

УДК 502/504:624.131 (476)

doi: 10.5959/MSU0579-9406-4-2025-64-5-84-93

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕЛИТЕБНЫХ КОМПЛЕКСОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Владимир Александрович Королев¹, Александр Николаевич Галкин²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; va-korolev@bk.ru

² Витебский государственный университет имени П.М. Машерова, Витебск, Беларусь; galkin-alexandr@yandex.ru

Аннотация. Впервые выявлены и проанализированы структура и характерные особенности эколого-геологических систем селитебных комплексов Белоруссии. Главным абиотическим компонентом структуры данных эколого-геологической системы (ЭГС) является урболитотоп, который образует литогенную основу экосистемы. В его состав входят урбанизированный рельеф, техногенно измененные и искусственные массивы грунтов с парагенезом развитых в их пределах инженерно-геологических процессов, а также техногенно измененными геохимическими и геофизическими полями. Важнейшими абиотическими компонентами ЭГС селитебных комплексов также являются урбогидротоп, характеризуемый техногенно измененными гидрогеологическими условиями, урбоэдафотоп, состоящий из различных типов урбозёмов, урбоатмотоп, отражающий техногенное изменение и загрязнение атмосферного воздуха городов. К абиотическим компонентам ЭГС селитебных комплексов также относятся и различные городские инженерные сооружения: жилые и общественные здания, различные объекты коммунального хозяйства, городской общественный и личный автотранспорт, дорожные коммуникации и т.п. Основными источниками техногенного преобразования природных компонентов являются городские инженерные объекты различного назначения, связанные с жилой застройкой территорий. Показано, что все компоненты ЭГС селитебных комплексов как абиотические, так и биотические, взаимодействуют друг с другом и обладают комплексом специфических характеристик, обусловленных влиянием урбанизации и антропогенеза, что необходимо учитывать при их систематике, описании и анализе экологических функций литосферы. Выявленные закономерности и особенности ЭГС селитебных комплексов Белоруссии можно рассматривать как общие для аналогичных ЭГС и в России, которые необходимо учитывать при инженерно-экологических исследованиях и инженерно-экологических изысканиях.

Ключевые слова: эколого-геологическая система (ЭГС), антропогенная ЭГС селитебных комплексов, урболитотоп, урбоэдафотоп, урбомикробоценоз, урбофитоценоз, урбозооценоз, Республика Беларусь

Для цитирования: Королев В.А., Галкин А.Н. Особенности эколого-геологических систем селитебных комплексов Республики Беларусь // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 5. С. 84–93.

FEATURES OF ECOLOGICAL AND GEOLOGICAL SYSTEMS OF RESIDENTIAL COMPLEXES OF BELARUS

Vladimir A. Korolev¹, Aleksandr N. Galkin²

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; va-korolev@bk.ru

² Vitebsk State University named after P.M. Masherov, Vitebsk, Belarus; galkin-alexandr@yandex.ru

Abstract: The structure and characteristic features of ecological-geological systems of residential complexes of Belarus have been identified and analyzed for the first time. The main abiotic component of the structure of these ecological-geological system (EGS) is the urbolitotope, which forms the lithogenic basis of the ecosystem. It includes urbanized relief, technogenically modified and artificial soil massifs with paragenesis of engineering-geological processes developed within their boundaries, as well as technogenically modified geochemical and geophysical fields. The most important abiotic components of the EGS of residential complexes are also the urbohydrotope, characterized by technogenically modified hydrogeological conditions, the urboedaphotope, consisting of various types of urbozems, the urboatmotope, reflecting technogenic change and pollution of the atmospheric air of cities. Abiotic components of the EGS of residential complexes also include various urban engineering structures: residential and public buildings, various public utilities, urban public and private vehicles, road communications, etc. The main sources of technogenic transformation of natural components are urban engineering structures of various purposes associated with residential development of territories. It is shown that all components of the EGS of residential complexes, both abiotic and biotic, interact with each other and have a set of specific characteristics caused by the influence of urbanization and anthropogenesis, which must be taken into account in their taxonomy, description and analysis of ecological functions of the lithosphere. The revealed patterns and features of the EGS of residential complexes in Belarus can be considered as common for similar EGS in Russia, which must be taken into account in engineering and environmental studies and engineering and environmental surveys.

Keywords: ecological-geological system (EGS), anthropogenic EGS of residential complexes, urbolitotope, urboedaphotope, urbomicrobocenosis, urbophytocenosis, urbozoocenosis, Belarus

For citation: Korolev V.A., Galkin A.N. Features of residential ecological and geological systems of residential complexes in Belarus. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 5: 84–93. (In Russ.).

Введение. На территории Белоруссии выделяется шесть классов антропогенных эколого-геологических систем (ЭГС)¹, среди которых широким распространением пользуются ЭГС селитебных² комплексов [Галкин, Королёв, 2023; Королёв, Галкин, 2023].

Эколого-геологическая система селитебных комплексов — это открытая динамичная система, состоящая из абиотического блока (техногенно-измененных литотопа, гидротоп, атомотоп и эдафотоп, жилых зданий, сопутствующих инженерных сооружений и городской инфраструктуры) и биотического (городских микробоценоза, фитоценоза, зооценоза в пределах жилой застройки и городского населения), а также источников природных и техногенных воздействий, вызванных жилой застройкой, тесно связанных прямыми и обратными причинно-следственными связями, обуславливающими ее структурно-функциональное единство.

Структура ЭГС селитебных комплексов имеет свою специфику, которая отражена на схеме (рисунок), показывающей, что все компоненты данной ЭГС в условиях населенного пункта являются или техногенно преобразованными или антропогенными.

Поэтому ко всем таким компонентам целесообразно использовать приставку «урбо-» (*urbanus* — городской): урболитотоп, урбоэдафотоп и т.д. Границы ЭГС селитебных комплексов легко определяются по картам функционального зонирования городских территорий.

Региональные ЭГС селитебных комплексов в Белоруссии включают в себя целую сеть населенных пунктов, представленных по состоянию на 2024 г. 115 городами, 85 поселками городского типа и 22991 сельским поселением [Кучиц, 2025]. Густота сети населенных мест, которая влияет на уровень хозяйственного освоения территории, составляет в среднем 111 единиц на 1000 км² [Белковская и др., 2022]. Весьма неоднородно распределено по территории Белоруссии городское население: проживает оно преимущественно в малых городских поселениях с числом жителей до 20 тысяч. Таких поселений 94, из них 71 город и 23 поселка городского типа, однако проживает в них лишь 13,4% всего городского населения республики [Малье..., 2025]. В крупных городах сосредоточено более 70% городского населения. В Белоруссии насчитывается 13 городов

с населением свыше 100 тысяч человек, включая столицу Минск, в которой проживает около 29% всего городского населения страны [Кучиц, 2025].

