

Academia. Архитектура и строительство, № 1, стр. 92–102.

Academia. Architecture and Construction, no. 1, pp. 92–102.

Исследования и теория

Научная статья

УДК 727:72.05

DOI: 10.22337/2077-9038-2024-1-92-102

Архитектурные приемы формообразования полярных научно-исследовательских объектов

Савинова Валерия Анатольевна (Москва). Московский архитектурный институт (государственная академия) (Россия, 107031, Москва, ул. Рождественка, 11/4, кор. 1, стр. 4. МАРХИ). Эл. почта: araseilis7714@gmail.com

Аннотация: В статье описаны приёмы проектирования научно-исследовательских объектов (станций, комплексов и центров) в экстремальных условиях полярных регионов. Рассмотрено 16 научных зданий, расположенных как в Арктике, так и Антарктике. Изучены приёмы формирования элементов объемно-пространственной композиции и инженерных систем, позволяющих создавать энергоэффективные, отвечающие условиям среды и оберегающие экосистемы здания. Выявлены три принципа проектирования научно-исследовательских объектов в полярных регионах.

Ключевые слова: научно-исследовательские станции, научно-исследовательские объекты, Арктика, Антарктика, архитектура Арктики, экстремальная среда, архитектурное формообразование.

Для цитирования: Савинова В. А. Архитектурные приёмы формообразования полярных научно-исследовательских объектов / В.А. Савинова // Academia. Архитектура и строительство. – 2024. – № 1. – С. 92–102. – DOI: 10.22337/2077-9038-2024-1-92-102.

Architectural Techniques for Shaping Polar Research Objects

Savinova Valeriya A. (Moscow). Moscow Institute of Architecture (state Academy) (11, Rozhdestvenka st. 11, Moscow 107031. MarchI). E-mail: araseilis7714@gmail.com

Abstract: The article presents a study of the use of special architectural techniques in the design of research facilities (stations, complexes and centers) in the extreme conditions of the polar regions. 16 scientific buildings located both in the Arctic and the Antarctic are considered, methods of forming elements of a volume-spatial composition and engineering systems are studied, which allow creating energy-efficient buildings that meet environmental conditions and protect ecosystems. Three principles for the design of research facilities in the polar regions are derived.

Keywords: research stations, research facilities, Arctic, Antarctica, architecture of the Arctic, extreme environment, architectural shaping.

For citation: Savinova V. A. Architectural techniques for shaping polar research objects. In: *Academia. Architecture and construction*, 2024, no. 1, pp. 92–102, doi: 10.22337/2077-9038-2024-1-92-102.

Введение

Арктический регион – один из самых сложных не только для строительства и эксплуатации любых зданий, но и просто для пребывания там человека, несмотря на довольно

длительное время их изучения [1]. При этом арктическая или полярная архитектура является в настоящее время активно развивающейся сферой [2; 3], что свидетельствует о широком интересе архитектурного сообщества, востребованности

арктических проектов на всех уровнях – от районного [4] до государственного [5]. В фокусе внимания как крупные транспортные и промышленные объекты [6], так и сравнительно небольшие сооружения [4]. Интерес к теме арктической архитектуры способствует активному поиску новых решений для строительства в регионе [7; 8]. Можно сказать, что тема нового, отличного от традиционного, формообразования в арктической архитектуре безусловно актуальна. Статья посвящена систематизации архитектурных приёмов проектирования полярных зданий. Исследование опирается на тезис о связи комплекса природно-климатических, строительных и антропогенных факторов и архитектурных приёмов, применённых в мировом опыте строительства объектов науки в полярных – как арктических, так и антарктических – регионах.

В исследовании рассмотрен комплекс факторов – как природно-климатических, оказывающих влияние на само пребывание человека в регионе, так антропогенных, обусловленных влиянием человека на хрупкую и уязвимую полярную среду.

Таблица 1¹. Комплекс формообразующих факторов

Фактор		Сущность фактора	Риски неучёта фактора	Части здания, на которые влияет фактор
Фотопериодизм	Полярный день/солнечная радиация	Нерегулярная смена суток, избыток солнечной радиации	Перегрев помещений, нагрузка на охлаждающие системы, пагубное влияние на организмы людей	Оконные проёмы, инженерные системы, ориентированные на южную сторону помещения
	Полярная ночь	Нерегулярная смена суток, отсутствие солнечной радиации	Пагубное влияние на организмы людей, нагрузка на осветительные приборы	Внутренние жилые помещения
Экстремально низкие температуры		Холод пагубно влияет на все виды деятельности в Арктике	Воздействие холода на элементы здания и людей	Внешняя оболочка здания, инженерные системы
Порывы ветра		Ветровая нагрузка на ограждающие конструкции зданий	Изменение пространственной жесткости зданий	Ограждающие и несущие конструкции здания
Атмосферные осадки		Высокая снеговая нагрузка на несущие конструкции зданий	Изменение пространственной жесткости зданий	Ограждающие и несущие конструкции здания
Вечная мерзлота		Нестабильный грунт, содержащий большое количество льда, восприимчивый к поступлению тепла от зданий	Аварии, нарушение несущей способности зданий	Фундаменты, несущие конструкции здания
Логистические проблемы		Невозможность быстрой и легкой доставки необходимых строительных материалов	Увеличение сроков строительства, изменения в проектных решениях в виду невозможности использования определенных материалов	Несущие конструкции здания
Северный завоз		Невозможность быстрой и легкой доставки необходимых продуктов и ресурсов	Ограниченные виды энергетических систем, пагубное влияние на организмы людей вследствие ограничения рациона	Инженерные системы
Энергетические проблемы		Отсутствие единой тепло-энергосистемы для отдаленных населенных пунктов, ограниченность доступных энерго ресурсов	Использование неэкологичных, затратных энергосистем	Инженерные системы
Антропогенная нагрузка		Хрупкая арктическая среда может быть легко разрушена человеческой деятельностью	Аварии, нарушение несущей способности зданий, непригодность природных ландшафтов	Фундаменты, несущие конструкции, инженерные системы

Факторы, влияющие на формообразование в арктической архитектуре

Факторы в данном исследовании – это совокупность явлений различного характера, прямо или косвенно влияющая на закономерности формообразования в полярной архитектуре. В ходе исследования были выявлены шесть природно-климатических, три строительных и один антропогенный фактор (табл. 1).

