

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-55-71003 «Быстрые изменения окружающей среды в Арктике: последствия для благополучия населения, устойчивости развития и демографии Арктического региона» / Acknowledgements: The research was carried out with the financial support of the RFBR within the framework of the scientific project No. 20-55-71003 "Rapid Arctic environmental Changes: implications for well-being, resilience and Evolution of Arctic communities (RACE)"

Рассматриваются проблемы энергообеспечения удаленных территорий Российской Арктики, населенных в том числе коренными и малочисленными народами. В условиях дефицита электроэнергии, тепла, пресной воды и климатических изменений рассматриваются возможности использования новых технологий создания локальных инфраструктурных объектов возобновляемых источников энергии (ВИЭ), интегрированных в условия традиционного уклада людей для формирования благоприятной среды обитания в гармонии с природой.

Ключевые слова: энергетические ресурсы; коренные народы Севера; среда обитания; ВИЭ. /

The article deals with the problems of energy supply of the Russian Arctic remote territories inhabited, among others, by indigenous and small-numbered peoples. Taking into account the electricity, heat and fresh water shortage, as well as climate change, the authors consider the possibilities of using new technologies for creating local infrastructure facilities of renewable energy sources (RES) integrated into the conditions of the traditional way of life for the formation of a favorable habitat in harmony with nature.

Keywords: energy resources; indigenous peoples of the North; habitat; RES.

Проблемы энергообеспечения удаленных территорий Российской Арктики / The problems of energy supply of the Russian Arctic remote territories

текст

Дмитрий Соловьев

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

Любовь Шилова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Сергей Гулев

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН /

text

Dmitry Solovjev

Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

Lyubov Shilova

National Research Moscow State University of Civil Engineering

Sergey Gulev

Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

Россия по праву считается северной державой, поскольку более 60% территории страны приходится на арктические регионы, где проживает около 12 млн чел., 2,5 млн из которых – непосредственно в Арктической зоне России [1]. Примерно 10% населения Российской Арктики относятся к коренным и малочисленным народам. Они ведут традиционную деятельность и успешно адаптируются к реалиям современного мира. Тем не менее в условиях изменения окружающей среды Арктики происходят изменения культуры, традиций, языков, коренного населения, которые долгое время определяли их самобытность. Следует отметить, что более половины всех КМНС России проживают на территории Арктической зоны, причем две трети из них за пределами городских поселений [2].

Основными видами традиционной хозяйственной деятельности коренных и малочисленных народов Арктики являются кочевое животноводство (оленоводство, коневодство) и промысловая охота, включая переработку и реализацию охотничьей продукции. Важное место в традиционном укладе хозяйства также занимают заготовка лесных ресурсов и собирательство (заготовка, переработка и продажа пищевого сырья из леса, сбор лекарственных растений) [3, 4].

Значение удаленных от европейской части северных арктических территорий для экономики России достаточно велико, так как они наделены большими природными богатствами. Если сравнивать потенциал этих территорий с общей обеспеченностью страны природными ресурсами, то на долю части северных арктических территорий приходится более половины всех лесов и водных ресурсов, а также более 80% запасов природного газа, нефти, золота, меди и никеля, большие запасы алмазов, кобальта и многих других металлов и редкоземельных элементов.

Вся Арктика, как и ее российская часть, – крупнейший нефтегазоносный резервуар Земли, способный удовлетворить спрос на углеводородные ресурсы для нужд всего человечества в XXI веке. А Северный морской путь – глобальная транспортная система, обеспечивающая кратчайший путь транзита грузов из Европы в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, США и Японию, ко-

торый значительно короче и дешевле, чем традиционный маршрут через Суэцкий канал.

Современное состояние энергообеспечения арктических регионов нельзя назвать удовлетворительным [5]. Проблема обеспечения работы транспортной инфраструктуры на арктических территориях связана с ее сезонным характером. Завоз топлива для работы местных локально-изолированных систем электроснабжения может осуществляться только периодически. На сегодняшний день водный транспорт обеспечивает до 80% поставок топлива и других грузов. Количество дней в году, когда водный транспорт может обеспечивать доставку грузов в арктические регионы, составляет примерно 120. Поэтому в последнее время в Арктике все больше используются технологии возобновляемой энергетики, обеспечивающие доступной локальной энергией с использованием местных топливно-энергетических ресурсов [6]. Кроме того, все больше внимания уделяется повторному энергетическому использованию различных видов отходов, в том числе отходов жизнедеятельности [7].

Среда обитания человека в Арктике создается под влиянием многих факторов [8], которые определяют не только тип застройки или форму зданий, но и принципы жизнеобеспечения, внутреннее устройство и содержание объектов капитального строительства.

К положительным сторонам глобального потепления можно отнести повышение экономического эффекта за счет увеличения продолжительности навигации по Северному морскому пути и грузопотока. Однако последствия глобального потепления неизбежно приводят к проблемам в процессе освоения Российской Арктики и изменению в стратегии развития региона. Так, например, происходит оттаивание вечной мерзлоты, из-за чего снижается устойчивость грунтов, разрушаются здания и сооружения. Кроме того, обостряется проблема наступления океана и затопления обширных территорий, что приводит к деградации береговой линии и, как следствие, к обрушениям и проседаниям.

Очевидно, что необходима разработка новых подходов к формированию среды обитания в экстремальных условиях. В связи с этим на первый план выходят проблемы



< Рис. 1. Кольский ветропарк (<https://bellona.ru>)

энергообеспечения и формирования благоприятной среды обитания людей, традиционно населяющих Арктику. Решение этой проблемы должно включать выявление общих принципов децентрализованного энергообеспечения удаленных территорий. Представленный ниже обзор предлагаемых проектов на основе использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и местных энергоресурсов позволит выявить особенности и недостатки и оценить их воздействие на повышение качества среды обитания в Арктике.