Несмотря на то, что ЭГС селитебных комплексов занимают значительные площади на территории республики, они остаются практически не изученными в эколого-геологическом отношении, об их компонентах и структуре имеются лишь разрозненные сведения. Поэтому, основываясь на ранее разработанной авторами систематике эколого-геологических систем территории Белоруссии [Галкин, Королёв, 2023; Королёв, Галкин, 2023], в настоящей статье приводится их общая характеристика, а также выявляются и характеризуются главные особенности их абиотических и биотических компонентов, что составляло цель и задачи настоящей работы.

Особенности структуры и компонентов ЭГС селитебных комплексов. Структура ЭГС селитебных комплексов (см. рисунок), отражает наличие в них как абиотических (урболитотоп, урбогидротоп, урбоатмотоп, технические сооружения), так и биотических (урбоэдафотоп, урбомикробоценоз, урбофитоценоз, урбозооценоз) компонентов, техногенно измененных или искусственных (антропогенных) за счет социума (населения) и создаваемых им технических сооружений. В отличие от других техногенных ЭГС, в селитебных ведущую роль играют технические подсистемы ЭГС: жилые массивы или группы жилых домов, общественные, административно-деловые, научно-образовательные, сервисные и торговые центры, бытовые, спортивные и транспортные комплексы и др. учреждения с соответствующей им инженерной инфраструктурой [Кодекс..., 2023]. Именно они являются основным фактором воздействия на биотические компоненты ЭГС и определяют облик таких ЭГС.

Можно выделить следующие **типы ЭГС селитебных комплексов**: 1) эколого-геологические системы комплексов жилой, 2) общественной и 3) производственной застройки, включая промышленные³, 4) коммунальные, складские и иные производственные объекты, а также связанные с их эксплуатацией объекты инженерной и транспортной инфраструктуры, объекты энергетики и др. застроек [СН 3.01.03-2020].

Первый тип ЭГС селитебных комплексов жилой застройки объединяет: жилые зоны (территории

¹ Эколого-геологическая система — открытая динамичная система, включающая три подсистемных блока (литосферный, абиотический, биотический) и источники природных и техногенных воздействий, тесно связанных прямыми и обратными причинно-следственными связями, обуславливающими ее структурно-функциональное единство [Трофимов, 2009].

² Селитебный — застраиваемый или отведенный под застройку [Селитебный, 1998]. Селитебная территория — это земельные участки, занятые в городских поселениях жилыми кварталами и лежащими между ними улицами и площадями; в сельских поселениях — жилыми домами (усадебными) с прилегающими к ним приусадебными участками и улицами. Селитебная территория также включает объекты внешнего благоустройства территории населенного пункта (коммунально-инженерные коммуникации, зеленые насаждения, площадки для отдыха, автомобильные стоянки и др.) и культурно-бытовые учреждения [Селитебная..., 2022].

³ В категорию селитебных промышленных объектов входят такие, которые не выделяют вредные вещества, не связаны с пожаро- и взрывоопасными производственными процессами, не создают шумового загрязнения и не требуют железнодорожной инфраструктуры. Их планировочная структура устроена так, что граница СЗЗ находится на максимальном приближении к границе территории предприятия или полностью совпадает с ней.

