

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Научная статья



УДК/UDC 725.1:656.6(211-17)

DOI: 10.24412/1998-4839-2025-2-169-191

EDN: MVRZQU

Принципы формирования арктической архитектуры на примере портовой инфраструктуры

Инга Константиновна Глушкина¹

Центральный научно-исследовательский и проектный институт министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации («ЦНИИП Минстроя России»), Москва, Россия
glushkina_inga@mail.ru

Аннотация. В статье выполнен анализ ключевых факторов формирования арктической архитектуры: природно-климатических, логистических, технологических, антропогенных, психофизиологических и социальных. Обозначенные факторы оказывают непосредственное или опосредованное влияние на деятельность человека в арктических условиях и предъявляющих повышенные требования к использованию инновационных конструктивных решений и адаптированных технологий. Автором выявлены семь принципов формирования арктической портовой архитектуры, которые нацелены на решение специфических задач в концепции перспективного устойчивого развития – обеспечения эксплуатационной простоты, снижения ресурсозатрат, минимизации негативного антропогенного воздействия на окружающую среду и создание комфортных условий для человека. Консолидация новых и традиционных подходов в портовом архитектурном проектировании нацелена на решение ключевых стратегических задач по освоению Арктики и развитию Северного морского пути.

Ключевые слова: арктическая портовая архитектура, порты Северного морского пути, природно-климатические условия и логистические факторы, принцип природно-климатического формообразования, компактность, модульность, многофункциональность, устойчивое развитие

Для цитирования: Глушкина И.К. Принципы формирования арктической архитектуры на примере портовой инфраструктуры // Architecture and Modern Information Technologies. 2025. №2(71). С. 169-191. URL: https://marhi.ru/AMIT/2025/2kvart25/PDF/11_glushkina.pdf
DOI: 10.24412/1998-4839-2025-2-169-191 EDN: MVRZQU

ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Original article

Principles of Arctic architecture formation: the case of port infrastructure

Inga K. Glushkina¹

Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation («TSNIIP of the Ministry of Construction of Russia»), Moscow, Russia
glushkina_inga@mail.ru

Abstract. The article analyzes key factors influencing the formation of Arctic architecture, including environmental, logistical, technological, anthropogenic, psychophysiological, and

¹ © Глушкина И.К., 2025

social aspects. These factors directly or indirectly affect human activity in Arctic conditions and impose increased demands on the use of innovative structural solutions and adapted technologies. The author identifies seven principles for shaping Arctic port architecture aimed at addressing specific challenges within the framework of sustainable development: ensuring operational simplicity, reducing resource consumption, minimizing negative environmental impact, and creating comfortable living and working conditions. The integration of new and traditional approaches in port architectural design is directed toward addressing strategic objectives in Arctic development and the advancement of the Northern Sea Route.

Keywords: Arctic port architecture, ports of the Northern Sea Route, environmental and logistical factors, climate-responsive design principle, compactness, modularity, multifunctionality, sustainable development

For citation: Glushkina I.K. Principles of Arctic architecture formation: the case of port infrastructure. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2025, no. 2(71), pp. 169-191. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2025/2kvart25/PDF/11_glushkina.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2025-2-169-191 EDN: MVRZQU

Введение. Значение Северного морского транспортного коридора и портов Северного морского пути

Северный морской путь (Севморпуть, СМП) является ядром Северного морского транспортного коридора (СМТК) – российского стратегического проекта и глобального логистического моста между Европой и Азией. Развитие СМП в настоящее время имеет важное значение в условиях прямых экономических выгод от эксплуатации коммерческого транспортного коридора для перевалки грузов и осуществления международного грузового транзита [1]. В течение последних лет внешнеполитические факторы подняли на новый уровень вопрос освоения арктических территорий, обеспечения их снабжения и «северных» поставок. В этой связи активизация эксплуатации СМП является безусловным инструментом расширения российского присутствия в Арктике, освоения ресурсного потенциала и обеспечения экономической стабильности и безопасности региона в целом. Базисные порты СМП – Мурманск, Кандалакша, Архангельск, Находка и Владивосток – включены в разветвленную железнодорожную транспортную сеть страны; остальные порты выполняют либо локальную функцию, либо соединены с глубинными территориями посредством меридионально текущих великих сибирских рек. Арктические опорные порты СМП (рис. 1) выступают опорными точками транспортного коридора и играют важнейшую роль в пространственном развитии арктических территорий. Расширение присутствия в арктическом регионе, включая активизацию производительных сил и наращивание экономического потенциала, зафиксировано в ключевых стратегических документах: Стратегии развития Арктической зоны до 2035 года², Программе социально-экономического развития Арктики³ и Морской доктрине⁴.

Карта Севморпути охватывает более 70 портов и перевалочных баз, большинство из которых находится в арктической и приполярной зонах. Росморречфлот⁵ делит арктическую акваторию на западную и восточную зоны по ответственности между двумя

² Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. Утверждена Указом Президента РФ 20.10.2020 г. № 645. URL: http://www.scrf.gov.ru/security/economic/Arctic_strategy (дата обращения: 18.02.2025).

³ Государственная программа Российской Федерации «Социально-экономическое Развитие Арктической зоны Российской Федерации». Утверждена постановлением Правительства РФ от 30 марта 2021 г. № 484. URL: <http://government.ru/docs/all/133682> (дата обращения: 18.02.2025).

⁴ Морская доктрина Российской Федерации Утверждена Указом Президента РФ 31.07.2022 г. № 512. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/48215> (дата обращения: 18.02.2025).

⁵ Федеральное агентство морского и речного транспорта Министерства транспорта Российской Федерации (Росморречфлот). URL: <https://morflot.gov.ru> (дата обращения: 18.02.2025).

администрациями морских портов (рис. 2). В западную зону⁶ входят: Архангельск, Варандей, Витино, Диксон, Дудинка, Кандалакша, Мезень, Мурманск, Нарьян-Мар, Онега, Сабетта, Хатанга; в восточную⁷: Анадырь, Беринговский, Владивосток, Восточный, Зарубино, Находка, Ольга, Певек, Посьет, Providения, Тикси, Эгвекинот. Порты западной Арктической зоны (кроме Дудинки, Нарьян-Мара и Хатанги) имеют круглогодичную навигацию и обслуживают перевалку минеральных ископаемых и углеводородов. За исключением Мурманска и Кандалакши, порты западной Арктической зоны имеют значительные ограничения по заходу и обслуживанию крупнотоннажных судов. Порты восточной Арктической зоны, большей частью расположенные в отдаленных районах, не имеющих сухопутных транспортных коммуникаций с основными транспортными артериями страны, выполняют функцию снабжения близлежащих территорий и перевалки грузов. Основное развитие эти порты получили в сороковые-пятидесятые годы прошлого века для решения военно-стратегических задач. За исключением приморских портов, они не имеют круглогодичной навигации. Для портов восточной зоны характерны круглогодичные низкие температуры, сложная ледовая обстановка и необходимость ледокольного обеспечения.

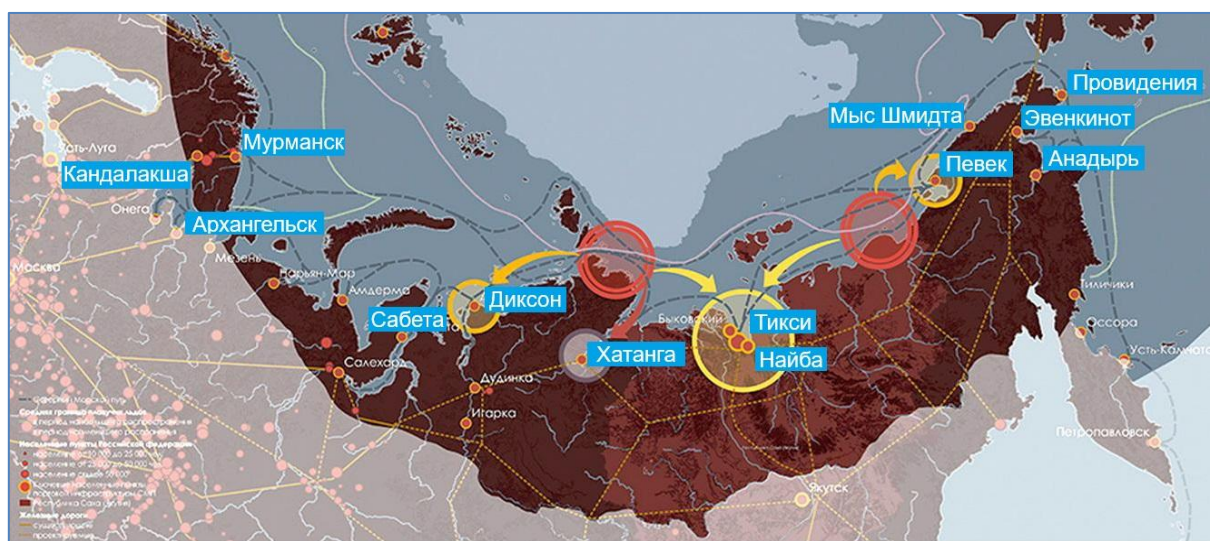


Рис. 1. Опорные порты Северного морского пути



Рис. 2. Порты западной и восточной арктических зон, карта

В целях обслуживания СМП порты восточной Арктической зоны нуждаются в проведении мероприятий по реконструкции и модернизации. Такая модернизация должна быть направлена на: обеспечение возможности круглогодичной эксплуатации портов; предоставление ледокольного обеспечения; организацию аварийно-спасательного

⁶ ФГБУ Администрация морских портов Западной Арктики.

⁷ ФГБУ Администрация морских портов Приморского края и Восточной Арктики.

обеспечения в радиусе до 200 морских миль. Дополнительно целесообразно расширить возможности портов по обработке и хранению международных транзитных грузов (включая аварийное хранение), а также бункеровке, снабжению и обслуживанию судов. Приморские порты, специализировавшиеся в советское время на накоплении и обработке грузов для «северного завоза», а также выполнявшие мультимодальную логистическую функцию обработки всех типов грузов, в полной мере могут выполнять роль ключевых опорных хабов для обеспечения каботажных и международных грузоперевозок по СМП.

