

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ PAGES OF HISTORY

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-1-87-102>

УДК 581.6+551.34



История и проблемы формирования зеленой инфраструктуры городов, расположенных в криолитозоне Западной и Центральной Сибири

Р.Ю. Федоров✉

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия

✉ r_fedorov@mail.ru

РЮФ, 0000-0002-3658-746X

Аннотация. Разработка научно-обоснованных подходов к озеленению городов, построенных в криолитозоне, была обусловлена урбанизацией регионов СССР, находящихся в арктическом и субарктическом климате. На протяжении последних десятилетий актуальность этих подходов возрастает в связи с необходимостью мер, связанных с обеспечением новых стандартов благоустройства и экологического благополучия городов Российской Арктики. Основная цель работы состоит в интегрированном анализе архивных документов и научных публикаций, отражающих эволюцию исследовательских подходов и знаний, связанных с проблемами озеленения городов, построенных в криолитозоне Западной и Центральной Сибири в период с 1930-х гг. до первой четверти XXI в. Сделан вывод о том, что такие факторы, как потепление климата, активное привнесение в урбанизированную среду чужеродных растений и внедрение новых технологий благоустройства северных городов, способствуют росту возможностей для развития их зеленой инфраструктуры. При этом криогенные процессы и характер развития зеленой инфраструктуры в урбанизированной среде имеют высокую степень взаимообусловленности.

Ключевые слова: зеленая инфраструктура городов, мерзлота, криолитозона, Западная Сибирь, Центральная Сибирь

Для цитирования: Федоров Р.Ю. История и проблемы формирования зеленой инфраструктуры городов, расположенных в криолитозоне Западной и Центральной Сибири. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2025;71(1):87–102. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-1-87-102>

Поступила 18.01.2025

После переработки 03.03.2025

Принята 15.03.2025

The history and problems of developing the green infrastructure of cities located in the cryolithic zone of Western and Central Siberia

Roman Yu. Fedorov✉

Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Center SB RAS, Tyumen, Russia

✉ r_fedorov@mail.ru

RYF, 0000-0002-3658-746X

© Авторы, 2024

© Authors, 2024

Abstract. The development of research-based approaches to the greening of cities built in the cryolithic zone was caused by the urbanization of USSR regions located in the Arctic and Subarctic climate. Over the past decades, the relevance of these approaches has been increasing due to the need for measures aimed at ensuring new standards of landscaping and environmental well-being of cities in the Russian Arctic. The main aim of this article is an integrated analysis of archival documents and scientific publications reflecting the evolution of research approaches and knowledge pertaining to the problems of greening cities built in the cryolithic zone of Western and Central Siberia in the period from the 1930s to the first quarter of the 21st century. The article describes the first attempts at greening the Arctic cities of Siberia made in the 1930s — 1950s and discusses approaches to zoning the green infrastructure of Arctic cities that have been developed in Russian science. The problems of studying the interaction of permafrost and vegetation in urban areas are analyzed. Based on examples of Siberian cities the paper examines problems of developing green infrastructure during the period of active urbanization of the Russian Arctic in the 1970s — 1980s. A brief overview is given of new approaches to urban greening in the Arctic cities in the first quarter of the 21st century. It is concluded that in recent decades, in most of the cities studied, there has been a trend towards a rise in vegetation characteristics such as NDVI and tree height compared with areas that have been left untouched. Researchers attribute this trend to factors such as regular planting of new trees and shrubs, targeted maintenance of green spaces, as well as the presence of urban heat islands and other favorable microclimatic conditions. It is concluded that such common factors as climate warming, an active introduction of alien plants into the urbanized environment and using new technologies for the improvement of northern cities contribute to the growth of opportunities for the development of the cities' green infrastructure. At the same time, cryogenic processes and the way green infrastructure is developed in an urbanized environment are largely interdependent.

Keywords: urban green infrastructure, permafrost, cryolithic zone, Western Siberia, Central Siberia

For citation: Fedorov R.Yu. The history and problems of developing the green infrastructure of cities located in the cryolithic zone of Western and Central Siberia. *Arctic and Antarctic Research*. 2025; 71(1): 87–102. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-1-87-102>

Received 18.01.2025

Revised 03.03.2025

Accepted 15.03.2025

Введение

В современных исследованиях под зеленой инфраструктурой городов принято понимать расположенную на их территории совокупность древесных, кустарниковых и травянистых насаждений общего и ограниченного пользования, а также специального назначения, выполняющих различные экологические, рекреационные и утилитарные функции [1–3]. Процесс урбанизации Российской Арктики породил уникальный опыт озеленения населенных пунктов, построенных в зоне распространения многолетнемерзлых пород, включая создание в них парков, скверов, защитных полос, зеленых насаждений вдоль дорог и на придомовых территориях.

Как известно, выращивание растений на мерзлоте имеет ряд специфических особенностей. Они обусловлены тем, что при ее сплошном распространении процессы почвообразования происходят лишь в деятельном слое, который замерзает зимой и оттаивает летом. Ввиду водонепроницаемости многолетнемерзлых пород атмосферные осадки проникают в почву только до ее верхней границы, что нередко приводит к оглеенности, приводящей к сниженной плодородности грунтов в результате их продолжительного переувлажнения и высокой кислотности. Учитывая то, что растения развивают свою корневую систему лишь в сезонно-талом слое, она имеет существенные ограничения в вертикальном развитии, которые компенсируются ее значительно более широким, чем у растущих в обычных условиях растений, горизонтальным радиусом. Помимо этого, находящиеся над мерзлотой почвы, как правило, бедны минеральными и органическими соединениями ввиду того, что активная жизнь

микроорганизмов и вызываемые ею процессы минерализации органического вещества протекают лишь в протаивающем на непродолжительное время сезонно-талом слое. В совокупности с такими внешними факторами, как низкие температуры воздуха, высокая ветровая нагрузка, непродолжительный вегетационный период и неблагоприятные условия для фотосинтеза, выращивание многих видов древесных и кустарниковых растений в арктическом и субарктическом климате затруднено. В то же время зеленая инфраструктура городов оказывает как прямое, так и косвенное влияние на состояние мерзлоты. Она может создавать экранирующий и охлаждающий эффекты, способные защитить многолетнемерзлые породы от солнечной радиации и других тепловых воздействий летом [4]. В зимнее время определенные виды зеленых насаждений способствуют снегонакоплению, которое в разных ситуациях может привести к усилению или снижению динамики деградации многолетнемерзлых пород [5]. Наряду с этим некоторые виды обработки почвы для озеленения могут способствовать деградации расположенной под ее участками мерзлоты [6, 7].