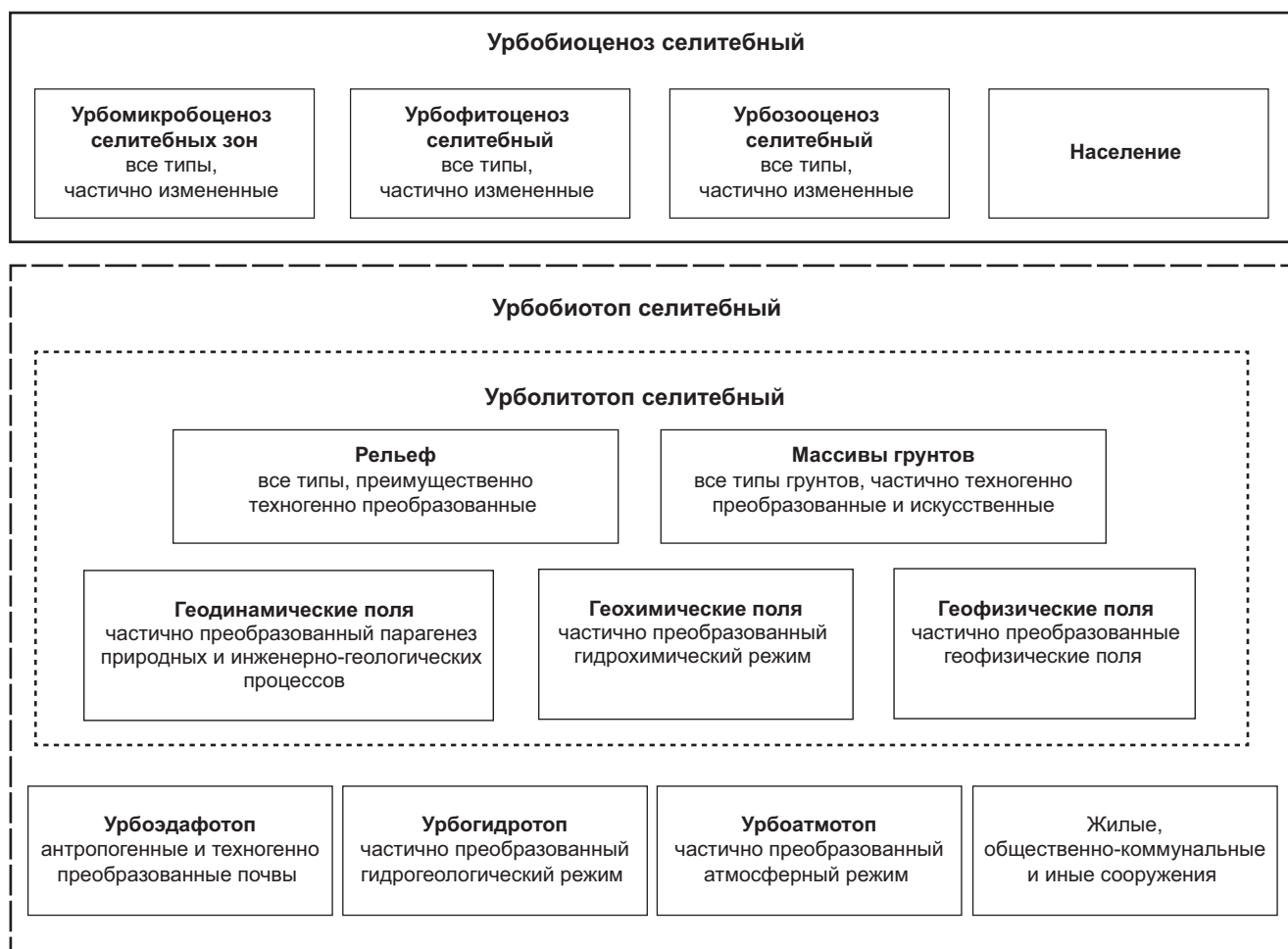


Рисунок. Структура эколого-геологической системы селитебных комплексов

с многоквартирными домами или с усадебной застройкой) и зоны смешанной застройки (участки с сочетанием различных функций). Жилые зоны ЭГС селитебных комплексов состоят из нескольких основных структурно-планировочных единиц: квартал, микрорайон или группа кварталов, жилой район или группа микрорайонов. Основным элементом застройки любого микрорайона является жилой дом, т. е. отдельное здание, в котором жилыми помещениями занято более половины площади. Жилые здания различают по нескольким квалификационным признакам [Молокович, 2021]: 1) по назначению; 2) по числу квартир; 3) по наличию приквартирных и приусадебных участков; 4) по этажности жилых домов: малоэтажные 1–3 этажа, средней этажности 4–5 этажей, многоэтажные 6–9 этажей, повышенной этажности 10–16 этажей, высотные выше 17 этажей); 5) по наличию встроенно-пристроенных нежилых помещений; 6) по наличию в составе жилищных единиц производственных помещений и построек, а также по другим признакам.

Второй тип — ЭГС селитебных комплексов общественной застройки объединяет территории объектов общественного назначения в зонах жилой и смешанной застройки и общественные центры населенных пунктов. Она выделяется в том случае, если общественные объекты (административные,

деловые, научные, учебные учреждения и предприятия обслуживания, общественно-деловые организации и др.) занимают не менее 50% всего земельного участка (фонда) на территории структурно-планировочного элемента. Общественный центр — важная составляющая общественной ЭГС селитебных комплексов любого поселения. Он может быть многофункциональным, районным или специализированным. Крупные города часто имеют несколько общественных центров, а небольшие — один главный.

В пределах третьего типа — ЭГС селитебных комплексов производственной застройки, как правило, располагаются промышленные, коммунальные, складские и иные производственные объекты, а также связанные с их эксплуатацией объекты инженерной и транспортной инфраструктуры. Производственно-деловая застройка данных ЭГС включает экологически безопасные объекты: научно-исследовательские и опытно-конструкторские учреждения, научно-информационные центры и т.п., не связанные со значительным объемом транспортных перевозок и движением транспорта с крупногабаритными грузами.

Четвертый тип — ЭГС селитебных комплексов коммунально-складской застройки включает в себя склады общего назначения (продуктовые и непро-

дуктовые), специализированные хранилища (холодильники, овощехранилища и т.п.), предприятия транспортного и коммунального обслуживания населения, в том числе очистные сооружения и полигоны для хранения твердых коммунальных отходов, а также гаражи и охраняемые стоянки автомобилей, предприятия оптовой и мелкооптовой торговли, объекты энергетики. Указанные предприятия и объекты занимают не менее 60 % территории коммунально-складской застройки.

Особенности абиотических и биокосных компонентов ЭГС селитебных комплексов. Урболитотоп ЭГС селитебных комплексов представлен массивами природных грунтов различного состава и генезиса (осадочных глинистых, песчаных, песчано-глинистых, искусственных и др.) и техногенными грунтами [Галкин и др., 2020]. Среди глинистых грунтов, используемых в качестве оснований фундаментов различных зданий и сооружений, наибольшим распространением в городах Белоруссии пользуются *моренные супеси и суглинки*. На этих грунтах построен ряд крупных, иногда даже уникальных, объектов. К их числу относятся такие сооружения, как Национальная библиотека в Минске, Ледовые дворцы спорта в гг. Минск и Витебск и др. В качестве естественных оснований зданий и сооружений в ряде районов интенсивного строительства в городах и других населенных пунктах, расположенных в пределах Минской, Гродненской и Новогрудской возвышенностей, Оршанско-Могилевского плато, Мозырской гряды, частично используются *лессовидные супеси и суглинки*, а в некоторых городах Витебской области (Полоцк, Новополоцк, Дисна и др.) — *озерно-ледниковые ленточные глины*. Большой опыт накоплен по строительству на *водно-ледниковых и аллювиальных песках*. На этих отложениях во многих городах Белоруссии (Бресте, Бобруйске, Гомеле, Минске и др.) возведены различные гражданские здания и сооружения разной этажности на ленточных, свайных и других фундаментах. Неуклонно возрастают темпы накопления *техногенных грунтов*. В практике отечественного градостроительства они используются на протяжении уже более полувека. Техногенные грунты городского происхождения, не встречающиеся в природе, представлены отходами предприятий жилищно-коммунального хозяйства (иловые осадки со станций аэрации и т.д.) и твердыми бытовыми отходами городских свалок.

При освоении территорий, сложенных слабыми грунтами, часто возникают неблагоприятные инженерно-геологические условия. В таких случаях эффективным способом является использование уплотненных насыпных грунтов, которые покрывают слабые грунты и служат основным несущим слоем под фундаментами. Примерами проектирования и строительства фундаментов с их использованием могут служить ледовые дворцы в городах Барановичи, Орша и Молодечно. Отложения культурного слоя наиболее распространены в «старых» городах,

где их мощность достигает значительных величин (в Витебске на отдельных участках она достигает до 15 м, Минске — 4–7 м, Полоцке — 4–5 м). По уровню техногенного преобразования литотопа в целом эколого-геологические системы селитебных комплексов часто сопоставимы с ЭГС промышленных и горно-промышленных комплексов. Это выражается как в изменении строения, состава и свойств грунтов, рельефа и гидрогеологических условий, так и в проявлении и активизации различных инженерно-геологических процессов. Кроме того, во всех городах в различной степени фиксируется нарушение естественного *температурного режима* урболитотопа. Так, например, проводимые авторами с коллегами на территории Гомеля исследования, позволили установить в пределах города ряд устойчивых аномалий повышенных значений температуры грунтов на 2–5 °С выше фоновых [Красовская, Галкин, 2007].