Современное состояние большинства арктических портов характеризуется высоким износом инфраструктуры и сооружений, требующим модернизации. Сохраняется необходимость повышения качества и уровня жизни населения арктического макрорегиона и совершенствования социальной инфраструктуры [3]. Выполнение стратегических задач развития СМП и освоения Арктики требует реконструкции существующих портовых объектов и строительства новых портов [4]. В данной работе рассмотрены ключевые факторы и подходы к формированию специализированной арктической портовой архитектуры с учетом возможностей внедрения новых устойчивых технологий.

Факторы, формирующие архитектуру портовых объектов в полярных регионах

Архитектурное проектирование портовых зданий и сооружений в полярных регионах предъявляет повышенные требования к использованию инновационных конструктивных решений и адаптированных технологий, учитывающих экстремальные климатические условия, сложную ледовую обстановку и необходимость минимизации экологического воздействия. Ключевыми факторами, формирующими архитектуру портовых объектов в полярных регионах, является совокупность явлений различного характера, оказывающих непосредственное или опосредованное влияние на деятельность человека в арктических условиях.

В основе формирования арктической архитектуры лежит интеграция функциональных, технологических и природных факторов, среди которых: а) природно-климатические факторы; б) логистические факторы; в) строительные факторы; г) антропогенные факторы; д) психофизиологические и социальные факторы. Специфика арктического региона делает все обозначенные факторы равнозначными, ни одним из которых нельзя пренебрегать. Арктическая зона, в силу значительной географической протяженности, сама по себе не обладает однородными условиями, но их дисперсия внутри арктической зоны сравнительно невелика по отношению к значительным отличиям от других географических и климатических регионов. Требования к архитектуре и проектированию зданий и сооружений портовой инфраструктуры транспортного каркаса арктического региона с учетом градации по подзонам также базируются на фундаментальных принципах строительной климатологии и учтены в СП 131.13330.2011.

Природно-климатические факторы. За полярным кругом находятся порты: Варандей, Витино, Дудинка, Кандалакша, Мурманск, Нарьян-Мар, Певек, Сабетта, Тикси, Хатанга и Эгвекино. Высокая широтность и арктический климат являются ключевыми факторами в формировании условий жизни и строительства в Заполярье. Недостаток солнечного излучения, обеспечивающего малый нагрев поверхности из-за малых углов падения светового потока, способствует формированию климатических условий с продолжительной зимой и высокой преобладающей облачностью. Явление фотопериодизма – белые ночи, полярный день и полярная ночь, длительность которых варьируется в зависимости от широты⁸. Так в порту Диксон полярная ночь длится 80 суток, в Тикси – 67 суток, в Певеке – 50 суток, в Дудинке – 45 суток, в Мурманске –

⁸ На широтах до 72.33'N в полдень наблюдается значительное просветление без восхода солнца; между 72.33'N и 78.33'N искусственное освещение необходимо в течение всех суток, хотя в полдень наблюдается сумеречное просветление, севернее 78.33'N полярная ночь проходит без просветлений.

40 суток, в Нарьян-Маре – 25. Для Арктики характерны частые магнитные бури, сильные ветры и метели, плотные туманы, затяжные ветры с абразивным воздействием снежной крошки, высокие снеговые нагрузки и снегоперенос. Среднегодовые температуры в регионе варьируются от +5°C до -2,9°C⁹, а зимой могут достигать температур ниже -60°C. Лето короткое, но возможны потепления до +20°C, что создаёт резкие температурные контрасты. Значительное влияние оказывает ветер, достигающий 7-9 м/с, увеличивая эффект охлаждения. Игнорирование климатических факторов на стадии первоначального проектирования может привести к разрушению зданий и аварийным ситуациям [5].

Логистические факторы. Территориальная удаленность и сложности доставки грузов, материалов, техники и рабочей силы – оказывают значительное влияние на любое строительство в Арктике. Транспортно-логистическая инфраструктура региона определяет принципиальную возможность, доступность и стоимость освоения территорий. Арктическая зона относится к логистически малоразвитым территориям ввиду недостатка или отсутствия автомобильных дорог с покрытием, а железнодорожное сообщение есть только в Мурманске, Кандалакше и Архангельске.

Перемещение грузов и материальных запасов вглубь территорий от арктических портов осуществляется либо в летний период по рекам, либо зимой – по ледовым трассам, зимникам. Такие логистические условия значительно влияют и на затратность строительства, и на сроки реализации проектов. В структуре себестоимости в пределах Арктической зоны транспортные расходы могут достигать 60% (среднее значение по РФ составляет 10-15%). Функционирование экономической системы большей части арктического региона, а также обеспечение жизнедеятельности его населения находятся в критической зависимости от сезонных поставок энергоресурсов, продовольствия и промышленной продукции – «северного завоза», осуществляемых по маршруту Северного морского пути в строго ограниченные временные рамки полярной навигации. Суровые климатические условия диктуют необходимость создания в арктических городах и поселениях автономных систем резервирования ресурсов и механизмов страхования критически значимых поставок.

Технологические факторы. Арктические условия представляют собой совокупность требований, определяющих выбор строительных технологий, материалов, методов проектирования и организации строительного процесса. Технологические факторы формируются под влиянием экстремального климата, особенностей грунтов, ограниченной доступности материальных ресурсов и логистической специфики.

подавляющее большинство северных портов СМП расположены в криолитозоне (зоне вечной мерзлоты); порты Мурманск, Кандалакша и Архангельск – в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород (ММП или ММГ). Строительство в условиях ММП предъявляет целый комплекс требований к архитектурному проектированию зданий и сооружений. На свободу выбора архитектурных форм в арктическом строительстве существенное влияние оказывает необходимость применения специальных фундаментных конструкций для ММГ¹⁰. Многолетнемерзлые дисперсные грунты, включающие песчаники, галечники и глинистые отложения, в условиях термического воздействия при проведении работ и при эксплуатации сооружений проявляют нестабильные механические свойства. Возведение зданий на криогенных грунтах,

⁹ По данным отчета Арктического и антарктического научно-исследовательского института, URL: <https://www.aari.ru/press-center/news/nauka/srednyaya-temperatura-vozdukh-v-arktike-v-2021-godu-prevysila-normu-na-2,9%C2%B0s> (дата обращения: 27.04.2025).

¹⁰ Нормативные требования: СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» – правила проектирования; СП 497.1325800.2020 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Правила эксплуатации»; СП 498.1325800.2020 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Требования к инженерной подготовке территории»; СП 496.1325800.2020 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Правила производства работ».

подверженных постоянным структурным трансформациям, предъявляет дополнительные инженерные требования, в том числе по снижению теплового влияния возведенных конструкций и исключению деградации мерзлого основания.

Экстремальные природно-климатические условия оказывают влияние не только на конструктивные характеристики сооружений, но и на все стадии строительного процесса, включая логистику строительных материалов и создание необходимых условий для деятельности строителей. Короткое окно «северного завоза» зачастую формирует график ввода объектов в эксплуатацию. Жесткие климатические условия, характеризующиеся низкими температурами, способствуют увеличению затрат на отопление, сокращают производственные показатели при проведении наружных работ и в ряде случаев делают их выполнение невозможным.

Антропогенные факторы. Антропогенные нагрузки на арктическую зону должны рассматриваться как один из ключевых факторов при арктическом строительстве. Хозяйственная деятельность человека оказывает не меньшее воздействие на ММГ, чем глобальные климатические изменения, тем самым формируя дополнительные риски для инфраструктуры. При оттаивании ММГ здания и дороги подвергаются деформации, вплоть до разрушения. Тепловое загрязнение и выбросы парниковых газов ускоряют деградацию ММГ, усиливая негативное воздействие на строительные объекты. В арктической зоне, в условиях экстремально низких температур, дефицита солнечного света, плодородных почв и иных биологических факторов, сформировались крайне хрупкие экосистемы и природные биобалансы, подверженные негативному антропогенному воздействию. Так, например, воздействие тяжелой гусеничной техники приводит к фактически непоправимой деградации верхнего слоя почвы в тундровых районах [6].

Психофизиологические и социальные факторы. Особенности полярного климата в целом негативно сказываются на психологическом и физиологическом здоровье людей и могут усугублять влияние производственных факторов [7]. Исследователи выявили зависимость динамики иммунных, эндокринных и метаболических показателей организма от продолжительности светового дня в северных регионах [8], особенностей солнечного облучения и световых ритмов [9]. Возникающему в таких условиях десинхронозу исследователи отводят одну из важнейших ролей в развитии механизмов синдрома полярного напряжения [10]. Медицинские проблемы работников в полярных регионах разнообразны, но предметом рассмотрения данного исследования являются те, которые возможно компенсировать архитектурными решениями. Рассматриваемые психофизиологические и социальные факторы, оказывающие влияние на человеческий организм, в нашем понимании, оказывают прямое воздействие на формирование арктической архитектуры [11]. Исследователи приводят широкий круг характерных для человека «полярных» заболеваний, среди них: а) «циркумполярный гипоксический синдром» (дыхательная недостаточность и гипертония); б) «синдром полярного напряжения» (повышение уровня гормонов стресса, возникновение полярного метаболизма, астенизация, повышенная утомляемость, нарушение сна) [11]; в) «северная капиллярно-трофическая недостаточность»; г) нарушение выделительных процессов; д) иммунорезистентность и электролитный гомеостаз; е) полиэндокринные расстройства; ж) психоэмоциональные напряжения [13]. Нарушения в работе человеческого организма вызываются комплексом природно-климатических факторов, условно разделяемых по воздействию на физиологические и психологические. Ряд факторов оказывает воздействие как на физиологию, так и на психику.

Принципы и приёмы формирования арктической портовой архитектуры

Принципы проектирования портов, зданий и сооружений для полярных регионов разрабатываются с учетом экстремальных природно-климатических условий. Каждый из описываемых принципов сформулирован в качестве ответа на факторы, формирующие архитектуру портовых объектов в полярных регионах, и нацелен на решение задач в

концепции перспективного устойчивого развития: обеспечение простоты эксплуатации объектов, снижение ресурсозатрат, минимизация негативного антропогенного воздействия на окружающую среду и создание комфортных условий для человека.