Разработка научно обоснованных подходов к озеленению на мерзлоте в СССР получила наиболее последовательное развитие в период с 1950-х по 1980-е гг. Она была обусловлена активной урбанизацией регионов, расположенных в криолитозоне Крайнего Севера и Восточной Сибири. На протяжении последних десятилетий эта проблематика приобретает новую актуальность ввиду необходимости обеспечения мер, связанных с возрастающими требованиями к благоустройству и экологическому благополучию арктических городов. Несмотря на это, в отличие от работ, посвященных взаимовлияниям мерзлоты и растительности на ненарушенных территориях и сельскохозяйственных угодьях, проблемы озеленения городов, построенных на многолетнемерзлых породах, изучены более фрагментарно. При этом нередко именно озеленение городов порождает наиболее сложные и масштабные социоприродные взаимодействия, связанные с антропогенными преобразованиями почв и привнесением чужеродных видов растений. Наибольшее внимание этим проблемам уделено в работах З.Е. Чугуновой [6], Ю.Б. Хромова [8], Е.Н. Помазковой [9], Т.Б. Сродных [10], Е.В. Абакумова [11, 12], А.Х. Сариева [13, 14] и некоторых других авторов. Несмотря на наличие этих исследований, на сегодняшний день существует множество пробелов в знаниях об особенностях формирования зеленой инфраструктуры городов, построенных на многолетнемерзлых породах. Эта ситуация связана как с неравномерностью охвата наблюдениями разных городов, так и с тем, что подобные исследования часто проводились обособленно друг от друга специалистами по мерзлотоведению, геоэкологии, геоботанике и градостроительству, что, в свою очередь, препятствовало интеграции полученных знаний. При этом значительная часть исследований, осуществленных в советское время отраслевыми институтами, не была опубликована и на сегодняшний день представлена лишь в малоизвестных широкой научной общественности архивных документах. Исходя из этого, основная цель данной статьи состоит в интегрированном анализе архивных документов и научных публикаций, отражающих эволюцию исследовательских подходов и знаний, связанных с проблемами озеленения находящихся в криолитозоне городов Западной и Центральной Сибири в период с 1930-х гг. до первой четверти XXI в.

Район исследования и использованные материалы

В исследовании рассмотрены города Западной и Центральной Сибири, находящиеся в административных границах Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) Тюменской области и Таймырского Долгано-Ненецкого района Красноярского края

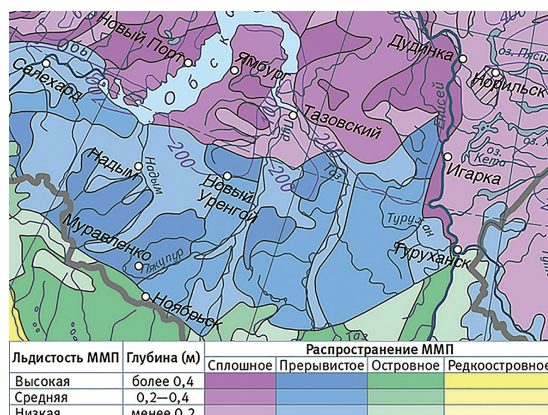


Рис. 1. Распространение, мощность и льдистость многолетнемерзлых пород на территории исследования (фрагмент Национального атласа Арктики¹)

Fig. 1. Distribution, thickness and iciness of permafrost in the study area (fragment of the National Atlas of the Arctic)

(рис. 1). Источниковая база предпринятого в статье аналитического обзора опиралась на несколько видов материалов. Первый вид источников — это неопубликованные научно-технические работы (НИРы), проектная документация и отчеты, хранящиеся в Российском государственном архиве научно-технической документации (РГАНТД), Центральном государственном архиве научно-технической документации Санкт-Петербурга (ЦГАНТД СПб), Государственном архиве Тюменской области (ГБУТО ГАТО) и Государственном архиве социально-политической истории Тюменской области (ГБУТО ГАСПИТО). В качестве второго вида источников была рассмотрена изданная в СССР в 1930–1980-е гг. научная и техническая литература, посвященная проблемам озеленения северных городов. Третьим (вспомогательным) видом источников являются полевые исследования автора, проведенные в период с 2019 по 2022 г. на территории ряда городов ЯНАО (г. Салехард, г. Новый Уренгой, г. Надым и др.), которые включали натурные наблюдения, а также проведение тематических интервью со специалистами, принимавшими участие в благоустройстве населенных пунктов региона.

Результаты и обсуждение

Первые попытки озеленения арктических городов Сибири (1930–1950-е гг.)

В 1930-е гг. в СССР сложилась централизованная система озеленения городов, впервые были предложены общегородские и внутриквартальные нормы площади озеленения. В этот период были также сформулированы требования по созданию защитных лесополос между промышленными предприятиями и жилыми районами. Несмотря на принятие этих мер, их практическое воплощение в условиях арктического климата и территорий с распространением многолетнемерзлых пород оказалось существенным образом затруднено ввиду отсутствия необходимого для этого практического опыта и научных знаний.

Большинство урбанизированных территорий ЯНАО представляют собой морскую и озерно-аллювиальную равнину, сложенную грунтами песчаного и глинистого состава. В приповерхностной части для грунтов характерно как многолетнемерзлое, так и талое

¹ Национальный атлас Арктики. М.: Роскартография, 2017. 254 с.

состояние [15]. Первые эксперименты, связанные с развитием озеленения и сельскохозяйственного растениеводства на мерзлоте, здесь были предприняты в Салехарде в конце 1920-х — 1930-х гг. В 1927 г. метеорологом и агрономом Д.М. Чубыниным в Салехарде были начаты эксперименты по выращиванию на мерзлых грунтах ряда овощных и зерновых культур из семян, переданных Всесоюзным институтом прикладной ботаники. Помимо успешного опыта выращивания на Полярном круге картофеля, капусты, редиса, льна и даже листового табака, Чубынин проводил эксперименты с интродуцированием чужеродных древесных растений. В частности, в Салехарде ему удалось вырастить желтую акацию и стелящиеся яблони [16]. Таким образом, становление полярного земледелия послужило косвенным толчком к проведению экспериментов и выработке научно обоснованных подходов к озеленению городов, построенных на многолетнемерзлых породах. В Салехарде в 1930-е гг. был создан первый на территории ЯНАО городской сад. Для его обустройства находившийся в центре города овраг, носивший название Грязный лог, был засыпан привозной землей. Этот прием позволил создать более благоприятные условия для выращивания в парке деревьев по сравнению с другими местами, под которыми располагалась мерзлота [3]. В парке росли лиственница, ель сибирская, береза пушистая, ольха кустарниковая, рябина сибирская, ивы (козья, русская, финиколистная и др.)². Несмотря на этот положительный опыт, в последующие десятилетия в Салехарде не проводилось систематическое озеленение. Так, в сведениях об объеме озеленения, проведенного в городах Тюменской области в 1961 г., данные по Салехарду отсутствовали³.

