape and recreational areas of public use (parks, forest parks, squares), as well as agricultural lands and water bodies, are characterised by a low content of heavy metals in soils (below the MPC in Pinsk, below the background in Orsha), low surface temperature (2–3 °C higher than the air temperature), high volume of carbon deposition (2.6–2.8 t per year). An assessment of the probability of risks associated with the described processes was carried out, which helped to find out that they correspond to the categories of «acceptable» and «neglected», options for risk management were proposed.

Keywords: urban landscape; ecological risk; geochemical risk; thermal risk; ecosystem services; risk assessment; risk management.

Acknowledgements. The publication was prepared in the framework of the project No. 1.26 of the state program of scientific research «Nature management and ecology» (subprogramme «Natural resources and environmental safety») for 2016–2020.

Введение

Наиболее важными социальными событиями второй половины XX в. явились бурные процессы урбанизации, которые сопровождались ростом городов, повышением их роли в развитии общества, увеличением удельного веса городского населения, что очень скоро сказалось на снижении качества городской среды. Процесс урбанизации развивался такими ускоренными темпами, что с 1950-х гг. до настоящего времени городское население мира увеличилось почти в 2 раза (от 30 до 55 %), а крупные промышленные города стали центрами концентрации миллионов людей и огромной массы техногенных веществ, поступающих в городскую среду с промышленными, транспортными и коммунальными отходами. Экологические проблемы городов приобрели глобальный характер, а их жители ежедневно подвергаются природным и техногенным рискам. Между тем, по оценке ООН, к 2050 г. городское население возрастет до 68 % и составит более 6 млрд человек [1].



Очевидно, что наиболее актуальной проблемой XXI в. становится экологическая безопасность природной среды в крупных промышленных городах и мегаполисах, которая выступает главным фактором будущего выживания человечества. Экологическая безопасность подразумевает необходимость выявления и изучения закономерностей распространения опасных природных и техногенных процессов, протекающих в городской среде и формирующих экологические риски; анализа факторов и механизмов их образования и развития; оценки рисков различного генезиса, опасных для здоровья горожан. Уже сейчас имеются сведения, что более половины городских жителей мира подвергаются воздействию разнообразных рисков [2, с. 54].

Термин «риск» не имеет универсального общепринятого определения ввиду того, что существует большой список рисков различного происхождения, требующих разных подходов к их исследованию и оценке и разных методов управления. Наиболее распространенное понятие о риске заключается в том, что риск – это возможность (вероятность) нанесения ущерба жизни и здоровью человека, его имуществу, и (или) окружающей среде под влиянием природных или техногенных факторов. Выделяют четыре основные группы рисков: природные, техногенные, социальные и экологические. Под экологическим риском подразумевают степень воздействия природных опасностей на окружающую среду, приводящую к формированию неблагоприятной для жизни и здоровья человека ситуации. Как правило, оценка риска для целей управления осуществляется с использованием следующих категорий: неприемлемый, приемлемый (допустимый), пренебрежимый, вынужденный [3]. Управление риском предусматривает разработку и осуществление программ и мероприятий для обеспечения безопасности и достижения приемлемого уровня оценки данного процесса. Если учесть, что крупные промышленные города Беларуси отличаются повышенным уровнем загрязнения среды жизнедеятельности и подвергаются различным рискам, то научные исследования, направленные на выявление и экологическую оценку рисков, выполненные на примере городов Пинска и Орши, являются своевременными и актуальными.

Цель настоящего исследования – выявить урболандшафты, способствующие формированию опасных процессов в промышленных городах Беларуси, оценить экологические риски и предложить меры для их оптимизации. Задачи исследования – изучить структуру урболандшафтов городов, выявить степень их влияния на формирование рисков, провести оценку и создать оценочные карты геохимических и тепловых рисков, предложить варианты управления рисками.

Обзор литературы

Опасные процессы, проявляющиеся на нашей планете, существуют с незапамятных времен, однако только в XIX в. ученые обратили внимание на то, что такие процессы наносят существенный ущерб природе и зачастую сопровождаются человеческими жертвами. В XX в. это привело к более широким научным исследованиям самих процессов, создаваемых ими рисков и последствий. В последние десятилетия прошлого столетия такая проблематика стала активно развиваться в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова под руководством профессора С. М. Мягкова, что привело к формированию нового научного направления – анализа и оценки природных и техногенных опасностей и рисков. Были разработаны методологические основы изучения таких явлений, включая методические подходы к их оценке, термины и понятия в этой области; выявлены география распространения, источники и виды воздействия опасных процессов и риска на человека и окружающую среду; предложены организационные, инженерно-технические и технологические принципы управления рисками [3].

В XXI в., в связи с возросшими экологическими и техногенными катастрофами, как в России, так и в других зарубежных странах на первый план выступили проблемы экологической безопасности. В русскоязычной географии научные исследования в этой области можно условно разделить на два направления. Первое направление представлено публикациями методологического плана (подходы, методы, методики исследования) [4; 5]. Публикации второго направления посвящены анализу, оценке риска и управлению им с учетом новых технологий [6], моделированию процессов управления и принятия решений [7]. В этот же отрезок времени появились некоторые нормативные документы, например ГОСТ по оценке рисков¹ и ГОСТ по управлению рисками² в Российской Федерации, методические рекомендации и руководящие указания по рискам (*guidelines for risks*) в США [8], Канаде [9], Великобритании [10], Австралии [11], Ирландии [12] и др. Такие документы зачастую дополняются рекомендациями по учету рисков для некоторых видов деятельности или отдельных территорий, на которых такие риски проявляются. Не остался в стороне и Европейский союз, который представил обзор существующей практики оценки экологических рисков в европейском сообществе [13].

Большое внимание современные зарубежные ученые уделяют оценке рисков для человека [14; 15], экосистем и популяций [16; 17], окружающей среды [18; 19]. Появилось также множество публикаций

¹Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента : ГОСТ Р 14.09–2005. Введ. 01.01.2007. М. : Стандартинформ, 2010. IV, 36 с.

²Менеджмент риска. Термины и определения : ГОСТ Р 51897–2002. Введ. 01.01.2003. М. : Госстандарт России, 2002. IV, 8 с.



по оценке рисков в практической деятельности – ветроэнергетике, работах с химическими материалами и отходами, экспериментах с интродукцией новых видов рыбы, в области охраны водных экосистем и рыболовстве [20–23]. Еще одна группа публикаций посвящена проблеме управления рисками в целях обеспечения безопасности (или достижения приемлемого уровня риска) с использованием организационных, инженерных и технологических решений для социальных и экологических городских систем [24; 25].

В Республике Беларусь научные исследования проблемы рисков начались в первые годы XXI в. и сразу же приобрели экологическую направленность. Авторы опубликованных в этот период работ понимали риск как вероятность возникновения угрозы для здоровья людей под влиянием загрязнения окружающей среды [26; 27]. Кроме того, эти публикации содержали разработку методологических основ риска и оценки рисков на примере изучения загрязнения продуктов питания и питьевой воды в различных городах Беларуси. Также формировался такой важный аспект изучения рисков, как управление ими, что отразилось в использовании концепции экологических рисков для оптимизации окружающей среды, внедрении еще одного показателя для оценки риска (ущерб, нанесенный в результате проявления рисков) [28] и разработке экономических основ для управления рисками [29; 30].

Таким образом, можно констатировать, что к настоящему времени в области изучения рисков сформировалась определенная система (модель) оценки экологических рисков, опирающаяся на собственную методологическую базу и включающая оценку источников воздействия, оценку вероятности рисков, оценку ущерба и управления рисками.

При изучении рисков особое внимание уделяется состоянию крупных промышленных городов, которые обычно отличаются наличием целого ряда техногенных рисков. Исследования авторов настоящей статьи, проведенные в ряде крупных городов страны, показали, что каждый из них характеризуется только ему присущими особенностями структуры городских территорий (урболандшафтов), которые сформировались под влиянием природных, исторических, экономических факторов. Полученные результаты позволили выявить и оценить роль урболандшафтов в формировании рисков и опасных экологических процессов, таких как тепловое нагревание поверхности и загрязнение почв тяжелыми металлами, а также выполнение экосистемных услуг зелеными насаждениями, что следует рассматривать как важный положительный фактор [31]. Установлено также, что урболандшафты выполняют двоякую функцию: одни из них способствуют развитию опасных процессов и обостряют риски, другие смягчают протекающие процессы и тем самым стабилизируют риски.

Материалы и методы исследования

Особенности формирования и оценки экологических рисков рассматриваются на примере двух городов – Орши и Пинска, которые в системе общепринятой типологии городов Беларуси относятся к группе больших городов регионального значения, а по функциональной принадлежности – к группе промышленных городов.

Основой исследования являются системный, экологический, историко-географический и ландшафтный научные подходы. Методами изучения выступают картографический, дистанционный, геоинформационный и метод классификаций. С их применением разработана методика выделения урболандшафтов и оценки геохимических и тепловых рисков. Широко использованы геоинформационные технологии как инструмент для выполнения пространственного анализа и визуализации полученных результатов.

Урболандшафт – это городской ландшафт, сформировавшийся в результате градостроительного преобразования территории, характеризующийся однородной природной основой и определенным типом градостроительного использования³. Он включает в себе природную и антропогенную (особенности застройки и функциональное назначение территории) составляющие. Один из основных документов, использованных для выделения урболандшафтов, – генеральный план города. Важным показателем при выделении урболандшафтов также выступают существующие природные территориальные комплексы. С использованием этих двух групп показателей (особенности застройки и планировки, а также специфика природной основы) выявлялась структура урболандшафтов городов. Выделение и картографирование урболандшафтов выполнены в программном пакете QGIS на основе карты природных ландшафтов и схемы функционального зонирования городов с использованием геоинформационного ресурса данных дистанционного зондирования Земли (государственное предприятие «БелПСАХИ»). По местоположению, приуроченности к определенному природному ландшафту, доминирующим особенностям планировки и застройки они объединены в группы, которые являются основной единицей классификации урболандшафтов. Эта классификационная единица используется в качестве основы для последующей оценки частных экологических рисков (геохимических и тепловых) Орши и Пинска.