Проведение анализа портовых объектов Арктики второй половины XX и начала XXI столетия позволил выявить и систематизировать ряд ключевых архитектурных решений и методов адаптации к сложным условиям, на основе которых автором сформулированы семь базовых принципов проектирования архитектурных объектов инфраструктуры портов и терминалов Северного морского пути: а) принцип природно-климатического формообразования архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики; б) принцип компактности и взаимосвязей архитектурных объектов; в) принцип адаптивности и адаптивного освоения территорий портовой инфраструктуры в условиях Арктики; г) принцип устойчивости архитектурных объектов; д) принцип технологичности архитектурных объектов; е) принцип архитектурной выразительности архитектурных объектов; ж) принцип multifunctionality архитектурных объектов.

Принцип природно-климатического формообразования архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики. Суровые условия арктической зоны задают особые рамки в области архитектурного проектирования, где формообразование играет ключевую роль для реализации архитектурных, планировочных и проектировочных решений, минимизирующих воздействие факторов внешней среды. Этот принцип базируется на адаптации архитектурных объектов портовой архитектуры к экстремальным условиям Крайнего Севера и Арктики, включая низкие температуры, сильные ветры, продолжительные периоды полярной ночи и дня, высокие снеговые нагрузки, а также специфику строительства на вечной мерзлоте.

Принцип природно-климатического формообразования подразумевает использование оптимизации формы и аэродинамических характеристик, биомиметический подход в архитектуре, тепловую стратификацию и энергетическую эффективность, компенсацию физико-биологических условий, ветровую защиту. Здесь необходимо выделить два концептуальных подхода: архитектура экстремальных сред и нордификация. Архитектура экстремальных сред базируется на принципах замкнутой автономности и формирует изолированную среду обитания, нацеленную на минимизацию потерь жизненно важных ресурсов (тепла, воздуха, энергии). Нордификация заключается в максимальной адаптации существующих конструктивных и архитектурных решений к арктическим условиям.

Рассматривая принцип формообразования арктической архитектуры, необходимо отметить, что оптимальной формой для распределения и сохранения тепла является сфера. В то же время, в условиях земной гравитации человек привык существовать и хозяйствовать на плоской, ровной (выровненной) поверхности. В этом отношении традиционное эскимосское жилище – иглу – представляет собой естественный сплав формы и функции сохранения тепла и противостояния внешним условиям. Следуя принципам архитектуры экстремальных сред, использование таких форм, как сфера, полусфера и купол, позволит создать максимально устойчивые пространства. В то же время сфера и купол, являясь аэродинамически выгодными, не являются аэродинамически совершенными при размещении на поверхности. Использование форм, таких как веретено, двояковыпуклая линза и конус Рёло, позволяет сформировать объекты, наименее подверженные влиянию ветра и близкие к идеальной форме сохранения тепловой энергии. Использование геометрических форм, таких как куб, призма и пирамида, позволяет создать привычный внутренний складской объем, кроме того, плоские формы стен представляются более простыми и технологичными (дешевыми) в строительстве. В рамках нордификационного подхода рассматривается практика адаптации «строительно-простых» форм посредством скругления углов и создания гибридных форм и конструкций.

В портовой арктической архитектуре принцип природно-климатического формообразования прежде всего применим к административно-функциональным зданиям. Снижение теплопотерь и негативного влияния окружающей среды призвано создать максимально комфортные и безопасные условия труда.

Для терминалов, причальных сооружений и складских комплексов нордификация форм способствует минимизации снегообразования и снежных заносов, что облегчает эксплуатацию и техническое обслуживание, повышает надежность и безопасность эксплуатации портов, а также снижает текущие затраты (рис. 3).

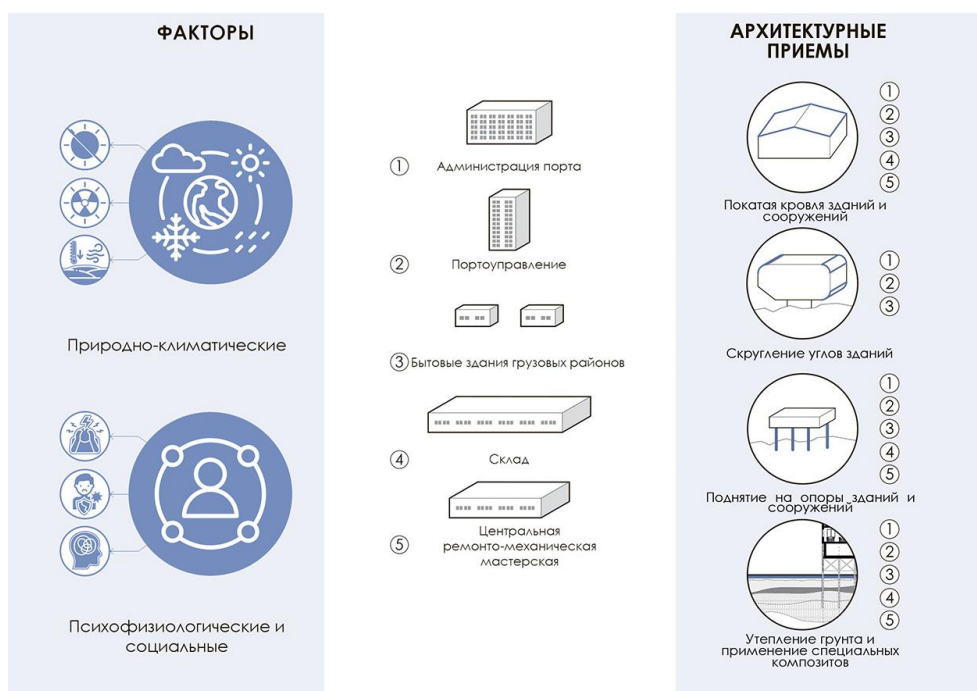


Рис. 3. Принцип природно-климатического формообразования архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики

Принцип компактности и взаимосвязи архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики. Минимизация ресурсных затрат при возведении сооружений, ресурсосбережение при нагреве внутренних объемов строений, снижение теплопотерь – все эти факторы определяют уже традиционную для Арктики рачительность в архитектуре и строительстве. Компактные формы обеспечивают снижение воздействия ветровых нагрузок, способствуя уменьшению турбулентности и улучшению аэродинамических характеристик сооружений. Согласно исследованиям Б.М. Полуя, пространственная компактность во многом определяет не только функциональную целесообразность, но и типологические, а также художественно-эстетические характеристики зданий в условиях сурового климата [14]. В этом контексте коэффициент компактности, представляющий собой отношение общей площади наружных ограждающих конструкций к отапливаемому внутреннему объёму, выступает важным параметром при проектировании. Рост показателя ведет к увеличению удельных теплопотерь и, следовательно, увеличению ресурсопотребления. Снижению энергопотерь также способствует организация многоступенчатых «шлюзовых» зон для сообщения с внешней средой и переходных, изолированных от внешней среды зон между обитаемыми объектами, обеспечивающая комфортные условия эксплуатации [15].

Компактное функционально-пространственное размещение объектов относительно друг друга также направлено на снижение затрат, в том числе на прокладку коммуникаций. Кроме того, компактное размещение строений способствует повышению безопасности

жизнедеятельности человека в экстремальных условиях внешней среды, таких как снежный буран и др.

Для арктических портов компактная группировка административно-бытовых зданий, складов и инженерных сооружений, соединяемых защищенными крытыми переходами, представляется наиболее рациональной схемой дальнейшего архитектурного развития (рис. 4).

Современные архитектурные тенденции основываются на внедрении новых технологий и природных элементов для создания комфортной среды, ориентированной на человека, что подчеркивает Г.В. Есаулов [16]. В контексте северной архитектуры, по мнению Н.А. Сапрыкиной, приоритетом становится безопасность в экстремальных условиях, что требует новых строительных решений и инновационных подходов к формообразованию [17].

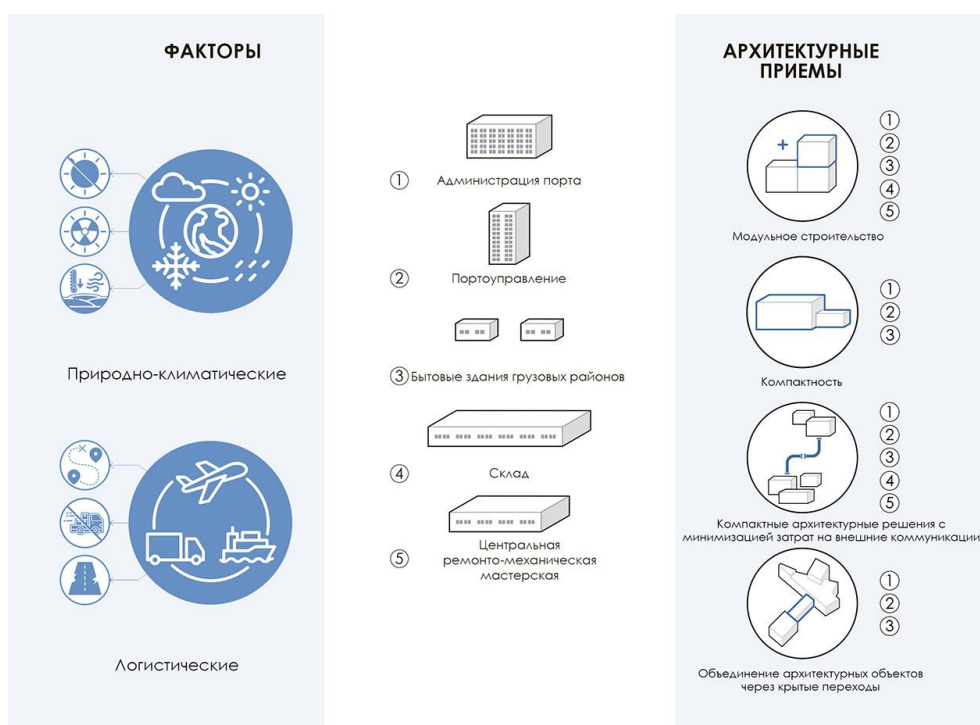


Рис. 4. Принцип компактности и взаимосвязи архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики

Принцип адаптивного освоения территорий архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики. Данный принцип базируется на функциональном зонировании пространства для выполнения технологических процессов в условиях компактного размещения объектов. Применение инструментов концептуальной и функциональной адресности требует согласованности архитектуры и концептуального пространства, обобщая применение принципов, обозначенных на предыдущих уровнях. Такой подход подразумевает комплексное изучение сферы идей и представлений о данном месте с последующей разработкой наиболее рациональной концепции. Использование преимущественных факторов рельефа и местности в целях выполнения функциональной задачи также входит в рассмотренный принцип.