В Норильском промышленном районе городская застройка опирается либо на скальные коренные породы, либо на слабозасоленные песчано-глинистые мерзлые грунты [15]. Первые попытки озеленения Норильска были предприняты в 1940-е гг., однако доля зеленых пространств в нем из-за критически неблагоприятных природно-климатических факторов и некомфортной для них планировочной организации (включая уничтожение трудновосстановимой естественной растительности в процессе строительства города, отсутствие условий для эффективной ветрозащиты зеленых насаждений и формирования необходимых для них снегоотложений [9]) всегда оставалась достаточно низкой. Несмотря на затрудненность мероприятий по озеленению, в 1950-е гг., на центральных улицах Норильска высаживались деревья. Эти насаждения были часто приурочены к теплотрассам и коллекторам канализации, которые давали растениям дополнительное тепло. Несмотря на то, что борьба с пыльными бурями нередко заставляла архитекторов полностью асфальтировать дворы, на некоторых улицах устраивались газоны, в том числе из дерна, привезенного из тундры. В городе были созданы сквер им. Пушкина и Комсомольский парк, в которых успешно прижились березы, тундровые ивы и ольха⁴.

² Изучение лесорастительных свойств районов с вечной мерзлотой: подбор пород и разработка агротехнических способов выращивания защитных лесонасаждений. Российский государственный архив научно-технической документации (далее – РГАНТД). Ф. Р-129. Оп. 6-1. Д. 11071. Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, 1970. Л. 18.

³ Материалы по благоустройству городов и райцентров. Государственный архив Тюменской области (далее – ГБУТО ГАТО). Ф. 1894. Оп. 1. Д. 305. Л. 1. 1961.

⁴ Ферапонтова С. Норильск озеленяли одновременно с его строительством. Таймырский телеграф. 2023. 6 марта. URL: <https://www.ttelegraf.ru/news/norilsk-ozelenyali-odnovremenno-s-ego-stroitelstvom/?ysclid=m56jnd2brw459067017> (дата обращения: 15.03.2025)

Подходы к районированию зеленой инфраструктуры арктических городов

Для развития научно обоснованных методов и стандартов озеленения городов, расположенных в районах Крайнего Севера, было важно выработать специальные подходы к районированию их климатогеографических условий. В 1960-е гг. Е.Н. Помазковой была разработана авторская система зонирования зеленого строительства для арктических регионов СССР (рис. 2). Она имела некоторые отличия от использовавшихся в то время общепринятых подходов геоботанического зонирования. В частности, подзона северной тайги была объединена автором с лесотундрой. Этот подход был обусловлен сходством дендрологического состава, климатических условий и мерзлотной характеристики почв в этих двух подзонах [9]. В соответствии с разработанной классификацией, к I растительной зоне были отнесены арктические тундры, пустыни и районы голцов. II растительная зона включала моховые, лишайниковые, кустарниковые, кочкарные и горные тундры. К III растительной зоне были отнесены лесотундра и северотаяжный лес, к IV растительной зоне — средне- и южнотаяжные леса [9]. Для I зоны наиболее характерно наличие имеющих сплошное распространение многолетнемерзлых пород и небольшая мощность их сезонно-талого слоя. Во II зоне также преобладают многолетнемерзлые породы, однако здесь встречаются отдельные талые участки. Доля талых участков возрастает в III зоне. Данная ситуация особенно характерна для местности, прилегающей к источникам проточных вод или прежних речных русел. В IV зоне преобладает островная мерзлота среди талых грунтов, однако в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке встречаются обширные территории со сплошным распространением мерзлоты [9]. Для городов и поселков, расположенных в I, II и III зонах преимущественно используется озеленение с сохранением мерзлого состояния грунтов и со сплошной подсыпкой из торфяного грунта. В IV зоне чаще всего распространено озеленение на талых грунтах или после предварительного оттаивания многолетнемерзлых пород [9]. Большинство из рассмотренных в данной статье городов, расположенных на территории ЯНАО и Таймырского Долгано-Ненецкого района, относятся к III зоне. Е.Н. Помазковой был сделан вывод о том, что «непреодолимых

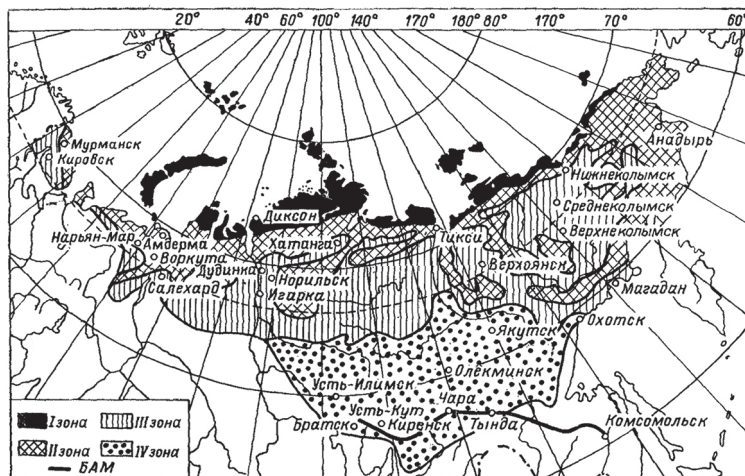


Рис. 2. Карта растительных зон Севера Е.Н. Помазковой [9]

Fig. 2. Map of the vegetation zones of the Russian Arctic by E.N. Pomazkova [9, с. 7]

препятствий для озеленения населенных мест во всех северных растительных зонах не существует, они более трудно разрешимы в I зоне, вполне разрешимы в II и III зонах и почти не отличаются от обычных для средних широт в IV зоне»⁵.