Стоит отметить, что обозначенные выше факторы, особенно природно-климатические, имеют различия на уровне отдельных регионов российской зоны Арктики. Однако означенные факторы в целом характерны для полярных регионов, являются их яркой отличительной чертой, а различия по градации факторов внутри Арктики не настолько велики, насколько велики различия между полярными регионами и остальным миром.

Природно-климатические факторы

Одними из наиболее важных факторов для Арктики являются природно-климатические. Их значение как главной характеристики экстремальной полярной среды сложно переоценить – недостаточный учёт их воздействия может повлечь непоправимый урон как организмам, так и зданиям [9, 10].

Экстремальные природные условия Арктики обусловлены характером падения солнечных лучей. Угол их падения влияет на суммарное значение солнечной энергии, которая распределяется на весьма большую площадь, получающую меньшее количество лучистой энергии, чем в других климатических поясах [11]. Это приводит к формированию арктических и субарктических климатических поясов, отрицательных показателей температур атмосферного воздуха [12], а также к малому количеству солнечных дней, продолжительной зиме с коротким световым периодом и преимущественной облачности на протяжении всего года [13]. Значение солнечной радиации для арктического региона велико и оказывает влияние на все аспекты жизни – от фундаментальных биохимических процессов до психологического состояния полярников [14, с. 369].

Особенности географического положения Арктики приводят к явлению фотопериодизма: циклом нерегулярной смены суток. В разных областях арктического региона цикл имеет различные характеристики и обусловлен положением солнца. В умеренных широтах (расположенных ниже 60° с. ш.) сутки имеют регулярные циклы: утро, день, вечер и ночь. В полярных регионах всё иначе. При белых ночах «ночь» в привычном понимании не наступает, периоды сумерек соединяются (до 180 суток). При полярном дне солнце вовсе не заходит (от двух суток до полугода, в среднем 85 суток). При полярной ночи (до полугода, в среднем 70 суток) солнце не восходит, однако наблюдаются дневные сумерки (в среднем 180 суток). Севернее 75° с. ш. можно наблюдать периоды полной темноты, а возле полюса происходит слияние сумеречных режимов в круглосуточные сумерки [15].

¹ Автор всех таблиц в статье – В.А. Савинова

Экстремально низкие температуры атмосферного воздуха являются следствием распределения лучистой энергии на полюсах, а также действиями океанических течений и воздушными потоками из низких широт [11]. Среднегодовые показатели температур в Арктике близки к нулю или отрицательные: от +3,2 °С до –2,9 °С². Зимний период в Арктике длится от 160 до 240 дней, температура может опускаться до –40 °С в европейской зоне [13] и до –60 °С в восточно-сибирской зоне [16]. Летний сезон несравнимо короче, его положительная температура в европейской зоне достигает +20 °С [13]. Как видно, для Арктики характерны высокие перепады температур – от 60 до 90 °С.

Немаловажным природно-климатическим фактором Арктики является ветер. В арктической зоне России (далее АЗРФ) он обладает достаточно высокими показателями индекса влажного ветрового охлаждения и скоростью до 7–9 м/с (в прибрежных районах). Во внутриконтинентальных районах скорость ветра может падать до 1,5 м/с [17].

Для Арктики в целом характерно от 130 до 200 мм осадков, большая часть которых выпадает в виде снега. По данным, например, СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», такие осадки могут достигать достаточно высоких значений: 2,5 кН/м² (Мурманская область, Чукотский АО), 3,0 кН/м² (некоторые районы Мурманской области, Республика Коми, Таймырский Долгано-Ненецкий район), что соответствует V–VII районам по весу снегового покрова. В прибрежных районах происходит образование снеготанов в виде метелей. Также в целом для Арктики характерны длительные периоды наличия устойчивого снежного покрова, а его высота в зимние месяцы колеблется от 40 до 60 см.

Вечномерзлый грунт, на который также оказывают влияние климатические процессы Арктики, широко распространён по всей территории АЗРФ. Это тип грунта, содержащий лёд и находящийся в мерзлом состоянии постоянно – в течение трёх и более лет, без полного протаивания. Глубина слоя вечной мерзлоты может колебаться от нескольких до более тысячи метров [18]. Вечномерзлый грунт подвержен деградации: изменению своего состояния вследствие оттаивания [19; 20]. Деградации подвержены не все территории распространения вечномерзлых грунтов, однако участки, например, в Западной Сибири отмечены возрастанием температуры вечномерзлых слоев и, соответственно, оттаиванием и опусканием кровли мерзлоты [10; 20]. На этот процесс влияют как общие климатические процессы потепления, так и человеческая деятельность, и его следствием может стать широкомасштабное разрушение инфраструктуры, зданий и сооружений [12].

Строительные факторы

Природно-климатические факторы влияют не только непосредственно на конструктивные элементы здания, но и на самые

ранние этапы строительства: от доставки материалов, до оборудования мест для проживания и работы строительных бригад. Кроме того суровый и холодный климат повышает затраты на отопление, снижает объёмы и показатели работы на открытом воздухе, а в иных случаях полностью препятствует проведению таких работ. Сказывается и короткий – всего несколько месяцев – сезон ведения монтажных и строительных работ.

В связи с неразвитостью дорожной сети при движении на север и восток арктической зоны возникают логистические проблемы. Прежде всего они касаются доставки материалов. Нехватка дорог, отсутствие тесной связи арктических городов между собой [21], сопряжённое с суровыми погодными условиями и масштабностью АЗРФ, делает доставку автомобильным и железнодорожным транспортом затруднительной, в некоторых случаях возможной только в зимние месяцы при наличии зимников [22; 23]. Альтернативой при доставке материалов может стать водный или воздушный транспорт. Подобная транспортная ситуация приводит к существенному удорожанию строительных работ, эксплуатации, увеличивает производственные издержки [22]. Влияние этого фактора на архитектуру сопряжено с тактикой выбора конструктивных строительных материалов и конструктивных систем вообще, поиском оптимальных решений, позволяющих реализовать проектное решение в существующих условиях.

Странспортной схемой тесно сопряжён фактор северного завоза. Снабжение зон АЗРФ жизненно важными товарами и продуктами необходимо по причине невозможности производства оных непосредственно в населённых пунктах Арктики³, которых на всей арктической территории более тысячи. В подобной ситуации находятся более 40 объектов отдалённых научно-исследовательских объектов (далее НИО), расположенных вне населённых пунктов [4]. Фактор северного завоза оказывает сложное воздействие и в первую очередь затрагивает арктическое население.