В концепции экологической устойчивости формообразование адаптивных арктических объектов базируется на принципе адаптации к природному окружению с минимальным вмешательством в экосистему. В условиях высокой экологической чувствительности северных широт архитектура интегрирует морфологические особенности окружающей

среды, заимствуя обтекаемые очертания снежных наносов, айсбергов и характерных элементов рельефа.

Применительно к портам Арктики адаптивное освоение подразумевает выбор площадок с учетом минимального воздействия на вечную мерзлоту и использование естественного рельефа для размещения причалов и инфраструктуры. Использование принципа адаптивного освоения территорий направлено на сокращение затрат и ресурсов при строительстве портовых объектов, а также на минимизацию антропогенных нагрузок, вмешательства в хрупкие экосистемы прибрежных зон и снижение рисков деградации многолетнемерзлых грунтов в процессе эксплуатации портов. Особенно важным является соблюдение данного принципа при проектировании причальных сооружений, дорог, подъездных путей, технических площадок и инженерных сетей (рис. 5).

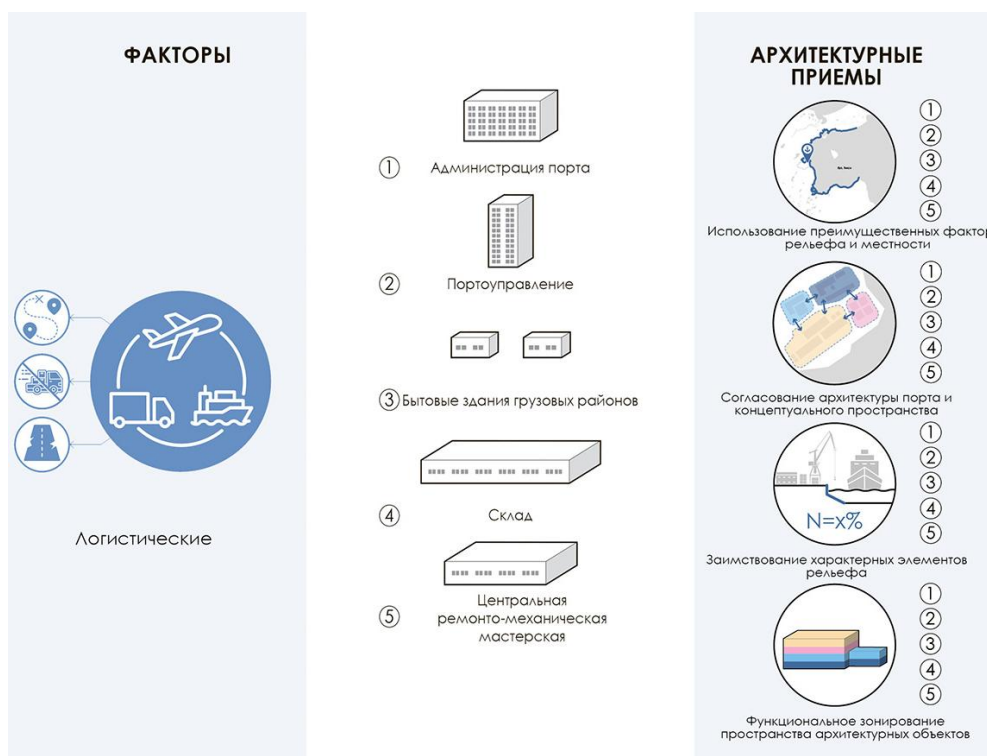


Рис. 5. Принцип адаптивного освоения территорий портовой инфраструктуры в условиях Арктики

Принцип устойчивости архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики. Один из ключевых векторов развития строительства в условиях Крайнего Севера заключается в активном внедрении передовых технологий и инновационных материалов. Их использование способствует ускорению строительных процессов, снижению расходов на транспортировку строительных ресурсов, а также повышению эксплуатационных характеристик возводимых объектов. В частности, применение модульных конструкций, созданных с применением современных технологических решений, позволяет существенно оптимизировать процесс возведения зданий в суровых северных условиях.

Дополнительно важным направлением является внедрение экологически безопасных материалов и технологий. Учитывая специфику экстремального климата, способного оказывать негативное воздействие на окружающую среду, строительство в данном регионе должно базироваться на принципах экологической безопасности и устойчивого развития. «Устойчивость» ставится Н.Е. Зайцевым во главу угла перспективных архитектурных концепций арктических портов [18]. Это направление часто связано с внедрением различного рода «зеленых технологий» и снижением выбросов. В

классическом понимании модель «устойчивого развития» предполагает минимизацию используемых при строительстве дефицитных ресурсов, а также максимальное снижение эксплуатационного потребления энергоресурсов и материалов, в том числе за счет применения технологий замкнутого цикла. Режим ресурсоэкономии на всех стадиях жизненного цикла зданий и архитектурных сооружений полностью отвечает суровым условиям арктического расположения портов СМП с учетом ограниченных логистических возможностей снабжения.

Для портовой инфраструктуры Арктики использование принципа устойчивости реализуется через активное внедрение экологически безопасных материалов, приспособленных к суровым климатическим и эксплуатационным нагрузкам. Внедрение современных материалов направлено на обеспечение долговечности и снижение воздействия на окружающую среду. Среди ключевых объектов, в рамках повышения их устойчивости, мы рассматриваем здания временного и постоянного проживания, административные комплексы, технические и складские сооружения (рис. 6).

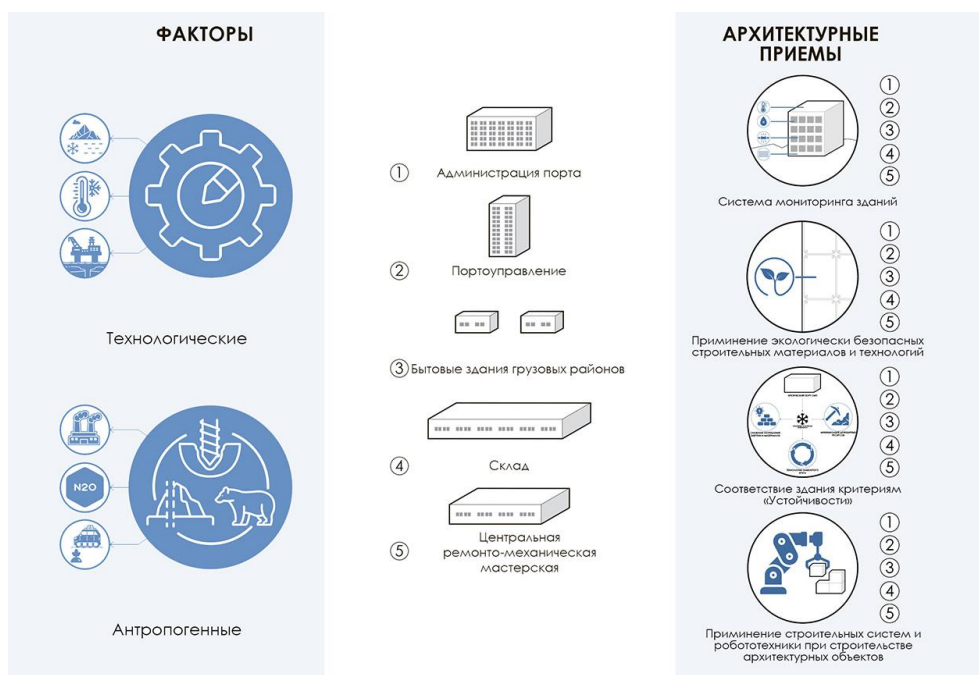


Рис. 6. Принцип устойчивости архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики

Принцип технологичности архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики. Данный принцип основан на выборе и использовании оптимальных технологических решений применительно к объектам арктической портовой архитектуры. В рамках описанных выше природно-климатических и технологических факторов для строительства на ММГ требуется применение определенных технологических решений. Применение свайных фундаментов в текущем моменте представляется оптимальным с точки зрения обеспечения устойчивости конструкций и снижения деформационных нагрузок при колебаниях грунтовой основы [19]. Для зданий и сооружений большой площади применимо использование пространственных несущих ферм с опорой на свайный фундамент. Портовая акватория испытывает давление ледяных масс и плавучих льдов, что также требует специальных решений по защите конструкций от низких температур, льда и обледенения. Проектирование причальных линий, свайных фундаментов и береговых сооружений ведётся с учётом промерзания грунтов, ветровых нагрузок и дрейфа льда.

При проектировании на ММГ толщиной свыше 10 метров подполье выполняется свободно продуваемым, а строение поднимается на опорах на высоту снежного покрова в целях предотвращения оттаивания грунта от теплопотерь строений. Для ММГ толщиной менее 10 метров (слабомерзлые грунты) и зон деградации ММП¹¹ требуется проведение оттаивания и укрепления грунтов под котлован. Для временных и мобильных сооружений и конструкций могут использоваться насыпные подушки в качестве основания. Среди предлагаемых инновационных решений также можно отметить фундаментные конструкции с функцией теплового насоса [20], которые в отдельных случаях могут успешно конкурировать с вентилируемо-свайными конструкциями.