Среди сложившихся в отечественной науке подходов к лесорастительному районированию арктических и субарктических территорий Западной и Центральной Сибири большое внимание мерзлотным характеристикам почв было уделено Г.В. Крыловым и Н.Г. Салатовой. В рассматриваемом в статье районе исследования ими была выделена Салехардо-Дудинская лесотундровая зона [17]. В соответствии с предложенным авторами региональным районированием, в нее входит территория лесотундры и северной тайги. Характерными особенностями этой зоны являются продолжительный период преобладания отрицательных температур воздуха (до 8–9 месяцев) с безморозным периодом около 85 дней, наличие снежного покрова на протяжении 200–240 дней, среднегодовой температуры от -5°C до -11°C . Средняя температура вегетационного периода — около $9,5^{\circ}\text{C}$. Среднее годовое количество осадков составляет 300 мм, из них осадков в вегетационный период — 190 мм. Для грунтов характерно наличие многолетнемерзлых пород, которые на суглинистых почвах оттаивают летом на глубину 40–60 см, а на песчаных — 120–150 см. В целом состояние мерзлоты для этой зоны оценивается как устойчивое. На водоразделах преобладают торфянисто-подзолисто-глеевые, торфяно-глеевые и — реже — слабо-подзолистые почвы [17]. К этой зоне принято относить такие города, как Салехард, Новый Уренгой, Ноябрьск, Надым, Норильск, Игарка и др. Вариативность типичного ассортимента древесной растительности в этих городах в значительной мере определяется степенью дренирования и сезонного протаивания грунтов, а также защищенностью от холодных ветров. К наиболее типичным древесным растениям этой зоны принято относить лиственницы — сибирскую и Сукачева, ель сибирскую, березу извилистую, ольху кустарную и др. Из кустарников чаще всего встречаются карликовая береза и ивы разных видов [17]. В отдельных районах возможна акклиматизация березы пушистой, рябины, смородины и др.⁶ Для озеленения городов, расположенных в этой зоне, чаще всего использовалась местная древесно-кустарниковая флора, однако на протяжении последних десятилетий стала возрастать доля акклиматизированных чужеродных растений, приобретаемых в питомниках. Вследствие преобладания на протяжении большей части года низких температур почв деятельность микроорганизмов в них замедлена. Это приводит к длительному сохранению в почве растительных остатков и попадающих в нее отходов, возникающих в результате антропогенной деятельности. В этой ситуации в городских почвах формируется так называемый культурно-наносный слой, который усиливает неблагоприятные условия для произрастания древесных растений. Для озеленения таких участков была необходима длительная промывка грунта проточной водой [9]. В числе агромероприятий для улучшения условий произрастания древесных растений при производстве озеленительных работ были рекомендованы методы

⁵ Роль зеленых насаждений в населенных местах Крайнего Севера. Центральный государственный архив научно-технической документации Санкт-Петербурга (далее — ЦГАНТД СПб). Ф. 17. Оп. 22. Д. 452. ЛЕНЗНИИЭП, 1960. Л. 26

⁶ Прогнозы формирования перспективности сети населенных мест в северных районах Западно-Сибирского экономического района. ЦГАНТД СПб. Ф. 29. Оп. 21. Д. 35. НИИПГрадостроительства, 1973 г. Л. 61.

водно-тепловой мелиорации, снегозадержание, рыхление почв, введение в почву органических и минеральных удобрений⁷.

В расположенной южнее Ханты-Мансийско-Туруханской зоне проходит граница криолитозоны, однако наиболее крупные построенные на ней города (Сургут, Нижневартовск, Ханты-Мансийск) находятся вне зоны распространения многолетнемерзлых пород. Следует отметить, что эти, выделенные Г.В. Крыловым и Н.Г. Салатовой обширные природно-климатические зоны имеют неоднородные геокриологические и геоботанические условия, которые существенно отличаются друг от друга в разных городах, построенных на их территории. При этом, как показали недавние исследования, проведенные в ЯНАО, несмотря на близкое подзональное положение населенных пунктов, состав их флоры может существенно различаться благодаря разным подходам к ассортименту для озеленения и проникновению чужеродных видов растительности [12]. Исходя из этого, в процессе изучения взаимовлияний растительности и мерзлоты важно учитывать индивидуальные для каждого города комбинации этих условий. С учетом этих тенденций нормы озелененных территорий на одного жителя городов и поселков: в районах субарктической зоны — 6–7 м², в районах лесотундры — 7–8 м² — можно считать очень условными и нередко требующими корректировки для каждого конкретного города [14].

Проблемы изучения взаимодействий мерзлоты и древесной растительности в урбанизированной среде

Большой интерес представляют воздействие процесса озеленения арктических городов на состояние многолетнемерзлых пород и лимитирующие факторы для развития зеленой инфраструктуры, которые несет в себе мерзлота. Большинство исследователей склоняются к тому, что растительные покровы, включая древесные растения, способствуют охлаждению грунтов, препятствуя деградации мерзлоты. Как показали исследования Е.Н. Помазковой, глубина сезонного протаивания почв с растительным покровом во всех выделенных ею геоботанических зонах существенно ниже, чем на грунтах со снятым надпочвенным покровом (табл. 1).

В отчете о НИР на тему «Роль зеленых насаждений в населенных местах Крайнего Севера» Е.Н. Помазкова подчеркивала важное почвоохранное значение растительного покрова, защищающего многолетнемерзлые грунты от распространения плывунов, оврагов и развешивания иссушенного почвенного слоя. При этом растительный покров эффективно предохраняет мерзлоту от растепления летом. В частности, почвы под асфальтированными покрытиями нагреваются летом на 8–10 °С сильнее, чем покрытые газоном⁸. В настоящее время в процессе строительства на многолетнемерзлых породах рекомендуется максимально возможное сохранение растительного покрова в непосредственной близости от застройки и за ее пределами, которое способно понизить температуру грунта на 1–2 °С и более [18].

Опыт озеленения арктических городов демонстрирует, что образующиеся в результате него сеяные травостои, формируя сплошную дернину, способны противостоять ветровой и водной эрозии на северных легких почвах (песчаные, супесчатые и легкие суглинки) [19]. Таким образом, большинство исследователей склоняются к тому, что растительные покровы способствуют охлаждению грунтов, препятствуя деградации

⁷ ЦГАНТД СПб. Ф. 17. Оп. 22. Д. 452. Л. 61.