С транспортной системой связан и энергетический фактор, образующий с ней единую транспортно-энергетическую инфраструктуру [24]. Российская Арктика является одним из основных центров нефтегазодобычи страны, а энергетику региона можно охарактеризовать как базирующуюся на использовании ископаемого топливно-энергетического сырья. Тем не менее во многие населённые пункты АЗРФ и отдалённые НИО топливо завозится, и только часть энерго- и теплопотребления удовлетворяется местными производствами. Частично решить экологические проблемы и транспортировку топлива может включение в проекты НИО объектов возобновляемой энергетики. К числу возобновляемых энергетических систем относятся солнечная, ветровая, атомная [24], гидро- [24; 25] и водородная энергетика.

² Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год / М. Ю. Бардин, В. И. Егоров, С. А. Громов [и др.]. – Москва : Государственный гидрологический институт Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации, 2021. – 104 с.

³ Постановление Правительства Российской Федерации от 23 апреля 1994 г. № 385 о федеральном фонде государственной финансовой поддержки завоза продукции (товаров) в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности

Антропогенный фактор

Известно, что арктические экосистемы весьма уязвимы [9]. Так, например, для верхнего почвенного покрова тундры разрушительно воздействие тяжёлой гусеничной техники, восстановление которого занимает весьма длительный

период [26]. Уязвим и вечномёрзлый грунт, подверженный деградации из-за глобальных климатических процессов [10; 20], который также может быть легко нарушен при несоблюдении термоизоляции зданий [18]. Рациональное стремление сохранить экологию региона является причиной учёта антропогенного фактора при проектировании объектов в Арктике согласно принципами устойчивой архитектуры.

«Нулевое воздействие» – так была охарактеризована бельгийская научно-исследовательская станция «Принцесс Элизабет» спроектировавшими её архитекторами [27]. Это значит, что расположенная в Антарктике станция не оказывает воздействия на окружающую среду. Такой подход соответствует положениям устойчивой архитектуры и включает энергоэффективные решения, внимание к снижению выбросов и загрязнению территории и снижения воздействия на среду.

Архитектурные приёмы, определённые формообразующими факторами

В ходе исследования было определено, что группам факторов соответствуют специальные архитектурные приёмы, включённые в проекты полярных НИО (табл. 2). Под термином «архитектурный приём» автор подразумевает способ, применяемый при проектировании зданий.

Приёмы могут единично применяться в здании или использоваться группой. Внедрение таких приёмов в проекты НИО позволяет полярникам эксплуатировать научные здания с большим комфортом, снижает негативное воздействие факторов как на людей, так и на конструкции зданий, а также снижает антропогенную нагрузку в уязвимых полярных регионах.

Для проведения исследования было отобрано 16 НИО, расположенных как в Арктике, так и Антарктике (табл. 3). Учитывались архитектурные приёмы формирования объёмно-пространственной композиции зданий, влияющие на выбор строительных материалов и конструкций и инженерных систем.

Приёмы снижения влияния природно-климатических факторов

Первая группа архитектурных приёмов наиболее заметно влияет на формирование объёмно-пространственной композиции НИО и обусловлена действием природно-климатических факторов. Включает четыре следующих приёма.

- *Использование атмосферостойких материалов.* Неблагоприятное экстремальное воздействие прежде всего оказывается на материал для кровли и облицовки стен. Это означает, что материал должен иметь способность противостоять агрессивной среде долгое время без потери эксплуатационных характеристик, выдерживать воздействие экстремально низких температур, большого количества атмосферных осадков. В условиях полярных регионов хорошие эксплуатационные характеристики показывают металлы. Так, нержавеющая и легированная стали используются для облицовки на НИО: «Принцесс Элизабет» (рис. 1), «Амундсен-Скотт» (рис. 2), «Бхарати», Западный Арктический научный

Таблица 2. Соответствие факторов и архитектурных приёмов

Фактор	Архитектурный приём
Фотопериодизм	Устройство скосов в ограждающих конструкциях и расположение оконных проёмов под углом
Экстремально низкие температуры	Применение атмосферостойких материалов
Ветер	Создание аэродинамического объема
Атмосферные осадки	Устройство скосов в ограждающих конструкциях
Вечномёрзлый грунт (толщина более 10 м, неподверженный деградации)	Устройство свайных фундаментов и расположение зданий на системе опор над землёй, а также дополнительная термостабилизация грунтов
Логистические проблемы	Использование стальных и деревянных несущих конструкций, предварительная сборка элементов и зданий.
Северный завоз	Устройство в структуре НИО производственных теплиц и оранжерей
Энергетические проблемы	Использование возобновляемых источников энергии
Антропогенная нагрузка	Внедрение энергоэффективных приёмов в объёмно-пространственной композиции здания и в инженерных системах

Таблица 3. Отобранные для исследования НИО

Арктика	Антарктика
Станция Вапмагуст-Кууджуарапик	Амундсен-Скотт
Черчиллский центр северных исследований	Станция Конкордия
Научный центр Свальбарда	Восток
Научный центр Иглулика	Антарктическая станция Халли VI
Канадская станция высоких широт	Скотт-бейс
Остров Самойловский	Бхарати
Арктический исследовательский центр Барроу	Антарктическая станция Принцесс Элизабет
Западный арктический научный центр	Ноймейер III

центр, Арктический исследовательский центр Барроу, «Остров Самойловский». Медь используется для облицовки на НИО «Исследовательский центр Свальбарда» и «Канадская станция высоких широт».

- *Устройство скосов в ограждающих конструкциях.* Для снижения снеготаносов и уменьшения снеговой нагрузки на здание в ограждающих конструкциях НИО устраиваются скосы. Кроме того, из-за циклических периодов нерегулярной смены суток немаловажным является устройство стен (вместе с оконными проёмами) с уклоном. Вместе с правильной ориентацией здания по сторонам света это позволяет минимизировать количество поступающих солнечных лучей в период полярного дня и обезопасить помещения НИО и научный персонал от перегрева. В период полярных сумерек расположенные под уклоном оконные проёмы смогут пропускать большее количество света, чем расположенные вертикально. Приём внедрён на станциях «Вапмагустуи-Кууджуарапик», «Черчиллский центр северных исследований», «Восток» (проект 2023 года), «Принцесс Элизабет», «Амундсен-Скотт» (рис. 2), «Ноймейер III», «Бхарати», «Халли VI», «Скотт-бейс» (проект 2017 года), «Западный Арктический исследовательский центр».