Широкое применение инноваций, новых материалов и комплексных решений в арктическом проектировании и строительстве должно базироваться на принципах устойчивого развития в тесной увязке с ресурсосбережением и экологичностью в целях расширения освоения Арктики [21]. Устойчивость и ресурсосбережение требуют реализации концепции снижения тепловых потерь, что может быть достигнуто за счет формообразования (снижение ветровых нагрузок, уменьшение коэффициента пространственной компактности, аэродинамическая обоснованность форм, минимизация проемов, включение шлюзов и переходов) и с помощью внедрения новейших технологий и материалов (усиление теплоизоляционных свойств, снижение светоотражения, пассивный нагрев).

Внедрение модульных технологий строительства – перспективное направление. Монтаж модулей заводского изготовления позволяет кратно сократить сроки сдачи объектов и трудозатраты, связанные с работой в северных условиях. Кроме того, значительно расширяется временное окно для выполнения монтажных работ [22]. Быстровозводимые модульные конструкции давно и широко используются при освоении Арктики как для застройки временных строительных городков, так и для строительства жилых, административных, социальных и портовых объектов долговременного использования, а также различных функциональных сооружений и объектов инфраструктуры. Модульные конструкции позволяют не только строить функциональные здания, но и формировать сложные архитектурные ансамбли, учитывающие индивидуальные требования специализации порта.

Модульные сооружения, обладающие высокой устойчивостью к экстремальным эксплуатационным нагрузкам, уже хорошо зарекомендовали себя в Арктике. Задача архитекторов — поиск новых оптимальных форм и сочетаний, отвечающих не только функциональным требованиям, но и обладающих высокими архитектурными качествами в рамках концепции устойчивости, а также способствующих формированию уникального гармоничного облика в хрупкой арктической экосреде.

Для обеспечения надежности инженерных систем и коммуникаций применяются надземные трубопроводы на опорах, греющие кабели в системах водоснабжения, многозонное отопление с рекуперацией тепла и автономные источники энергии, включая ветрогенераторы и солнечные панели. Все эти решения в совокупности обеспечивают устойчивость, энергоэффективность и долговечность зданий в условиях Арктики.

Применительно к объектам портовой арктической архитектуры принцип технологичности наиболее важен для следующих групп: свайные фундаменты, причальные линии, коммуникации и инженерные сети, трубопроводы, электросети. Важно обеспечить максимальную надежность и гарантировать устойчивость конструкций в условиях вечной мерзлоты, высоких снеговых и ледовых нагрузок, чтобы снизить риски аварийных ситуаций, упростить обслуживание и увеличить сроки эксплуатации

¹¹ Вопросам, связанным с таянием вечной мерзлоты, была посвящена отдельная секция «Как строить и эксплуатировать на многолетней мерзлоте» в рамках II Форума «Арктика – Регионы».

Среди приемов для реализации принципа технологичности также необходимо выделить внедрение системы мониторинга зданий для следующих групп объектов: административные комплексы, технические сооружения, склады, портовые терминалы, причальные конструкции. Автоматизированное отслеживание состояния зданий и конструкций (температуры, влажности, деформации, повреждений) позволяет оперативно реагировать на риски, предотвращать аварии, сокращать расходы на ремонт и обслуживание и обеспечивать безопасность персонала и сохранность грузов в сложных арктических условиях (рис. 7).

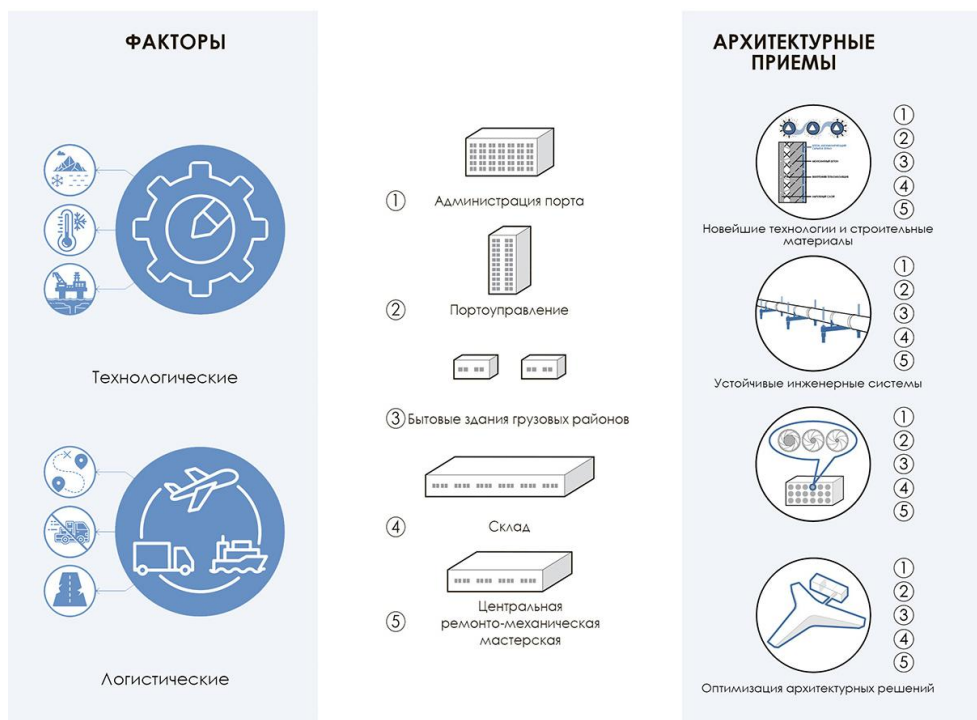


Рис. 7. Принцип технологичности архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики

Другим приемом является широкое применение так называемых умных материалов для причальных и складских сооружений, ограждающих конструкций зданий, покрытий причалов, элементов инфраструктуры. К таким умным материалам с возможностью адаптации к внешним условиям относят самовосстанавливающиеся покрытия, теплоизоляцию с изменяющимися свойствами, антиобледенительные покрытия. Их широкое внедрение нацелено на существенное увеличение сроков службы портовых объектов, снижение затрат на техническое обслуживание и эксплуатацию, а также минимизацию воздействия экстремальных климатических факторов, таких как сильный мороз, ветер и обледенение.

Активное внедрение модульных конструкций нацелено на сокращение сроков строительства и монтажа, снижение ремонтных затрат, возможности оперативной модернизации портовых сооружений и их адаптации к изменяющимся требованиям, условиям и грузопотокам

Принцип архитектурной выразительности архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики, помимо описанных выше объемно-планировочных решений, являющихся основополагающими в формировании архитектурной выразительности, заключается также в использовании цвета и света в арктической архитектуре портов и терминалов. Ахроматический пустынный ландшафт полярных регионов снижает возможности ориентации в пространстве и пагубно воздействует на психофизическое состояние. Использование цветовой и

цветоконтрастной палитры призвано выполнять две основные функции: а) способствовать лучшей видимости объектов в сложных погодных условиях; б) способствовать психологическому комфорту, тем самым облегчая работу персонала и рабочих порта. Кроме того, контрастное цветовое оформление необходимо для движущихся элементов (кранов, кран-балок, каров, погрузчиков и т.д.) в соответствии с принятыми нормами промышленной архитектуры

Использование теплых оттенков положительно влияет на комфортное восприятие, повышая психологическую устойчивость. Теплые цвета – жёлтый, оранжевый и красный – ассоциируются с солнцем и теплом, создавая ассоциативные цепочки. Цветовое сочетание синий-белый повышает видимость объектов в короткий летний период и может быть рекомендовано к комбинированию с теплой палитрой в составе архитектурных групп. Статичные цвета сохраняют психологический комфорт и не являются раздражителями; темные теплые цвета не активны по своему воздействию, а темные холодные подавляют раздражение [23].

Важными аспектами являются параметры инсоляции и естественного освещения, которые должны быть сбалансированы с требованиями тепловой защиты. Увеличение площади светопрозрачных конструкций способствует повышению инсоляции внутренних помещений, но в то же время ведет к дополнительным тепловым потерям. В этих условиях поиск архитектурно-проектировочного баланса становится фактором, формирующим архитектурно-пространственное решение зданий, обеспечивая их достаточную устойчивость к экстремальным климатическим условиям.

Внешнее и архитектурное освещение особенно важно в условиях полярной ночи, когда искусственный свет поддерживает общественную активность и выделяет ключевые объекты и учреждения. При проектировании цветосветового решения для облегчения ориентации на территории порта можно использовать контрастные элементы административно-бытовых комплексов – оконные переплеты, геометрические рисунки на фасадах, рельефные панели и т.д.

Внешнее световое оформление зданий и сооружений выполняет три важные функции. Во-первых, оно необходимо для безопасного выполнения работ в темное время года. В рабочей зоне порта рекомендуется использовать источники бестеневого заливающего света. Во-вторых, внешняя подсветка зданий и сооружений необходима для обеспечения видимости и ориентирования в сложных погодных условиях. В-третьих, освещенность архитектурных объектов в суровой и неблагоприятной окружающей среде повышает ощущение комфорта в рамках реализации принципа адаптивности. Комбинирование цветного освещения также способствует реализации указанных функций. Световой дифференциацией можно разграничивать различные зоны или маркировать отдельные здания. Цветовой подсветкой могут выделяться подвижные части кранов и портовых механизмов. Кроме того, цветосветовое оформление способствует формированию позитивного восприятия и повышению контрастов.

Использование динамического суточного освещения в условиях полярной ночи и переходов имеет значение для компенсации воздействия психофизиологических факторов. В помещениях может использоваться регулировка цветовой температуры в течение дня с переходом от «холодного» светового спектра в полдень к «теплому» в вечернее время с дополнительным использованием «мягких» УФ-светильников для компенсации отсутствия УФ-излучения. Для освещения внешних пространств представляет интерес изучение проекта Zenisk [24] и опыта Киркенеса (Норвегия). В рамках проекта реализована дизайнерская имитация светового календаря с использованием архитектурной подсветки зданий и наружного освещения различных спектров света регулируемой интенсивности. В рамках проекта выполнено постепенное преобразование световой среды на протяжении пяти месяцев – с 1 ноября по 1 апреля и изменение суточной интенсивности освещения.