⁸ ЦГАНТД СПб. Ф. 17. Оп. 22. Д. 452. Л. 4.

Таблица 1

Сравнительная таблица средних глубин сезонно-талого слоя (в метрах)

Table 1

Comparative table of the average depths of the active layer (in meters)

Наименование грунта	Зоны							
	I		II		III		IV	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Песчаный	1,2	1,6	1,5	2,5	1,7	3,2	2,0	3,5
Глинистый	0,7	1,0	0,7	1,5	1,5	2,8	2,8	3,0
Торяфный	0,2	0,4	0,25	0,45	0,35	0,5	0,7	1,5
Минеральный	0	0,75	1,0	1,5	1,4	2,1	1,7	4,0

Примечание. 1 — глубина летнего протаивания почв под теплоизоляционным растительным покровом (мхи, кустарнички); 2 — грунт со снятым напочвенным покровом [9, с. 12]

Note. 1 — the depth of summer thawing of soils under thermal insulation vegetation (mosses, shrubs); 2 — soil with removed ground cover [9, p. 12]

мерзлоты. По результатам исследований НИИ сельского хозяйства и экологии Арктики, проведенных в Таймырском Долгано-Ненецком муниципальном районе, для ускоренного создания дерново-защитного слоя на поверхности техногенно-нарушенных земель наиболее эффективен посев многолетних низовых злаковых трав мятлика лугового и овсяницы красной, тогда как верховые злаковые травы: пырейник сибирский, кострец безостый, овсяница луговая — обладают слабыми дернообразующими свойствами на мерзлотных почвах ввиду низкой плотности травостоя, слабой зимостойкости и отсутствия генеративного способа размножения [13, 19]. В то же время распашка почвы в области распространения многолетнемерзлых пород может повысить ее температуру на 4 °C для первой половины вегетационного периода и на 3 °C для его второй половины [20]. Распахивание почв и такие рекомендуемые некоторыми специалистами меры тепловой мелиорации, как прогревание почвы паром или путем воздействия проточных вод с целью понижения горизонта многолетнемерзлых пород [17], представляются нежелательными вблизи зданий и инженерных коммуникаций, построенных по принципу сохранения мерзлоты. Обработка почвы на участках озеленения, включая вспашку и рыхление, может понизить в течение нескольких лет глубину сезонного протаивания во II зоне до 3–4 м [9, с. 44]. В ряде случаев эта тенденция может быть благоприятна для создания условий для озеленения, однако к ней необходимо с осторожностью относиться в городах, построенных с соблюдением принципа сохранения мерзлоты. В частности, создание сплошных массивов древесных насаждений, включая защитные полосы, может существенным образом увеличить глубину протаивания под ними почв. Эту ситуацию наглядно демонстрирует примеры, зафиксированные в сопредельных с территорией нашего исследования регионах. Так, созданная в 1950-е гг. Нарьян-Марской сельскохозяйственной опытной станцией защитная полоса на надпойменной террасе реки Печоры способствовала снижению скорости ветра и увеличению отложений снега. При этом глубина промерзания почвы под ней снизилась с 270 см до 80 см, температура и влажность почвы повысились⁹. В снегозащитной полосе 2191 километра железнодорожной линии Коноша–Воркута, в соответствии с проведенными во второй половине 1960-х гг. наблюдениями, почва сильнее промерзала и оттаивала

⁹ ЦГАНТД СПб. Ф. 29. Оп. 21. Д. 35. Л. 17.

значительно быстрее, чем в тундре с моховым покровом мощностью около 5 см. В начале периода наблюдений (20 июня) мерзлота в почве тундры была на глубине, превышающей 30 см, а температура здесь была всего 0,4 °С. В это же время в защитной полосе на глубине 30 см почва прогрелась уже до 3,6 °С, а мерзлота оттаяла глубже 50 см. Ко времени максимального прогревания метрового слоя почвы (20 августа) ее температура на глубине 100 см составила в тундре всего 2,3 °С при 9,1 °С в защитной полосе. В это же время на глубине 5 см температура почвы была соответственно равна 13,2 °С и 19,8 °С¹⁰. Таким образом, нарушение растительных покровов летом и образование на них снежных сугробов зимой способствуют повышению температуры почвы и увеличению глубины ее сезонно-талого слоя.

Непроницаемость многолетнемерзлых пород для воды способствует тому, что в верхних слоях почвы после таянья снега скапливается излишняя влага, которая нередко приводит к заболачиванию местности. Это часто приводит к проблемам приживаемости древесных растений. В ряде случаев гибель зеленых насаждений происходила из-за их полива подмерзлотной водой, которая содержала легкорастворимые и вредные для растений соли, включая соду и сульфат натрия [6].

Проблемы развития зеленой инфраструктуры в период активной урбанизации (1970–1980-е гг.)

На территории ЯНАО развитие зеленой инфраструктуры было связано со строительством во второй половине 1970-х — 1980-е гг. новых городов, обслуживающих газодобывающий комплекс. В наиболее крупных из этих городов — Новом Уренгое, Надыме и Ноябрьске — сохранены отдельные участки естественной растительности, в которых были благоустроены парки и другие виды мест отдыха. С начала застройки этих городов предпринимались попытки озеленения их улиц. Ввиду отсутствия в регионе специализированного питомника, для озеленения городов чаще всего использовались саженцы, которые выкапывались в лесах, расположенных в более южных районах округа или на таких находившихся в непосредственной близости от города нарушенных территориях, как полосы отвода газопроводов, где часто можно было найти качественный подрост.

В отчете о научной командировке в Тюменскую область, проведенной в 1978 г. специалистами по геоботанике Кольского филиала АН СССР, отмечалось, что, несмотря на то, что Салехард начали озеленять еще в довоенное время местными видами деревьев и кустарников (ива, береза, рябина, лиственница), обследованные озеленительные посадки были созданы в основном в прошлые десятилетия и ухода за ними практически не велось¹¹. В реальности эта оценка скорее характеризовала низкую эффективность озеленительных работ, предпринимавшихся в Салехарде в 1970-е гг., нежели их полное отсутствие. К примеру, в рамках всесоюзного соревнования 1976 г. в Салехарде было высажено 5300 деревьев, из которых прижилось лишь 20 %¹². По-

¹⁰ РГАНТД. Ф. Р-129. Оп. 6-1. Д. 11071. Л. 41.

