

УДК 502/504:624.131 (476)
<https://doi.org/10.65207/1680-2373-2025-2-71-94>

СЕЛИТЕБНЫЕ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ БЕЛАРУСИ: ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СЛАГАЮЩИХ ИХ КОМПОНЕНТОВ

А. Н. Галкин¹, В. А. Королев²

¹Витебский государственный университет имени П. М. Машерова
 Московский проспект, 33, 210038, Витебск, Беларусь
 E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
 Ленинские горы, 1, 119991, Москва, Россия
 E-mail: va-korolev@bk.ru

Впервые выявлены и проанализированы структура и характерные особенности селитебных эколого-геологических систем территории Беларуси. Основным абиотическим компонентом этих систем является урболитотоп, который формирует литогенную основу экосистемы. Он включает в себя урбанизированный рельеф, техногенно измененные и искусственные грунтовые массивы, а также связанные с ними инженерно-геологические процессы и техногенные изменения геохимических и геофизических полей. Важнейшими абиотическими компонентами селитебных ЭГС также являются урбогидротоп, характеризующийся техногенно измененными гидрогеологическими условиями, урбоэдафотоп, состоящий из различных типов урбоземов, урбоатмотоп, отражающий техногенное изменение и загрязнение атмосферного воздуха городов. Кроме того, к абиотическим компонентам рассматриваемых ЭГС относятся все элементы городской инфраструктуры: жилые и общественные здания, различные объекты коммунального хозяйства, городской общественный и личный автотранспорт, дорожные коммуникации и т. п. Установлено, что основными источниками техногенного преобразования природных компонентов являются городские инженерные объекты различного назначения, связанные с жилой застройкой территорий. Показана взаимосвязь всех абиотических и биотических компонентов селитебных ЭГС, которые имеют специфические характеристики, формируемые под влиянием урбанизации и антропогенных факторов. Эти аспекты следует учитывать при систематизации, описании и анализе экологических функций литосферы. Выявленные закономерности и особенности селитебных ЭГС территории Беларуси 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 селитебная ЭГС, урболитотоп, урбоэдафотоп, урбомикробоценоз, урбофитоценоз, урбозооценоз, Беларусь.

ВВЕДЕНИЕ

Ключевым объектом исследований экологической геологии являются эколого-геологические системы (ЭГС) – определенный объем литосферы с находящейся в нем и на нем биотой, включая человека и социум, на которые воздействуют природные и техногенные факторы, в результате чего развиваются современные геологические процессы, влияющие на условия жизни биоты [50]. Эколого-геологическая система, фундаментальную основу которой составляет геологическое пространство, входит в состав экосистемы и представляет собой ее чрезвычайно важную часть, поскольку выделение ЭГС позволяет в полной мере выявить взаимосвязь неживого (массивов грунтов со своими геохимическими, геофизическими и

геодинамическими полями) и живого (микроорганизмов, растений, животных).

В настоящее время на территории Беларуси развиты многообразные типы природных, техногенных (техно-природных, природно-техногенных) и искусственных (или антропогенных) эколого-геологических систем [9; 18]. Если природные и техногенные ЭГС страны на данный момент уже достаточно изучены – рассмотрена их систематика, охарактеризованы особенности слагающих ЭГС абиотических (литотопа, гидротопа, эдафотопа) и биотических (микробоценоза, фитоценоза, зооценоза) компонентов [9; 20–25], то характеристика антропогенных ЭГС в пределах республики остается пока слабо изученной.

На территории Беларуси выделяется 6 классов антропогенных эколого-геологических систем



Рисунок 1 – Структура селитебной эколого-геологической системы: ГДП – геодинамические поля; ИГП – инженерно-геологические процессы; ГХП – геохимические поля; ГХ – гидрохимический; ГГ – гидрогеологический; ГФП – геофизические поля

Несмотря на то, что селитебные ЭГС занимают значительные площади на территории республики, они остаются практически не изученными в эколого-геологическом отношении, об их абиотических и биотических компонентах имеются лишь разрозненные сведения. Поэтому, основываясь на ранее разработанной авторами систематике эколого-геологических систем территории Беларуси [9; 18], в настоящей статье предпринята попытка составить их общую характеристику, а также выявить и охарактеризовать главные особенности их абиотических (литотопа, гидротоп, эдафотопа) и биотических (микробиоценоза, фитоценоза, зооценоза) компонентов, что составляло **цель и задачи** настоящей работы.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПРЕДЕЛАХ СЕЛИТЕБНЫХ ЭГС

Воздействие техногенеза на компоненты природной среды селитебных ЭГС наиболее сконцентрировано и интенсивно проявляется в крупных городах – местах многоотраслевого строительства (гражданского, транспортного, коммунального и т. д.). Типы, размеры, конструкции и удельная нагрузка жилых зданий и сооружений на основания разнообразны, с чем, в свою очередь, связано и разнообразие видов воздействия на окружающую природную среду.

Следствием антропогенного вмешательства в природную обстановку селитебных ЭГС можно считать изменение почти всех компонентов среды, входящих в сферу влияния человека. Активному воздействию подвержены как атмосфера, почвенный покров, подземная и поверхностная гидросфера, рельеф и растительность, так и современные геодинамические процессы и явления. Изменение одного компонента селитебных ЭГС непосредственно или опосредованно сказывается на других, причем раскрытие механизма взаимосвязей, их изменение во времени и пространстве представляет собой сложную задачу и служит научной основой прогнозирования. Одна из важнейших сторон техногенного воздействия связана с вовлечением в городскую сферу огромных масс химических элементов с твердыми коммунальными отходами, пылевывбросами, коммунальными стоками и пр. Город – это сложная система, организованная по функциональному принципу. Он состоит из различных зон, предназначенных для проживания, работы, отдыха и обеспечения жизнедеятельности населения. Эти зоны включают в себя жилые районы с разными типами застройки, территории для социальных и коммунальных служб, а также инфраструктурные объекты и т. п. Все они обуславливают специфику селитебных ЭГС.

Селитебные ЭГС наполнены множеством материальных инженерных элементов: дома, офисы, магазины, дороги, транспорт, спортивные сооружения, инженерные сети и др. Все они взаимосвязаны и распределены по функциональным зонам. Важно понимать, что каждый из этих элементов оказывает определенное воздействие на окружающую природную среду. Например, многоэтажные жилые кварталы своим весом уплотняют грунты основания, сокращают площадь инфильтрации атмосферных осадков, уменьшают площадь испаряющей поверхности, оказывают утепляющее воздействие на подстилающие грунты, создают утечки воды из коммуникаций, вызывая повышение уровня грунтовых вод и, следовательно, возникновение техногенных водоносных горизонтов. Объекты теплоснабжения, такие как котельные, зачастую становятся источником загрязнения атмосферного воздуха и почвенного покрова. Виды строительства, в особенности типы зданий и сооружений, обуславливаются экономическим профилем города и его природными условиями.

В селитебных ЭГС в результате деятельности человека проявляются все классы воздействий на окружающую природную обстановку: физическое, химическое и биологическое, с различным множеством типов (уплотнение, разуплотнение,

аккумуляция и планировка рельефа, повышение и снижение напора, нагревание, загрязнение и др.), видов (статическое, виброуплотнение, трамбование, динамическая разгрузка, экскавация, создание насыпей, строительная планировка, террасирование склонов, рытье котлованов, намыв массивов, подтопление, наводка электрических полей, засоление, загрязнение тяжелыми металлами, углеводородами и т. д.) и разновидностей (выделяются по: 1) времени: постоянные, временные; 2) размеру: точечные, линейные, площадные, объемные; 3) положению: наземные, подземные; 4) обратимости: обратимые, необратимые; 5) цели: стихийные, целенаправленные; 6) интенсивности: низкой, средней, высокой) [19].

Физическое воздействие в селитебных ЭГС, как правило, проявляется в изменении рельефа, уплотнении грунтов, вибрации от транспорта и строительства, тепловом загрязнении, электромагнитном излучении, шумовом фоне и др. Химическое воздействие связано с выбросами коммунальных предприятий, выхлопными газами автомобилей, использованием антигололедных реагентов, утечками из канализационных и водопроводных сетей, а также с накоплением отходов производства и потребления. Биологическое воздействие включают распространение патогенных микроорганизмов, изменение видового состава флоры и фауны, появление инвазивных видов, а также аллергенное воздействие пыльцы растений и продуктов жизнедеятельности человека и т. д. Важно отметить, что эти классы воздействий не существуют изолированно друг от друга. Они тесно взаимосвязаны и оказывают комплексное влияние на селитебную ЭГС.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ СЕЛИТЕБНЫХ ЭГС

Структура селитебных ЭГС показана на рис. 1, из которого следует, что, как и в других техногенных ЭГС, для них характерны все те же основные структурные компоненты (подсистемы), как абиотические (урболитотоп, урбогидротоп, урбоатмотоп, технические сооружения), так и биотические (урбоэдафотоп, урбомикробоценоз, урбофитоценоз, урбозооценоз), но техногенно измененные или искусственные (антропогенные) за счет социума (населения) и создаваемых им технических городских сооружений.