Для арктических портов архитектурная выразительность достигается использованием контрастного цветового оформления, ярких цветов и продуманного освещения. Основная задача – создание более благоприятной среды для осуществления трудовой деятельности в условиях низкой видимости и продолжительной полярной ночи. Помимо повышения производственной безопасности в порту, архитектурная выразительность и цветосветовое оформление направлены на улучшение психоэмоционального состояния работников.

Применение данного принципа возможно при группировке архитектурных объектов определенных зон путем выбора колористического решения и орнамента в зависимости от назначения. Разделение портовых зон на сектора не только по функциональному признаку, но и в архитектурном оформлении улучшает ориентирование на территории порта. Для административных комплексов, бытовых зон, портоуправления и ключевых контрольных центров применение такого принципа позволит выделить их на фоне остальных портовых сооружений (рис. 8).

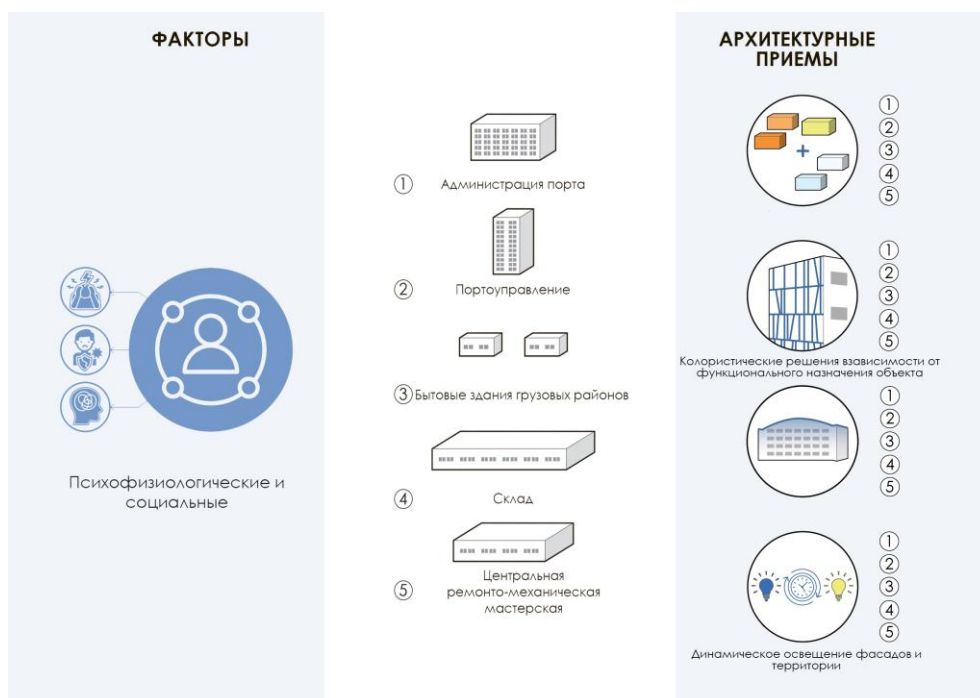


Рис. 8. Принцип архитектурной выразительности объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики

Немаловажным является и использование в оформлении архитектурных объектов культурных и региональных мотивов. Архитектурные отсылки к историко-культурным особенностям региона и отражение культурного контекста или традиций народов Арктики через традиционные орнаменты помогут сохранить идентичность каждого региона, где проектируется новый портовый объект, а также сделать его уникальным, а органичность форм, подчеркнёт природный контекст.

Принцип multifunctionality архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики. Данный принцип широко применяется в современной архитектурной практике при проектировании административно-промышленных зданий и логистических комплексов. Он предполагает интеграцию различных, не противоречащих друг другу функций в рамках единого объекта, что способствует удовлетворению разнообразных потребностей человека в одном пространстве. Популярность multifunctional объектов обусловлена рядом преимуществ, включая эффективное объединение функциональных зон посредством удобных коммуникационных связей, наличие единой системы помещений общего

пользования и инженерных коммуникаций, а также возможность гибкой адаптации к изменяющимся требованиям пользователей. В условиях северных и арктических территорий многофункциональность приобретает особую значимость, позволяя минимизировать необходимость пребывания работников во внешней экстремальной среде [25].

Рациональное использование полезной площади между функциональными зонами в таких объектах способствует созданию защищенных общественных пространств на производственной территории, выполняющих рекреационные и досуговые функции, что позволит снизить общее стрессообразование и повысить психофизический тонус. Влияние циркумполярного гипоксического синдрома может быть снижено за счет регулярных физических нагрузок, что, в свою очередь, требует внедрения архитектурных приемов компенсации, т.е. помещений для физической активности. Производственные оранжереи могут стать решением проблемы ограничения рациона. Создание зеленых зон, таких как зимние сады, для повышения психологического комфорта ввиду безусловного положительного психологического эффекта, производимого растениями, может стать еще одним инструментом «зеленой архитектуры» в Арктике.

Такие подходы способствуют активному использованию внутренних территорий и дополняют пространство. Комплексный характер подобных зданий обеспечивает единую систему коммуникационных, вспомогательных, обслуживающих и технических помещений, что повышает их эксплуатационную эффективность. Современные исследователи в области архитектуры сходятся во мнении, что в ближайшем будущем многофункциональные комплексы должны стать ключевыми элементами портовой архитектуры в арктических регионах, определяя основы градостроительного проектирования. В перспективе требуется разработка новых типов таких комплексов, ориентированных на массовое промышленное строительство в условиях Арктики, с оптимальной объёмно-планировочной структурой, максимально отвечающей актуальным требованиям (рис. 9).

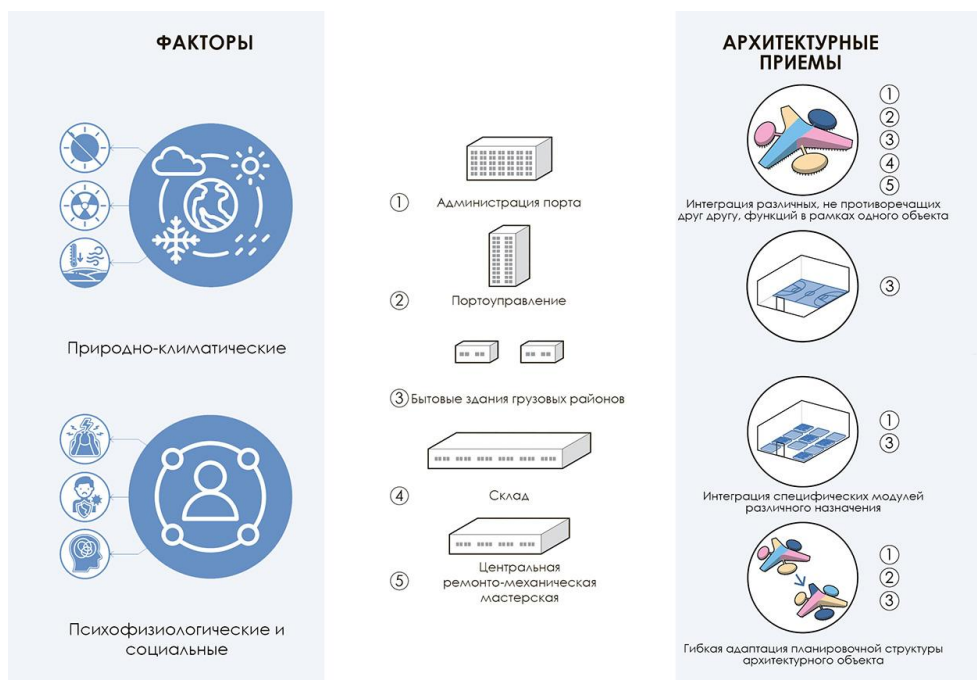


Рис. 9. Принцип многофункциональности архитектурных объектов портовой инфраструктуры в условиях Арктики

В арктических портах многофункциональность достигается за счет интеграции жилых, административных, складских и технических помещений в единые комплексы (например,

администрация и бытовой комплекс или администрация и портоуправление). Интегрированные комплексы значительно сокращают количество необходимых выходов во внешние условия для персонала портов. Создание внутренней инфраструктуры с зонами отдыха и физической активности улучшает условия труда и повышает производительность работы сотрудников.

Принцип многофункциональности применим в первую очередь к административно-промышленным зданиям, комплексам обслуживания персонала, складам и техническим помещениям.

Выводы

Освоение Арктики и развитие Севморпути входят в список первостепенных государственных приоритетов и будут вестись нарастающими темпами. Задачей архитекторов является, в первую очередь, обеспечение высокого качества уровня проработки проектов и концепций. Важно обеспечить не только решение текущих «сегодняшних» проблем массового быстрого строительства «функциональных коробок» – утилитарно-функциональное освоение Арктики выполнялось в течение последнего столетия – важно создать условия перспективного развития и формирования среды «завтрашнего дня». Возможность использования модульных конструкций и сборных технологий делает свободу арктического архитектурного проектирования в некоторой степени безграничной. Ограниченность же ресурсов и высокая удельная стоимость логистики заставляют отказываться от излишней футуристичности проектов.

На рисунке 10 представлена схема взаимосвязей функциональных, технологических и природных факторов, формирующих набор специализированных требований к архитектурным подходам и инструментам арктического портового строительства, и соответствующих задачам принципов проектирования портов, зданий и сооружений для полярных регионов. Представляется, что в ближайшем будущем арктическая портовая архитектура будет направлена на широкое внедрение модульных зданий и сооружений, базирующихся на инновационных конструктивных решениях. Отказ от традиционных методов строительства позволит значительно снизить накопление отходов в хрупкой арктической биосреде и в целом снизить негативное антропогенное воздействие. Архитектурная свобода будет базироваться на комбинировании описанных принципов в целях достижения сбалансированного устойчивого результата. Ключевым подходом для достижения устойчивого развития в экологическом преломлении должно стать стремление к нанесению минимального вреда хрупким и уязвимым арктическим экосистемам.