- *Управление атмосферными потоками.* Приём рассматривает возможности использования и преобразования атмосферных потоков, что способствует снижению давления ветровых масс на объёмно-пространственную форму здания. Вместе с тем этот приём позволяет использовать воздушные потоки для обеспечения продувания и охлаждения грунта под зданием, для сохранения вечномёрзлого состояния и для предотвращения засыпания объекта снегом. Приём внедрён на следующих НИО: «Черчиллский центр северных исследований», «Принцесс Элизабет», «Халли VI», «Скотт-бейс» (проект 2017 года), «Исследовательский центр Свальбарда».

- *Сохранение вечномёрзлых грунтов.* Вечномерзлые грунты распространены на большей части полярных территорий и представляют серьёзную проблему при проектировании и строительстве из-за содержащегося в них большого количества льда, который не является статичным. Любая строительная и последующая эксплуатационная деятельность могут нарушить вечномёрзлое состояние грунта, привести к таянию льда, что повлечёт осадки грунта и, как следствие, деформации конструкций, аварии в сетях здания и даже полное или частичное обрушение строения.

В мировой практике известно два способа возведения фундаментов и оснований на вечномёрзлых грунтах. Первый способ предусматривает сохранение вечномёрзлого состояния грунта и применяется при слое вечной мерзлоты превышающем 10 м. Включает проектирование свайного фундамента и возведение здания на опорах над землей (от 1 м) (рис. 3). Такой способ исключает теплопотери через нижние уровни здания в грунт, минимизирует ресурсозатраты на земляные работы и

позволяет ветровым потокам как дополнительно охлаждать вечномерзлые грунты, сохраняя их состояние, так и сдвигать снег с конструкций (что препятствует засыпанию здания).

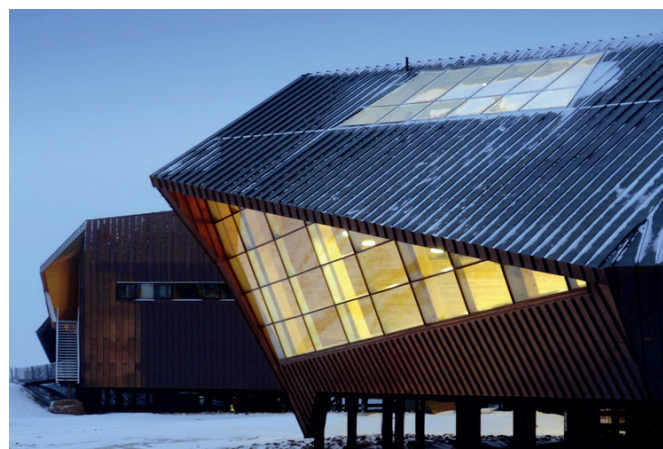
Второй способ применяется при слое вечной мерзлоты менее 10 м и в районах с высокой вероятностью его дегра-



Рис. 1⁴. Антарктическая научно-исследовательская станция «Принцесс Элизабет»



а)



б)

Рис. 2. Примеры устройства ограждающих конструкций: а) антарктический научно-исследовательский комплекс «Амундсен-Скотт»; б) научно-исследовательский центр «Свальбарда»

⁴ Все иллюстрации в статье, кроме особо оговорённых, взяты из открытого доступа сети Интернет.

дации. Включает мероприятия по предварительному оттаиванию грунта, его последующему укреплению и обустройству котлована.

Необходимо упомянуть о термостабилизации вечномёрзлых грунтов. Этот вид работ применяется при обоих способах



Рис. 3. Научно-исследовательская станция «Остров Самойловский»



Рис. 4. Антарктическая научно-исследовательская станция «Принцесс Элизабет»



Рис. 5. Оранжерея Иден АйСС при научно-исследовательской комплексе «Ноймейер III»

устройства фундаментов. Термостабилизация грунтов необходима для дополнительного охлаждения вечномёрзлых грунтов и может быть устроена при помощи погружения в скважину термостабилизатора с хладагентом. Системы термостабилизации могут быть естественно действующими (горизонтальными или вертикальными), глубинными сезонно-охлаждающими или индивидуальными [28].

Среди рассмотренных НИО большинство возведено с использованием первого способа – на опорах над землёй с сохранением вечномёрзлого состояния грунта. С применением второго способа возведены «Канадская станция высоких широт» и исследовательская станция «Вапмагустуи-Кууджуарапик».

Приёмы оптимизации технологических процессов

Длительный зимний период, экстремально низкие температуры и значительные атмосферные осадки серьёзно ограничивают время и формат строительных работ. Климат является причиной и общей неразвитости транспортных сетей, которые в свою очередь накладывают серьёзные ограничения на доставку строительных материалов. В связи с этим необходимо использовать следующие приёмы рационализации и упрощения проведения строительных работ на месте.

- *Строительное соответствие.* В условиях ограниченной логистики полярных регионов и ограниченных возможностей ведения стройки на месте применяется приём подбора таких строительных и отделочных материалов, доставка которых будет наиболее простой с точки зрения логистических цепочек и экономически оправданной. Вместо бетона и кирпича как материалы для несущих конструкций получили широкое распространение сталь и дерево: их гораздо проще доставить на место, они обладают меньшим весом и не требуют специальных мероприятий при строительстве. Важно отметить, что при прочих плюсах стальные конструкции имеют высокую теплопроводность [$\lambda = 58 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$]. В случае применения таких конструкций следует разрабатывать узлы и соединения, исключая «мостики холода». Этот приём реализуется уже довольно продолжительное время, начиная с возникновения полярных НИО: практически все здания начальных этапов развития арктических и антарктических объектов были сделаны из дерева. Приём внедрён практически на всех рассмотренных в работе НИО. Стальной каркас имеют следующие объекты: «Халли VI», «Бхарати», «Восток» (проект 2023 года), «Амундсен-Скотт», исследовательский центр «Иглулика», «Ноймейер III», «Остров Самойловский». Деревянный каркас имеют следующие НИО: «Принцесс Элизабет» (рис. 4), «Черчиллский центр северных исследований», Исследовательский центр «Свальбарда».