³Фалолеева М. А. Пространственная структура городских ландшафтов и оценка их экологического потенциала (на примере г. Минска) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.23. Минск : БГУ, 2004. 19 с.



Для оценки геохимических рисков во всех урболандшафтах Орши и Пинска определено геохимическое состояние почвенного покрова путем отбора образцов почв из верхних горизонтов в слое 0–15 см. В Пинске отобраны 30 смешанных образцов, в Орше – 49. Каждый смешанный образец отбирался методом конверта, при котором формировалась одна объединенная проба из пяти точечных проб. В дальнейшем образцы высушивались и в целях удаления гравия, растительных остатков, мусора и других включений просеивались через сито (диаметр ячеек – 1 мм). Анализ валового содержания ряда металлов (Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr) в городских почвах производился в научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов БГУ на многоканальном атомно-эмиссионном спектрометре ЭМАС-200ДДМ. Подготовка проб перед анализом включала их сухое озоление в электропечи при температуре 440–450 °С, при этом определялись потери пробы от прокаливания (главным образом минерализацией органического вещества почвы). Для образцов из Пинска потери в среднем составили 5,6 %, для образцов из Орши – 5,9 %. В дальнейшем значения потерь от прокаливания использовались для пересчета данных по содержанию элементов в высушенной почве. Статистическая обработка результатов анализов проводилась в программных пакетах *Microsoft Office Excel* и *Statsoft Statistica 6.0* и включала в себя оценку распределения переменных с помощью гистограмм и коэффициента асимметрии, вычисление показателей описательной статистики, анализ возможных взаимосвязей накопления элементов методом главных компонент, оценку геохимических рисков урболандшафтов.

Тепловое излучение поверхности – сравнительно новое направление в изучении земной поверхности, которое осуществляется с помощью дешифрирования космических снимков, полученных оптико-электронной системой спутника в тепловом диапазоне. Для оценки тепловых рисков проведено изучение теплового излучения поверхности урболандшафтов Орши и Пинска в программном пакете QGIS (плагин *Land Surface Temperature*) с использованием материалов дистанционного зондирования по известной методике [32]. Данные дистанционного зондирования позволили изучить особенности теплового излучения, проследить его многолетнюю динамику, а также выявить источники теплового загрязнения окружающей среды. Исследование выполнено на основе космических снимков Landsat 8 (получены с использованием ресурса *EarthExplorer*), которые доступны с 2013 г. по настоящее время (период повторного наблюдения – 16 сут). Набор данных Landsat Collection 1 предоставляется с выполненной геометрической и радиометрической коррекцией. Атмосферная коррекция космических снимков осуществлялась методом *radiative transfer equation* на основе атмосферных параметров, полученных с использованием ресурса *Atmospheric Correction Parameter Calculator* и архивной информации Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды.

Оценка температуры земной поверхности Орши и Пинска выполнена за период 2013–2020 гг. по космическим снимкам наиболее теплого месяца года (взяты июльские снимки за каждый год изучаемого периода). 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*. В результате выполнения расчетов получены растровые изображения температуры земной поверхности с выходным пространственным разрешением 30 м, значения которых были усреднены с учетом температуры воздуха на момент выполнения съемки. На основании полученных данных рассчитаны тепловые риски урболандшафтов изучаемых городов.

Для исследования смягчающих функций в системе экологических рисков проведено изучение зеленых насаждений Орши и Пинска с применением стоимостной оценки экосистемных услуг. В работе использованы методические подходы к интегральной и поэлементной стоимостной оценке экосистемных услуг, представленные в ТКП 17.02-10–2013 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок проведения стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия». Оценка выполнена для зеленых насаждений, размещенных в границах урболандшафтов городов в пределах ГЛХУ «Оршанский лесхоз» и ГЛХУ «Пинский лесхоз». В качестве исходной информации для проведения расчетов использованы материалы базового лесоустройства учреждений, включающие планово-картографический материал (масштаб 1 : 25 000) и таксационную характеристику (количественная и качественная оценка строения и продуктивности в пределах занимаемой площади) лесного фонда.

Результаты и их обсуждение

На формирование городских поселений оказали влияние природные (наличие водных объектов, рельеф) и социально-экономические (географическое и геополитическое положение, торговля, войны, строительство железных дорог, индустриализация) предпосылки. В зависимости от сочетания влияния этих факторов в промышленных городах Орше и Пинске сложилась определенная структура урболандшафтов (рис. 1, 2).

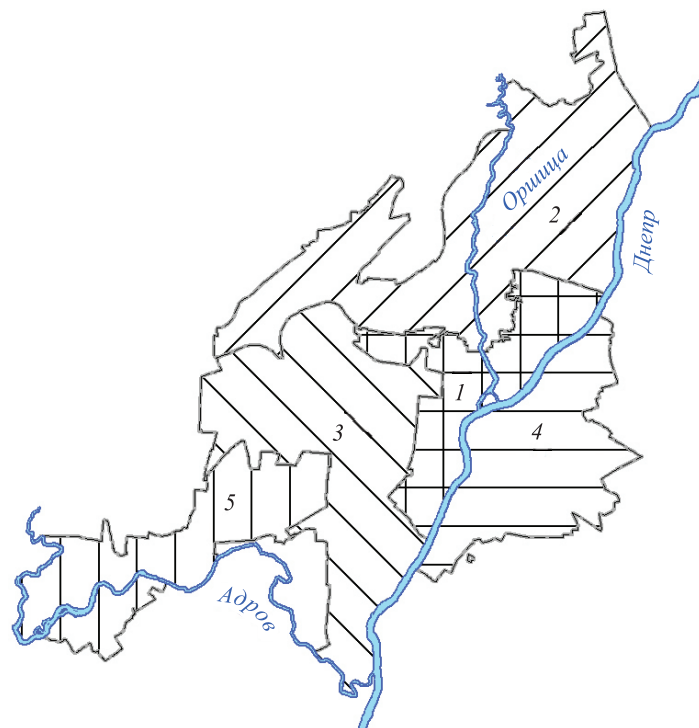


Рис. 1. Группы урболандшафтов Орши:

- 1 – центральные урболандшафты на возвышенности и в поймах рек Днепр и Оршица с историческим центром, общественной и многоквартирной жилой застройкой, ландшафтно-рекреационными территориями;
- 2 – северные урболандшафты на возвышенности и в поймах рек Днепр и Оршица с усадебной жилой застройкой городского типа, территориями транспортной и промышленной инфраструктуры, общественной застройкой, озелененными пространствами;
- 3 – западные урболандшафты на возвышенности с многоквартирной средне-, малоэтажной и усадебной жилой застройкой городского типа, общественной застройкой административного, торгового, учебного, медицинского назначения, территориями транспортной и промышленной инфраструктуры;
- 4 – юго-восточные урболандшафты на возвышенности и в поймах рек Днепр и Кутейнка с усадебной жилой застройкой городского типа, много-, средне- и малоэтажной жилой застройкой, ландшафтно-рекреационными территориями общего пользования;
- 5 – юго-западные урболандшафты на возвышенности и в пойме р. Адров с многофункциональной застройкой поселкового типа, зелеными насаждениями лесного типа

Fig. 1. Groups of urban landscapes of Orsha:

- 1 – central urban landscapes on the hill and floodplains of the Dnieper and Orshitsa rivers with the historical center, public and multi-apartment residential buildings, landscape and recreational areas;
- 2 – northern urban landscapes on the hill and floodplains of the Dnieper and Orshitsa rivers with manor houses of urban type, areas of transport and industrial infrastructure, public buildings, green spaces;
- 3 – western urban landscapes on the hill with multi-apartment medium-, low-rise and manor houses of urban type, public buildings of administrative, commercial, educational, medical purposes, areas of transport and industrial infrastructure;
- 4 – southeastern urban landscapes on the hill and floodplains of the Dnieper and Kuteinka rivers with manor houses of urban type, multi-, medium- and low-rise residential buildings, landscape and recreational areas of common use;
- 5 – southwestern urban landscapes on the hill and floodplain of the Adrov river with multifunctional settlement-type buildings, green plantations of forest type

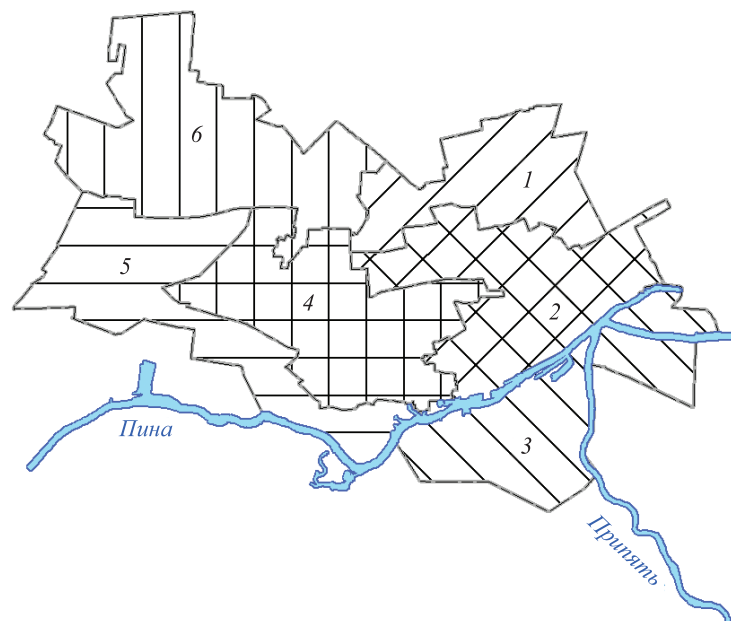


Рис. 2. Группы урболандшафтов Пинска:

- 1 – северо-восточные урболандшафты на водно-ледниковой равнине с жилой многоквартирной и общественной застройкой учебного, торгового и медицинского назначения;
- 2 – восточные урболандшафты на водно-ледниковой равнине с общественной застройкой общегородского центра торгового, медицинского, учебного, спортивного, культового назначения и жилой усадебной застройкой городского типа;
- 3 – юго-восточные урболандшафты на озерно-аллювиальной низине с парками, лесопарками и открытыми озелененными территориями;
- 4 – центральные урболандшафты на водно-ледниковой равнине с жилой многоквартирной и усадебной застройкой городского типа, общественной застройкой торгового и учебного назначения, промышленными, производственными и коммунально-складскими территориями;
- 5 – юго-западные урболандшафты на водно-ледниковой равнине с жилой усадебной застройкой городского и сельского типов, лесопарками и парками;
- 6 – северо-западные урболандшафты на водно-ледниковой равнине с жилой усадебной застройкой городского и сельского типов

Fig. 2. Groups of urban landscapes of Pinsk:

- 1 – northeastern urban landscapes on the water-glacial plain with multi-apartment residential and public buildings for educational, commercial and medical purposes;
- 2 – oriental urban landscapes on the water-glacial plain with public construction of the city center of trade, medical, educational, sports, religious purposes and residential manor buildings of the urban type;
- 3 – southeastern urban landscapes in the lake-alluvial lowland with parks, forest parks and open green areas;
- 4 – central urban landscapes on the water-glacial plain with multi-apartment residential and manor buildings of urban type, public buildings for trade and educational purposes, industrial, industrial and communal-warehouse areas;
- 5 – southwestern urban landscapes on the water-glacial plain with residential manor houses of urban and rural types, forest parks and parks;
- 6 – northwestern urban landscapes on the water-glacial plain with residential manor houses of urban and rural types



Город Орша был заложен у слияния рек Днепр и Оршица в XI в. Размещение города на водном пути «из варяг в греки» и на пересечении сухопутных путей во многом определило его дальнейшую судьбу и особенности формирования структуры урболандшафтов. Всего в Орше выделено пять групп городских ландшафтов (см. рис. 1).

Группа центральных урболандшафтов на возвышенности и поймах рек Днепр и Оршица занимает 12,0 % территории города. Доминирует в ней комплекс исторического центра (46 % площади), расположенный в междуречье Днепра и Оршицы на территории с уникальным, ярко выраженным рельефом. Именно здесь сосредоточены основные объекты историко-культурного значения.

Группа северных урболандшафтов является доминирующей, занимая треть площади города (32,0 %), и выделяется своей разнообразной структурой. Для нее характерно чередование различной жилой застройки с территориями промышленных и транспортных предприятий. Особенность данной группы заключается в том, что именно на этом пространстве сосредоточены промышленные объекты, занимающие очень большие площади (42,8 % площади всех промышленных предприятий Орши). Наиболее ярко это выражено в комплексе, расположенном на крайнем северо-востоке города, где промышленные объекты резко доминируют (65,5 % площади группы).

Группа западных урболандшафтов занимает значительную площадь (24,9 %), но очень однородна по составу. В северной части группы расположен комплекс с доминированием многоквартирной и усадебной жилой застройки, занимающий 51,3 % площади группы, на юге – комплекс с сосредоточением промышленных предприятий и объектов транспортной инфраструктуры с их санитарно-защитными зонами, которые распространены практически на всей его площади.

Группа юго-восточных урболандшафтов, расположенная на противоположном от основной части Орши берегу р. Днепр, занимает 15,9 % территории города. В южной части группы выделяется комплекс с зелеными насаждениями общего пользования и многоквартирной жилой застройкой. В данной группе практически отсутствуют промышленные предприятия.

Группа юго-западных урболандшафтов, занимающая 15,2 % площади, включает территорию Барани, предлагаемую для присоединения к Орше для более интенсивного социально-экономического развития этого населенного пункта. В группе доминирует комплекс с многофункциональной застройкой поселкового типа с широким распространением зеленых насаждений (47,4 % площади группы).

Город Пинск, также известный с XI в., был заложен на левом берегу р. Пины в месте впадения в р. Припять. Сегодня Пинск – исторический и культурный центр Полесья, город с прекрасно сохранившимися памятниками архитектуры, существенно разросшийся и организованный с учетом сложившейся планировки. На территории Пинска выделены шесть групп урболандшафтов (см. рис. 2).

Группа северо-восточных урболандшафтов занимает самую маленькую площадь в черте города (11,2 %). В этой группе преобладает жилая и общественная застройка различного назначения (учебного, торгового и медицинского), есть несколько небольших промышленных предприятий.

В связи с особенностями возникновения города и его расширения исторический центр Пинска географически смещен на восток и входит в группу восточных урболандшафтов, занимающих 16,5 % всей городской площади. Для данной группы урболандшафтов характерны хорошо сохранившиеся памятники истории и архитектуры, сложившаяся застройка и планировка старого города, набор учреждений торгового, медицинского, учебного, спортивного, культового назначения. В пределах группы расположены ряд предприятий. С запада на восток территорию пересекает железная дорога.

Группа юго-восточных урболандшафтов располагается на противоположном от города берегу р. Пины и занимает 16,4 % площади города. В основном это покрытый естественной растительностью, частично заболоченный участок вдоль реки. Здесь находятся грузовой порт и складские помещения.

К западу от группы восточных урболандшафтов расположена группа центральных урболандшафтов, занимающая довольно большую площадь – 17,7 % территории города. К историческому ядру примыкает жилая застройка (многоквартирная и усадебная) с набором общественных учреждений, сменяемая далее на запад большим по площади участком с огромным набором промышленных предприятий.

Группа юго-западных урболандшафтов, занимающая 16,8 % площади, сформировалась на окраине города. Среди видов использования территории доминирует жилая усадебная застройка городского и сельского типов с большим количеством зеленых насаждений, и только в северной части группы есть небольшой участок с преобладанием промышленных, производственных и коммунально-складских территорий.

В группе северо-западных урболандшафтов, занимающей 21,4 % территории города, преобладает усадебная застройка городского и сельского типов с большим количеством зеленых насаждений и прилегающей лесопарковой зоной.

В границах урболандшафтов Орши и Пинска проведены геохимические исследования. По результатам эмиссионно-спектрального анализа проб было установлено содержание валовых форм Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr в почве (см. таблицу). При оценке накопления выполнялось сравнение содержания металла



со среднереспубликанским значением (региональным кларком) и показателями ПДК/ОДК, поскольку концентрации тяжелых металлов, превышающие ПДК, представляют потенциальную опасность для здоровья населения.

Для оценки пространственной вариации накопления металлов в городских почвах были построены интегральные карты, на которых для Орши отражены суммы коэффициентов содержания (K_c), представляющих собой отношение содержания в почве к фону и рассчитанных для всех элементов, кроме олова (для него отсутствуют общепринятые значения фона для Беларуси), а для Пинска – отношение суммы превышений содержания элементов над ПДК к числу тяжелых металлов, для которых ПДК установлена. На созданных картах отображено суммарное накопление металлов для почв Орши (рис. 3, а) и Пинска (рис. 3, б). Сравнение концентраций исследуемых элементов показывает заметное сходство в основных показателях накопления в почвах Орши и Пинска для Ni и Ti, в меньшей степени – Mn, тогда как для Cu, Pb, Sn и Cr отмечаются различия в сторону большего накопления в почвах Пинска, при этом характер накопления (асимметричность распределения, очень высокое и аномальное варьирование) [33] указывает на большую долю техногенного влияния. Для почв Пинска превышения ПДК были установлены для Cu, Pb и Cr, для почв Орши – только для Pb.

Содержание валовых форм металлов в почвах Орши и Пинска

Total concentrations of metals in the soils of Orsha and Pinsk

Показатели	Химические элементы, мг/кг						
	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Орша ($n = 49$)							
Среднее значение	5,5	8,1	275	4,8	0,82	1058	17,6
Медиана	4,0	5,9	266	3,2	0,72	1006	17,4
Размах варьирования	2,2–23,8	2,4–33,5	136–775	1,3–14,9	0,2–2,9	353–2881	8,7–40,2
Стандартная ошибка	0,56	0,83	14,7	0,52	0,07	68	0,82
Коэффициент вариации (V), %	72,2	72,3	37,4	77,0	55,4	44,8	32,5
Пинск ($n = 30$)							
Среднее значение	28,2	27,7	326	5,4	2,3	1186	29,2
Медиана	22,6	18,1	322	4,9	1,6	1060	22,0
Размах варьирования	12–85	5–222	59–865	0,4–15,9	0,2–9,1	214–2881	9–151
Стандартная ошибка	2,95	7,09	38	0,64	0,40	116	4,88
Коэффициент вариации (V), %	57,3	140,5	63,8	65,0	98,1	53,8	91,4
Фоновые показатели, ПДК/ОДК							
Фон для Беларуси	13	12	247	20	–	1562	36
ПДК/ОДК ⁴	33	32	1000	20	–	–	100

Для Пинска основные геохимические аномалии выявлены в центральной части города и в прилегающих промышленных зонах, для Орши – в северной части города в промышленной зоне, примыкающей к железной дороге. Близость железной дороги к территории с повышенными концентрациями металлов характерна и для Пинска. При этом для почв Орши отмечается большая пятнистость в характере накопления, отдельные пятна повышенного накопления фиксируются для промышленных зон на севере и в центральной части города. Для Пинска характерно более активное накопление химических элементов, наибольшие концентрации отмечены для промышленных зон, центральной и северо-восточной частей города.