Кроме того, в отличие от других техногенных ЭГС в селитебных ведущую роль играют технические подсистемы ЭГС, такие как жилые массивы или группы жилых домов, общественные, административно-деловые, научно-образовательные, сервисные и торговые центры, бытовые, спортивные

и транспортные комплексы, медицинские центры и клиники, дошкольные учреждения с соответствующей им инженерной инфраструктурой – совокупностью инженерных сетей и иных объектов, их частей, отдельных помещений, обеспечивающих подачу ресурсов (вода, энергия, информация и другие ресурсы) на объекты потребления, а также отведение использованных ресурсов [17]. Именно они являются основным фактором воздействия на биотические компоненты ЭГС и определяют облик таких ЭГС.

В зависимости от особенностей хозяйственной деятельности в рассматриваемом классе выделяются следующие *типы селитебных ЭГС*: эколого-геологические системы жилой, общественной и производственной застройки, включая промышленные¹, коммунальные, складские и иные производственные объекты, а также связанные с их эксплуатацией объекты инженерной и транспортной инфраструктуры, объекты энергетики и др. застроек [42].

Первый тип селитебных ЭГС объединяет: 1) *жилые зоны*, охватывающие территории с многоквартирными домами или территории с усадебной застройкой; 2) *зоны смешанной застройки*, включающие участки с сочетанием различных функций (общественные и жилые либо производственные и жилые) и пространства (при комбинированном использовании многоквартирной и усадебной застройки).

Следует отметить, что на территории Беларуси смешанная (общественно-жилая, производственно-жилая) застройка исторически сформировалась в крупных и больших городах в процессе их развития и состоит из жилой застройки с включением объектов общественного и производственно-делового назначения (учебные заведения, учреждения науки, объекты бизнеса, производственные объекты и т. д.), а также из озелененных территорий.

Жилые зоны селитебных ЭГС состоят из нескольких основных структурно-планировочных единиц:

- квартал – территория, ограниченная улицами, внутри которой располагаются жилые дома и необходимые объекты социального обслуживания, обеспечивающие базовые потребности жителей;
- микрорайон или группа кварталов – крупная, не разделенная магистральными или районными улицами территория, где, помимо жилых домов, находятся учреждения и предприятия, предоставляющие социально-бытовые услуги, образовательные

учреждения и другие объекты, которые соответствуют жилой функции территории;

- жилой район или группа микрорайонов – наиболее крупная территория, не разделенная улицами общегородского значения и магистральными улицами, в пределах которой, помимо жилых домов, располагаются общественные, административные и производственные объекты, коммунальные службы и озелененные территории общего пользования районного значения.

Основным элементом застройки любого микрорайона является жилой дом, то есть отдельное здание, в котором жилыми помещениями занято более половины площади. Жилые здания различают по нескольким квалификационным признакам [32]:

- по назначению: жилые дома общего типа, в том числе дома социального пользования; жилые дома специального назначения; жилые дома смешанного назначения;
- по числу квартир: многоквартирные жилые дома; многоквартирные жилые дома;
- по наличию приквартирных участков: усадебные жилые дома; безусадебные жилые дома;
- по этажности жилых домов (число надземных этажей): малоэтажные жилые дома (1–3 этажей); жилые дома средней этажности (4–5 этажей); многоэтажные жилые дома (6–9 этажей); жилые дома повышенной этажности (10–16 этажей); высотные жилые дома (выше 17 этажей);
- по наличию встроенно-пристроенных нежилых помещений: жилые дома с встроенно-пристроенными нежилыми помещениями; жилые дома без встроенно-пристроенных нежилых помещений;
- по наличию в составе жилищных единиц производственных помещений и построек для индивидуальной трудовой деятельности или надомного труда: жилые дома без производственных помещений или построек в составе жилищных единиц; жилые дома, в состав жилищных единиц которых входят производственные помещения.

Общественная селитебная ЭГС объединяет территории объектов общественного назначения в зонах жилой и смешанной застройки и общественные центры населенных пунктов (рис. 2). 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.

¹В 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.

Общественный центр – важная составляющая общественной селитебной ЭГС любого поселения. Он может быть многофункциональным, районным или специализированным. В жилых районах создаются местные центры с базовыми услугами. Крупные города часто имеют несколько общественных центров, а небольшие – один главный. Все они

обслуживают жителей прилегающих территорий. Специализированные центры (административные, торговые (супер- и гипермаркеты), медицинские и т. д.) обычно создаются в крупных городах, но в некоторых случаях могут быть и в малых. Обычно их размещают отдельно, вдоль главных уличных магистралей.



Рисунок 2 – Часть селитебной ЭГС на площади Независимости в Минске с расположенными в наземной части зданиями Дома правительства, Мингорисполкома, двух университетов (БГУ и БГПУ), гостиницы «Минск», Главпочтамта, Управления метрополитена, Красным костелом и памятником Ленину, а в подземной части – 3-этажным торговым центром «Столица» и 4-этажной автостоянкой на 500 мест [47]

Неотъемлемой частью всех городских поселений является система социально-гарантированного обслуживания населения, включающая в себя работу учреждений дошкольного и общего среднего образования, воспитания, высшего образования, социального и медицинского обслуживания, торговли и общественного питания, бытового и коммунального обслуживания, связи, а также спортивных сооружений и кредитно-финансовых учреждений всех форм собственности (рис. 3). Размещение этих объектов ориентировано на максимальную близость к местам проживания и работы большинства горожан с формированием общественных центров и интеграцией в систему общественного транспорта, обеспечивающей пешеходную и транспортную доступность.

В пределах производственной ЭГС, как правило, располагаются промышленные, коммунальные,

складские и иные производственные объекты, а также связанные с их эксплуатацией объекты инженерной и транспортной инфраструктуры.

Функционально-планировочная организация территорий промышленной застройки населенных пунктов формируется площадками предприятий, инженерно-техническими объектами, учреждениями и предприятиями обслуживания.

Производственно-деловая застройка включает экологически безопасные объекты: научно-исследовательские и опытно-конструкторские учреждения, научно-информационные центры, выставочно-торговые, обслуживающие и складские предприятия, не связанные со значительным объемом транспортных перевозок и движением транспорта с крупногабаритными грузами.



Рисунок 3 – Стадион «Центральный» в Гомеле [46]

Коммунально-складская застройка включает в себя склады общего назначения (продуктовые и непродуктовые), 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. Указанные предприятия и объекты должны занимать не менее 60 % территории коммунально-складской застройки.

ОСОБЕННОСТИ АБИОТИЧЕСКИХ И БИОКОСНЫХ КОМПОНЕНТОВ СЕЛИТЕБНЫХ ЭГС

Урболитотоп селитебных ЭГС представлен массивами грунтов различного состава и генезиса (осадочных глинистых, песчаных, песчано-глинистых, искусственных и др.), служащих либо вмещающей средой, либо техногенными грунтами, под которыми понимают измененные и перемещенные в результате производственной и хозяйственной деятельности человека естественные грунты и антропогенные образования, которые представляют собой твердые отходы жизнедеятельности населения, характеризующиеся коренными изменениями состава, структуры и текстуры природного минерального и органического сырья [48].

Среди глинистых грунтов, используемых в качестве оснований фундаментов различных зданий

и сооружений, наибольшим распространением в городах Беларуси 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 Минске и Витебске 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 Беларуси (в 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. Пойменные, заболоченные территории, овраги, балки и другие бросовые земли являются существенным градостроительным резервом. Их освоение во многих случаях позволяет получить более компактную структуру всей городской среды, улучшить

городской ландшафт и микроклимат. При освоении таких территорий часто возникают неблагоприятные инженерно-геологические условия, в частности, формируются обводненные или слабые грунты в основании зданий и сооружений. Глубина залегания этих грунтов не позволяет использовать свайный фундамент или удалить грунты и заменить на более прочные, так как это слишком дорого и требует больших затрат материалов и времени. 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 использованием уплотненных насыпных грунтов могут служить ледовые дворцы в городах Барановичи, Орша и Молодечно (рис. 4, табл. 1).

Нередко при инженерной подготовке строительных площадок, организованных на бросовых землях, возникает необходимость перемещения большого количества земляных масс, и наиболее рациональным способом, утвердившимся в настоящее время, является гидронамыв грунтов. Так,

использование намывных грунтов на пойменных территориях в городах Белорусского Полесья (в Бресте, Гомеле, Добруше, Жлобине, Рогачеве и др.), отличающихся сложностью инженерно-геологических условий, позволило возводить здания и сооружения (при определенных нагрузках, в зависимости от геологического разреза) как на свайных, так и на ленточных фундаментах.

Говоря о создании искусственно созданных грунтовых оснований, следует отметить и использование искусственно улучшенных естественных оснований. Эти основания в настоящее время создаются многими конструктивными методами, среди которых можно назвать вытрамбовывание котлованов и устройство грунтовых подушек, армирование грунтовых массивов буронабивными сваями, упрочнение массивов высоконапорной струйной цементацией и др. Так, например, технология высоконапорной цементации грунтов нашла применение на ряде объектов в Минске, Гомеле, Жлобине и других городах при устройстве противодиффузионных ванн, подпорных стен, усилении оснований фундаментов зданий при реконструкции, прокладке подземных коммуникаций и т. д. [8].