- *Предварительная сборка.* Наряду с предыдущим, это один из первых приёмов, реализованный в полярных регионах. Ещё во время первых экспедиций в Арктику и Антарктику полярниками использовались строения, предварительно целиком собранные в местах отправления, например, в Ав-

стралии [29]. Этот приём значительно упрощает строительные работы на месте и сокращает их время, что немаловажно в условиях экстремальной среды. Приём внедрён на следующих НИО: «Принцесс Элизабет», «Халли VI», «Восток» (проект 2023 года), «Бхарати».

- *Устройство производственных оранжерей* (рис. 5). Невозможность производства определённого числа свежих продуктов в полярных регионах оказывает существенное влияние на жизнь полярников: от простого дискомфорта до появления физиологических проблем, связанных с изменением рациона. Частично решить проблему может устройство производственных оранжерей и теплиц в составе НИО. Приём используется на большом числе антарктических НИО уже продолжительное время⁵, среди рассмотренных объектов внедрён на «Ноймейер III», «Амундсен-Скотт».

- *Использование возобновляемых источников энергии.* Значительная часть НИО расположена на удалении от населённых пунктов, в виду чего использование городских систем электроснабжения становится невозможным. В этом случае необходимы бесперебойно работающие и безопасные для хрупких полярных экосистем электрогенераторы, которые смогут снабжать НИО энергией и теплом. Это могут быть солнечные панели или ветрогенераторы, которые внедрены, например, на станции «Принцесс Элизабет».

Архитектурные приёмы снижения антропогенной нагрузки

Эта группа приёмов базируется на внимании к полярной среде, её сохранении и снижении урона, наносимого вмешательством в уязвимые экосистемы как Арктики, так и Антарктики. Основана на принципе «двойного счита»: защита людей от полярной среды, но также и защита среды от воздействия людей.

- *Повышение энергоэффективности.* В полярных регионах, не имеющих развитой транспортно-энергетической

инфраструктуры, добыча и выработка энергии является непростой и ресурсозатратной задачей. Приём включает в себя комплекс мероприятий, которые сокращают объём потребляемой строениями энергии и оптимизируют использование энергии в системах здания. Это может быть достигнуто за счёт:

- применения простой формы здания, что также уменьшает энергозатраты. Приём внедрён на НИО: «Принцесс Элизабет», «Черчиллский центр северных исследований», «Конкордия», Исследовательский центр «Иглулика»;

- оптимизации получения солнечной радиации, то есть исключение системы отопления из инженерных систем здания и использование вместо неё тепла, выделяемого приборами и людьми, а также за счет ориентации помещений на южную сторону и устройства больших оконных проёмов. Приём внедрён на НИО «Принцесс Элизабет»;

- устройству тепло-, паро- и гидроизоляции. Достигается благодаря многослойной изоляции. Приём внедрён на НИО «Принцесс Элизабет», где изоляционный материал имеет девять слоёв: нержавеющая сталь, вспененный утеплитель с закрытыми ячейками, силиконовый герметик, деревянные элементы опалубки, полистирол низкой плотности, наполненный графитом, крафтовая бумага, алюминиевая пароизоляция, войлок [27].

- *Устройство контроля систем.* Внедрение системы регулирования спроса энергии, автоматического распределения в соответствии с утверждённой системой приоритетов. Система гибкая: одни действия имеют приоритет над другими в зависимости от времени суток и количества доступной энергии. Приём внедрён на НИО «Принцесс Элизабет».

- *Устройство экономного водопотребления* предполагает разработку системы рациональной добычи, потребления, очистки и утилизации. Приём включает мероприятия по установке систем для сбора дождевой воды и плавления снега, также внутренней рециркуляции и организации очистки (с

⁵ Review of Antarctic Greenhouses and Plant Production Facilities: A Historical Account of Food Plants on the Ice. / Bamsey, Matthew & Zabel, Paul & Zeidler, Conrad & Gyimesi, David & Schubert, Daniel & Kohlberg, Eberhard & Mendedoht, Dirk & Rae, Joanna & Graham, Thomas, 2015 (https://www.researchgate.net/publication/280738927_Review_of_Antarctic_Greenhouses_and_Plant_Production_Facilities_A_Historical_Account_of_Food_Plants_on_the_Ice).



а)



б)

Рис. 6. Снегоплавильные установки: а) на научно-исследовательском комплексе «Кейси» в Антарктике; б) на научно-исследовательском комплексе «Моусон» в Антарктике

помощью активированного угля и УФ-обработки) и вторичного использования серых и черных стоков, установке биореакторов (могут быть анаэробными и аэробными). Приём в полной мере внедрён на НИО «Принцесс Элизабет», кроме того широкий ряд антарктических НИО оборудован снегоплавильнями (рис. 6).

• *Снижение влияния на среду.* Помимо вопросов потребления ресурсов, принцип устойчивости предполагает и снижение влияния выбросов и отходов на среду. Приём реализуется установкой пунктов сбора и переработки мусора. Кроме того, в условиях Арктики необходимо предотвращать мусорные свалки близ НИО по причине возможной опасности от белых медведей. Крупный хищник может представлять угрозу для полярников, но также животное занесено в красную книгу и должно быть защищено от деятельности человека. Приём внедрён в широкий ряд антарктических НИО.

Заключение

Проведённое исследование показывает, что применяется ряд архитектурных приёмов, широко используемых в полярных научных зданиях, которые способствуют как защите здания от проявлений экстремальной среды, так и самой среды от вмешательства извне. Комплекс подоб-

ных приёмов зачастую формирует облик здания полярной станции, и среди рассмотренных объектов применяется от трёх до восьми приёмов одновременно (табл. 4). Можно с уверенностью сказать, что для современной арктической архитектуры использование специальных приёмов является отличительной чертой.

Выявленные в исследовании три группы факторов и отвечающие им три группы специальных архитектурных приёмов позволяют выявить три принципа проектирования НИО в полярных регионах: принцип снижения влияния природно-климатических факторов, принцип оптимизации технологических процессов и принцип снижения антропогенной нагрузки.

Проведённое исследование показывает, что при проектировании зданий в экстремальных полярных регионах использование определённых принципов может значительно повысить как комфорт и безопасность людей, эксплуатирующих здания, так и защитить хрупкую полярную среду от вмешательства человека.