⁴Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве : гигиен. нормативы 2.1.7.12-1–2004 : утв. Гл. гос. сан. врачом Респ. Беларусь 25.02.2004. Минск, 2004. 27 с.

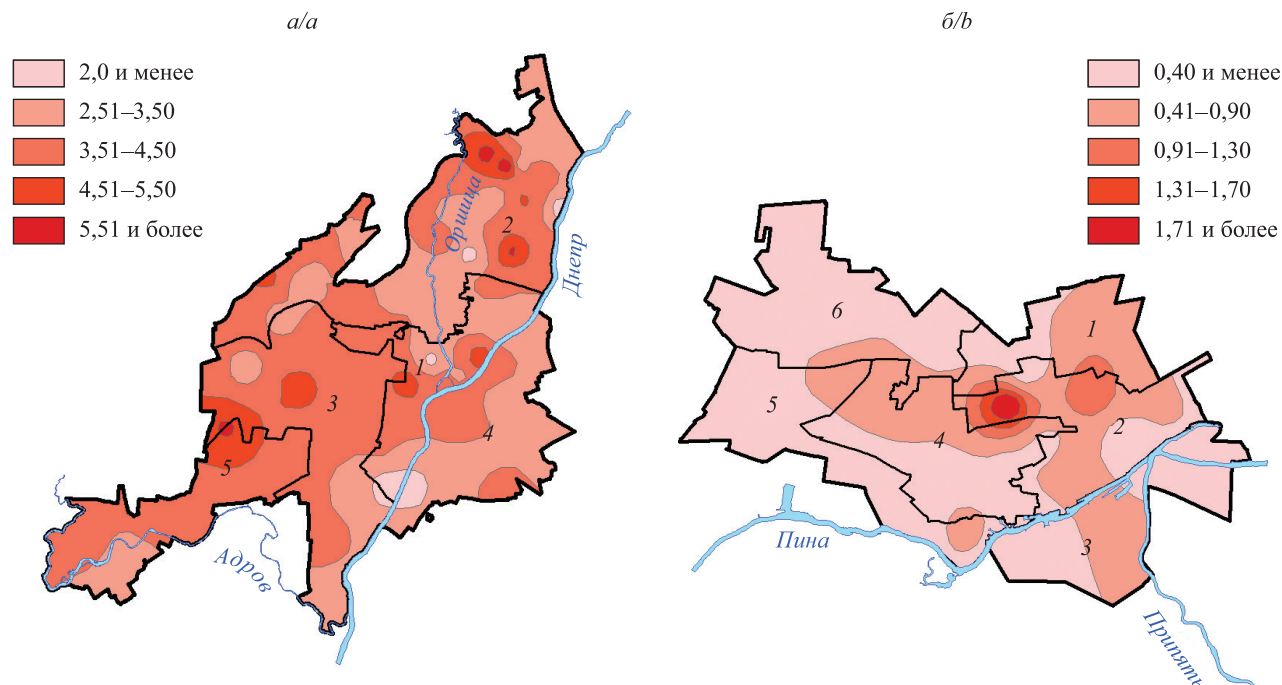


Рис. 3. Суммарное накопление металлов в почвах урболандшафтов Орши (а) и Пинска (б).
Обозначенные цифрами группы урболандшафтов см. на рис. 1, 2

Fig. 3. Total accumulation of metals in the soils of urban landscapes of Orsha (a) and Pinsk (b).
Marked with numbers groups of urban landscapes see on fig. 1, 2

Для установления возможных источников техногенной эмиссии металлов и выявления ассоциаций химических элементов, возникших вследствие наложения техногенных потоков вещества и энергии в урболандшафтах на природную геохимическую структуру, сформированную в результате сложного преобразования химического состава пород в ходе почвообразовательных и других процессов, использовался метод главных компонент (*principal components*) в программе *Statsoft Statistica 6.0* с применением *varimax*-вращения матрицы факторных нагрузок, при котором происходит минимизация количества переменных с высокой факторной нагрузкой. Данный анализ позволяет разносторонне изучить корреляционные связи между содержанием металлов в почвенном покрове и выявить вероятные парагенетические ассоциации элементов.

В ходе анализа при преобразовании корреляционных матриц для двух городов было выделено по три латентных фактора с собственными значениями выше единицы (рис. 4), при этом для Пинска суммарный процент объясненной дисперсии составил 88,2 %, а для Орши – 74,0 %.

В итоге для почв Орши выделены ассоциации элементов Sn – Cr, Ti – Mn и Ni – Cu – Pb, а для почв Пинска – ассоциации Mn – Sn – Ti, Pb – Cr, Ni – Cu. Следует отметить некоторую схожесть в распределении элементов в ассоциациях. Так, Cu и Ni входят в одну ассоциацию и в почвах Пинска, и в почвах Орши, это же характерно для Mn и Ti, при этом первая ассоциация скорее определяется техногенным влиянием [34], а вторая связана с природными (литогенными) факторами, которые являются следствием природной неоднородности почвенного покрова и различий в накоплении элементов в почвообразующих породах.

Свинец в почвах Орши не имеет сильной связи ни с одним из выделенных факторов, отмечена только средняя факторная нагрузка (0,48) в отношении третьего фактора, поэтому его можно отнести к ассоциации с Cu и Ni, но очевидно, что характер его накопления имеет заметное отличие от данных элементов, связанное с влиянием выбросов автомобильного транспорта. Олово в Орше входит в ассоциацию с Cr, тогда как в Пинске характер его накопления ближе к Mn и Ti. Отличительной особенностью накопления Cr в почвах Пинска является его ассоциация с Pb, что позволяет связать формирование данной ассоциации с антропогенным влиянием.

Одним из актуальных направлений исследования городских территорий выступает изучение их микроклимата. Пространство урбанизированных территорий существенно изменяет температуру окружающей среды в сравнении с прилегающими природными и природно-антропогенными территориями, что способствует формированию определенных микроклиматических условий и является причиной возникновения такого феномена, как остров тепла.

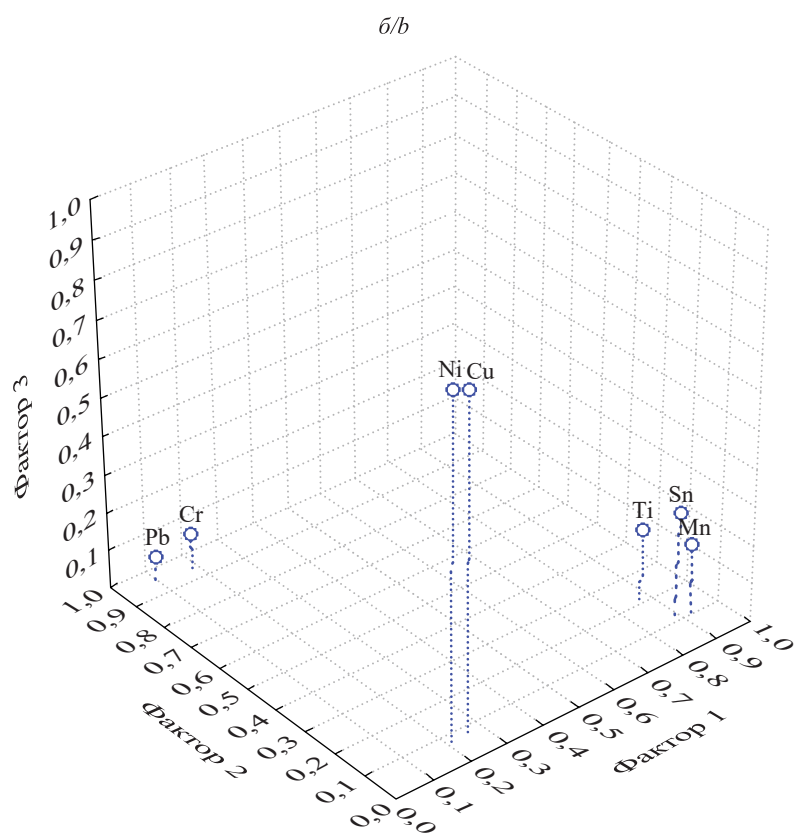
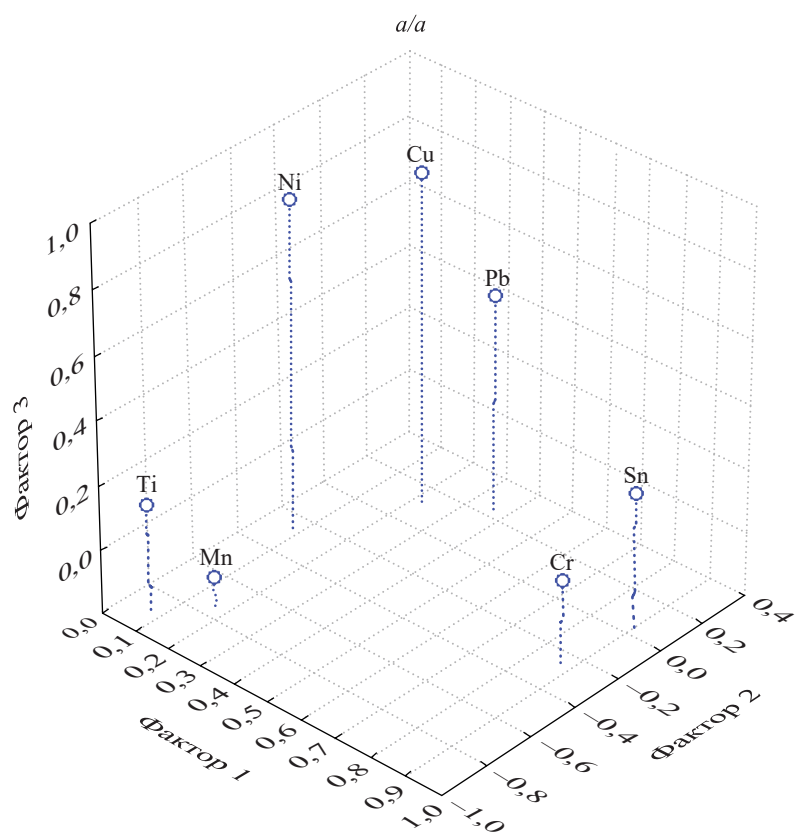


Рис. 4. Факторные нагрузки металлов в почвах Орши (а) и Пинска (б)
Fig. 4. Factor loads of metals in the soils of urban landscapes of Orsha (a) and Pinsk (b)



Проведенные расчеты температуры поверхности Орши и Пинска показали ее неоднородное распределение в пределах городской территории. Появление тепловых аномалий в границах городской черты изучаемых городов обусловлено особенностями их градостроительной планировки, а также наличием крупных источников тепла в виде объектов промышленности, коммунальной и транспортной инфраструктуры.