Рисунок 4 – Селитшебная ЭГС в районе Ледового дворца с залом акробатики в г. Барановичи: а – подготовка площадки строительства дворца; б – этап строительства; в – современный вид [10]

Таблица 1 – Примеры проектирования и строительства фундаментов с использованием уплотненных насыпных грунтов [10]

Объект	Характеристика участка до начала строительства	Осложняющие факторы строительного освоения участка
Ледовый дворец в г. Барановичи (открылся в 2009 г.)	Затопленные отработанные поля фильтрации ТЭЦ и прилегающие к ним земли	Наличие слабых грунтов – отходов производства ТЭЦ (песок, зола, шлаки, торфокрошка, известь); слабозаторфованные глинистые грунты мощностью 3,9–0,5 м; слабозаторфованные мергели мощностью 3,5–0,7 м; заболачивание
Ледовый дворец в г. Орше (открылся в 2013 г.)	Бывший котлован, заполненный неуплотненными насыпными грунтами с остатками фундаментов, строительным мусором и другими отходами	Слабые техногенные грунты; полости и пустоты глубиной до 2,3 м
Ледовый дворец в г. Молодечно (открылся в 2011 г.)	Пересеченная холмисто-грядовая местность с заболоченными понижениями	Присутствие в несущем слое оснований на глубине 3,5–2,5 м от поверхности земли слабых суглинков мощностью до 3 м с модулем деформации $E = 8-4$ МПа

Рассматривая искусственные грунты, следует упомянуть и об отложениях культурного слоя. Образование этих грунтов является результатом стихийного накопления в разнообразных пропорциях различных отложений, в том числе и уже существенно измененных, технологических, строительных и бытовых отходов, а также их последующего преобразования во времени. Подобные накопления наиболее распространены в старых городах, где их мощность достигает значительных величин (в Витебске на отдельных участках она превышает 10 м (до 15 м), в Минске – 4–7 м, в Полоцке – 4–5 м). Культурный слой имеет своеобразный, весьма неоднородный состав. Минералого-петрографический состав основной минеральной массы чаще всего обусловлен геологическими условиями местности, а состав включений определяется характером хозяйственно-культурной деятельности населения. Кроме того, в культурном слое часто отмечается много органического вещества как в рассеянном состоянии, так и в виде концентрированных включений, количество которых убывает с увеличением возраста культурного слоя [8]. Следует заметить, что по уровню техногенного преобразования литотопа селитерные эколого-геологические системы часто сопоставимы с промышленными и горнопромышленными ЭГС. Это выражается как в изменении строения, состава и

свойств грунтов, рельефа и гидрогеологических условий, так и в проявлении и активизации различных инженерно-геологических процессов. Например, распространенным видом воздействия в городах республики являются статические нагрузки на толщу грунтов основания от веса зданий и сооружений. С развитием массового строительства многоэтажных зданий, что особенно наблюдается в последние десятилетия в областных и районных центрах Беларуси, они значительно возрастают. Статические давления от многоэтажных зданий могут достигать 0,5 МПа. Это нередко приводит к уплотнению грунтов и уменьшению их влажности в зоне активного сжатия глубиной в десятки метров. В свою очередь, такие изменения способны вызывать неоднородные по величине деформации осадки сооружений [11].

Во многих городах страны в различной степени фиксируется нарушение естественного температурного режима грунтовых толщ. 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 значений [26].

Не менее важной проблемой в городах Беларуси является радоновая опасность грунтовых массивов, содержание газа в которых в значительной степени

влияет на его поступление в жилые и нежилые помещения. Исследования по оценке радоноопасности территории населенных пунктов Гомельской, Могилевской и Витебской областей свидетельствуют о том, что наиболее неблагоприятная радоновая обстановка наблюдается в Витебской области – в Шарковщинском и Глубокском районах; в Могилевской области – в Шкловском и Горецком районах [38; 51]. Для этих районов фиксируются значения комплексного радонового показателя более 0,01 отн. ед., среднерайонные значения объемной активности радона находятся в пределах 100–150 Бк/м³ и средние годовые эффективные дозы облучения населения от радона и его дочерних продуктов распада более 3,5 мЗв [51].

В пределах селитебных ЭГС формируются **урбогидротопы** – подсистемы, характеризующиеся вследствие урбанизации измененными гидрогеологическими условиями: в эксплуатируемых горизонтах напоры снижаются, а уровень грунтовых вод, наоборот, повышается. Последнее часто приводит к подтоплению жилых и административных зданий и сооружений. В большинстве случаев подтопление в условиях города носит локальный характер и довольно быстро ликвидируется. Однако известно немало случаев, когда подтопление приводило к созданию постоянных или временных, с достаточно длительным сроком существования водоносных горизонтов. Такие инженерно-гидрогеологические горизонты наряду со спорадическим обводнением получили развитие во многих городах и поселках городского типа страны. Например, в Гомеле подтоплением охвачено около 3000 га территории города, в том числе значительная часть жилой застройки (до 50 %), а в Витебске подтопленной может считаться практически вся территория города, за исключением сильно расчлененных и хорошо дренированных участков [16]. Анализ различных ситуаций в городах Беларуси, связанных с процессами переувлажнения и подъема уровня грунтовых вод, позволил выделить категории состояния населенных пунктов республики, подверженных подтоплению. Так, к первой категории – населенные пункты, находящиеся в зоне локального воздействия и требующие проведения мероприятий профилактического характера – относятся Минск, Столбцы, Светлогорск, Бобруйск и др.; ко второй – населенные пункты, находящиеся в зоне вероятного площадного воздействия и требующие принятия конструктивных мер безопасности – Гомель, Брест, Давид-Городок, Туров, Могилев, Быхов, Жлобин и др., к третьей – населенные пункты, находящиеся в зоне активного площадного воздействия

и требующие инженерной защиты – Витебск, Полоцк, Верхнедвинск, Солигорск, Пинск и др. Довольно часто такие горизонты встречаются в аллювиальных толщах, покровных лессовидных образованиях, флювиогляциальных песках и выветрелых слоях морен [16].

Инженерно-геологические процессы, к которым относится подтопление, отличает разнообразие форм и масштабов проявления, характеристик режима и состава вод, их гидравлических связей, что объясняется и неоднородностью инженерно-геологических условий, и множественностью причин возникновения и развития этих процессов.

Техногенное обводнение массивов грунтов часто сопровождается изменением их состава и свойств. Согласно Е. С. Дзекцеру [14], сцепление 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 может привести к различного рода деформациям зданий и сооружений. В качестве аварий, случившихся в последние десятилетия по этой причине, уместно привести несколько примеров [16]. Так, в Могилеве в здании ЗАО «Технопарк Могилев» из-за неравномерных деформаций основания вследствие подтопления по несущим стенам образовались наклонные и вертикальные трещины, подвальная часть здания заполнилась грунтовыми водами. Выполнено усиление наружных стен напряженными стальными тяжами, налажен систематический контроль поведения подземных и надземных конструкций здания.

В г. Быхове Могилевской области в здании отделения «Белагропромбанк» из-за замачивания грунтов основания и, как следствие, неравномерности осадок на внутренней несущей стене появились вертикальные трещины, превышающие 20 мм. Несмотря на частичный ремонт здания, трещинообразование не прекращается.

В Минске по завершении строительства здания жилищно-эксплуатационной службы в микрорайоне Сухарево-4 в начальный период его эксплуатации в грунтах песчаной подушки (пески от среднезернистых до гравелистых) сформировался техногенный горизонт грунтовых вод, что послужило причиной подтопления подвальных помещений. Устройство вертикального дренажа позволило в короткие сроки ликвидировать подтопление и вернуть объект в нормальный режим эксплуатации.

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. Подтопление развивается быстро и может привести к затоплению значительных площадей с городской застройкой всего за несколько дней [13]. Важной особенностью подтопления в городах является сопутствующее химическое и бактериальное загрязнение, повышение температуры и агрессивности подземных вод и грунтов в зоне аэрации.

Загрязнение подземных вод в населенных пунктах страны является одной из острых экологических проблем. Исследованиями [36] установлено, что наиболее высокие уровни загрязнения подземных вод 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 [27], 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, наблюдаемое и в крупных городах, где в водах групповых водозаборов нередко в повышенных концентрациях содержатся хлориды, сульфаты, соединения азота и ряд других компонентов. Например, в застроенной части Гомеля на глубине 40–60 м в напорных водах эксплуатационного палеогенового водоносного горизонта зафиксировано возрастание содержания хлоридов (до 656 мг/дм³), нитратов (до 90 мг/дм³) и сульфатов (до 577 мг/дм³) [35].

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 Беларуси действует 160 объектов захоронения ТКО (155 полигонов и 5 мини-полигонов), занимающих площадь более 900 га [45]. 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 [35]. 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) [37].

Часто воды неблагоприятны и по содержанию органических соединений. Так, в окрестностях городских свалок ТКО в подземных водах фиксируются производные масляной кислоты (до 0,15 мг/дм³) и ди-*n*-бутилфталат (до 0,13 мг/дм³), при этом общее количество полувolatile веществ может достигать 0,18–0,30 мг/дм³. Как следствие дальнейшей миграции органических соединений, некоторые из них зафиксированы в отдельных скважинах городских водозаборов Минска: «Новинки» (трихлорэтилен и 1,2-дихлорэтилен), «Петровщина» (ксилолы) и «Зеленовка» (трихлорэтилен и 1,2-дихлорэтилен; 1,1-дихлорэтилен, 1,1-дихлорэтан, 1,1,1-трихлорэтан) [7].