Список источников

1. Кабиров, Р.Р. Логистика в Антарктике / Р.Р. Кабиров. – Текст : непосредственный // Вектор экономики. – 2019. – № 4 (34).

Таблица 4. Наличие выявленных приёмов на полярных НИО

	Применение атмосферостойких материалов	Устройство скосов	Создание аэродинамического объёма	Устройство свайного фундамента и системы опор	Деревянный или стальной каркас	Предварительная сборка	Внедрение производственных оранжевых	Использование возобновляемых источников энергии	Энергоэффективные решения
Станция «Вапмагусту-Кууджуарапик»		+		+	+				
«Черчиллский центр северных исследований»		+		+	+				+
Научный центр «Свальбарда»	+	+	+	+	+				
Научный центр «Иглулика»			+	+	+				+
«Канадская станция высоких широт»	+				+				+
«Остров Самойловский»	+			+	+				
Арктический исследовательский центр «Барроу»	+			+	+				
Западный арктический научный центр	+	+		+	+				
«Амундсен-Скотт»	+	+		+	+		+		
Станция «Конкордия»				+	+				+
«Восток»		+		+	+	+			
Антарктическая станция «Халли VI»		+	+	+	+	+			
«Скотт-бейс»		+	+	+	+				
«Бхарати»	+	+		+	+	+			
Антарктическая станция «Принцесс Элизабет»	+	+	+	+	+	+		+	+
«Ноймейер III»		+		+	+		+		

2. *Мясепп, К.* Эволюция путей решения проблем строительства при освоении Арктики / К. Мясепп, В. Пунтус. – Текст : непосредственный // Русский инженер. – 2018. – № 2 (59). – С. 40–43.

3. *Климанов, С.Г.* Системный подход к проблеме проектирования и строительства быстровозводимых сооружений для обустройства войск в районах Арктики / С.Г. Климанов, В.Н. Громов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2021. – № 1 (13). – С. 319–335.

4. *Савинова, В.А.* Отечественный опыт строительства научно-исследовательских станций: современное состояние вопроса / В.А. Савинова. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2022. – № 12 (768). – С. 64–74.

5. *Иванов, И.А.* Основные принципы архитектуры жилых зданий и комплексов в Арктике и районах Крайнего севера на примере города Салехард / И. А. Иванов, А. А. Кузьмина. – Текст : непосредственный // Системные технологии. – 2022. – № 2 (43). – С. 75–82.

6. *Лукин, С.А.* О внедрении инициативы «Зелёный порт» в Арктике / С.А. Лукин, М.В. Васеха. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. – 2022. – № 1. – С. 101–104.

7. *Сахненко, М.А.* Строительство гидротехнических сооружений в условиях Арктики / М.А. Сахненко. – Текст : непосредственный // Фундаменты. – 2020. – № 2. – С. 32–34.

8. *Горгуца, Е.Ю.* Строительство искусственных ледовых островов в условиях Арктики / Е.Ю. Горгуца, Е.Ю. Курило. – Текст : непосредственный // Гидротехника. XXI век. – 2017. – № 4. – С. 54–57.

9. *Алексеев, Г.В.* Анализ окружающей среды Арктической зоны РФ / Г.В. Алексеев, В.Г. Дмитриев // Арктическое пространство России в XXI веке: факторы развития, организация управления : Монография / Под редакцией В.В. Ивантера. – Санкт-Петербург : Наука, 2016. – С. 67–92. – Текст : непосредственный.

10. *Порфирьев, Б.Н.* Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты для жилищного сектора российской Арктики / Б.Н. Порфирьев, Д.О. Елисеев, Д.А. Стрелецкий. – Текст : непосредственный // Вестник Российской академии наук. – 2021. – Т. 91, № 2. – С. 105–114.

11. *Шерстюков, Б.Г.* Климатические условия Арктики и новые подходы к прогнозу изменения климата / Б.Г. Шерстюков. – Текст : непосредственный // Арктика и Север. – 2016. – № 24. – С. 39–67.

12. Арктическая зона Российской Федерации / Г.В. Алексеев, В.Ф. Радионов, Е.А. Скворцова [и др.] // Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2015 год. – Москва : Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2016. – С. 162–167. – Текст : непосредственный.

13. *Бутаков, С.В.* Оценка потенциала солнечной энергии в условиях Крайнего Севера / С. В. Бутаков, М.А. Хвиюзов, С.С.

Автухов. – Текст : непосредственный // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 72-7. – С. 76–80.

14. *Полуй, Б.М.* Архитектура и градостроительство в суровом климате / Б.М. Полуй // – Ленинград : Стройиздат, Ленинградское отделение, 1989. – 300 с. – Текст : непосредственный

15. *Попова, Р.М.* Инсоляция. КЕО и полярные ночи северной зоны России / Р.М. Попова. – Текст : непосредственный // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2009. – № 6 (125). – С. 55–57.

16. *Иванов, Н.Е.* Оценка влияния климата на социально-экономическую деятельность в Северной Якутии / Н.Е. Иванов, А.П. Макштас. – Текст : непосредственный // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2014. – № 2 (100). – С. 57–74.

17. *Баранова, А.А.* Изменение градуированных скоростей ветра на территории России во второй половине XX века / А. А. Баранова, М.П. Голод, А.В. Мещерская. – Текст : непосредственный // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2007. – № 556. – С. 116–138.

18. *Каменский Р.М.* Что мы знаем о вечной мерзлоте / Р.М. Каменский. – Текст : непосредственный // Вестник Российской академии наук. – 2007. – Т. 77, № 2. – С. 164–168.

19. *Красулина, О.Ю.* Качество жизни населения, проживающего и работающего в Арктике / О.Ю. Красулина // Арктическое пространство России в XXI веке: факторы развития, организация управления : Монография / Под редакцией В.В. Ивантера. – Санкт-Петербург : Наука, 2016. – С. 421–440. – Текст : непосредственный.

20. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего гео-криологического мониторинга в западном секторе российской Арктики / А.А. Васильев, А.Г. Гравис, А.А. Губарьков [и др.] . – Текст : непосредственный // Криосфера Земли. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 15–30.

21. *Замятина, Н.Ю.* Северный город-база: особенности развития и потенциал для освоения Арктики / Н.Ю. Замятина. – Текст : непосредственный // Арктика: экология и экономика. – 2020. – № 2 (38). – С. 4–17.