По данным наблюдений на метеорологической станции Орши, на время съемки (8 : 55 GMT) в среднем за рассматриваемый период температура воздуха составляет 22 °С (изменяется от 20 °С в 2013 и 2017 гг. до 26 °С в 2015 г.). В ходе анализа данных дистанционного зондирования установлено, что температура поверхности в границах города варьирует от 22 до 38 °С и в среднем составляет 30 °С (среднее квадратическое отклонение – 2,4). На прилегающих к городу территориях (на удалении до 5 км) среднее значение температуры поверхности составляет 27 °С (т. е. ниже на 3 °С) и находится в пределах от 19 до 35 °С (рис. 5, а), что свидетельствует о формировании положительных тепловых аномалий в черте города.

Метеорологические условия Пинска на время съемки (9 : 10 GMT) за рассматриваемый период по основным показателям являются сопоставимыми; средняя температура воздуха составляет 22 °С (варьирует от 20 °С в 2016 г. до 24 °С в 2013, 2017 и 2020 гг.). Средняя температура поверхности урболандшафтов города за изучаемый период изменяется от 22 до 40 °С и в среднем также составляет 30 °С (среднее квадратическое отклонение – 3,0), что на 3 °С выше средней температуры поверхности на прилегающей территории (рис. 5, б).

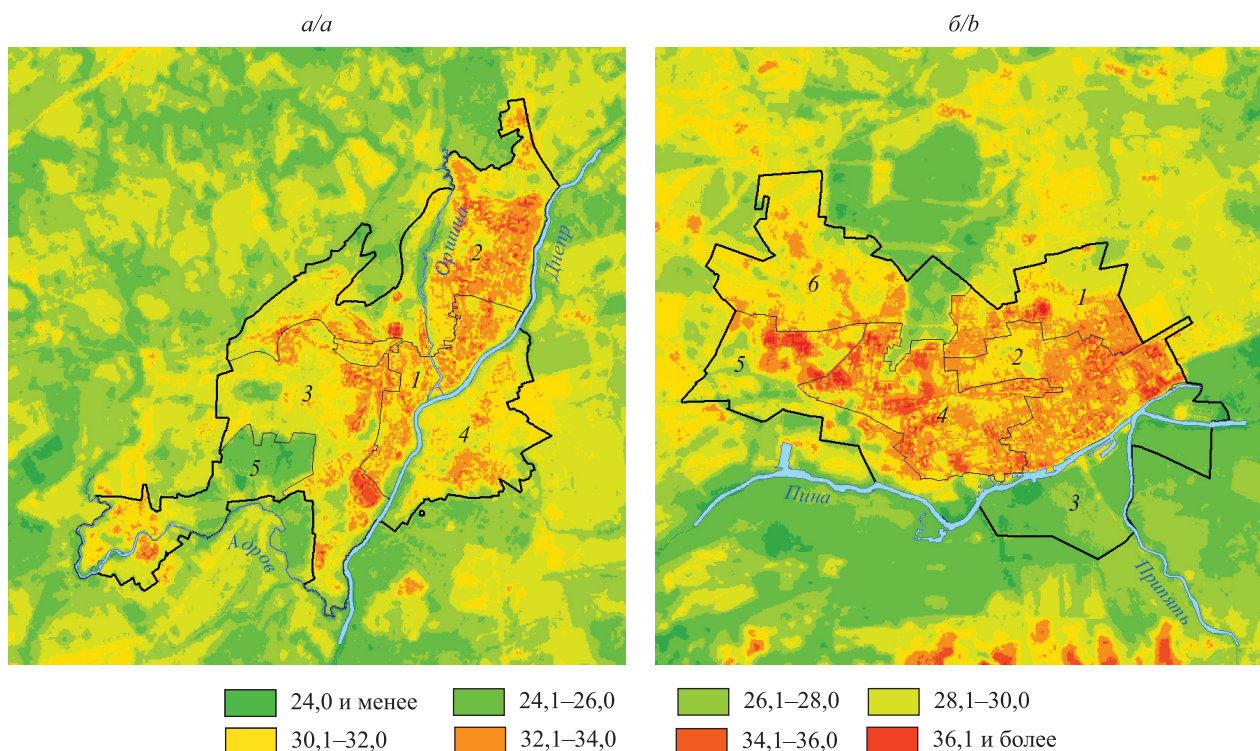


Рис. 5. Температура поверхности урболандшафтов Орши (а) и Пинска (б), °С.
Обозначенные цифрами группы урболандшафтов см. на рис. 1, 2

Fig. 5. Surface temperature of urban landscapes of Orsha (a) and Pinsk (b), °C.
Marked with numbers groups of urban landscapes see on fig. 1, 2

Наиболее высокие значения температуры поверхности (выше 35 °С) наблюдаются в зоне промышленной и коммунально-складской застройки в границах крупнейших промышленных предприятий Орши и Пинска. Температура поверхности в границах жилых многоэтажных районов находится в интервале значений от 30 до 35 °С, а на участках с преимущественно усадебной застройкой составляет в среднем около 30 °С, что обусловлено их большей озелененностью в сравнении с промышленной зоной и многоквартирной застройкой. Наиболее низкие значения температуры поверхности (до 25 °С) отмечаются в границах природных территорий, покрытых естественной растительностью, – долинах крупных водотоков (р. Днепр в Орше, реки Припять и Пина в Пинске), ландшафтно-рекреационных комплексах городов.



В структуре урболандшафтов Орши и Пинска важное место занимают ландшафтно-рекреационные территории, формирующиеся на основе долинных комплексов водотоков и существующих зеленых насаждений. Озелененные и природные территории урболандшафтов выполняют важные функции в создании комфортной окружающей среды, оказывая различные экосистемные услуги.

Ландшафтно-рекреационные территории Орши сформированы системой городских парков и скверов в центральной части города и долинных комплексах р. Днепр (детский парк «Сказочная страна», парк культуры и отдыха, Приднепровский парк), рек Оршица и Адров (центральные, западные и юго-восточные урболандшафты), а также значительными по площади лесопарковыми массивами в западной и южной частях города (юго-западные и западные урболандшафты), территориями общего пользования с естественной растительностью в пределах приустьевых участков речных долин (юго-восточные и северные урболандшафты). В Пинске эти пространства представлены городским парком культуры и отдыха имени Краснознаменной Днепровской флотилии, городским детским парком, системой скверов в центральной и северной частях города (восточные и центральные урболандшафты), пойменными участками рек Припяти и Пины (юго-восточные урболандшафты), лесными массивами в северной и западной частях города (северо-западные и юго-западные урболандшафты).

В границах Орши площадь покрытых древесными насаждениями земель составляет 171,5 га, из которых 143,3 га (83,6 %) приходятся на хвойные насаждения (в том числе сосновые (46,0 га), еловые (37,6 га)). Средний возраст древостоев составляет 55 лет и варьирует (по среднему значению) от 15–20 лет для березовых насаждений до 65–70 лет для еловых насаждений. Отдельные участки хвойных древостоев представляют собой ценные растительные сообщества, возраст которых превышает 160–170 лет. Типологическая структура древостоев включает пять типов насаждений, среди которых наиболее распространен кисличный тип (87,0 %).

В Пинске сосновые насаждения, на которые приходится 201,9 га (91,4 %) покрытых древесной растительностью земель в границах черты города (220,9 га), являются основой зеленых насаждений лесопарковой зоны. Средний возраст насаждений составляет 65 лет, максимальный возраст (по таксационному выделу) не превышает 85 лет. Типологическая структура древостоев более разнообразна и характеризуется доминированием мшистого типа (79,3 %) с высокой долей орлякового (17,2 %) типа насаждений.

Интегральным показателем качества условий местопроизрастания является класс бонитета древостоев. В пределах Орши насаждениями Iа класса бонитета представлено 48,8 % зеленых насаждений, I класса – 41,4 % насаждений. В границах Пинска на высокопродуктивные насаждения I класса бонитета приходится 88,8 % зеленых насаждений лесопарковой зоны. Распределение древостоев по классам бонитета свидетельствует о более благоприятных условиях местопроизрастания зеленых насаждений в границах Орши.

Интегральная стоимостная оценка экосистемных услуг зеленых насаждений Орши, как выражение альтернативной стоимости с учетом эффективности воспроизводства в экономической и экологической сферах, определена в размере 125,9 тыс. евро, Пинска – 132,7 тыс. евро ежегодно. В результате выполнения поэлементной стоимостной оценки были определены объемы аккумуляции диоксида углерода и их рыночная стоимость. Ежегодное накопление диоксида углерода зелеными насаждениями в Орше составляет 2,8 тыс. т CO_2 , что эквивалентно 84,9 тыс. долл. США, в Пинске – 2,6 тыс. т CO_2 , что эквивалентно 76,6 тыс. долл. США. При выполнении расчетов рыночная цена основного продукта природопользования принята равной 210 евро за 1 м³ (по данным квартальных биржевых котировок на Белорусской универсальной бирже), средняя мировая цена квоты на выброс диоксида углерода – 30 долл. США за 1 т (по данным Международного энергетического агентства за 2020 г.). При большей площади лесопокрытых земель насаждения Пинска ежегодно аккумулируют меньшее количество диоксида углерода и имеют более низкие показатели интегральной стоимостной оценки экосистемных услуг, что обусловлено структурой растительности, ее видовым составом, возрастом древостоев, их состоянием и устойчивостью к негативным факторам городской среды.