Дальнейшее развитие арктической архитектуры должно двигаться в направлении внедрения крипто-климатических комплексов [26] с естественным переходом к проектированию и строительству купольных городов. Пилотные проекты по созданию архитектурных систем замкнутого микроклимата, совмещающих общественные, жилые, производственные и вспомогательные помещения, объединяемые в единый комплекс или соединяемые закрытыми переходами, были выполнены ещё при СССР в условиях Крайнего Севера и успешно себя зарекомендовали в течение более 40 лет эксплуатации. Применительно к портовой архитектуре необходимо изыскивать возможности обеспечения консолидированного расположения всего комплекса зданий и строений, либо проводить их группировку и соединение крытыми, изолированными от внешней среды переходами. В суровых условиях Арктики нет факторов «второго плана» или низкого приоритета: арктическая архитектура в первую очередь должна быть направлена на выполнение основной производственной функции и на обеспечение комфортной и безопасной среды для человека.

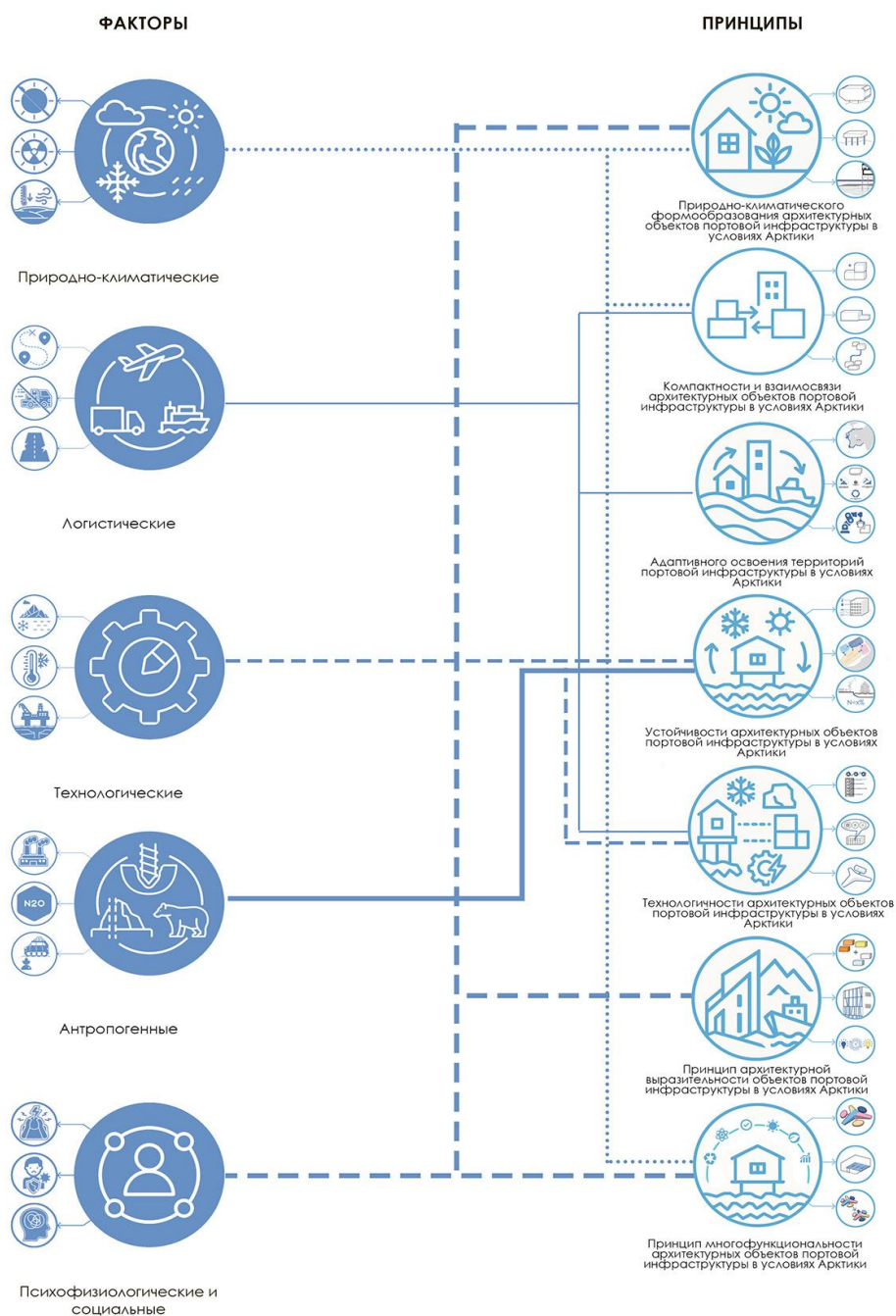


Рис. 10. Взаимосвязи между факторами среды и архитектурными принципами

Источники иллюстраций

Рис. 1. Безгинова А.В. Модель развития припортовых поселков Северного Морского Пути (на примере поселков Булунского улуса, Республика Саха (Якутия)) // ВКР на соискание квалификации магистра архитектуры. Научн. рук.: проф. Долинская И.М. Москва: МАрхИ, 2025. Графическая часть.

Рис. 2. Федеральное агентство морского и речного транспорта Министерства транспорта Российской Федерации (Росморречфлот). URL: <http://morflot.gov.ru> (дата обращения: 18.02.2025).

Рис. 3-10. Схемы разработаны автором.

Список источников

1. Боброва В.А. Роль Северного морского пути в развитии регионов Арктической зоны России // Вектор экономики, 2020. № 6(48). С. 29. EDN: LOSOSS.
2. Заостровских Е.А. Морские порты Восточной Арктики и опорные зоны Северного морского пути // Регионалистика. 2018. Т. 5. № 6. С. 92-106. DOI: 10.14530/reg.2018.6.92. EDN: VRJONX.
3. Новиков А.В. К вопросу о типологии и регулировании пространственного развития прибрежных арктических территорий / А.В. Новиков, И.М. Потравный // Глобальные вызовы и национальные экологические интересы: экономические и социальные аспекты: Сборник материалов XVII международной научно-практической конференции Российского общества экологической экономики, Новосибирск, 03,08 июля 2023 года / Под редакцией Т.О. Тагаевой, Л.К. Казанцевой, Новосибирск: Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 2023. С. 312-317. EDN: FJTWS.
4. Чайка Е.А. Типология и принципы формирования адаптивных моделей портов СШТК как основа стратегии развития прибрежных территорий АЗ РФ // Развитие Северо-Арктического региона: история и традиции народов Арктики в меняющихся климатических условиях: материалы Всероссийской научно практической конференции с международным участием (Архангельск, 29-30 апреля 2021 г.) / Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования; «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». Архангельск: Издательство САФУ, 2021. С.95-98.
5. Смирнов К. Строительство в высоких широтах. Принципы, возможности и перспективы / Кирилл Смирнов, Текст: электронный // Строительный эксперт. URL: <https://ardexpert.ru/article/5072> (дата обращения: 09.03.2025).
6. Траектории проектов в высоких широтах: монография / Алексеев С.Е. [и др.]; ред. совет Ю.В. Неелов [и др.] // Новосибирск: Наука. 2011. 440 с.
7. Сюрин С.А. Риски здоровью при добыче полезных ископаемых в Арктике // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. 2020. № 11(332). С. 55-61.
8. Грибанов А.В. Изменения параметров биоэлектрической активности головного мозга у школьников-северян 16-17 лет в различных условиях естественной освещенности / А.В. Грибанов, Ю.С. Джос, Н.Н. Рысина // Экология человека. 2013. № 6. С. 42-48.
9. Поскотинова Л.В. Вегетативная регуляция ритма сердца и эндокринный статус молодежи в условиях Европейского Севера России. Екатеринбург: УрО РАН. 2010. 229 с.
10. Хаснулин В.И. Здоровье человека и космогеофизические факторы Севера // Экология человека. 2013. № 12. С. 3-13.
11. Савинова В.А. Методы организации архитектурной среды в экстремальных условиях Арктики // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2022. № 1 (52). С. 45-50.
12. Квашнина С.И. Здоровье населения на Севере России: (Соц.-гигиен. и экол. проблемы) // Ухт. гос. техн. ун-т. Ухта. 2001. 259 с.
13. Нагорнев С.Н. Влияние экстремальных климатогеографических факторов Арктической зоны Российской Федерации на функциональное состояние коренных жителей и пришлого населения / С.Н. Нагорнев, В.К. Фролков, В.В. Худов // Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine. 2022. № 2. С. 53-69.