Особенности урбозафитона. Городская почва – это сложная система, включающая твердые частицы, воду, воздух и живые организмы, подвергнутые урбанизации. Она выполняет важные экологические функции городской среды. Как и обычные почвы, городские формируются под влиянием природных факторов, однако решающую роль здесь играет деятельность человека. В широком смысле, городская почва – это любая почва в городской среде. В более узком смысле это особые почвы, созданные и постоянно изменяемые человеком.

Впервые термин «городские почвы» был введен Дж. Бокгеймом [52], который определил его как «почвенный материал, содержащий антропогенный слой несельскохозяйственного происхождения толщиной более 50 см, образованный путем перемешивания, заполнения или загрязнения поверхности земли в городских и пригородных территориях». Согласно М. И. Герасимовой и др. [1], 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 [34]. Все эти особенности или свойства в отдельности можно обнаружить и во внегородских почвах, например, в аллювиальных, однако специфика городских почв состоит в том, что в них эти свойства сочетаются.

Городские почвы обладают характерным диагностическим горизонтом, называемым урбик. Это поверхностный органоминеральный насыпной, перемешанный горизонт с урбоантропогенными включениями (более 5 % строительного мусора, промышленных отходов) мощностью более 5 см.

Основными его характеристиками являются [1]:

- формирование и возраст: этот горизонт образуется в городах и других населенных пунктах на протяжении многих лет, но также может возникнуть при создании газонов, парков и аналогичных объектов;
- почвообразующие материалы: он состоит из культурного слоя, насыпных или смешанных грунтов и обломков естественных почв;
- цвет: может варьироваться от темно-бурого до различных его оттенков;
- структура: рыхлая, слоистая; верхний слой может быть уплотнен из-за высокой рекреационной нагрузки;
- гранулометрический состав: в основном легкий, облегченный благодаря включениям;
- структурные особенности: структура выражена слабо;
- каменистость: увеличивается за счет строительных и бытовых компонентов;
- повышение слоя: происходит за счет осадков пыли из атмосферы и антропогенного ввода новых материалов;
- вариабельность свойств: наблюдается значительное разнообразие свойств в этом горизонте, касающееся текстуры, плотности, количества включений и химических характеристик;
- рН: обычно выше 7;

- содержание гумуса: бывает разнообразным, однако чаще всего достаточно высоким (5–10 %); совокупность гумуса в основном гуматная, с преобладанием второй фракции гуминовых кислот.

Наличие горизонта урбик является ключевым признаком, который отличает городские почвы от естественно-исторических.

Как и при характеристике техноэдафотопов промышленных ЭГС, в зависимости от характера дневной поверхности территории городов и других крупных поселений подразделяются на 2 основных типа: 1) открытые (с частичным озеленением) и 2) закрытые (застроенные и заасфальтированные). На открытых территориях выделяют 4 группы поверхностных почвенно-грунтовых образований: естественные ненарушенные, естественно-антропогенные поверхностно-преобразованные, антропогенные глубоко преобразованные почвы, искусственно созданные почвоподобные образования – урботехноземы, а также 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 [1].

Естественные ненарушенные почвы сохраняют естественное расположение природных почвенных горизонтов и приурочены к лесопарковым зонам, расположенным в городской черте. В основном такие почвы характерны для рекреационных ЭГС.

Естественно-антропогенные поверхностно-преобразованные почвы (урбопочвы) сочетают горизонт урбик мощностью менее 50 см и ненарушенную среднюю и нижнюю части профиля. 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 (рис. 5). Их профиль состоит из одного или нескольких подгоризонтов, образованных из своеобразного пылевато-гумусного субстрата разной мощности и качества с примесью строительного мусора. Формируются на грунтах разного происхождения и на культурном слое. Иногда верхний подгоризонт подстилается непроницаемым материалом (асфальтом, фундаментом, бетонными плитами, коммуникациями). Профиль урбанозема характеризуется отсутствием природных генетических горизонтов до глубины 50 см и более.

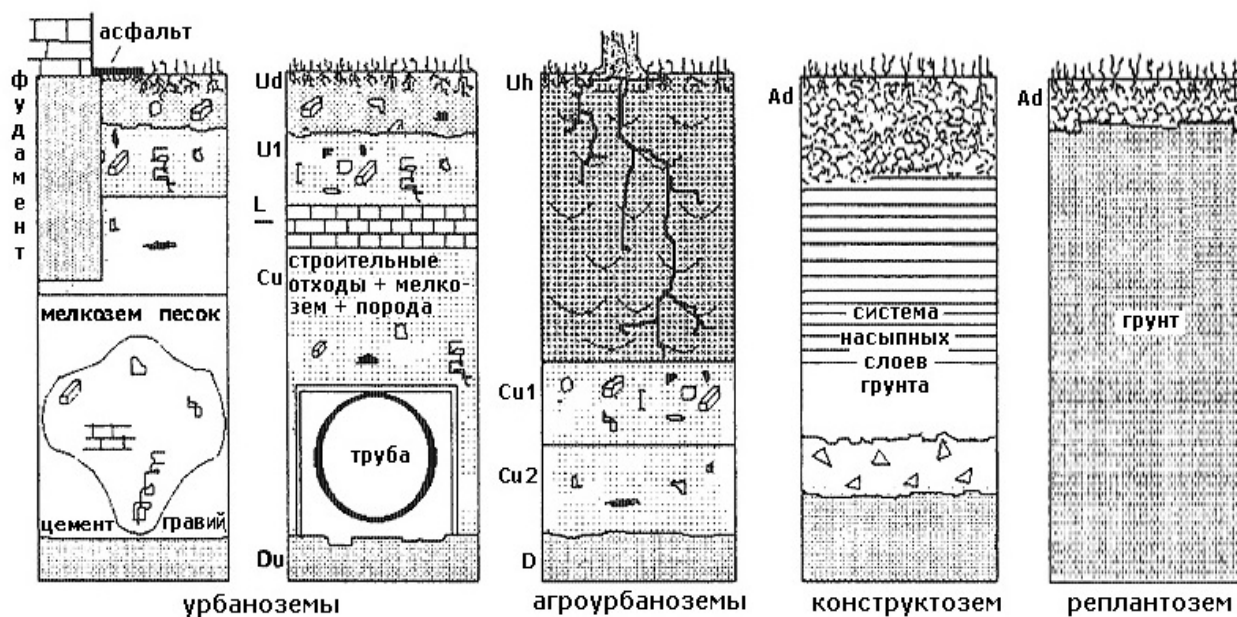


Рисунок 5 – Типы морфологических профилей городских почв [1]

Искусственно созданные почвенные горизонты: Ud – дерновый слой городской почвы, представленный уплотненной дерниной; Uh – гумусированный горизонт; U1 – перемешанный горизонт, который складывается из обломков и пятен природных горизонтов, которые входят в виде отдельностей в общую массу мелкозема; U2 – горизонт, который является искусственной преградой для развития почвы (например, асфальтовое покрытие, бетонная плита);

L – слой, являющийся искусственным барьером, например, асфальтовое покрытие или бетонная плита, заключенные в почву; Cu – почвообразующая порода, являющаяся одновременно верхней частью культурного слоя; Du – подстилающая порода (D), часто является культурным слоем; Ad – дернина

К этой же группе относятся *культуроземы* (агроурбаноземы) – городские почвы фруктовых и ботанических садов, старых огородов (рис. 5). Для них характерны большая мощность гумусового горизонта, наличие перегнойно-торфо-компостных слоев толщиной более 50 см, развивающихся на нижней иллювиальной части почвенного профиля, на культурном слое или на грунтах разного происхождения.

Урботехноземы – это искусственно созданные поверхностные образования, которые по своим свойствам близки к техноземам, но отличаются от них некоторыми признаками, сближающими их с почвами [34]. Различаются по мощности и свойствам гумусированного слоя, составу и свойствам грунтов. Они подразделяются на [1]:

реплантоземы – почвы, состоящие из маломощного гумусового слоя, слоя торфокомпостной смеси или слоя органоминерального вещества, нанесенных на поверхность рекультивируемой породы из смеси насыпных или других природных или техногенных грунтов (рис. 5). В основном формируются в районах городских новостроек, на новых газонах;

конструктоземы – искусственно целенаправленно создаваемые почвенно-грунтовые образования путем конструирования (создания) профиля по

образу природной почвы (рис. 5). Состоят из серии слоев грунта разного гранулометрического состава и происхождения и плодородного насыпного гумусированного слоя.

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.

Неотъемлемой частью городских территорий являются запечатанные почвы и грунты [1; 34]. Выделяется особая категория почв, запечатанных под дорожными асфальтобетонным покрытием, – *экрanoземы*, 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*».

В городах, где повсюду царствует асфальт, бетон и другие искусственные материалы, а улицы заполнены автомобилями, состояние почвы испытывает особенно серьезные последствия. Интенсивное движение транспорта и высокая плотность застройки нарушают естественные процессы, которые обычно поддерживают баланс химических элементов в почве. В результате почвенный покров городов кардинально меняется и загрязняется. Последнее проявляется в накоплении тяжелых металлов, нефтепродуктов, солей и других токсичных веществ. Источниками данных загрязнителей служат автотранспорт, коммунальное хозяйство и даже строительные площадки. Тяжелые металлы, такие как свинец, кадмий, цинк и медь, попадают в почву с выхлопными газами автомобилей, износом дорожного покрытия и коммунальными отходами. Нефтепродукты проникают в почву в результате утечек из автомобилей, аварий на нефтехранилищах и небрежного обращения с отходами. Соли, используемые для борьбы с гололедом, также оказывают негативное воздействие, повышая засоленность почвы и угнетая растительность.