В пределах ЭГС селитебных комплексов формируются *урбогидротопы* — подсистемы, характеризующиеся измененными гидрогеологическими условиями вследствие урбанизации: в эксплуатируемых водоносных горизонтах снижаются напоры, а уровень грунтовых вод, наоборот, повышается, что часто приводит к подтоплению зданий и сооружений. В большинстве случаев подтопление в условиях города носит локальный характер и довольно быстро ликвидируется. Анализ различных ситуаций в городах Белоруссии, связанных с процессами переувлажнения и подъема уровня грунтовых вод, позволил выделить категории состояния населенных пунктов республики, подверженных подтоплению. Так, к первой категории относятся населенные пункты, находящиеся в зоне локального воздействия и требующие проведения мероприятий профилактического характера, например, города Минск, Столбцы, Светлогорск, Бобруйск и др.; ко второй — населенные пункты, находящиеся в зоне вероятного площадного воздействия и требующие принятия конструктивных мер безопасности, такие как Гомель, Брест, Давид-Городок, Туров, Могилев, Быхов, Жлобин и др.; к третьей — населенные пункты, находящиеся в зоне активного площадного воздействия и требующие инженерной защиты, например, Витебск, Полоцк, Верхнедвинск, Солигорск, Пинск и другие города.

Техногенное обводнение массивов грунтов часто сопровождается изменением их состава и свойств. Согласно Е.С. Дзекцеру [1984], сцепление грунтов в этом случае может уменьшиться в 2–2,5 раза, угол внутреннего трения на 10–15 %, а модуль деформации — в 2–3,5 раза. Все это неизбежно приводит к различного рода деформациям зданий и сооружений. Подтопление территорий, вызванное фильтрацией и колебаниями уровня новообразованных водоносных горизонтов, создает благоприятные условия для суффозии, усиливает плоскостной смыв грунтов, способствует развитию оврагов и возникновению оползней. В отличие от естественных

грунтовых вод, режим которых стабилен и зависит от климата, подтопление связано с человеческой деятельностью и часто подчиняется циклам работы городских систем. Важной особенностью подтопления в городах является сопутствующее химическое и бактериальное загрязнение, повышение температуры и агрессивности подземных вод и грунтов в зоне аэрации.

Загрязнение грунтов и подземных вод в населенных пунктах страны является одной из острых экологических проблем. Исследованиями [Прогноз..., 2004] установлено, что наиболее высокие уровни загрязнения урбогидротопов формируются в пределах сельских населенных пунктов и в городских районах частной застройки. Наибольшей интенсивностью на этих участках отличается нитратное загрязнение. В водах колодцев и неглубоких скважин содержание нитратов часто возрастает до 300–600 мг/дм³, достигая в отдельных случаях 1200–2492 мг/дм³. Согласно А.В. Кудельскому и В.И. Пашкевичу [2014], подавляющая часть (более 82 %) колодцев, составляющих основу водоснабжения многих сельских населенных пунктов и небольших городов, не удовлетворяет санитарным нормам по химическим (нитраты, хлориды и др.) и микробиологическим показателям. Нельзя не отметить загрязнение подземных вод и в крупных городах, где в водах групповых водозаборов нередко в повышенных концентрациях содержатся хлориды, сульфаты, соединения азота и ряд других компонентов.

Значительное влияние на загрязнение подземных вод оказывают объекты коммунальных служб — свалки твердых коммунальных отходов (ТКО), очистные сооружения и т.д. По состоянию на 2023 г. на территории Белоруссии действует 160 объектов захоронения ТКО (155 полигонов и 5 миниполигонов), занимающие площадь более 900 га [Состояние..., 2024]. Химический состав грунтовых вод на участках их размещения глубоко трансформирован. Характерными компонентами загрязнения здесь являются NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, K⁺, Na⁺. Концентрации нитратов достигают нередко 300–600 мг/дм³ и более (до 1000–1400 мг/дм³), содержание хлоридов возрастает до 2500 мг/дм³ и калия — до 800 мг/дм³. Так, например, в районе свалки ТКО и очистных сооружений Гомеля в грунтовых водах отмечено высокое содержание щелочных металлов (Na⁺ — 1500 мг/дм³, K⁺ — 800 мг/дм³), хлоридов (2750 мг/дм³), железа (23,5 мг/дм³), а также присутствие нефтепродуктов (до 0,71 мг/дм³), аммония и тяжелых металлов в концентрациях во много раз превышающих ПДК [Жогло и др., 2018]. На Слонимском полигоне ТКО в Гродненской области в 2019 г. в наблюдательных скважинах на грунтовые воды фиксировалось высокое содержание меди (0,026–0,030 мг/дм³) и цинка (4,91–6,68 мг/дм³) [Прогноз..., 2022].

Особенности урбоэдафотона. Почва ЭГС селитебных комплексов — это сложная система, подвергнутая урбанизации, выполняющая важ-

ные экологические функции городской среды. Как и обычные почвы, городские формируются под влиянием природных факторов, однако решающую роль здесь играет деятельность человека. Согласно [Герасимова и др., 2003], в настоящее время под городскими почвами понимают антропогенно-измененные почвы, имеющие созданный в результате человеческой деятельности поверхностный слой мощностью более 50 см, полученный перемешиванием, насыпанием, погребением или загрязнением материала урбаногенного происхождения, в том числе строительно-бытовым мусором.

Городские почвы характеризуются рядом общих особенностей, включая: формирование на насыпных, намывных или перемешанных грунтах или культурном слое; наличие строительного и бытового мусора в верхних слоях; нейтральную или щелочную реакцию даже в лесных зонах; загрязнение тяжелыми металлами и нефтепродуктами; специфические физико-механические и другие свойства (например, низкая влагоемкость, высокая плотность, уплотненность, каменистость), а также тенденцию к росту профиля вверх из-за постоянного добавления материалов и ветрового переноса [Почва..., 1997]. Они обладают характерным диагностическим горизонтом, так называемым «урбиком» — поверхностным органоминеральным насыпным, перемешанным горизонтом, с урбаногенными включениями (более 5 % строительно-бытового мусора, промышленных отходов), мощностью более 5 см. Наличие горизонта «урбик» является ключевым признаком, который отличает городские почвы от естественно-исторических.