14. Полуй Б. М. Архитектура и градостроительство в суровом климате (экологические аспекты): учеб. пособие для вузов. Ленинград: Стройиздат, 1989. 300 с.
15. Сапрыкина Н.А. Моделирование жилой среды для экстремальных условий как ресурс безопасности обитания // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. № 4(49). С. 139-168. URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/4kvart19/PDF/10_saprykina.pdf (дата обращения: 09.03.2025).
16. Есаулов Г.В. О некоторых тенденциях в современной архитектуре // Современная архитектура мира. 2021. № 2 (17). С. 11-30.
17. Сапрыкина Н.А. Специфика формирования искусственной жилой среды в антропогенных экстремальных условиях обитания // Современная архитектура мира, 2022. № 2(19). С. 181-207. URL: <https://contemporary-architecture.ru/wp-content/uploads/2023/02/saprykina-sam-19.pdf> (дата обращения: 09.03.2025).
18. Зайцев Н.Е. Устойчивая архитектура арктических морских портов России // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАПХИ: Материалы международной научно-практической конференции. Сборник статей, Москва, 04-08 апреля 2016 года, Москва: МАПХИ. 2016. С. 158-161. EDN: MAFTGH.
19. Алексеев А.Г. Проблемы строительства зданий и сооружений в Арктике // Международный строительный конгресс. Наука. Инновации. Цели. Строительство: Сборник тезисов докладов, Москва, 11-13 апреля 2023 года, Москва: АО «НИЦ «Строительство», 2023. С. 56-57. DOI: 10.37538/2949-219X-2023-56-57. EDN: DEOQUJ.
20. Хрусталева Л.Н. Новый фундамент для зданий в Арктике / Л.Н. Хрусталева, В.З. Хилимонюк // Криосфера Земли. 2018. Т. 22. № 4. С. 25-30. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-4(25-30). EDN: XWBOAH.
21. Федотова Е.А. Инновации в строительстве в условиях Крайнего Севера: переосмысление технологий и материалов для устойчивого развития Арктики / Е.А. Федотова, Л.А. Дюбанова // Вестник Северо-Восточного государственного университета 2024. № 42. С. 71-75. EDN: VFDHKT.
22. Смирнов К. Строительство в высоких широтах. Принципы, возможности и перспективы // Строительный эксперт. URL: <https://ardexpert.ru/article/5072> (дата обращения: 09.03.2025).
23. Тонких В.Д. Влияние цвета, света и формы на восприятие пространства / В.Д. Тонких, А.В. Вешняков // Перспективы науки. 2022. № 12(159). С. 116-119.
24. Lysplan Kirkenes 2013. Lysplan Kirkenes. 2013. URL: <https://docplayer.me/3939094-Sor-varanger-kommuneboks-406-9915-kirkenes-tlf-78-97-74-00-fax-78-99-22-12-e-post-postmottak-sor-varanger-kommune-no-wwwsvk.html> (дата обращения: 09.03.2025).
25. Vabishchevich D., Ivanov I., Datsuk T. Principles for organizing the architectural environment of arctic cities using the example of Vorkuta (Russia) // E3S Web of Conferences, 2020. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/24/e3sconf_tpacce2020_04030.pdf (дата обращения: 09.03.2025).
26. Перов Ф.В. Архитектура крипто-климатических комплексов для городов Арктики // Системные технологии. 2022. № 3(44). С. 153-160. DOI: 10.55287/22275398_2022_3_153. EDN: ZDMKIZ.

References

1. Bobrova V.A. *Rol' Severnogo morskogo puti v razvitii regionov Arkticheskoy zony Rossii* [The role of the Northern Sea Route in the development of the regions of the Arctic zone of Russia]. *Vector of Economics*, 2020, no. 6(48), p. 29, EDN: LOSOSS.
2. Zaostrovskikh E.A. *Morskie porty Vostochnoj Arktiki i opornye zony Severnogo morskogo puti* [Seaports of the Eastern Arctic and support zones of the Northern Sea Route]. *Regionalistics*, 2018, vol. 5, no. 6, pp. 92-106, DOI: 10.14530/reg.2018.6.92 EDN: VRJOHX
3. Novikov A.V., Potravny I.M. *K voprosu o tipologii i regulirovanii prostranstvennogo razvitiya pribrezhnyh arkticheskikh territorij* [On the typology and regulation of spatial development of coastal Arctic territories. Global challenges and national environmental interests: economic and social aspects: Collection of materials of the XVII international scientific and practical conference of the Russian Society for Ecological Economics]. Novosibirsk, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS, 2023, pp. 312-317, EDN: FJTWS.
4. Chajka E.A. Typology and principles of formation of adaptive models of ports of the North Arctic corridor as a basis for the development strategy of coastal territories of the Arctic Zone of the Russian Federation. Development of the North Arctic region: history and traditions of the peoples of the Arctic in changing climatic conditions: materials of the All-Russian scientific practical conference. Arhangelsk, 2021, pp. 95-98.
5. Smirnov K. Construction in high latitudes. Principles, possibilities and prospects. Construction expert. Available at: <https://ardexpert.ru/article/5072>
6. Alekseev S.E. et al. *Traektorii proektov v vysokih shirotah: monografiya* [Project trajectories in high latitudes: monograph]. Novosibirsk, 2011, 440 p.
7. Syurin S.A. *Riski zdorov'yu pri dobyche poleznykh iskopaemykh v Arktike* [Health risks in mining in the Arctic]. *Population health and habitat*, 2020, no. 11(332), pp. 55-61.
8. Griбанov A.V., Dzhos Yu.S., Rysina N.N. Changes in the parameters of bioelectrical activity of the brain in 16–17-year-old northern schoolchildren under various conditions of natural illumination. *Human ecology*, 2013, no. 6, pp. 42-48.
9. Poskotinova L.V. *Vegetativnaya reguljacija ritma serdca i jendokrinnyj status molodezhi v uslovijah Evropejskogo Severa Rossii* [Vegetative regulation of heart rhythm and endocrine status of young people in the conditions of the European North of Russia]. Ekaterinburg, 2010, 229 p.
10. Khasnulin V.I. *Zdorov'e cheloveka i kosmogeofizicheskie faktory Severa* [Human health and cosmogeophysical factors of the North]. *Human ecology*, 2013, no. 12, pp. 3-13.
11. Savinova V.A. *Metody organizacii arhitekturnoj sredy v ekstremal'nykh usloviyakh Arktiki* [Methods of organizing the architectural environment in extreme conditions of the Arctic]. Academic Bulletin of the UralNIiproekt RAASN, 2022, no. 1(52), pp. 45-50.
12. Kvashnina S.I. *Zdorov'e naseleniya na Severe Rossii: (Soc.-gigien. i ekol. problemy)* [Population health in the North of Russia: (Social, hygienic and environmental problems)]. Ukhta, 2001, 259 p.
13. Nagornev S.N., Frolkov V.K., Khudov V.V. *Vliyanie ekstremal'nykh klimatogeograficheskikh faktorov arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii na funkcional'noe sostoyanie korennykh zhitelej i prishlogo naseleniya* [The influence of extreme climatic and geographic factors of the Arctic zone of the Russian Federation on the functional state of indigenous people and newcomers]. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine*, 2022, no. 2, pp. 53-69.

14. Poluy B.M. *Arhitektura i gradostroitel'stvo v surovom klimate (ekologicheskie aspekty): ucheb. posobie dlya vuzov* [Architecture and urban planning in a harsh climate (environmental aspects): textbook. manual for universities]. Leningrad, 1989, 300 p.
15. Saprykina N.A. Modeling of the living environment for extreme conditions as a resource for habitat safety. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2019, no. 4(49), pp. 139-168. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2019/4kvart19/PDF/10_saprykina.pdf
16. Esaulov G.V. On some trends in modern architecture. *Modern architecture of the world*, 2021, no. 2(17), pp. 11-30.
17. Saprykina N.A. Specifics of the formation of an artificial residential environment in anthropogenic extreme habitat conditions. *Modern architecture of the world*, 2022, no. 2(19), pp. 181-207. Available at: <https://contemporary-architecture.ru/wp-content/uploads/2023/02/saprykina-sam-19.pdf>
18. Zaitsev N.E. *Uстойчивая архитектура арктических морских портов России* [Sustainable architecture of Russian Arctic seaports. Science, education and experimental design. Proceedings of MARCHI: Proceedings of the international scientific and practical conference. Collection of articles, Moscow]. Moscow, 2016, pp. 158-161, EDN: MAFTGH
19. Alekseev A.G. *Problemy stroitel'stva zdaniy i sooruzheniy v Arktike* [Problems of construction of buildings and structures in the Arctic. International construction congress. Science. Innovations. Objectives. Construction: Collection of abstracts]. Moscow, 2023, pp. 56-57. DOI: 10.37538/2949-219X-2023-56-57. EDN: DEOQUJ
20. Khrustalev L.N., Khilimonyuk V.Z. *Novyj fundament dlya zdaniy v Arktike* [New foundation for buildings in the Arctic]. *Earth's Cryosphere*, 2018, vol. 22, no. 4, pp. 25-30. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-4(25-30). EDN: XWBOAH
21. Fedotova E.A., Dyubanova L.A. *Innovacii v stroitel'stve v usloviyah Krajnego Severa: pereosmyslenie tekhnologij i materialov dlya ustojchivogo razvitiya Arktiki* [Innovations in construction in the Far North: rethinking technologies and materials for sustainable development of the Arctic]. *Bulletin of the North-Eastern State University*, 2024, no. 42, pp. 71-75. EDN: VFDHKT
22. Smirnov K. *Stroitel'stvo v vysokih shirotah. Principy, vozmozhnosti i perspektivy* [Construction in high latitudes. Principles, possibilities and prospects]. *Construction expert*. Available at: <https://ardexpert.ru/article/5072>
23. Tonkikh V.D., Veshnyakov A.V. *Vliyanie cveta, sveta i formy na vospriyatie prostranstva* [The influence of color, light and shape on the perception of space]. *Prospects of science*, 2022, no. 12(159), pp. 116-119.
24. Lysplan Kirkenes 2013. Lysplan Kirkenes, 2013. Available at: <https://docplayer.me/3939094-Sor-varanger-kommuneboks-406-9915-kirkenes-tlf-78-97-74-00-fax-78-99-22-12-e-post-postmottak-sor-varanger-kommune-no-wwwsvk.html>
25. Vabishchevich D., Ivanov I., Datsuk T. Principles for organizing the architectural environment of arctic cities using the example of Vorkuta (Russia). *E3S Web of Conferences*, 2020. Available at: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/24/e3sconf_tpacee2020_04030.pdf
26. Perov F.V. *Arhitektura krypto-klimaticheskikh kompleksov dlya gorodov Arktiki* [Architecture of crypto-climatic complexes for Arctic cities]. *System technologies*, 2022, no. 3(44), pp. 153-160. DOI: 10.55287/22275398_2022_3_153 EDN: ZDMKIZ

ОБ АВТОРЕ**Глушкина Инга Константиновна**

Архитектор «Проектный институт уникальных сооружений «АРЕНА» («ПИ «АРЕНА»»,
аспирант ЦНИИП Минстроя России, Москва, Россия

glushkina_inga@mail.ru

ABOUT THE AUTHOR**Glushkina Inga K.**

Architect «Design Institute of Unique Structures «ARENA» (PI ARENA), Postgraduate Student
of the Central Research Institute of Architecture and Construction of the Ministry of Construction
of Russia, Moscow, Russia

glushkina_inga@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.04.2025; одобрена после рецензирования 05.06.2025; принята к публикации 09.06.2025.