Измененный химический состав почв в городах влияет на их физические свойства. Уплотнение, снижение пористости и водопроницаемости приводят к ухудшению аэрации и затрудняют развитие корневых систем растений. Это, в свою очередь, сказывается на способности почв к самоочищению и поддержанию биологического разнообразия. Городские почвы, лишённые естественной растительности и микроорганизмов, становятся менее устойчивыми к эрозии и более подверженными загрязнению.

По оценкам специалистов [36], площадь территорий с опасным уровнем загрязнения почв в городах и зонах влияния полигонов ТКО составляет в Беларуси 78,6 и 1,44 тысячи га соответственно.

Вследствие урбанизации в селитебных ЭГС формируются 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 территориях, 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 СЕЛИТЕБНЫХ ЭГС

Особенности урбомикробиоценоза. В состав микробиоценоза селитебных ЭГС, как и в других эколого-геологических системах, входят различные группы микроорганизмов, включая простейших, низшие водоросли, низшие грибы, актиномицеты и бактерии. 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 Беларуси. Это создает определенные пробелы в понимании влияния антропогенных факторов, связанных с городской жизнью, на микробное разнообразие и функциональные возможности почвенных экосистем. Тем не менее исследования, проведенные Ю. М. Бачурой, И. М. Колесник, Л. В. Лысак, Э. М. Свеклой, Е. С. Соловьевой и другими [3; 29; 39; 44 и др.], предоставляют ценную информацию для характеристики микробных сообществ в контексте функционирования селитебных ЭГС на территории Беларуси.

Так, например, Ю. М. Бачурой в 2003–2012 гг. был изучен видовой и/или родовой состав почвенных водорослей на территории г. Гомеля [3]. Для отбора почвенных проб автором были выбраны придорожные газоны некоторых улиц города: Кирова, Советская и Старочерниговская, отличающихся между собой шириной, интенсивностью движения и присутствием разного вида транспорта, и городской полигон твердых коммунальных отходов.

Исследования 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 *Myrmecea*), *Choricystidiales* (виды рода *Pseudococcomyxa*), *Codiolales* (виды рода *Ulothrix*), *Klebsormidiales* (виды рода *Klebsormidium*). Все семейства зеленых водорослей имели невысокое количество видов.

Так, 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, требуксиофициевых – 35,0 %, харофициевых – 10,0 %, ульвофициевых – 5,0 %. Среди них обнаружены одноклеточные представители родов *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Neosporangiococcum*, *Scotiellopsis*, *Bracteacoccus*, *Neochloris*, *Keratococcus*, *Myrmecia*, *Chlorella*, *Pseudococcomyxa*; пакетообразующие *Tetracystis*, *Chlorosarcinopsis*; способные к формированию нитей *Leptosira*, *Microthamnion*, *Ulothrix*, *Klebsormidium*.

Почва придорожных газонов на улице Советской (широкая шестиполосная дорога с интенсивным движением легкового и общественного транспорта, проезд грузовиков запрещен) 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 %). Водоросли, устойчивые к неблагоприятным условиям и относящиеся к родам *Neosporangiococcum*, *Bracteacoccus*, *Neochloris*, *Keratococcus* и *Myrmecia*, в этих образцах не были обнаружены [3].

В почве придорожных газонов на улице Старочерниговской (узкая двухполосная дорога с немногочисленным движением легковых автомобилей и отсутствием общественного и грузового транспорта) было выявлено 17 видов зеленых водорослей. Доминировали *Chlorophyceae* (58,8 %), за ними следовали *Trebouxiophyceae* (29,4 %) и *Charophyceae* (11,8 %). Состав водорослей отличался от найденного на улице Советской: отсутствовали роды *Leptosira*, *Microthamnion* и *Ulothrix*, но были обнаружены *Desmotetra*, *Geminella* и *Chlorolobion*. Также наблюдались изменения в видовом составе других родов зеленых водорослей.

По градиенту транспортной нагрузки улиц Гомеля в структуре сообществ зеленых водорослей 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 %). Также был найден один род (*Characium*) с неопределенным систематическим положением.

Среди хлорофициевых зеленых водорослей были зафиксированы виды из порядков *Volvocales* (среди родов *Chlamydomonas*), *Chlorococcales* (в родах *Chlorococcum*, *Tetracystis*, *Macrochloris*), *Protosiphonales* (в родах *Chlorosarcinopsis*, *Neochlorosarcina*, *Desmotetra*, *Neosporangiococcum*, *Geminella*) и *Scenedesmales* (в родах *Bracteacoccus*, *Dictiochloris*, *Scotiellopsis*, *Scenedesmus*). Представители класса *Trebouxiophyceae* включали виды порядков *Microthamniales* (*Leptosira* sp.) и *Chlorellales* (в родах *Chlorella*, *Stichococcus*, *Gloeotila*). Ульвофициевые водоросли относились к порядкам *Chaetopeltidales* (*Fernandinella alpine*) и *Codiolales* (*Ulothrix* sp.), тогда как харофициевые – к порядкам *Klebsormidiales* (в родах *Klebsormidium*), *Zygnematales* (в родах *Mesotaenium*) и *Desmidiiales* (в родах *Cosmarium*). Наиболее разнообразными оказались порядки *Chlorellales* и *Scenedesmales*, представленные 7 и 6 видами соответственно. Все семейства, кроме *Chlamydomonadaceae*, имели немного видов, а среди родов наибольшее количество составляли *Chlamydomonas* (5 видов) и *Chlorella* (4 вида) [3].

Заслуживают внимания результаты санитарно-микробиологических исследований урбаноземов в четырех жилых районах г. Гродно, проводимых Э. М. Свеклой и И. М. Колесник в 2011–2012 гг. [39]. Пробы авторами отбирались в четырех жилых районах г. Гродно – Форты, Центральный, Девятровка, Вишневец.

Исследования показали, что почвы в разных зонах города имеют различные характеристики. В лесопарковой зоне почва была нейтральной, на выгульных площадках – слабощелочной, а в песочницах – 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 г. – 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. Было отмечено нарушение способности почвы к фильтрации в лесном массиве и на выгульной площадке в районе Вишневец. В 2012 г. ситуация

улучшилась, и доля сильно загрязненных проб снизилась до 17 %.

Анализ на наличие клостридий показал, что наибольшее фекальное загрязнение наблюдалось в почве детских и выгульных площадок. 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.

Как в 2011 г., так и в 2012 г. в течение года в почвах лесопарковой зоны можно было наблюдать рост численности мицелиальных грибов. В образцах, взятых на выгульных площадках и в песочницах, численность КОЕ грибов сильно варьировалась, без четких сезонных закономерностей в 2011 г. и со снижением летом в 2012 г. Особое внимание привлекло содержание мицелиальных грибов в грунтах детских площадок, в некоторых случаях более высокое, чем в лесных почвах [39].

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 [44].

Согласно исследованиям В. С. Артамоновой [2], в почвах жилых зон наблюдается активизация популяций *Azotobacter chroococcum* и агрессивных видов рода *Penicillium*, что является характерной реакцией микробиоты на урбанизацию. 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. Например, при загрязнении нефтью и полихлорбифенилами доминируют виды рода *Rhodococcus*, а при комплексном бытовом загрязнении – энтеробактерии (роды *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*) [29].

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 к ухудшению аэрации. Кроме того, подавление полезных микроорганизмов, участвующих в круговороте питательных веществ, таких как азотфиксирующие бактерии и фосфатмобилизующие 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. Увеличение концентрации патогенных микроорганизмов в почве повышает риск заражения различными заболеваниями, а ухудшение качества почвы негативно сказывается на росте и развитии растений.

Особенности урбофитоценоза селитебных территорий также обусловлены урбанизацией и представляют собой важный элемент любой городской среды, поскольку определяющим критерием организации городской среды является уровень озелененности территории города. Согласно нормативам озелененности населенных пунктов Беларуси должна быть не менее 30 %, а на территории жилых районов и микрорайонов не ниже 25 % [48]. По официальным данным [6], за последние 5 лет (с 2020 г.) средний процент озеленения городов и районных центров Беларуси 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. В видовом составе преобладают липа мелколистная (*Tilia cordata*), клен остролистный (платановидный) (*Acer platanoides*), каштан конский обыкновенный (*Aesculus hippocastanum*), вяз обыкновенный (*Ulmus laevis*), дуб скальный (*Quercus petraea*), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*), береза повислая (*Betula pendula*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica*), бархат амурский (*Phellodendron amurense*), ель европейская (*Picea abies*) и ель канадская (*Picea glauca*), а также различные интродуцированные кустарники. Наиболее распространенными древесными породами на улицах и магистралях Витебска являются липа, клен и конский каштан. В основном это деревья среднего и старшего

возраста (20–50 лет). Эти виды были выбраны для озеленения из-за их декоративности и устойчивости к городским условиям. Однако в последние два десятилетия состояние уличных посадок ухудшилось, все чаще наблюдаются признаки ухудшения санитарного состояния деревьев, такие как преждевременное опадение листьев и изменение их окраски, что снижает их функциональность [33].