В зависимости от характера дневной поверхности территории городов и других крупных поселений их урбоэдафотопы подразделяются на два основных типа: открытые (с частичным озеленением) и закрытые (застроенные и заасфальтированные). На открытых территориях выделяют четыре группы поверхностных почвенно-грунтовых образований: 1) естественные ненарушенные; 2) естественно-антропогенные поверхностно-преобразованные; 3) антропогенные глубоко преобразованные почвы, искусственно созданные почвоподобные образования — урботехноземы; а также 4) непочвенные образования — насыпные, намывные и другие техногенные грунты. На заасфальтированных территориях второго типа под асфальтобетоном или иным дорожным покрытием образуется особая группа тел — экранированные почвы и запечатанные грунты [Герасимова и др., 2003].

Естественные ненарушенные почвы в основном характерны лишь для ЭГС рекреационных комплексов.

Естественно-антропогенные поверхностно-преобразованные почвы (урбопочвы) сочетают горизонт «урбик» мощностью менее 50 см и ненарушенную среднюю и нижнюю части профиля. Такие почвы сохраняют типовое название с добавлением «урбо»

(урбодерново-подзолистая, аллювиальная урбодерновая и т.д.).

Антропогенные глубоко-преобразованные почвы образуют группу собственно городских почв — *урбаноземов*, в которых урбиковый горизонт имеет мощность более 50 см. Профиль урбанозема характеризуется отсутствием природных генетических горизонтов до глубины 50 см и более. К этой же группе относятся культуроземы (агроурбаноземы) — городские почвы фруктовых и ботанических садов, старых огородов. Урботехноземы — это искусственно созданные поверхностные образования, которые по своим свойствам близки к техноземам, но отличаются от них некоторыми признаками, сближающими их с почвами [Почва..., 1997]. Они различаются по мощности и свойствам гумусированного слоя, составу и свойствам подпочвенных грунтов и подразделяются на реплантоземы¹ и конструктороземы² [Герасимова и др., 2003].

Неотъемлемой частью ЭГС селитебных комплексов являются запечатанные почвы и грунты [Герасимова и др., 2003; Почва..., 1997]. Выделяется особая категория почв, запечатанных под дорожным асфальтобетонным покрытием — экраноземы, или экранированные почвы. Эти почвы существенно уплотнены, в них меняются водный, тепловой и газовый режимы; микробиота в таких почвах в большинстве случаев функционирует по анаэробному типу; отсутствует поступление веществ извне, а при укладке покрытия может быть повреждена верхняя часть профиля почвы. При дорожном строительстве часто происходит срезание почвенного профиля до грунтов и (или) последующее наложение нового материала и дорожного покрытия. В этом случае выделяется группа «запечатанный грунт». Измененные химический состав и структура почв в ЭГС селитебных комплексов влияют на их физические и иные свойства.

Вследствие урбанизации в ЭГС селитебных комплексов формируются и специфические *урбоатмосферы* — состав атмосферного воздуха в них существенно изменен и отличается от окружающего природного. Особенно большие изменения фиксируются в составе приземного слоя воздуха на городских магистралях, который загрязняется углекислым и другими газами. Источниками атмосферного загрязнения на городских территориях являются выбросы автомобильных газов, выбросы газов от котельных, горячих цехов, некоторых промышленных объектов — пищевых и химических предприятий. Городской смог стал обыденным явлением во многих городах. Источниками загрязнения воздуха также являются места складирования и переработки коммунальных отходов.

Особенности биотических компонентов ЭГС селитебных комплексов. Особенности урбомикробиоценоза. В состав урбомикробиоценоза ЭГС селитебных комплексов входят различные группы микроорганизмов. Большинство из них обитает в почве, где они играют ключевую роль в поддержании экосистемных процессов и биогеохимических циклов. Вместе с тем, несмотря на их важность, микробное разнообразие в исследуемых экосистемах мало изучено на территории Белоруссии. Работы, проведенные Ю.М. Бачурой и др. [Бачура, 2016; Лысак, 2010; Свекла, Колесник, 2013; Соловьева, 2015 и др.], выявили видовой состав низших почвенных водорослей на территории г. Гомеля и показали, что на придорожных газонах в городе было обнаружено 26 видов зеленых водорослей, принадлежащих 20 родам, 17 семействам и 10 порядкам, разделенным на 4 класса (*Chlorophyceae* — 57,7%, *Trebouxiophyceae* — 30,8%, *Charophyceae* — 7,7%, *Ulvophyceae* — 3,8%). Наиболее разнообразными оказались порядки *Scenedesmales* (6 видов из родов *Bracteacoccus*, *Neochloris*, *Scotiellopsis*, *Keratococcus* и *Chlorolobion*) и *Chlorellales* (5 видов из родов *Chlorella* и *Stichococcus*). Также были обнаружены представители порядков *Volvocales* (виды рода *Chlamydomonas*), *Chlorococcales* (виды родов *Chlorococcum* и *Tetracystis*), *Protosiphonales* (виды родов *Chlorosarcinopsis*, *Desmotetra*, *Neospongiococcum*, *Geminella*), *Microthamniales* (виды родов *Leptosira* и *Microthamnion*), *Trebouxiales* (виды рода *Myrmecia*), *Choricystidiales* (виды рода *Pseudococcomyxa*), *Codiolales* (виды рода *Ulothrix*), *Klebsormidiales* (виды рода *Klebsormidium*). В почвах придорожных газонов на улице Кирова (узкая трехполосная дорога, с интенсивным транспортным потоком, движением общественного транспорта и грузовых автомобилей) было обнаружено 20 видов водорослей. На долю хлорофициевых водорослей приходилось 50,0% всех видов, требуксифициевых — 35,0%, харофициевых — 10,0%, ульвофициевых — 5,0%. Почва придорожных газонов на улице Советской (шестиполосная дорога с интенсивным движением транспорта, (за исключением грузовиков) содержала 14 видов зеленых водорослей. Наибольшая доля (42,8%) приходилась на представителей классов *Chlorophyceae* и *Trebouxiophyceae*. Классы *Charophyceae* и *Ulvophyceae* были представлены в значительно меньшем количестве (по 7,2%). В почве придорожных газонов на улице Старочерниговской (узкая двухполосная дорога с немногочисленным движением и отсутствием общественного и грузового транспорта) было выявлено 17 видов зеленых водорослей: *Chlorophyceae* (58,8%), *Trebouxiophyceae* (29,4%) и *Charophyceae* (11,8%). По градиенту транспортной нагрузки улиц Гомеля в структуре сообществ зеленых водорослей

¹ *Реплантозёмы* — почвы, состоящие из маломощного гумусового слоя, слоя торфокомпостной смеси или слоя органического вещества, нанесенных на поверхность рекультивируемой породы из смеси насыпных или других природных, или техногенных грунтов, в основном формируются в районах городских новостроек, на новых газонах.