¹¹ Переписка обкома КПСС с министерствами, ведомствами, центральными организациями и предприятиями о развитии строительства и коммунального хозяйства. Государственный архив социально-политической истории Тюменской области (далее – ГБУТО ГАСПИТО). Ф. 124. Оп. 1 Д.6882. 1979. Л. 201

¹² Документы (решения, постановления, справки, показатели и др.) по итогам Всероссийского соревнования за лучшее проведение работ по благоустройству и санитарному содержанию городов и населенных пунктов Тюменской области. ГБУТО ГАТО. Ф. 1894. Оп. 1. Д. 738. 1976. Л. 77.

добная ситуация была характерна и для других городов ЯНАО, в которых не приживалось до 70–80 % пересаживаемых деревьев [19]. Низкий процент приживаемости был особенно характерен для хвойных пород. По сравнению с ними лучше приживались такие местные виды лиственных деревьев, как ива и береза. В Норильске большинство пересаженных взрослых деревьев погибало через год [8]. Схожая ситуация наблюдалась в других городах, построенных на многолетнемерзлых породах [6]. Ее причины, как правило, были обусловлены несколькими типичными факторами, в числе которых чаще всего выступали неблагоприятные почвенные условия (бедность органического и минерального состава, засоленность, недостаточная или избыточная влажность) и неправильные приемы пересадки. Так, при наличии мерзлоты корневая система деревьев и кустарников при небольшой глубине залегания (нередко не более 20–30 см) может иметь значительно больший радиус по сравнению с деревьями, произрастающими в условиях средней полосы России. К примеру, в этих условиях радиус корневой системы лиственницы и березы может достигать 16 м, а ели и ивы — 12 м [9]. Таким образом, во время выкапывания растений их корневая система повреждается, ее значительная часть остается в почве. Исходя из этого, пересадка деревьев в условиях промерзания почв должна осуществляться в соответствии со специальными технологиями. В конце лета, когда почва максимально оттаивает, хороший результат давала пересадка деревьев с комом земли. Начиная с 1950-х гг. в холодное время года успешно использовалась технология пересадки крупных деревьев с замороженным комом, которая обеспечивала высокую степень сохранения целостности их корневой системы. Позднее в некоторых питомниках начали выращивать саженцы с использованием методов искусственного ограничения горизонтального развития их корневой системы. Высаживание ивы и некоторых других видов древесных растений черенками показало более высокую приживаемость по сравнению с их пересадкой со сформировавшейся корневой системой.

Неглубокое залегание корневой системы деревьев часто приводит к ее обнажению на территории городских парков и других общественных пространств с высокой антропогенной нагрузкой (рис. 3). По мнению специалистов, в подобных случаях



Рис. 3. Примеры оголения корневой системы деревьев в г. Надыме. Фото Р.Ю. Федорова

Fig. 3. Examples of exposed root systems of trees in the city of Nadym. Photo by R. Yu. Fedorov

оголение корневой системы возможно предотвратить лишь путем ограничения доступа посетителей парка к зеленым насаждениям и частичной подсыпки торфа¹³. В то же время наличие мерзлоты в бореальной зоне может быть благоприятно для древесных растений ввиду того, что в летнее время при сезонном протаивании грунтов мерзлотные воды увлажняют почву [9].

Важно отметить, что многие города ЯНАО расположены в местах выхода относительно легких по гранулометрическому составу почвообразующих пород различного генезиса, в том числе песков и супесей эолового и флювиального происхождения. Как отмечают Е.М. Копцева и Е.В. Абакумов, «это приводит к тому, что глубина залегания многолетнемерзлого слоя составляет не 30–60 см, а иногда превышает 100 см, что способствует формированию коренных различий в почвенном и растительном покрове урбанизированных и фоновых тундровых территорий» [12, с. 186]. Опыт озеленения городов округа показывает, что песчаные грунты существенным образом улучшают условия для произрастания деревьев. В Надыме, который относится к III растительной зоне, для основы городской застройки, формировавшейся в 1970–1980-е гг., был отведен участок, представляющий собой песчаный раздув, состоящий из талых грунтов аллювиального генезиса с вкраплением маломощных линз мерзлоты. Эта ландшафтная особенность Надыма выступила в роли благоприятного фактора для возможностей озеленения города. Благодаря дренирующим свойствам песка, в Надыме и его окрестностях весной не происходит обводнений из-за тающего снега, которые характерны для участков со сплошным распространением многолетнемерзлых пород. В условиях арктического климата на песчаных раздувах возникают возможности для произрастания некоторых не встречающихся в зоне сплошного распространения мерзлоты видов деревьев и кустарников. Таким образом, песчаные грунты нередко превращаются в своеобразные «оазисы» для растительности, окруженные мерзлотой [21].

Новые подходы к озеленению арктических городов (первая четверть XXI в.)

Формирование экономики рыночного типа существенным образом изменило организационные подходы к озеленению городов. Связанные с ним тендеры часто стали выигрывать подрядчики из других регионов, не имевшие опыта озеленения в арктическом и субарктическом климате. В последние годы для решения этих проблем большую востребованность получила разработка индивидуальных концепций развития зеленой инфраструктуры северных городов. В первые десятилетия XXI в. для озеленения городов севера Западной и Центральной Сибири все чаще используются саженцы акклиматизированных древесных и кустарниковых растений из питомников, расположенных в более южных регионах. Параллельно с этим ведутся работы по созданию и развитию местных питомников. Первым шагом в этом направлении стало создание в 1982 г. в Норильске питомника кустарниковых ив. В 2022 г. было принято решение организовать первый экспериментальный питомник хвойных насаждений на территории ЯНАО. В формировании травяного яруса арктических городов начали использоваться рулонные газоны. Эти меры, наряду с повышением доступности адаптированных для местных условий грунтосмесей

¹³ ГАСПИТО. Ф. 124. Оп. 1 Д.6882. Л. 203.