В отличие от улиц и жилых кварталов, зеленые насаждения в парках и скверах Витебска находятся в лучшем состоянии. Например, исследования в сквере по улице Кирова показали, что из 17 видов деревьев (преимущественно липы и конского каштана) и 3 видов кустарников 73 % деревьев здоровы, 18 % – ослаблены, 7 % – сильно ослаблены, 2 % – усыхают и 1 % – сухостой. Аналогичная ситуация наблюдается в сквере Привокзальной площади, где из 17 видов деревьев и 3 видов кустарников (с преобладанием туи западной и барбариса Тунберга) 69 % деревьев здоровы, 25 % – ослаблены, 5 % – сильно ослаблены и 1 % – усыхают [33].

За последние 10 лет в Витебске значительно улучшилось ландшафтное оформление скверов и других общественных мест. Это стало возможным благодаря созданию новых и реконструкции существующих зеленых зон. Обследование И. В. Гарановичем [12] 13 объектов общего пользования на территории города позволило выявить 108 таксонов древесно-кустарниковой растительности, из которых 53 являются редкими (аралия (*Aralia*), барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris*) и краснолистный (*Berberis thunbergii*), боярышник алма-атинский (*Crataegus almaatensis*), бук европейский краснолистный (*Fagus sylvatica atropurpurea*), вейгела гибридная (*Weigela hybrida*), дуб скальный *Mespilifolia*, ель обыкновенная *Nidiformis* и др.).

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 (сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), ель европейская (*P. abies*), пихта белая (*Abies alba*), дуб черешчатый (*Quercus robur*), вяз гладкий (*Ulmus laevis*), граб обыкновенный (*Carpinus betulus*), ива белая (*Salix alba*), ива ломкая (*S. fragilis*), береза бородавчатая (*B. pendula*), береза пушистая (*B. pubescens*), ольха черная (*Alnus glutinosa*), осина (*Populus tremula*), тополь черный (*Populus nigra*), тополь белый (*P. alba*),

липа мелколистная (*T. cordata*), клен остролистный (*A. platanoides*), черемуха обыкновенная (*Padus avium*), бересклет европейский (*Euonymus europaeus*), бересклет бородавчатый (*E. verrucosus*), бузина черная (*Sambucus nigra*), бузина красная (*S. racemosa*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*), лещина обыкновенная (*Corylus avellana*) и др.). Украшением площадей, скверов и бульваров являются редкие экзотические породы (ель колючая (*P. pungens*), катальпа бигнониевидная (*Catalpa bignonioides*), птелея трехлистная (*Ptelea trifoliata*), можжевельник казацкий (*Juniperus sabina*), сосна черная (*P. nigra*), гребенщик ветвистый (*Tamarix ramosissima*), бархат амурский (*Phellodendron amurense*), лох серебристый (*Elaeagnus commutata*), павлония (*Paulownia*), магнолия (*Magnolia*), илекс (*Ilex*), шелковница (*Morus*), лавровишня (*Laurocerasus*), гледичия (*Gleditsia triacanthos*), кампсис (*Campsis*), бук краснолистный (*Fagus sylvatica atropurpurea*), юкка (*Yucca*), орех черный (*Juglans nigra*), айлант высочайший (*Ailanthus altissima*), рябина ария (*Sorbus aria*), робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia*) *Tortuosa*, дереза (*Lycium*), софора (*Sophora*), сосна Муррея (*P. contorta murrayana*), можжевельник виргинский (*Juniperus virginiana*), биота восточная (*Platyclusus orientalis*). Произрастают также змеевидные ели (*P. abies Virgata*) и старинный дуб черешчатый пирамидальной формы (*Quercus Robur f. fastigiata*) – объявлены памятниками природы [12]. Распределены таксоны по объектам неравномерно, наиболее богат ассортимент в центре города.

В целом состояние зеленых насаждений в Бресте, как и в большинстве крупных и средних городов Беларуси, нестабильно и сильно различается в зависимости от принадлежности к определенным архитектурно-планировочным зонам города. На их здоровье могут негативно влиять как природные катаклизмы (засухи, наводнения, сильные ветры, резкие перепады температур), так и антропогенные факторы (загрязнение воздуха, подтопление и др.). Любое из этих воздействий ослабляет растения, приводя к повреждениям, а длительное воздействие может даже вызвать гибель части зеленых зон.

Особенности урбозооценоза. Селитебная ЭГС – это сложный конгломерат созданных и измененных человеком пространств, перемежающихся с небольшими участками естественных ландшафтов. Это создает неоднозначную ситуацию для формирования животного мира – 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 этих «пришельцев»

успешно адаптуюцца к гарадскім умовам, абогашчаюча мясцовую фауну.

Состав урбозооценоза изучаемых ЭГС представлен как беспозвоночными, так и позвоночными животными и во многом обусловлен особенностями литотопа, эдафотопа и фитоценоза, рассмотренными выше.

Как и у большинства природных, природно-техногенных и техногенных эколого-геологических систем, в селитебных ЭГС территории Беларуси 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 большим распространением пользуются жуки (жужелицы, божьи коровки, листоеды, долгоносики и др.), чешуекрылые, стрекозы, перепончатокрылые (пилыльщики, наездники, муравьи, шмели), двукрылые (мухи, комары) и др. Выполняя основные функции опыления, снабжение питательными веществами и прочее, насекомые поддерживают стабильность в городах. Но несмотря на полезные функции многих насекомых, среди них выделяют и насекомых-паразитов.

Тараканы (*Blattodea*) – это 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 [15].

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*), встречающихся 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 насекомые, 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 [15].

В отряде чешуекрылых (*Lepidoptera*) на урбанизированных территориях отмечается снижение видового биоразнообразия: редкие бабочки встречаются лишь в 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*). Если раньше о них вспоминали, собираясь в лес, то теперь встреча с этими неприятными насекомыми вполне вероятна и в городской черте. В парках, скверах, на газонах возле домов – клещи подстерегают человека повсюду. И это не просто неприятное соседство, а реальная угроза здоровью, поскольку клещи являются переносчиками опасных заболеваний, таких как клещевой энцефалит и болезнь Лайма.

В городах, помимо прочих проблем, связанных с насекомыми и другими беспозвоночными, 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 санитарно-паразитологическое обследование почв Витебска позволило выявить в них яйца 11 четко определяемых видов гельминтов домашних плотоядных [31]: *Toxocara canis*, *Toxascaris leonina*, *Dipylidium caninum*, *Ancylostoma caninum*, *Uncinaria*, *Strongyloides vulpis*, *Trichocephalus vulpis*, *Mesocostoides lineatus*, *Echinococcus granulosus*, *Alaria alata*, *Capillaria plica*, относящихся к трем классам: *Trematoda*, *Cestoda*, *Nematoda*. Кроме того, в анализируемых почвенных пробах были обнаружены виды семейства *Taeniidae* – *Taenia* sp., видовое определение которых невозможно на стадии яйца. При этом доминирующее положение, согласно исследованиям, занимает *Toxocara canis* с частотой встречаемости около 54 % инвазированных проб [31]. Из 234 опробованных образцов почв в 36 из них содержались яйца гельминтов собак (15,4 %). Причем была установлена очевидная неоднородность загрязнения почв в различных районах города (табл. 2). Распространению гельминтов на урбанизированных территориях способствует и выгул собак на придомовых участках и скверах, а также разведение голубей.

Таблица 2 – Загрязнение почв яйцами гельминтов в различных районах Витебска [31]

Район	Количество проб		Экстенсивность загрязнения, %
	исследовано	положительных	
Центр города с многоквартирной жилой и общественной застройкой	32	0	–
Многokвартирная жилая застройка	75	13	17,3
Одноэтажная (индивидуальная) жилая застройка	62	6	9,7
Парковая зона	65	17	26,2
Всего	234	36	15,4

Среди позвоночных, экологически связанных с селитебными ЭГС, на территории Беларуси выделяют многих представителей основных групп животных. Здесь находят себе место земноводные, рептилии, птицы и млекопитающие. Например, из земноводных здесь можно встретить все 13 видов, официально зарегистрированных в стране. В ночное время под уличными фонарями и балконами можно встретить обычную зеленую жабу (*Bufo viridis*), на огородах и садах – чесночницу обыкновенную (*Pelobates fuscus*). Отдельного внимания заслуживают древесные лягушки – квакши (*Hylidae*) – постоянные гости на кустах малины и смородины. В небольших канавах и мелких водоемах встречаются жерлянки краснобрюхие (*Bombina bombina*). В водоемах городов встречаются обыкновенный (*Lissotriton vulgaris*) и краснокнижный гребенчатый (*Triturus cristatus*) тритоны. Из пресмыкающихся на пустырях, в местах рядом со стройками, где проводятся либо ранее проводились строительные работы, встречается прыткая ящерица (*Lacerta agilis*), в сырых местах и поймах рек – веретеница (*Anguis fragilis*), уж (*Natrix natrix*) [5].

Наиболее разнообразен в городах видовой состав птиц. Согласно В. В. Сахвону [38], на урбанизированных территориях Беларуси 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. Однако некоторые виды, такие как сизоворонка (*Coracias garrulus*), перестали гнездиться в городах, а гнездование других, например, некоторых чаек, таких как клуша (*Larus fuscus*), стало нерегулярным. В то же время список видов может пополняться за счет случайных залетов. Около 20 % всех видов, зарегистрированных в городах, наблюдались лишь однажды или несколько раз вне периода гнездования. Это в основном птицы, связанные с водоемами.