² *Конструкторозёмы* — искусственно целенаправленно создаваемые почвенно-грунтовые образования путем конструирования (создания) профиля по образу природной почвы.

придорожных газонов имело место сокращение числа видов из класса *Trebouxiophyceae*. Более богатым видовым составом почвенных водорослей отличается территория городского полигона ТКО. Здесь были обнаружены 36 видов зеленых водорослей, принадлежащих к 25 родам, 18 семействам и 12 порядкам, относящимся к классам *Chlorophyceae* (55,6%), *Trebouxiophyceae* (25,0%), *Ulvophyceae* (5,6%) и *Charophyceae* (11,1%).

Заслуживают внимания и результаты санитарно-микробиологических исследований урбаноземов в четырех жилых районах г. Гродно, проводимых в 2011–2012 гг. [Свекла, Колесник, 2013]. Пробы отбирались в четырех жилых районах г. Гродно — Форты, Центральный, Девятровка, Вишневец. Эти исследования показали, что почвы в разных зонах города имеют различные характеристики: в лесопарковой зоне почва была нейтральной, на выгульных площадках — слабощелочной, а в песчаницах — щелочной. Общее количество микроорганизмов в почве было относительно низким (от 10^2 до 10^6 КОЕ / 1 г почвы) с заметными сезонными колебаниями: в 2011 г. пик приходился на лето, а в 2012 — на весну. В целом, почвы характеризовались как имеющие очень низкую обеспеченность микроорганизмами и слабую биологическую активность. Наблюдалась тенденция к снижению численности микроорганизмов от центра города к северной его части. Практически во всех пробах, за исключением одной (лесопарк «Пышки» летом 2012 г.), постоянно обнаруживались бактерии группы кишечной палочки (БГКП) в высоких титрах (10^5 – 10^6). В 2011 г. доля проб, сильно загрязненных БГКП, увеличивалась к осени, достигая 33%, что указывало на рост биологической нагрузки и накопление энтеробактерий. Анализ на наличие клостридий показал, что наибольшее фекальное загрязнение наблюдалось в почве детских и выгульных площадок селитебных ЭГС. Доля проб, загрязненных клостридиями, колебалась от 50% до 100% в течение всего периода исследования. Практически во всех образцах было обнаружено как свежее, так и давнее фекальное загрязнение, что указывает на неудовлетворительное санитарное состояние исследуемых территорий.

В целом, следует отметить, что городская среда оказывает значительное влияние на почвенную микробиоту, в первую очередь, изменяя структуру микробного сообщества. Это связано с тем, что разные микроорганизмы обладают различной устойчивостью к неблагоприятным факторам. В городских почвах, характеризующихся нейтральной или слабощелочной реакцией, наличием загрязнителей и повышенной температурой, создаются условия, благоприятные для развития патогенных бактерий и грибов. Эти микроорганизмы быстро адаптируются к специфическим условиям и подавляют естественную микрофлору почвы [Соловьева, 2015]. В сильно загрязненных городских почвах структура микробных сообществ претерпевает существенные

изменения: снижается доля физиологически активных бактериальных клеток по сравнению с незагрязненными почвами, меняется соотношение различных таксонов и появляются новые доминирующие виды. Нарушение баланса микробиоты, в свою очередь, влечет за собой целый каскад негативных последствий для почвенной экосистемы: снижается способность почвы к самоочищению от органических и неорганических загрязнителей; замедляется процесс разложения растительных остатков, что приводит к накоплению органического вещества в неразложившемся виде и ухудшению аэрации. Кроме того, подавление полезных микроорганизмов, участвующих в круговороте питательных веществ, таких как азотфиксирующие бактерии и фосфатмобилизирующие микроорганизмы, приводит к снижению плодородия почвы и ухудшению условий для роста растений. В конечном итоге, изменения в почвенной микробиоте оказывают влияние не только на саму почву, но и на здоровье растений, животных и даже человека.

Особенности урбофитоценоза ЭГС селитебных комплексов также обусловлены урбанизацией и представляют собой важный элемент любой городской среды, поскольку определяющим критерием организации городской среды является уровень озелененности территории города. Согласно нормативам, озелененность населенных пунктов Белоруссии должна быть не менее 30%, а на территории жилых районов и микрорайонов не ниже 25% [ТКП 45-3.01-116-2008]. По данным [В Беларуси..., 2024], за последние пять лет (с 2020 г.) средний процент озеленения городов и районных центров Белоруссии достиг 40%. Значительно увеличилось количество населенных пунктов, соответствующих этому нормативу — более чем на 30%. Среди областных центров лидирует Витебск с показателем 49,1%, за ним следуют Брест (45,7%) и Могилев (44,3%).

В Витебске, располагающемся на северо-востоке страны в подзоне дубово-темнохвойных подтаежных лесов, растительность представлена как естественными и смешанными насаждениями, так и культурными посадками, где естественное возобновление заменено уходом и культивацией. Наиболее распространенными древесными породами на улицах и магистралях Витебска являются липа, клен и конский каштан. В отличие от улиц и жилых кварталов, зеленые насаждения в парках и скверах Витебска находятся в лучшем состоянии. За последние десять лет в ЭГС селитебных комплексов Витебска значительно улучшилось ландшафтное оформление скверов и других общественных мест. Это стало возможным благодаря созданию новых и реконструкции существующих зеленых зон.

Заметно отличается от растительности Витебска зеленый покров Бреста — города, расположенного на юго-западе страны в подзоне широколиственно-сосновых лесов. Здесь произрастают более 200 видов деревьев, кустарников, полукустарников, лиан как

местных, так и завезенных сюда из разных регионов мира (Северная Америка, Западная Европа, Восточная Азия, Центральная Азия, Кавказ и др.). Наиболее широко в посадках Бреста представлены местные виды деревьев и кустарников.