и удобрений, способствовали увеличению процента приживаемости и расширению ассортимента городской растительности [14]. В крупнейших арктических городах Западной и Центральной Сибири — Норильске и Новом Уренгое — успешно высаживаются ель сибирская, голубая ель, сибирский кедр, можжевельник, цветущие кустарниковые породы и др.¹⁴ Однако практика последних десятилетий показывает, что озеленение в этих городах продолжает носить преимущественно островной характер, ему часто не хватает единой концепции и равномерного охвата. Ввиду этих факторов развитие зеленой инфраструктуры городов, построенных в криолитозоне, в большинстве случаев отстает от проектных нормативов, заложенных для данных природно-климатических условий. К примеру, по состоянию на 2014 г. в Норильском промышленном районе на одного человека приходилось примерно 1,6 м² зеленых насаждений, что составляло лишь 25 % от принятой нормы [14]. Рекомендуемый в исследованных районах метод сохранения мерзлого состояния грунтов обязывал архитекторов и строителей придерживаться принципа компактной застройки, поэтому во многих городах не были предусмотрены большие парковые зоны. Их функции отчасти компенсировали небольшие скверы и бульвары или участки естественной растительности, сохраненные за чертой города. Исходя из этого, слабонарушенные участки древесной растительности, находящиеся за пределами городской застройки, часто являются до конца не оцененными экологическими и рекреационными ресурсами арктических городов. В процессе будущего благоустройства этих территорий важно максимальное сохранение участков естественной растительности и учет гео-криологического отклика почв на их антропогенные преобразования.

Заключение

Предпринятый на протяжении последнего десятилетия рядом исследователей анализ вегетационных индексов NDVI (Normalized Difference Vegetation Index — нормализованный разностный вегетационный индекс) городов севера Западной и Центральной Сибири дает общее представление о динамике развития их зеленой инфраструктуры. В этих исследованиях отмечается общая тенденция «позеленения» приполярных районов, расположенных в зоне тундры и лесотундры, которую чаще всего связывают с увеличением температуры воздуха и ростом высоты снежных покровов [22]. При этом индикаторы качества растительности в городах, построенных в криолитозоне, существенным образом зависят от принципов и возраста их застройки [23]. В большинстве городов ЯНАО в последние десятилетия отмечалась тенденция к тому, что такие характеристики растительности, как NDVI и высота деревьев, оказывались выше, чем на слабонарушенных фоновых территориях. Исследователи связывают эту тенденцию с такими факторами, как регулярное высаживание новых деревьев и кустарников, целенаправленный уход за зелеными насаждениями, а также наличие городских островов тепла и других благоприятных микроклиматических условий [22, 24].

¹⁴ Гунина С. Сеем, сеем, посеваем. Заполярная правда. 2012. 20 июля. URL: <https://gazetazp.ru/news/gorod/3788-seem-seem-posevaem.html> (дата обращения: 15.03.2025); Город строили — щепки летели. Как спасали деревья на будущих улицах Нового Уренгоя. Красный Север. 2024. 16 февр. URL: <https://vk.com/@ksyanao-gorod-stroili-schepki-leteli-kak-spasali-derevy-na-buduschi> (дата обращения: 15.03.2025).

В целом можно сделать вывод о том, что такие факторы, как потепление климата, активное привнесение в урбанизированную среду чужеродных растений и внедрение новых технологий благоустройства северных городов, будут способствовать росту возможностей для развития их зеленой инфраструктуры. При этом криогенные процессы и характер развития зеленой инфраструктуры в урбанизированной среде имеют высокую степень взаимообусловленности, что делает актуальным развитие в городском планировании междисциплинарных исследований на стыке геоботаники и криологии. Анализ опубликованных работ и хранящихся в архивах отчетов о НИР указывает на то, что наиболее последовательно и активно исследования взаимовлияний криогенных процессов и озеленения городов Западной и Центральной Сибири осуществлялись в 1950–1970-е гг. Современные публикации на эту тему охватывают лишь отдельные города. При этом за последние десятилетия так и не появилось новых обобщающих исследований монографического характера. Исходя из этого, сегодня важна ревизия и актуализация разработанных ранее подходов, опирающаяся на новые технические возможности геоэкологических и геоботанических исследований.

Конфликт интересов. У автора исследования нет конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках госзадания ИКЗ ТюмНЦ СО РАН № FWRZ-2021-0005.

Competing interests. Author declares no conflict of interest.

Funding. This research was supported by the state assignment of the Earth Cryosphere Institute no. № FWRZ-2021-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Amorim J.H., Engardt M., Johansson C., Ribeiro I., Sannebro M. Regulating and cultural ecosystem services of urban green infrastructure in the Nordic countries: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18:1219. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031>
2. Vilanova C., Ferran J.S., Concepción E.D. Integrating landscape ecology in urban green infrastructure planning: A multi-scale approach for sustainable development. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2024;94:128248. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128248>
3. Федоров Р.Ю. Формирование зеленой инфраструктуры как фактора устойчивого развития городов севера Западной Сибири. *Географическая среда и живые системы*. 2024;2:104–118. <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2024-2-104-118>
Fedorov R.Yu. Formation of green infrastructure as a factor of sustainable development of cities in the north of Western Siberia. *Geograficheskaya sreda i zhivye sistemy*. 2024;2:104–118. (In Russ.)
4. Zhenhai L., Chen B., Wang S., Wang Q., Chen J., Shi W., Wang X., Liu Y., Tu Y., Huang M., Wang J., Wang Z., Li H., Zhu T. The impacts of vegetation on the soil surface freezing-thawing processes at permafrost southern edge simulated by an improved process-based ecosystem model. *Ecological Modelling*. 2021;456:109663. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109663>.
5. Сосновский А.В. Математическое моделирование влияния толщины снежного покрова на деградацию мерзлоты при потеплении климата. *Криосфера Земли*. 2006;10(3):83–88.
Sosnovskij A.V. Mathematical modeling of the effect of snow cover thickness on permafrost degradation during climate warming. *Kriosfera Zemli*. 2006;10(3):83–88. (In Russ.)
6. Чугунова З.Е. Озеленение населенных мест в районах вечной мерзлоты. М.: Изд-во Мин-ва коммун. хозяйства РСФСР; 1960. 76 с.
Chugunova Z.E. *Greening of populated areas in permafrost areas*. Moscow: Izd-vo Min-va kommun. hozyajstva RSFSR; 1960. 76 p. (In Russ.)