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*). В парках и скверах обитают хохлатая синица (*Parus cristatus*), черноголовая гаичка (*Poecile palustris*), пищуха (*Certhia familiaris*), поползень (*Sitta europaea*), кольчатая горлица (*Streptopelia decaocto*), зяблик (*Fringilla coelebs*), дрозд-рябинник (*Turdus pilaris*), черный (*Turdus merula*) и певчий (*Turdus philomelos*) дрозд, большой пестрый дятел (*Dendrocopos major*), мухоловка-пеструшка (*Ficedula hypoleuca*), пеночка-весничка (*Phylloscopus trochilus*), зеленушка (*Chloris chloris*), обыкновенная иволга (*Oriolus oriolus*), щегол (*Carduelis carduelis*), из хищных – ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*), воробьиный сыч (*Glaucidium passerinum*) и др.; в поймах рек – чайка сизая (*Larus canus*), трясогузка белая (*Motacilla alba*), чибис (*Vanellus vanellus*) и др.; на водоемах – кряква (*Anas platyrhynchos*), чирок-трескунок (*Spatula querquedula*), озерная чайка (*Larus ridibundus*), лебедь-шипун (*Cygnus olor*). На окраинах городов можно встретить полевого (*Alauda arvensis*) и хохлатого (*Galerida cristata*) жаворонка, кукушку (*Cuculus canorus*), вертишейку (*Jynx torquilla*), серую куропатку (*Perdix perdix*), перепела (*Coturnix coturnix*), белого аиста (*Ciconia ciconia*) и др. Зимой в города прилетают сойка (*Garrulus glandarius*), снегирь (*Pyrrhula pyrrhula*), свиристель (*Bombicilla garrulus*), обыкновенная чечетка (*Acanthis flammea*) [5].

10. Из млекопитающих на урбанизированных территориях наиболее многочисленны грызуны: мыши (домовая – *Mus musculus*, полевая – *Apodemus agrarius*, лесная – *Apodemus uralensis*), крысы (черная – *Rattus rattus*, 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*). В заводях рек, протекающих через некоторые города, можно встретить бобра (*Castor fiber*), ондатру (*Ondatra zibethicus*) и водяную кутору (*Neomys fodiens*), а на окраинных территориях городов – зайца (*Lepus europaeus*) и лису (*Vulpes vulpes*). Известны случаи, когда в населенные пункты забредали более крупные животные, такие как лоси, олени, косули, кабаны, волки и енотовидные собаки [5].

ВЫВОДЫ

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

1. Все компоненты селитебных ЭГС, 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 селитебных ЭГС Беларуси можно рассматривать как общие для аналогичных ЭГС в России, которые необходимо учитывать при инженерно-экологических исследованиях и изысканиях.

Работа выполнена 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, а также в рамках государственного задания МГУ имени М. В. Ломоносова с использованием оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития Московского университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Антропогенные** почвы: генезис, география, рекультивация : учеб. пособие / М. И. Герасимова [и др.] / под ред. Г. В. Добровольского. – Смоленск : Ойкумена, 2003. – 268 с.
2. **Артамонова, В. С.** Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири / В. С. Артамонова. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. – 225 с.
3. **Бачура, Ю. М.** Зеленые водоросли антропогенно-преобразованных почв (на примере Гомельского региона) / Ю. М. Бачура // Весн. Грод. дзярж. ун-та імя Янкі Купалы. Сер. 5. Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія. – 2016. – Т. 6, № 1. – С. 118–129.
4. **Белковская, Н. Г.** Влияние системы расселения населения на формирование территориальной структуры хозяйства Республики Беларусь / Н. Г. Белковская, Н. Л. Борисова, Н. В. Ястребова // Социально-экономическая география в XXI веке: новые реалии и практические возможности : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 нояб. 2021 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. А. Антипова (гл. ред.), А. П. Безрученко, А. В. Дыдышко. – Минск : БГУ, 2022. – С. 35–37.
5. **Бурко, Л. Д.** Позвоночные животные Беларуси : учеб. пособие / Л. Д. Бурко, В. В. Гричик. – Минск : БГУ, 2003. – 373 с.
6. **В Беларуси** продолжается озеленение: Витебск лидирует среди областных центров // Новости Беларуси. – 2024. – URL: <https://novosti-belarusi.com/posts/id7838-minprirody-nazvalo-samyje-ozelenennye-goroda-belarusi-v-2024-godu> (дата обращения: 26.04.2025).
7. **Вещественный** состав и экотоксикологическая опасность свалок городских отходов / А. В. Кудельский [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2001. – Т. 45, № 6. – С. 91–97.
8. **Галкин, А. Н.** Инженерная геология Беларуси : в 3 ч. / А. Н. Галкин. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2016. – Ч. 1 : Грунты Беларуси / под науч. ред. В. А. Королева. – 367 с.
9. **Галкин, А. Н.** Классификация эколого-геологических систем Беларуси на основе учета особенностей литотопов и инженерно-хозяйственных объектов / А. Н. Галкин, В. А. Королев // Літасфера. – 2023. – № 1 (58). – С. 98–109.
10. **Галкин, А. Н.** Опыт создания и использования техногенных грунтов в качестве оснований и среды для различных инженерных сооружений в условиях Белоруссии / А. Н. Галкин, И. А. Красовская,

А. И. Павловский // Сергеевские чтения. Массивы грунтов как жизнеобеспечивающий ресурс общества : материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Псков, 27–28 марта 2025 г. – М. : Изд-во «Геоинфо», 2025. – Вып. 26. – С. 25–29.

11. **Галкин, А. Н.** Особенности функционирования литотехнических систем территории Белоруссии / А. Н. Галкин, В. А. Королев // Инженерная геология. – 2014. – № 4. – С. 28–44.

12. **Гаранович, И. В.** Особенности озеленения областных центров Беларуси / И. В. Гаранович // Наука и инновации. – 2015. – № 3 (145). – С. 4–8.

13. **Голодковская, Г. А.** Геологическая среда промышленных регионов / Г. А. Голодковская, Ю. Б. Елисеев. – М. : Недра, 1989. – 220 с.

14. **Дзекцер, Е. С.** Закономерности формирования процесса подтопления застраиваемых территорий грунтовыми водами / Е. С. Дзекцер // Процессы подтопления застроенных территорий грунтовыми водами (прогноз и защита) : тез. докл. Всесоюз. совещ., Новосибирск, 9–11 окт. 1984 г. – Новосибирск, 1984. – Ч. 1. – С. 5–9.

15. **Званцов, Я. И.** Животный мир городов / Я. И. Званцов // Творчество молодых, 2018 : сб. науч. работ студентов, магистрантов и аспирантов : в 4 ч. – Гомель : ГГУ имени Ф. Скорины, 2018. – Ч. 1. – С. 226–229.

16. **Инженерная геология Беларуси** : в 3 ч. / А. Н. Галкин [и др.]. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2017. – Ч. 2 : Инженерная геодинамика Беларуси / под науч. ред. В. А. Королева. – 452 с.

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

18. **Королев, В. А.** К разработке систематики эколого-геологических систем Белоруссии / В. А. Королев, А. Н. Галкин // Инженерная геология. – 2023. – Т. XVIII, № 2. – С. 12–28. DOI: <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2023-18-2-12-28>.

19. **Королев, В. А.** Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем : учеб. пособие / В. А. Королев / под ред. В. Т. Трофимова. – М. : КДУ, 2007. – 416 с.

20. **Королев, В. А.** Особенности лесохозяйственных эколого-геологических систем Белоруссии / В. А. Королев, А. Н. Галкин // ГеоИнфо. – 2024. – Т. 6, № 12. – С. 6–19. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-12-6-19.

21. **Королев, В. А.** Особенности природных эколого-геологических систем массивов глинистых грунтов Белоруссии / В. А. Королев, А. Н. Галкин // ГеоИнфо. – 2023. – Т. 5, № 9/10. – С. 12–21. DOI:10.58339/2949-0677-2023-5-9/10-12-21.

22. **Королев, В. А.** Особенности сельскохозяйственных эколого-геологических систем Белоруссии / В. А. Королев, А. Н. Галкин // Вестн. МГТУ. – 2025. – Т. 28, № 1. – С. 49–61.

23. **Королев, В. А.** Особенности эколого-геологических систем массивов лёссовых грунтов Белоруссии / В. А. Королев, А. Н. Галкин // ГеоИнфо. – 2024. – Т. 6, № 1/2. – С. 48–62. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-1/2-48-62

24. **Королев, В. А.** Особенности эколого-геологических систем массивов торфяных грунтов Белоруссии / В. А. Королев, А. Н. Галкин // Инженерная геология. – 2024. – Т. XIX, № 1. – С. 20–40. DOI: <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2024-19-1-20-40>.

25. **Королев, В. А.** Природные эколого-геологические системы массивов песчаных грунтов Белоруссии / В. А. Королев, А. Н. Галкин // Инженерная геология. – 2023. – Т. XVIII, № 4. – С. 38–49. DOI: <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2023-18-4-38-49>.

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

27. **Кудельский, А. В.** Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич. – Минск : Беларус. навука, 2014. – 271 с.

28. **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).

29. **Лысак, Л. В.** Бактериальные сообщества городских почв : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.03 / Л. В. Лысак ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. – М., 2010. – 46 с.