Оценка геохимических рисков урболандшафтов территории изучаемых городов проведена на основе карты урболандшафтов с использованием карт суммарного накопления металлов в почвах урболандшафтов. Ранжирование типов риска выполнено с учетом превышения этого показателя над ПДК или фоновым значением. На оценочных картах выделены четыре типа рисков, отмеченных в Орше (рис. 6, а) и Пинске (рис. 6, б).

В Орше самая высокая степень геохимических рисков выявлена в группе северных городских ландшафтов (32 %). В пределах этой территории много производственных и коммунально-складских объектов, есть объекты транспортной инфраструктуры, чередующиеся с крупными жилыми массивами,



в которых преобладает усадебная застройка городского типа. Это единственный урболандшафт в городе, где сумма коэффициентов содержания (K_c) достигает 5,5. Средняя степень риска характерна для 37,0 % территории города и сформировалась в группах центральных и западных урболандшафтов Орши, где господствует плотная общественная и комплексная жилая застройка различных типов – многоквартирная, мало- и среднеэтажная, усадебная городского типа. Наряду с ними присутствуют производственная застройка с санитарно-защитными зонами и ландшафтно-рекреационные территории. Доминирует сумма коэффициентов содержания в пределах 3,5–4,5. Низкой степенью рисков отличается группа юго-восточных урболандшафтов, для которой характерно большое количество зеленых насаждений общего пользования наряду с разнообразной жилой застройкой. Преобладающая сумма коэффициентов содержания – 2,5–3,5. Минимальной степенью геохимических рисков в Орше выделяется группа юго-западных урболандшафтов. В структуре урболандшафтов представлены лесные насаждения, сельскохозяйственные земли, ландшафтно-рекреационные территории, примыкающие к участкам жилой мало- и среднеэтажной, усадебной сельского и поселкового типов застройки. Это экологически чистая зона, почвы которой не содержат микроэлементов с превышением фоновых показателей.

Высокая степень геохимического риска в Пинске (16,5 % площади города) выявлена в группе восточных урболандшафтов. По показателю суммарного загрязнения почв эта территория классифицируется как наиболее загрязненная (1,3–2,1 ПДК). Здесь зафиксированы самые высокие показатели загрязнения почв Pb, Cu и Cr. Средняя степень рисков в Пинске сформировалась в группах центральных и северо-восточных урболандшафтов, площадь которых составляет 28,9 % общей площади исследования. По показателю суммарного загрязнения почв эта территория расположена в пределах ореола 0,4–0,9 ПДК и характеризуется повышенным содержанием Pb (2,0 ПДК) и Cu (до 2,0 ПДК). Низкие риски характерны для групп юго-восточных и юго-западных урболандшафтов, имеющих максимальное распространение в городе (33,2 % площади). Их территории являются экологически достаточно чистыми, но характеризуются наличием пятен локального накопления с повышенным содержанием Pb и Cu. Минимальная степень геохимических рисков в Пинске выявлена в группе северо-западных урболандшафтов. Это самая экологически чистая территория, почвы которой не содержат микроэлементов с превышением ПДК.

Оценка тепловых рисков урболандшафтов выполнена на основе шкалы пространственного распределения средней температуры поверхности с учетом установленного превышения комфортности этого показателя для человека (22–24 °C). В границах групп урболандшафтов Орши и Пинска выделены четыре типа тепловых рисков – от минимальных до высоких.

В Орше высокий уровень тепловых рисков наблюдается в границах группы центральных урболандшафтов (рис. 6, в), которые представляют историческое ядро города, где преобладает плотная жилая застройка различных типов, чередующаяся с производственными объектами. Среднее значение температуры поверхности составляет 31 °C, среднее квадратическое отклонение является минимальным (1,85) и указывает на высокую однородность поверхности в границах группы. Средний уровень теплового риска отмечен для группы северных и западных урболандшафтов. Здесь велика доля территорий транспортной и промышленной инфраструктуры, являющихся источниками теплового загрязнения, однако селитебная зона представлена преимущественно малоэтажной и усадебной застройкой, которая характеризуется меньшей плотностью и большей долей зеленых насаждений. Последние смягчают тепловое загрязнение территории и стабилизируют тепловые риски. Расположенная на левом берегу р. Днепр зона усадебной и многоквартирной жилой застройки характеризуется низким уровнем теплового риска за счет высокой доли ландшафтно-рекреационных территорий, приуроченных к пойме водотока. Юго-западные урболандшафты характеризуются минимальным уровнем теплового риска, средняя температура поверхности в их границах составляет 27 °C. Территории представлены преимущественно природными (зеленые насаждения, водоемы) объектами и землями сельскохозяйственного назначения, которые планируется включить в черту города.

Максимальные уровни теплового риска в Пинске выявлены в группах восточных и центральных урболандшафтов (рис. 6, г), где средние значения температуры поверхности находятся в диапазоне 31–32 °C. Указанные территории включают историческое ядро города, многофункциональный общественный центр, зону многоквартирной и усадебной застройки, а также основные производственные территории, где сложилась напряженная с точки зрения теплового риска ситуация.

Средний уровень теплового риска отмечен в границах группы северо-восточных урболандшафтов, где около 25 % территории группы представлено сельскохозяйственными землями, температура поверхности которых на 2–3 °C меньше, чем на застроенных территориях рассматриваемой группы.

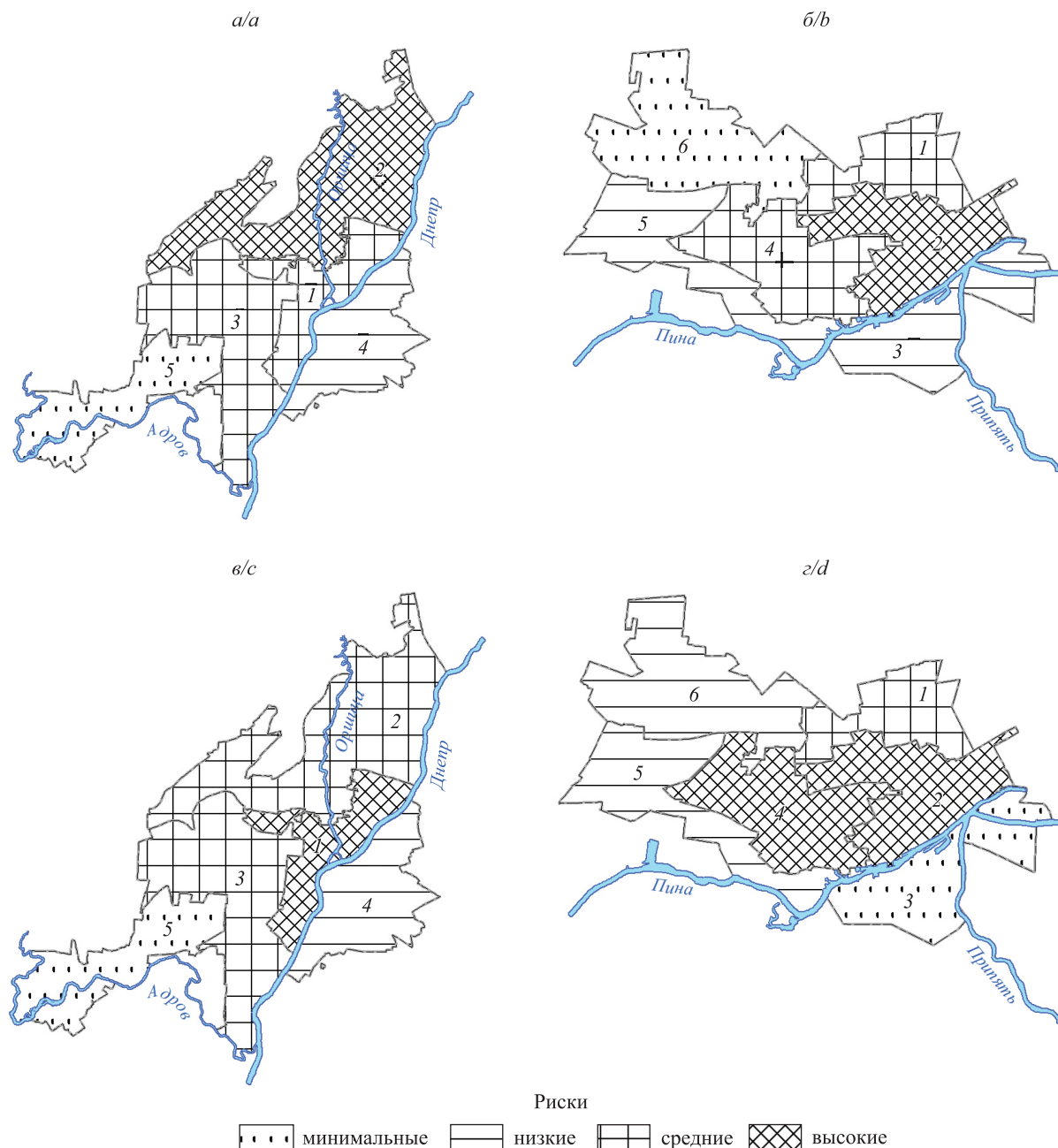


Рис. 6. Экологические (а, б – геохимические; в, г – тепловые) риски урбандешафтов Орши (а, в) и Пинска (б, г).