Особенности урбозооценоза. В ЭГС селитебных комплексов создается неоднозначная ситуация для формирования урбозооценозов: с одной стороны, преобразование территорий приводит к сокращению разнообразия видов животных, с другой — развитая транспортная инфраструктура способствует проникновению новых видов в городские экосистемы, многие из которых успешно адаптируются к городским условиям, обогащая местную фауну. Состав урбозооценоза изучаемых ЭГС представлен как беспозвоночными, так и позвоночными животными и во многом обусловлен особенностями урболитотопа, урбозафототопа и урбофитоценоза, рассмотренными выше, а также наличием городского населения. Как и у большинства природных, природно-техногенных и техногенных эколого-геологических систем в селитебных ЭГС территории Белоруссии наиболее репрезентативной является группа беспозвоночных, представленная насекомыми (*Insecta*), червями (*Vermes*), брюхоногими моллюсками (*Gastropoda*), пауками (*Araneae*), клещами (*Acari*), многие из которых являются паразитами. Насекомые занимают особенно большое положение в городских экосистемах. Среди них к городским условиям хорошо адаптировались жуки (жужелицы, божьи коровки, листоеды, долгоносики и др.), чешуекрылые, стрекозы, перепончатокрылые (пилыльчики, наездники, муравьи, шмели), двукрылые (мухи, комары) и др. Выполняя основные функции опыления, снабжения питательными веществами и прочее, насекомые поддерживают стабильность экосистем в городах. Но несмотря на полезные функции многих насекомых, среди них выделяют и вредных насекомых-паразитов.

Так, например, тараканы (*Blattodea*) — одно из самых стойких и выносливых насекомых, которое может обходиться без пищи на протяжении месяца и питаться всем, что попадет в их поле зрения. В качестве местообитания в городах, они предпочитают верхние этажи зданий, чердаки, мусоропроводы, вентиляционные шахты. Тараканы, портя продукты питания и перенося различные заболевания (туберкулез, холера, тиф), наносят огромный ущерб человеку [Званцов, 2018]. Из отряда полужестокрылых или клопов (*Hemiptera*) «типичными городскими жителями» являются постельные клопы (*Cimex lectularius*), колонии которых встречаются в жилых домах, гостиницах, постельных принадлежностях, старых вещах, мебели, а также в гнездах птиц, норах животных, птичниках. Среди двукрылых (*Diptera*), обитающих в городах, особенно многочисленны мухи (*Muscidae* — настоящие мухи, особенно комнатная муха (*Musca domestica*), *Calliphoridae* — синие или зеленые мясные мухи,

Sarcophagidae — серые мясные мухи, *Piophilidae* — сырные мухи, *Drosophilidae* — дрозофилы, плодовые мушки, *Hippoboscidae* — кровососки) и комары (*Aedes* — кусаки или лесные, *Culex* — подвальные или комары-пискуны, *Anopheles* — малярийные) — паразитирующее насекомое, которые являются переносчиками опасных инфекций. Комары в городах предпочитают сырые места, очистные сооружения, подвалы, чердаки, загрязненные водоемы и пруды. Теплые и влажные подвалы позволяют комарам размножаться круглый год, не обращая внимания на зиму [Званцов, 2018].

В отряде чешуекрылых (*Lepidoptera*) на урбанизированных территориях отмечается снижение видового биоразнообразия: редкие бабочки встречаются лишь на городских скверах и пустырях, по долинам рек. Среди них преобладают самые обычные виды булавоусых (*Rhopalocera*) — в основном белянки (*Pieridae*), более разнообразны разноусые (*Heterocera*) — в основном моли (*Tineidae* и др.). Настоящей проблемой в городах страны стали клещи (*Acari*). В парках, скверах, на газонах возле домов клещи подстерегают человека, создавая реальную угрозу здоровью, поскольку являются переносчиками опасных заболеваний, таких как клещевой энцефалит, болезнь Лайма и др.

В ЭГС селитебных комплексов существует еще одна, часто недооцененная угроза — гельминты. Эти паразитические черви представляют серьезную опасность для здоровья людей и домашних животных, особенно в условиях плотной городской застройки. Так, проведенное Ю.Ю. Масалковой [2012] санитарно-паразитологическое обследование почв Витебска выявило в них яйца 11 видов гельминтов домашних плотоядных. При этом доминирующее положение занимает *Toxocara canis* с частотой встречаемости около 54 % инвазированных проб. Из 234 опробованных образцов почв, в 36 из них содержались яйца гельминтов собак (15,4 %). Причем была установлена неоднородность загрязнения почв в различных районах города. Распространению гельминтов на урбанизированных территориях способствует и выгул собак на придомовых участках и скверах, а также разведение голубей.

Среди *позвоночных*, экологически связанных с ЭГС селитебных комплексов территории Белоруссии, выделяют многих представителей основных групп животных: земноводных, рептилий, птиц и млекопитающих. Например, из земноводных здесь можно встретить все 13 видов, официально зарегистрированных в стране. Но наиболее разнообразен видовой состав птиц: согласно В.В. Сахвону [2018], на урбанизированных территориях Белоруссии отмечено пребывание 205 видов птиц (62,1 % всей орнитофауны республики), относящихся к 19 отрядам (86,3 % всех отрядов) и 51 семейству (79,6 % всех семейств). За все время проведения орнитологических исследований было установлено или предположено гнездование 140 видов птиц (68,2 %),

относящихся к 16 отрядам и 41 семейству, из них около 20 % всех видов, зарегистрированных в городах, наблюдались лишь однажды или несколько раз вне периода гнездования. По числу особей первое место в городах принадлежит воробьям (полевой — *Passer montanus*, домовый — *Passer domesticus*), часто встречаются сизый голубь (*Columba livia*), грач (*Corvus frugilegus*), галка (*Coloeus monedula*), серая ворона (*Corvus cornix*), ворон (*Corvus corax*), черный стриж (*Apus apus*), обыкновенный скворец (*Sturnus vulgaris*), большая синица (*Parus major*), городская ласточка (*Delichon urbicum*).

Из млекопитающих на урбанизированных территориях наиболее многочисленны грызуны: мыши (домовая *Mus musculus*, полевая *Apodemus agrarius*, лесная *Apodemus uralensis*), крысы (черная *Rattus rattus*, и серая *Rattus norvegicus*), полевки (рыжая *Myodes glareolus*, обыкновенная *Microtus arvalis*). Вблизи жилых кварталов в ночное время можно увидеть летучих мышей (*Microchiroptera*). На усадебных участках и в парковых зонах часто встречаются европейский крот (*Talpa europaea*), бурузубка (*Sorex*), обыкновенная белка (*Sciurus vulgaris*), из хищных млекопитающих здесь обитают черный хорек (*Mustela putorius*), ласка (*Mustela nivalis*) и еж (*Erinaceus europaeus*).

Заключение. Таким образом, в результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бачура Ю.М. Зеленые водоросли антропогенно-преобразованных почв (на примере Гомельского региона) // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 5. Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія. 2016. Том 6, № 1. С. 118–129.