22. *Серова, Н.А.* Системные проблемы развития транспорта в Российской Арктике / Н.А. Серова, В.А. Серова. – Текст : непосредственный // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2021. – Т. 10, № 1 (34). – С. 295–297.

23. *Серова, Н.А.* Транспортная инфраструктура российской Арктики: специфика функционирования и перспективы развития / Н.А. Серова, В.А. Серова. – Текст : непосредственный // Проблемы прогнозирования. – 2021. – № 2 (185). – С. 142–151.

24. Социально-экономическое развитие Северо-Арктических территорий России / Е.А. Бажутова, А.А. Биев, Е.Е. Емельянова [и др.]. – Апатиты : Кольский научный центр Российской академии наук, 2019. – 119 с. – Текст : непосредственный.

25. *Савинова, В.А.* Энергоснабжение научно-исследовательских комплексов в Арктике / В.А. Савинова, М.М. Бродач. – Текст : электронный // Здания высоких технологий. – 2019.

– №1. – С. 14–20. – URL: http://zvtabok.ru/articles/535/Energosnabzhenie_nauchno_issledovatel'skikh_kompleksov_v_Arktike (дата обращения 16.01.2024).

26. Траектории проектов в высоких широтах : монография / Алексеев С. Е. [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2011. – 440 с. – Текст : непосредственный.

27. Princess Elizabeth station: официальный сайт. – URL: <http://www.antarcticstation.org/> (дата обращения: 06. 06. 2023). – Текст : электронный.

28. Ермилова, Н.Ю. Термостабилизация многолетнемёрзлых грунтов: технологии и оборудование / Н.Ю. Ермилова, А.В. Журавлев, В.Ю. Тянь. – Текст : непосредственный // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 5(77). – С. 424–432.

29. Савинова, В.А. Генезис функционального зонирования антарктических научно-исследовательских станций начала XX века / В. А. Савинова. – Текст : непосредственный // Архитектура и современные информационные технологии. – 2021. – № 1 (54). – С. 62–77.

References

1. Kabirov R.R. Logistika v Antarktike [Logistics in Antarctica]. In: *Vektor ekonomiki*. – 2019. – № 4 (34). (In Russ.)

2. Myasepp K., Puntus V. Evolyutsiya putei resheniya problem stroitel'stva pri osvoenii Arktiki [Evolution of Ways to Solve Problems of Construction in the Development of the arctic]. In: *Russkii inzhener [Russian Engineer]*, 2018, no. 2 (59), pp. 40–43. (In Russ. abstr. in Engl.)

3. Klimanov S.G., Gromov V.N. Sistemnyi podkhod k probleme proektirovaniya i stroitel'stva bystrovovozvodimyykh sooruzhenii dlya obustroystva voisk v raionakh Arktiki [Timeliness of the Topic is Caused by the National Defense Tasks and the Objective of the Development of the Northern Borders of our Motherland]. In: *Aktual'nye problemy voenno-nauchnykh issledovaniy [Current Problems of Military Scientific Research]*, 2021, no. 1(13), pp. 319–335. (In Russ. abstr. in Engl.)

4. Savinova V.A. Otechestvennyi opyt stroitel'stva nauchno-issledovatel'skikh stantsii: sovremennoe sostoyanie voprosa [Domestic Experience in the Construction of Research Stations: the Current State of the Issue]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]*, 2022, no. 12 (768), pp. 64–74. (In Russ. abstr. in Engl.)

5. Ivanov I.A., Kuz'mina A.A. Osnovnye printsipy arkhitektury zhilykh zdaniy i kompleksov v Arktike i raionakh Krainego severa na primere goroda Salekhard [Main Principles of Architecture of Residential Buildings and Complexes in the Arctic and Areas of the Far North on the Example of the City of Salekhard]. In: *Sistemnye tekhnologii*, 2022, no. 2 (43), pp. 75–82. (In Russ. abstr. in Engl.)

6. Lukin S., Vasekha M.V. A. O vnedrenii initsiativy "Zeleniy port" v Arktike. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Arkticheskii region [News of Higher Educational Institutions. Arctic Region]*, 2022, no. 1, pp. 101–104. (In Russ.)

7. Sakhnenko, M.A. Stroitel'stvo gidrotekhnicheskikh sooruzhenii v usloviyakh Arktiki [Construction of Hydraulic Structures in the Arctic]. In: *Fundamenty [Foundations]*, 2020, no. 2, pp. 32–34. (In Russ.)

8. Gorgutsa E. Yu. Kurilo E. Yu. Stroitel'stvo iskusstvennykh ledovykh ostrovov v usloviyakh Arktiki [Construction of Artificial Ice Islands in the Arctic]. In: *Gidrotekhnika. XXI vek*. – 2017, no. 4, pp. 54–57. (In Russ.)

9. Alekseev G. V. Dmitriev V.G. Analiz okruzhayushchei sredy Arkticheskoi zony RF [Analysis of the Environment of the Arctic Zone of the Russian Federation]. In V.V. Ivanter (ed.): *Arkticheskoe prostranstvo Rossii v XXI veke: faktory razvitiya, organizatsiya upravleniya [Arctic Space of Russia in the XXI Century: Development Factors, Management Organization]*, Monograph. St. Petersburg, Nauka Publ., 2016, pp. 67–92. (In Russ.)

10. Porfir'ev B.N., Eliseev D.O., Streletskii D.A. Ekonomicheskaya otsenka posledstviy degradatsii vechnoi merzloty dlya zhilishchnogo sektora rossiiskoi Arktiki [Economic Assessment of the Consequences of Permafrost Degradation for the Housing Sector of the Russian Arctic]. In: *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*. 2021, Vol. 91, no. 2, pp. 105–114. (In Russ.)

11. Sherstyukov B. G. Klimaticheskie usloviya Arktiki i novye podkhody k prognozu izmeneniya klimata [The Climatic Conditions of the Arctic and New Approaches to the Forecast of the Climate Change]. In: *Arktika i Sever [Arctic and North]*, 2016, no. 24, pp. 39–67 (In Russ. abstr. in Engl.)

12. Alekseev G.V., Radionov V.F., Skvortsova E.A. [et al.]. Arkticheskaya zona Rossiiskoi Federatsii [Arctic Zone of the Russian Federation]. In: *Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchei sredy v Rossiiskoi Federatsii za 2015 god [Review of the State and Pollution of the Environment in the Russian Federation for 2015]*. Moscow, Institut global'nogo klimata i ekologii Rosgidrometa i RAN [Institute of Global Climate and Ecology of Roshydromet and RAS] Publ., 2016, pp. 162–167. (In Russ.)