30. **Малые города** Беларуси // Белорусский институт стратегических исследований (БИСИ). – 2025. – URL: <https://socio.bisr.by/malye-goroda-belarusi/> (дата обращения: 16.04.2025).

31. **Масалкова, Ю. Ю.** Гельминтологическая оценка внешней среды Витебского региона / Ю. Ю. Масалкова // Весн. Віцебск. дзярж. ун-та. – 2012. – № 5. – С. 50–54.

32. **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=m9qpf4rwk1918607002 (дата обращения: 21.04.2025).
33. **Оценка** экологического состояния древесной растительности в условиях городской среды (на примере г. Витебска) / И. А. Литвенкова [и др.] // Весн. Віцебск. дзярж. ун-та. – 2023. – № 1 (118). – С. 52–59.
34. **Почва, город, экология** / под общ. ред. Г. В. Добровольского. – М. : Фонд «За экономическую грамотность», 1997. – 320 с.
35. **Пресные** подземные воды Гомельской области: динамика и экология / В. Г. Жогло [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2018. – 176 с.
36. **Прогноз** изменения окружающей среды Беларуси на 2010–2020 гг. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2004. – 180 с.
37. **Прогноз** состояния природной среды Беларуси на период до 2035 года / под общ. ред. В. С. Хомица. – Минск : Беларус. навука, 2022. – 331 с.
38. **Радон** в воздухе зданий населенных пунктов Витебской области / А. К. Карабанов [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2017. – № 4. – С. 81–89.
39. **Сахвон, В. В.** Видовое богатство и экологическая структура орнитофауны урбанизированных территорий в условиях Беларуси / В. В. Сахвон // Журнал Белорус. гос. ун-та. Биология. – 2018. – № 1. – С. 95–102.
40. **Свекла, Э. М.** Санитарная оценка территорий жилых районов г. Гродно по микробиологическим показателям урбаноземов / Э. М. Свекла, И. М. Колесник // Актуальные проблемы экологии : материалы IX междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 23–25 окт. 2013 г. : в 2 ч. / Гродн. гос. ун-т ; ред. кол.: И. Б. Заводник [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2013. – Ч. 2. – С. 144–146.
41. **Селитебная** территория // Большая Российская энциклопедия. – 2022. – URL: <https://bigenc.ru/c/selitebnaia-territoriia-c892de> (дата обращения: 24.04.2025).
42. **Селитебный** // Большой толковый словарь русского языка / С. А. Кузнецов (гл. ред.). – СПб. : Норинт, 1998. – С. 1172.
43. **СН 3.01.03-2020.** Планировка и застройка населенных пунктов. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 62 с.
44. **Соловьева, Е. С.** Экологические особенности актиномицетных комплексов городских почв : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Е. С. Соловьева ; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2015. – 22 с.
45. **Состояние** природной среды Беларуси: экологический бюллетень / под общ. ред. Е. И. Громадской. – Минск : РУП «ЦНИИКИВР», 2024. – 196 с.
46. **Стадион** Центральный в Гомеле // Planetabelarus.by. – 2024. – URL: <https://planetabelarus.by/sights/stadion-tsentralnyu-v-gomele/> (дата обращения: 22.04.2025).
47. **Сулова Н.** 20 декабря. Площадь Независимости // Planetabelarus.by. – 2024. – URL: <https://planetabelarus.by/publications/20-dekabrya-ploshchad-nezavisimosti/> (дата обращения: 22.04.2025).
48. **Техногенные** грунты : учеб. пособие / А. Н. Галкин [и др.]. – Минск : Вышэйш. школа, 2020. – 192 с.
49. **ТКП 45-3.01-116-2008.** Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки. – Минск : Минстройархитектуры, 2008. – 102 с.
50. **Трофимов, В. Т.** Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы / В. Т. Трофимов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 2009. – № 2. – С. 48–52.
51. **Чеховский, А. Л.** Оценка радоновой опасности по косвенным показателям радона (на примере восточных областей Беларуси) : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.01.01 / А. Л. Чеховский ; Бел. гос. ун-т. – Минск, 2017 – 16 с.
52. **Bockheim, J. G.** Nature and properties of highly disturbed urban soils / J. G. Bockheim // Philadelphia. Pennsylvania. – 1974.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 12.06.2025

Рэцэнзент М. А. Багдасараў

СЕЛІЦЕБНЫЯ ЭКОЛАГА-ГЕАЛАГІЧНЫЯ СІСТЭМЫ БЕЛАРУСІ: АСАБЛІВАСЦІ СТРУКТУРЫ І СКЛАДНІКІ ІХ КАМПАНЕНТАЎ

А. М. Галкін¹, В. А. Каралёў²

¹Віцебскі дзяржаўны ўніверсітэт імя П. М. Машэрава,
Маскоўскі праспект, 33, 210038, Віцебск, Беларусь
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

²Маскоўскі дзяржаўны ўніверсітэт імя М. В. Ламаносава
Ленінскія горы, 1, 119991, Масква, Расія
E-mail: va-korolev@bk.ru

Упершыню выяўлены і прааналізаваны структура і характэрныя асаблівасці селіцэбных экалага-геалагічных сістэм тэрыторыі Беларусі. Асноўным абіятычным кампанентам гэтых сістэм з'яўляецца ўрбалітатоп, які фарміруе літагенную аснову экасістэмы. Ён уключае ў сябе ўрбанізаваны рэльеф, тэхнагенна змененыя і штучныя грунтавыя масівы, а таксама звязаныя з імі інжынерна-геалагічныя працэсы і тэхнагенныя змяненні геахімічных і геафізічных палёў. Найважнейшымі абіятычнымі кампанентамі селіцэбных ЭГС таксама з'яўляюцца ўрбагідратоп, які характарызуецца тэхнагенна змененымі гідрагеалагічнымі ўмовамі, урбаэдафатоп, які складаецца з розных тыпаў урбаземаў, урбаатматоп, які адлюстроўвае тэхнагеннае змяненне і забруджванне атмасфер. Акрамя таго, да абіятычных кампанентаў разглядаемых ЭГС адносяцца ўсе элементы гарадской інфраструктуры: жылыя і грамадскія будынкі, розныя аб'екты камунальнай гаспадаркі, гарадскі грамадскі і асабісты аўтаатранспарт, дарожныя камунікацыі і г. д. Устаноўлена, што асноўнымі крыніцамі тэхнагеннага пераўтварэння прыродных кампанентаў з'яўляюцца гарадскія інжынерныя аб'екты рознага прызначэння, звязаныя з жылой забудовай тэрыторыі. Паказана ўзаемасувязь усіх абіятычных і біятычных кампанентаў селіцэбных ЭГС, якія маюць спецыфічныя характарыстыкі сфарміраваных пад уплывам урбанізацыі і антрапагенных фактараў. Гэтыя аспекты варта ўлічваць пры сістэматызацыі, апісанні і аналізе экалагічных функцый літасферы. Выяўленыя заканамернасці і асаблівасці селіцэбных ЭГС тэрыторыі Беларусі можна разглядаць як агульныя для аналагічных ЭГС і ў Расіі, якія неабходна ўлічваць пры інжынерна-экалагічных даследаваннях і інжынерна-экалагічных пошуках.

Ключавыя словы: экалага-геалагічная сістэма (ЭГС), антрапагенная селіцэбная ЭГС, урбалітатоп, урбаэдафатоп, урбамікрабацэноз, урбафітацэноз, урбазаацэноз, Беларусь.

RESIDENTIAL ECOLOGICAL AND GEOLOGICAL SYSTEMS OF BELARUS: FEATURES OF THE STRUCTURE AND COMPOSITION OF THEIR COMPONENTS

A. Galkin¹, V. Korolev²

¹Vitebsk State University named after P. Masherov
33 Moscovski Avenue, 210038, Vitebsk, Belarus
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

²Lomonosov Moscow State University
¹Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia
E-mail: va-korolev@bk.ru

The structure and characteristic features of residential ecological-geological systems of the territory of Belarus have been identified and analyzed for the first time. The main abiotic component of these systems is the urbolitotope, which forms the lithogenic basis of the ecosystem. It includes urbanized relief, technogenically altered and artificial soil massifs, as well as related engineering-geological processes and technogenic changes in geochemical and geophysical fields. The most important abiotic components of residential EGS are also the urbohydrotople, characterized by technogenically altered hydrogeological conditions, the urboedaphotope, consisting of various types of urbozems, and the urboatmotope, reflecting technogenic changes and pollution of the atmospheric air of cities. In addition, the abiotic components of the considered EGS include all elements of the urban infrastructure: residential and public buildings, various public utilities, urban public and private vehicles, road communications, etc. It has been established that the main sources of technogenic transformation of natural components are urban engineering facilities of various purposes

associated with residential development of territories. The relationship between all abiotic and biotic components of residential EGS, which have specific characteristics formed under the influence of urbanization and anthropogenic factors, is shown. These aspects should be considered when systematizing, describing and analyzing the ecological functions of the lithosphere. The identified patterns and features of residential EGS of the territory of Belarus can be considered as common for similar EGS in Russia, which must be considered in engineering and environmental studies and engineering and environmental surveys.

Keywords: ecological-geological system (EGS), anthropogenic residential EGS, urbolitotop, urboedaphotope, urbomicrobocenosis, urbophytocenosis, urbozoocenosis, Belarus.