Обозначенные цифрами группы урбандешафтов см. на рис. 1, 2

Fig. 6. Environmental (a, b – geochemical; c, d – thermal) risks of urban landscapes of Orsha (a, c) and Pinsk (b, d).

Marked with numbers groups of urban landscapes see on fig. 1, 2

В пределах периферийной западной части города (группы северо-западных и юго-западных урбандешафтов), где преобладает селитебная зона с преимущественно усадебной застройкой и широко распространены ландшафтно-рекреационные территории, средняя температура поверхности, за исключением отдельных производственных площадок, не превышает 30 °С. Указанные территории характеризуются низким уровнем теплового риска. Минимальный уровень теплового риска (средняя температура поверхности не превышает 25 °С) отмечен в границах пойм рек Припяти и Пины (юго-восточные урбандешафты), которые представляют собой ценные в экологическом отношении природные комплексы, частично занятые объектами транспортной инфраструктуры и коммунального хозяйства.



Заключение

Представлены новые результаты исследования экологических рисков, которые позволили выяснить роль урболандшафтов в их формировании, выявить некоторые закономерности развития, провести оценку геохимических и тепловых рисков, экосистемных услуг. Созданный картографический материал свидетельствует, что городские ландшафты по-разному влияют на опасные процессы природного и техногенного генезиса. Урболандшафты исторического центра с доминированием комплексной жилой многоэтажной, промышленной застройки, как правило, характеризуются повышенным содержанием в почве тяжелых металлов, особенно Pb и Cu (выше ПДК или фона). Выявлена закономерность, что к месту расположения геохимической аномалии тяготеют острова тепла с наиболее высокими температурами поверхности в летний период (до 38–40 °C) и участки слабого процесса фотосинтеза (суммарное депонирование диоксида углерода составляет от 100 до 500 т в год). Таким образом, формируется территория с высоким уровнем геохимического и теплового риска. Урболандшафты с преобладанием ландшафтно-рекреационных территорий отличаются наиболее низким содержанием тяжелых металлов в почвах, пониженными температурами поверхности, максимально высокими показателями накопления углерода (суммарно 2,6–2,8 тыс. т CO₂ ежегодно) и, соответственно, низким уровнем геохимического и теплового риска. В целом количественные показатели свидетельствуют о том, что уровень экологического риска в Орше и Пинске соответствует категориям «приемлемые» и «пренебрежимые». В указанной ситуации управление рисками сводится к разработке предложений по экологической оптимизации урболандшафтов. В первую очередь это озеленение городской инфраструктуры (инженерных коммуникаций, транспортных сетей и др.), расширение вертикального и горизонтального озеленения, повсеместное внедрение зеленых насаждений в промышленных и густо заселенных урболандшафтах, где возможно проводить озеленение открытых производственных площадок и поверхностей зданий.

Библиографические ссылки

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World population prospects 2019: highlights* [Internet]. New York: United Nations; 2019 [cited 2021 April 3]. 43 p. Report No. ST/ESA/SER.A/423. Available from: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf.
2. Фалолеева МА. *Новый город для нового климата*. Минск: Дискурс; 2020. 431 с. (Наука меняет жизнь).
3. Касимов НС, Малхазова СМ, Чалов РС, редакторы. *География, общество, окружающая среда. Том 4. Природно-антропогенные процессы и экологический риск*. Москва: Городец; 2004. 616 с.
4. Акимов ВА, Лесных ВВ, Радаев НН. *Риски в природе, техносфере, обществе и экономике*. Москва: Деловой экспресс; 2014. 348 с.
5. Вишняков ЯД, Радаев НН. *Общая теория рисков*. 2-е издание. Москва: Академия; 2008. 368 с.
6. Тихомиров НП, Потравный ИМ, Тихомирова ТМ. *Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками*. Тихомиров НП, редактор. Москва: Юнити-Дана; 2003. 350 с.
7. Ямалов ИУ. *Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций*. Москва: Лаборатория базовых знаний; 2009. 288 с.
8. Risk Assessment Forum, United States Environmental Protection Agency. *Guidelines for ecological risk assessment* [Internet]. Washington: United States Environmental Protection Agency; 1998 [cited 2021 April 3]. 188 p. Report No. EPA/630/R-95/002F. Available from: https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/eco_risk_assessment1998.pdf.
9. Azimuth Consulting Group. *Federal Contaminated Sites Action Plan (FCSAP). Ecological risk assessment guidance*. Vancouver: Azimuth Consulting Group; 2012. 215 p.
10. Pollard S, Purchase D, Herbert S. *A practical guide to environmental risk assessment for waste management facilities. Guidance note 25. Version 2* [Internet]. London: National Centre for Risk Analysis and Options Appraisal, Environment Agency; 2000 [cited 2021 April 3]. 80 p. Available from: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.391.7953&rep=rep1&type=pdf>.
11. Environmental Health Committee. *Environmental health risk assessment: guidelines for assessing human health risks from environmental hazards* [Internet]. Canberra: Environmental Health Committee; 2012 [cited 2021 April 3]. 131 p. Available from: [https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/A12B57E41EC9F326CA257BF0001F9E7D/\\$File/Environmental-health-Risk-Assessment.pdf](https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/A12B57E41EC9F326CA257BF0001F9E7D/$File/Environmental-health-Risk-Assessment.pdf).
12. Health and Safety Authority. *Guidelines on risk assessments and safety statements* [Internet]. Dublin: Health and Safety Authority; 2006 [cited 2021 April 3]. 38 p. Available from: <https://www.tcd.ie/estatesandfacilities/assets/pdf/HSA%20RiskAssessment%20SS%20guide.pdf>.
13. European Food Safety Authority. Review of current practices of environmental risk assessment within EFSA. *EFSA Supporting Publications* [Internet]. 2011 [cited 2021 April 3];8(9):116. [39 p.]. Available from: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/sp.efsa.2011.IN-116>.
14. Shoaf KI, Seligson HA, Stratton SJ, Rottman SJ. *Hazard risk assessment instrument* [Internet]. [S. l.]: UCLA Center for Public Health and Disasters; 2006 [cited 2021 April 3]. 89 p. Available from: https://fachc.memberclicks.net/assets/docs/Emergency-Management-Knowledgebase/hra_instrument_wbkucla.pdf.
15. Suter GW II, Munns WR, Sekizawa J. Types of integration in risk assessment and management, and why they are needed. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2003;9(1):273–279. DOI: 10.1080/713609864.
16. Nel DC, Cochrane K, Petersen SL, Shannon LJ, van Zyl B, Honig MB, editors. *Ecological risk assessment: a tool for implementing an ecosystem approach for southern African fisheries* [Internet]. [S. l.]: [s. n.]; 2007 [cited 2021 April 3]. 225 p. (WWF



report series; 2007/Marine/002). Available from: http://awsassets.wwf.org.za/downloads/22_ecological_risk_assessment_a_tool_for_implementing_an_ecosystem_approach_for_souther.pdf.

17. Munns WR Jr, Mitro MG. *Assessing risks to populations at Superfund and RCRA sites characterizing effects on populations* [Internet]. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency; 2006 [cited 2021 April 3]. 88 p. Report No. EPA/600/R-06/038. Available from: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/erasc_risks_to_eco_pops.pdf.

18. Fox DR, Burgman M. Ecological risk assessment. In: Melnick EL, Everitt BS, editors. *Encyclopedia of quantitative risk assessment and analysis*. Chichester: John Wiley & Sons; 2008. p. 1600–1603. DOI: 10.1002/9780470061596.risk0268.

19. Pollard S. Ecological and public health risks: analysis and management. In: UNESCO. *Encyclopedia of life support systems (EOLSS)*. Paris: EOLSS Publishers; 2002. p. 219–235.

20. Martin B, Pearson A, Bauer B. *An ecological risk assessment of wind energy development in Montana* [Internet]. Helena: The Nature Conservancy; 2009 [cited 2021 April 3]. 57 p. Available from: <https://www.nature.org/media/montana/wind-report.pdf>.

21. New Mexico Environment Department, Hazardous Waste Bureau. *Guidance for assessing ecological risks posed by chemicals: Screening level ecological risk assessment. HWB guidance document Revision 2.0*. Santa Fe: New Mexico Environment Department; 2008. 116 p.

22. Schleier JJ III, Sing SE, Peterson RKD. Regional ecological risk assessment for the introduction of *Gambusia affinis* (western mosquitofish) into Montana watersheds. *Biological Invasions*. 2008;10(8):1277–1287. DOI: 10.1007/s10530-007-9202-1.

23. O'Brien GC, Wepener V. Regional-scale risk assessment methodology using the relative risk model (RRM) for surface freshwater aquatic ecosystems in South Africa. *Water SA*. 2012;38(2):153–166. DOI: 10.4314/wsa.v38i2.1.

24. Molak V, editor. *Fundamentals of risk analysis and risk management*. Boca Raton: Lewis Publishers; 1997. 451 p.

25. Pastorok RA, Akçakaya R, Regan H, Ferson S, Bartell SM. Role of ecological modeling in risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2003;9(4):939–972. DOI: 10.1080/713610017.

26. Хомич ВС, Какарека СВ, Кухарчик ТИ, Кравчук ЛА. *Светлогорск: экологический анализ города*. Минск: Минсктиппроект; 2002. 212 с.

27. Хомич ВС, Какарека СВ, Кухарчик ТИ. *Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси*. Минск: Минсктиппроект; 2004. 259 с.

28. Струк МИ. *Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси*. Минск: Белорусская наука; 2007. 252 с.

29. Асаёнок ИС. *Среда обитания: риск, здоровье, экономика*. Минск: Бестпринт; 2006. 221 с.

30. Деревяго ИП. *Экономические основы управления риском*. Минск: Белорусский государственный технологический университет; 2007. 170 с.