Белковская Н.Г., Борисова Н.Л., Ястребова Н.В. Влияние системы расселения населения на формирование территориальной структуры хозяйства Республики Беларусь // Социально-экономическая география в XXI веке: новые реалии и практические возможности. Материалы Международной научно-практ. конф., г. Минск, 19–20 ноября 2021 г. Минск: БГУ, 2022. С. 35–37.

В Беларуси продолжается озеленение: Витебск лидирует среди областных центров. Новости Беларуси, 2024. URL: <https://novosti-belarusi.com/posts/id7838-minpririody-pazvalo-samye-ozelenennye-goroda-belarusi-v-2024-godu> (дата обращения: 26.04.2025).

Галкин А.Н., Акулевич А.Ф., Павловский А.И., Галезник О.И. Техногенные грунты: Учебное пособие. Минск: Вышэйшая школа, 2020. 192 с.

Галкин А.Н., Королев В.А. Классификация эколого-геологических систем Беларуси на основе учета особенностей литотопов и инженерно-хозяйственных объектов // Литасфера. 2023. № 1 (58). С. 98–109.

Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: Учебное пособие / Под ред. Г.В. Добровольского. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.

Дзекцер Е.С. Закономерности формирования процесса подтопления застраиваемых территорий грунтовыми водами // Процессы подтопления застроенных территорий грунтовыми водами (прогноз и защита). Тезисы докл.

1. Все компоненты ЭГС селитебных комплексов как абиотические, так и биотические, обладают комплексом специфических характеристик, обусловленных влиянием антропогенеза, что необходимо учитывать при их систематике, описании и анализе экологических функций литосферы на территориях жилой застройки.

2. Важнейшим фактором формирования характерных особенностей селитебных ЭГС является своеобразие ее урболитотопа, представленного массивами искусственных и техногенно измененных грунтов, а также влияние урбанизации.

3. Выявленные закономерности и особенности ЭГС селитебных комплексов Белоруссии можно рассматривать как общие для аналогичных ЭГС в России, которые необходимо учитывать при инженерно-экологических исследованиях и изысканиях.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова, а также в рамках научного направления «Изучение закономерностей функционирования природно-технических систем Беларуси, мониторинг и управление их состоянием» Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, утвержденного приказом ректора № 8-н от 05.02.2024. Работа выполнена с использованием оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития Московского университета.

Всесоюз. совещ., г. Новосибирск, 9–11 октября 1984 г. Новосибирск, 1984. Ч. 1. С. 5–9.

Жогло В.Г., Галкин А.Н., Третьякова А.В., Красовская И.А. Пресные подземные воды Гомельской области: динамика и экология. Минск: Беларуская навука, 2018. 176 с.

Званцов Я.И. Животный мир городов // Творчество молодых, 2018: Сб. научных работ студентов, магистрантов и аспирантов: В 4 ч. Ч. 1. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2018. С. 226–229.

Кодекс Республики Беларусь об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности. 17.07.2023 г. № 289-З. URL: https://rcuk.bsc.by/sites/rcuk.bsc.by/files/filles/stroitelnyy_kodeks_respubliki_bielarus.pdf?ysclid=macn78zkyz807627058 (дата обращения: 26.04.2025).

Королев В.А., Галкин А.Н. К разработке систематики эколого-геологических систем Белоруссии // Инженерная геология. 2023. Том XVIII, № 2. С. 12–28.

Красовская И.А., Галкин А.Н. Оценка состояния эколого-геологических условий урбанизированных территорий. Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2007. 165 с.

Кудельский А.В., Пашкевич В.И. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси. Минск: Беларуская навука, 2014. 271 с.

Кучиц Т.Г. Административно-территориальное устройство. Белорусская энциклопедия. Минск, 2025. URL: <https://belarusenc.by/belarus/detail-article.php?ID=405> (дата обращения: 16.04.2025).

Лысак Л.В. Бактериальные сообщества городских почв: Автореф. дисс.... докт. биол. наук. Москва, 2010. 46 с.

Малые города Беларуси. Белорусский ин-т стратегических исследований (БИСИ), 2025. URL: <https://socio.bisr.by/malye-goroda-belarusi/> (дата обращения: 16.04.2025).

Масалкова Ю.Ю. Гельминтологическая оценка внешней среды Витебского региона // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўн-та. 2012. №5. С. 50–54.

Молокович Г.Е. Типология зданий и сооружений. Раздел 1. Типология жилых зданий: Электронный учебно-методический комплекс. Минск: БНТУ, 2021. 111 с. URL: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/88569/Tipologiya_zdanij_i_sooruzhenij.pdf?sequence=1&isAllowed=y&ysclid=m9qrf4rwk1918607002 (дата обращения: 21.04.2025).

Почва, город, экология / Под общ. ред. Г.В. Добровольского. М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. 320 с.

Прогноз изменения окружающей среды Беларуси на 2010–2020 гг. / Под ред. В.Ф. Логинова. Минск: Минсктип-проект, 2004. 180 с.

Прогноз состояния природной среды Беларуси на период до 2035 года / Под общ. ред. В. С. Хомича. Минск: Беларуская навука, 2022. 331 с.

Сахвон В.В. Видовое богатство и экологическая структура орнитофауны урбанизированных территорий в условиях Беларуси // Ж-л Белорус. Гос. ун-та. Биология. 2018. № 1. С. 95–102.

Свекла Э.М., Колесник И.М. Санитарная оценка территорий жилых районов г. Гродно по микробиологиче-

ским показателям урбаноземов // Актуальные проблемы экологии. Материалы IX Международной научно-практ. конф., г. Гродно, 23–25 октября 2013 г. В 2 ч. Ч. 2. Гродно: ГрГУ, 2013. С. 144–146.

Селитебная территория // Большая Российская энциклопедия, 2022. URL: <https://bigenc.ru/c/selitebnaia-territoriia-c892de> (дата обращения: 24.04.2025).

Селитебный // Большой толковый словарь русского языка / Гл. ред. С.А. Кузнецов. СПб.: Норинт, 1998. С. 1172. СН 3.01.03-2020. Планировка и застройка населенных пунктов. Минск: Минстройархитектуры, 2021. 62 с.

Соловьева Е.С. Экологические особенности актиномицетных комплексов городских почв: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Пермь, 2015. 22 с.

Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Под общ. ред. Е.И. Громадской. Минск: РУП «ЦНИИКИВР», 2024. 196 с.

ТКП 45-3.01-116-2008. Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки. Минск: Минстройархитектуры, 2008. 102 с.

Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 2. С. 48–52.

Статья поступила в редакцию 16.05.2025,
одобрена после рецензирования 23.05.2025,
принята к публикации 30.10.2025