7. Forbes B.C. Land use and climate change on the Yamal Peninsula of north-west Siberia: Some ecological and socio-economic implications. *Polar Research*. 2007;18(2):367–373. <https://doi.org/10.1111/j.1751-8369.1999.tb00316.x>
8. *Озеленение и благоустройство в городах и групповых системах расселения на Севере* / сост. Ю.Б. Хромов. М.; 1975. 66 с.
Hromov Yu.B. (ed.). *Landscaping and landscaping in cities and group settlement systems in the North*. Moscow; 1975. 66 p. (In Russ.)
9. Помазкова Е.Н. *Озеленение северных городов*. Л.: Стройиздат, 1978. 160 с.
Pomazkova E.N. *Greening of northern cities*. Leningrad: Strojizdat; 1978. 160 p. (In Russ.)
10. Сродных Т.Б. *Озеленение городов Тюменского Севера*. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет; 2011, 140 с.
Srodnykh T.B. *Greening the cities of the Tyumen North*. Ekaterinburg: Uralskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet; 2011. 140 p. (In Russ.)
11. Абакумов Е.В., Томашунас В.М., Алексеев И.И. Профили сопротивления мерзлотных почв севера Западной Сибири по данным вертикального электрического зондирования. *Почвоведение*. 2017;9:1113–1121. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17090015>
Abakumov E.V., Tomashunas V.M., Alekseev I.I. Profiles of permafrost soil resistance in the north of Western Siberia according to vertical electric sensing data. *Pochvovedenie*. 2017;9:1113–1121. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17090015> (In Russ.)
12. Копцева Е.М., Абакумов Е.В. Особенности растительного покрова некоторых населенных пунктов севера Западной Сибири. *Ботанический журнал*. 2021;106(2):177–191.
Kopceva E.M., Abakumov E.V. Features of vegetation cover of some settlements in the north of Western Siberia. *Botanicheskij zhurnal*. 2021;106(2):177–191. (In Russ.)
13. Сариев А.Х. Дернообразовательный процесс на мерзлотных почвах. *Вестник КрасГАУ*. 2016;8(119):15–21.
Sariev A.H. The sod-forming process on permafrost soils. *Vestnik KrasGAU*. 2016;8(119):15–21. (In Russ.)
14. Сариев А.Х. Проблемы озеленения г. Норильска и перспективы. *Культура. Наука. Производство*. 2021;7:32–35.
Sariev A.H. Problems of landscaping in Norilsk and prospects. *Culture. Science. Production*. 2021;7:32–35. (In Russ.)
15. Брушков А.В., Алексеев А.Г., Бадина С.В., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Жданеев О.В., Осокин А.Б., Садуртдинов М.Р., Сергеев Д.О., Федоров Р.Ю., Фролов К.Н. К вопросу о необходимости выработки целостной системы мер по предупреждению деформаций зданий и сооружений в криолитозоне в условиях меняющегося климата. *Арктика: экология и экономика*. 2024;14(4):605–616. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2024-4-605-616>
Brushkov A.V., Alekseev A.G., Badina S.V., Drozdov D.S., Dubrov V.A., Zhdaneev O.V., Osokin A.B., Sadurtdinov M.R., Sergeev D.O., Fedorov R.Yu., Frolov K.N. On the need to develop an integrated system of measures to prevent deformations of buildings and structures in the cryolithozone in a changing climate. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2024;14(4):605–616. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2024-4-605-616>. (In Russ.)
16. Чубынин Д.М. *Мой опыт растениеводства в Заполярье*. М.: Сельхозгиз; 1951. 32 с.
Chubynin D.M. *My experience of crop production in the Arctic*. Moscow: Sel'hozgiz; 1951. 32 p. (In Russ.)
17. Крылов Г.В., Салатова Н.Г. *Озеленение городов и рабочих поселков Западной Сибири: Районирование, ассортимент и опыт зеленого строительства*. Новосибирск, 1955. 56 с.
Krylov G.V, Salatova N.G. *Greening of cities and workers' settlements in Western Siberia: Zoning, assortment and experience of green construction*. Novosibirsk, 1955. 56 p. (In Russ.)

18. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В., Бадина С.В., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Железняк М.Н., Садуртдинов М.Р., Сергеев Д.О., Окунев С.Н., Остарков Н.А., Осокин А.Ю., Федоров Р.Ю. Адаптация инфраструктуры Арктики и Субарктики к изменениям температуры мерзлых грунтов. *Криосфера Земли*. 2021;25(6):3–15. <https://doi.org/10.15372/KZ20210601>
 Melnikov V.P., Osipov V.I., Brushkov A.V., Badina S.V., Drozdov D.S., Dubrovin V.A., Zheleznyak M.N., Sadurtdinov M.R., Sergeev D.O., Okunev S.N., Ostarkov N.A., Osokin A.Yu., Fedorov R.Yu. Adaptation of Arctic and Subarctic infrastructure to changes in the temperature of frozen soils. *Kriosfera Zemli*. 2021;25(6):3–15. <https://doi.org/10.15372/KZ20210601> (In Russ.)
19. Исекеев И.И., Тихановский А.Н. *Технологии озеленения городов и поселков Ямало-Ненецкого автономного округа*. Новосибирск: СО РАСХН; 1996. 24 с.
 Isekeev I.I., Tihanovskij A.N. *Technologies of greening cities and towns of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug*. Novosibirsk: SO RASKHN; 1996. 24 p. (In Russ.)
20. Дадыкин В.П. *Особенности поведения растений на холодных почвах*. М.: Изд-во АН СССР; 1952. 279 с.
 Dadykin V.P. *Features of plant behavior on cold soils*. Moscow: Izd-vo Akad. nauk SSSR; 1952. 279 p. (In Russ.)
21. Kuklina V., Sizov O., Fedorov R., Butakov D. Dealing with sand in the Arctic city of Nadym. *Ambio*. 2023;52:1198–1210. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01868-7>
22. Тигеев А.А., Московченко Д.В., Фахретдинов А.В. Современная динамика природной и антропогенной растительности зоны предтундровых лесов Западной Сибири по данным вегетационного индекса. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2021;18(4):166–177. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-4-166-177>
 Tigeev A.A., Moskovchenko D.V., Fahretdinov A.V. Modern dynamics of natural and anthropogenic vegetation in the pre-tundra forests of Western Siberia according to the vegetation index. *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2021;18(4):166–177. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-4-166-177> (In Russ.)
23. Esau I., Miles V.V., Davy R., Miles M.W., Kurchatova A. Trends in normalized difference vegetation index (NDVI) associated with urban development in northern West Siberia. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2016;16:9563–9577. <https://doi.org/10.5194/acp-16-9563-2016>
24. Fedorov R., Kuklina V., Sizov O., Soromotin A., Lobanov A., Prikodko N., Pechkin A., Krasnenko A., Esau I. Zooming in on Arctic Urban Nature: Green and Blue Space in Nadym, Siberia. *Environmental Research Letters*. 2021;16: 075009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac0fa3>