31. Martsinkevich G, Shchasnaya I, Usava I. Urban landscape as an object for study and assessment of urban space. The example of industrial cities in Belarus. *Problemy Ekologii Krajobrazu*. 2017;45:29–39.

32. Avdan U, Jovanovska G. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using Landsat 8 satellite data. *Journal of Sensors*. 2016;1480307. DOI: 10.1155/2016/1480307.

33. Vodyanitskii YuN. Criteria of the technogenic nature of heavy metals and metalloids in soils: a review of publications. *Eurasian Soil Science*. 2009;42(9):1053–1061. DOI: 10.1134/S1064229309090130.

34. Alloway BJ. Sources of heavy metals and metalloids in soils. In: Alloway BJ, editor. *Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. 3rd edition. Dordrecht: Springer; 2013. p. 11–50 (Environmental pollution; volume 22). DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7_2.

References

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World population prospects 2019: highlights* [Internet]. New York: United Nations; 2019 [cited 2021 April 3]. 43 p. Report No. ST/ESA/SER.A/423. Available from: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf.

2. Faloleeva MA. *Novyi gorod dlya novogo klimata* [A new city for a new climate]. Minsk: Diskurs; 2020. 431 p. (Nauka menyaet zhizn'). Russian.

3. Kasimov NS, Malkhazova SM, Chalov RS, editors. *Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda. Tom 4. Prirodno-antropogennyye protsessy i ekologicheskii risk* [Geography, society, environment. Volume 4. Natural and anthropogenic processes and environmental risk]. Moscow: Gorodets; 2004. 616 p. Russian.

4. Akimov VA, Lesnykh VV, Radaev NN. *Riski v prirode, tekhnosfere, obshchestve i ekonomike* [Risks in nature, technosphere, society and economy]. Moscow: Delovoi ekspres; 2014. 348 p. Russian.

5. Vishnyakov YaD, Radaev NN. *Obshchaya teoriya riskov* [General risk theory]. 2nd edition. Moscow: Akademiya; 2008. 368 p. Russian.

6. Tikhomirov NP, Potravny IM, Tikhomirova TM. *Metody analiza i upravleniya ekologo-ekonomicheskimi riskami* [Methods of analysis and management of environmental and economic risks]. Tikhomirov NP, editor. Moscow: Uniti-Dana; 2003. 350 p. Russian.

7. Yamalov IU. *Modelirovanie protsessov upravleniya i prinyatiya reshenii v usloviyakh chrezvychainykh situatsii* [Modelling management and decision-making processes in emergency situations]. Moscow: Laboratoriya bazovykh znaniy; 2009. 288 p. Russian.

8. Risk Assessment Forum, United States Environmental Protection Agency. *Guidelines for ecological risk assessment* [Internet]. Washington: United States Environmental Protection Agency; 1998 [cited 2021 April 3]. 188 p. Report No. EPA/630/R-95/002F. Available from: https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/eco_risk_assessment1998.pdf.

9. Azimuth Consulting Group. *Federal Contaminated Sites Action Plan (FCSAP). Ecological risk assessment guidance*. Vancouver: Azimuth Consulting Group; 2012. 215 p.

10. Pollard S, Purchase D, Herbert S. *A practical guide to environmental risk assessment for waste management facilities. Guidance note 25. Version 2* [Internet]. London: National Centre for Risk Analysis and Options Appraisal, Environment Agency; 2000 [cited 2021 April 3]. 80 p. Available from: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.391.7953&rep=rep1&type=pdf>.

11. Environmental Health Committee. *Environmental health risk assessment: guidelines for assessing human health risks from environmental hazards* [Internet]. Canberra: Environmental Health Committee; 2012 [cited 2021 April 3]. 131 p. Available from: [https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/A12B57E41EC9F326CA257BF0001F9E7D/\\$File/Environmental-health-Risk-Assessment.pdf](https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/A12B57E41EC9F326CA257BF0001F9E7D/$File/Environmental-health-Risk-Assessment.pdf).



12. Health and Safety Authority. *Guidelines on risk assessments and safety statements* [Internet]. Dublin: Health and Safety Authority; 2006 [cited 2021 April 3]. 38 p. Available from: <https://www.tcd.ie/estatesandfacilities/assets/pdf/HSA%20RiskAssessment%20SS%20guide.pdf>.
13. European Food Safety Authority. Review of current practices of environmental risk assessment within EFSA. *EFSA Supporting Publications* [Internet]. 2011 [cited 2021 April 3];8(9):116. [39 p.]. Available from: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/sp.efsa.2011.IN-116>.
14. Shoaf KI, Seligson HA, Stratton SJ, Rottman SJ. *Hazard risk assessment instrument* [Internet]. [S. l.]: UCLA Center for Public Health and Disasters; 2006 [cited 2021 April 3]. 89 p. Available from: https://fachc.memberclicks.net/assets/docs/Emergency-Management-Knowledgebase/hra_instrument_wbkucla.pdf.
15. Suter GW II, Munns WR, Sekizawa J. Types of integration in risk assessment and management, and why they are needed. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2003;9(1):273–279. DOI: 10.1080/713609864.
16. Nel DC, Cochrane K, Petersen SL, Shannon LJ, van Zyl B, Honig MB, editors. *Ecological risk assessment: a tool for implementing an ecosystem approach for southern African fisheries* [Internet]. [S. l.]: [s. n.]; 2007 [cited 2021 April 3]. 225 p. (WWF report series; 2007/Marine/002). Available from: http://awsassets.wwf.org.za/downloads/22_ecological_risk_assessment_a_tool_for_implementing_an_ecosystem_approach_for_souther.pdf.
17. Munns WR Jr, Mitro MG. *Assessing risks to populations at Superfund and RCRA sites characterizing effects on populations* [Internet]. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency; 2006 [cited 2021 April 3]. 88 p. Report No. EPA/600/R-06/038. Available from: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/erasc_risks_to_eco_pops.pdf.
18. Fox DR, Burgman M. Ecological risk assessment. In: Melnick EL, Everitt BS, editors. *Encyclopedia of quantitative risk assessment and analysis*. Chichester: John Wiley & Sons; 2008. p. 1600–1603. DOI: 10.1002/9780470061596.risk0268.
19. Pollard S.J.T. Ecological and public health risks: analysis and management. In: UNESCO. *Encyclopedia of life support systems (EOLSS)*. Paris: EOLSS Publishers; 2002. p. 219–235.
20. Martin B, Pearson A, Bauer B. *An ecological risk assessment of wind energy development in Montana* [Internet]. Helena: The Nature Conservancy; 2009 [cited 2021 April 3]. 57 p. Available from: <https://www.nature.org/media/montana/wind-report.pdf>.
21. New Mexico Environment Department, Hazardous Waste Bureau. *Guidance for assessing ecological risks posed by chemicals: Screening level ecological risk assessment. HWB guidance document Revision 2.0*. Santa Fe: New Mexico Environment Department; 2008. 116 p.
22. Schleier JJ III, Sing SE, Peterson RKD. Regional ecological risk assessment for the introduction of *Gambusia affinis* (western mosquitofish) into Montana watersheds. *Biological Invasions*. 2008;10(8):1277–1287. DOI: 10.1007/s10530-007-9202-1.
23. O'Brien GC, Wepener V. Regional-scale risk assessment methodology using the relative risk model (RRM) for surface freshwater aquatic ecosystems in South Africa. *Water SA*. 2012;38(2):153–166. DOI: 10.4314/wsa.v38i2.1.
24. Molak V, editor. *Fundamentals of risk analysis and risk management*. Boca Raton: Lewis Publishers; 1997. 451 p.
25. Pastorok RA, Akçakaya R, Regan H, Ferson S, Bartell SM. Role of ecological modeling in risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2003;9(4):939–972. DOI: 10.1080/713610017.
26. Khomich VS, Kakareka SV, Kukharchik TI, Kravchuk LA. *Svetlogorsk: ekologicheskii analiz goroda* [Svetlogorsk: ecological analysis of the city]. Minsk: Minsktipproekt; 2002. 212 p. Russian.
27. Khomich VS, Kakareka SV, Kukharchik TI. *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi* [Ecogeochemistry of urban landscapes]. Minsk: Minsktipproekt; 2004. 259 p. Russian.
28. Struk MI. *Regional'nye osobennosti optimizatsii okruzhayushchei sredy Belarusi* [Regional features of environmental optimization in Belarus]. Minsk: Belorusskaya nauka; 2007. 252 p. Russian.
29. Asaenok IS. *Sreda obitaniya: risk, zdorov'e, ekonomika* [Habitat: risk, health, economy]. Minsk: Bestprint; 2006. 221 p. Russian.
30. Derevyago IP. *Ekonomicheskie osnovy upravleniya riskom* [The economic foundations of risk management]. Minsk: Belarusian State Technological University; 2007. 170 p. Russian.
31. Martsinkevich G, Shchasnaya I, Usava I. Urban landscape as an object for study and assessment of urban space. The example of industrial cities in Belarus. *Problemy Ekologii Krajobrazu*. 2017;45:29–39.
32. Avdan U, Jovanovska G. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using Landsat 8 satellite data. *Journal of Sensors*. 2016;1480307. DOI: 10.1155/2016/1480307.
33. Vodyanitskii YuN. Criteria of the technogenic nature of heavy metals and metalloids in soils: a review of publications. *Eurasian Soil Science*. 2009;42(9):1053–1061. DOI: 10.1134/S1064229309090130.
34. Alloway BJ. Sources of heavy metals and metalloids in soils. In: Alloway BJ, editor. *Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. 3rd edition. Dordrecht: Springer; 2013. p. 11–50 (Environmental pollution; volume 22). DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7_2.

Получена 03.06.2021 / исправлена 30.09.2021 / принята 01.10.2021.
Received 03.06.2021 / revised 30.09.2021 / accepted 01.10.2021.