13. Butakov S.V., Khviyuzov M.A., Avtukhov S.S. Otsenka potentsiala solnechnoi energii v usloviyakh Krainego Severa [Assessment of the Potential of Solar Energy in the Conditions of the Far North]. In: *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the Development of Science and Education]*, 2021, no. 72-7, pp. 76–80. (In Russ.)

14. Polui, B. M. Arkhitektura i gradostroitel'stvo v surovom klimate [Architecture and Urban Planning in a Harsh Climate]. Leningrad, Stroiizdat, Leningrad Department Publ., 1989, 300 p. (In Russ.)

15. Popova, R.M. Insolyatsiya. KEO i polyarnye nochi severnoi zony Rossii [The Insolation Questions and the Polar Nights in the Northern Regions of Russia]. In: *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka [Construction Materials, Equipment, Technologies of the XXI Century]*, 2009, no. 6 (125), pp. 55–57. (In Russ. abstr. in Engl.)

16. Ivanov N.E., Makshtas A.P. Otsenka vliyaniya klimata na sotsial'no-ekonomicheskuyu deyatel'nost' v Severnoi Yakutii

[Assessing the Influence of Climate on Socio-Economic Activity in Northern Yakutia]. In: *Problemy Arktiki i Antarktiki [Arctic and Antarctic Research]*, 2014, no. 2(100), pp. 57–74. (In Russ.)

17. Baranova A.A., Golod M.P., Meshcherskaya A.V. Izmenenie graduированных скоростей ветра на территории России во второй половине XX века [The Change of Graduated Wind Velocities over the Territory of Russia in the Second Half of the XX Century]. In: *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova [Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov]*, 2007, no. 556, pp. 116–138. (In Russ.)

18. Kamenskii R.M. Chto my znaem o vechnoi merzlotte [What do we know about permafrost]. In: *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*. Moscow, 2007, Vol. 77, no. 2, pp. 164–168. (In Russ.)

19. Krasulina, O.Yu. Kachestvo zhizni naseleniya, prozhivayushchego i rabotayushchego v Arktike [Quality of Life of the Population Living and Working in the Arctic]. In V.V. Ivanter (ed.): *Arkticheskoe prostranstvo Rossii v XXI veke: faktory razvitiya, organizatsiya upravleniya [Arctic Space of Russia in the XXI Century: Development Factors, Management Organization]*, Monograph. St. Petersburg, Nauka Publ., 2016, pp. 421–440. (In Russ.)

20. Vasil'ev A.A., Gravis A.G., Gubar'kov A.A. Degradatsiya merzloty: rezul'taty mnogoletnego geokriologicheskogo monitoringa v zapadnom sektore rossiiskoi Arktiki [Permafrost Degradation: Results of Long-Term Geocryological Monitoring in the Western Sector of the Russian Arctic]. In: *Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere]*, 2020, Vol. 24, no. 2, pp. 15–30. (In Russ. abstr. in Engl.)

21. Zamyatina, N. Yu. Severnyi gorod-baza: osobennosti razvitiya i potentsial dlya osvoeniya Arktiki [Northern City-Base: Its Special Features and Potential for the arctic development]. In: *Arktika: ekologiya i ekonomika [Arctic: Ecology and Economy]*, 2020, no. 2 (38), pp. 4–17. (In Russ., in Engl.)

22. Serova N.A., Serova V.A. Sistemnye problemy razvitiya transporta v Rossiiskoi Arktike [Systemic Problems of Transport Development in the Russian Arctic]. In: *Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie [Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration]*, 2021, Vol. 10, no. 1 (34), pp. 295–297. (In Russ. abstr. in Engl.)

23. Serova N.A., Serova V.A. Transportnaya infrastruktura rossiiskoi Arktiki: spetsifika funktsionirovaniya i perspektivy razvitiya [Transport Infrastructure of the Russian Arctic: Specifics Features and Development Prospects]. In: *Problemy prognozirovaniya [Forecasting Problems]*, 2021, no. 2 (185), pp. 142–151. (In Russ. liter. in Engl.)

24. Bazhutova E.A., Biev A.A., Emel'yanova E.E. Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie Severo-Arkticheskikh territorii Rossii [Socio-Economic Development of the North-Arctic Territories of Russia]. Apatity, Kol'skii nauchnyi tsentr Rossiiskoi akademii nauk [Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2019, 119 s. (In Russ.)

25. Savinova V.A., Brodach M.M. Energosnabzhenie nauchno-issledovatel'skikh kompleksov v Arktike [Energy Supply of scientific Research Complexes in the Arctic]. In: *Zdaniya vysokikh tekhnologii [High-Tech Buildings]*, 2019, no. 1, pp. 14–20. URL: http://zvt.abok.ru/articles/535/Energosnabzhenie_nauchno_issledovatel'skikh_kompleksov_v_Arktike (Accessed 01/16/2024). (In Russ.)

26. Alekseev S.E. [et al.] Traektorii proektov v vysokikh shirotakh [Project Trajectories in High Latitudes], Monograph. Novosibirsk, Nauka Publ., 2011, 440 p. (In Russ.)

27. Princess Elizabeth station [Princess Elizabeth Station], Official website. URL: <http://www.antarcticstation.org/> (Accessed 06/06/2023). (In Engl.)

28. Ermilova, N.Yu., Zhuravlev A.V., Tyan V.Yu. Termostabilizatsiya mnogoletnemerzlykh gruntov: tekhnologii i oborudovanie [Thermal Stabilization of Permafrost Soils: Technologies and Equipment]. In: *Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering Journal of Don]*, 2021, no. 5 (77), pp. 424–432. (In Russ. abstr. in Engl.)

29. Savinova, V.A. Genezis funktsional'nogo zonirovaniya antarkticheskikh nauchno-issledovatel'skikh stantsii nachala XX veka [The Genesis of Functional Zoning of Antarctic Research Stations in the Early 20th Century]. In: *Arkhitektura i sovremennye informatsionnye tekhnologii [Architecture and Modern Information Technologies]*, 2021, no. 1 (54), pp. 62–77. (In Russ. abstr. in Engl.)