Комплексное решение проблемы энергообеспечения и формирования благоприятной среды обитания человека

В экономике Российской Федерации северные территории Российской Арктики играют значительную роль, обеспечивая безопасность и геополитические интересы страны. Так, успешно реализуется стратегия развития северных территорий до 2035 года, которая включает в себя национальные проекты и государственные программы с инвестиционными планами крупных инфраструктурных компаний и программы развития арктических регионов и городов. Эти программы предполагают создание предприятий топливно-энергетического комплекса, отвечающих современному уровню развития и не оказывающих негативного воздействия на уникальную природу Севера. Для их практической реализации потребуются разработать новые технологии локального энергоснабжения, которые можно использовать в условиях Арктики. Реализация программ потребует обеспечения северных регионов страны экологически чистым энергетическим и моторным топливом на основе местного сырья, а также ограничения и в конечном итоге полного исключения дорогостоящего северного завоза нефтепродуктов.

Согласно официальным статистическим данным, количество децентрализованных систем энергоснабжения в районах Крайнего Севера России с высокими затратами на электроэнергию превышает несколько тысяч и число их потребителей более 11 млн чел. [9]. Всего около 30 тыс. населенных пунктов получают энергоснабжение от местных энергосистем: из них более 6 тыс. с на-

селением свыше 500 чел., более 1 тыс. с населением от 2 тыс. чел., свыше 500 с населением более 3 тыс. чел. При этом значительная часть энергии уходит на энергоснабжение крупных промышленных предприятий и трубопроводные системы. Доля расходов местных бюджетов на оплату услуг энергоснабжающих организаций во многих районах Крайнего Севера превышает 30%, а в отдельных случаях достигает 60% при среднем уровне по России около 20%.

Потребители Крайнего Севера с изолированными энергосистемами дотируются государством примерно наполовину. Практически во всех регионах Крайнего Севера (кроме нефтегазодобывающих) доля расходов на энергоснабжение в валовом региональном продукте составляет от 20 до 37% и зачастую превышает разумные пределы энергодоступности, что не позволяет экономике динамично развиваться. Для городов и поселков с изолированными системами энергоснабжения отношение затрат на энергоснабжение к общему объему муниципального бюджета обычно превышает 40%. Таким образом, рассматривая положение дел в энергетической отрасли регионов Крайнего Севера РФ, можно сделать вывод, что удаленные территории Арктической зоны РФ особенно нуждаются во внедрении инновационных энергоэффективных решений, а также современных автономных электростанций, использующих гораздо более дешевые ВИЭ. Именно здесь, в этих регионах, внедрение технологий альтернативной возобновляемой энергетики должно не только принести свои плоды, но и значительно сократить расходы населения и промышленности на субсидирование энергопотребления. А потенциал такой модернизации кроется именно в нынешних высоких бюджетных затратах на энергообеспечение арктических регионов.

Для формирования благоприятной и гармоничной среды жизнедеятельности человека в Российской Арктике требуется не только решить проблему энергообеспечения, но и обеспечить всеобщую доступность чистой пресной воды, без которой невозможно функционирование тепловых энергетических систем. Это одна из наиболее серьезных проблем, препятствующих устойчивому развитию арктических регионов России.

> Рис. 2. Гибридная энергоустановка с солнечной генерацией в поселке Тура, Эвенкия (<http://www.krskstate.ru>)



Загрязнение атмосферного воздуха, почвы, недостаточное обеспечение качественной питьевой водой и отсутствие санитарно-гигиенических условий – все это представляет угрозу для здоровья и благополучия населения региона [10].

Планы интенсификации промышленного развития, благоустройства городов, сопровождающиеся ростом населения, неизбежно будут связаны с развитием централизованных систем водоснабжения и водоотведения, увеличением потребления питьевой воды и водоотведения. В Арктике условия строительства объектов водопроводно-канализационного хозяйства заметно отличаются от условий, сложившихся в других регионах России, и требуют больших финансовых затрат, которые могут составлять до 80% от общей стоимости строительства. Это обусловлено в первую очередь проблемами доступа к водным ресурсам, а также величиной нагрузки на источники водоснабжения в районах вечной мерзлоты.

По данным Государственного отчета о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения Республики Саха (Якутия), только 14,4% населения обеспечено чистой питьевой водой. Для Архангельской области этот показатель приближается к 30%, а в Мурманской области не превышает 17,6%. Значительная часть населенных пунктов имеет децентрализованное водоснабжение: население использует воду из рек, озер, шахтных стволов, колодцев и привозную воду, доставляемую водовозами. В холодное время года большинство населенных пунктов использует лед, собранный в специально отведенных местах.

Решение проблемы дефицита пресной воды как элемента формирования благоприятной среды обитания человека – важнейшая составляющая устойчивого развития промышленной отрасли арктических регионов. От успешного решения этой проблемы зависит бесперебойная работа промышленно-энергетической инфраструктуры и создание условий жизни коренного населения, отвечающих требованиям времени.

Свыше нескольких сотен объектов возобновляемой энергетики уже построено или будет построено в Российской Арктике в самые ближайшие годы.

Особенно активно это направление развивается на территории Якутии. В поселке Тикси построен комбинированный энерготехнологический комплекс, объединяющий ветровые электростанции, дизель-генераторы и умные системы накопления энергии. В поселке Юкур построена солнечная электростанция. Ее работа позволяет успешно экономить более 15,5 т дефицитного дизельного топлива в год.

Завершены проекты и в других арктических регионах. С 2013 года использование солнечной энергии для малых потребителей внедрено в Национальном парке «Русская Арктика» на Новой Земле и Земле Франца-Иосифа – самом северном архипелаге Евразии.

Построенный в 2022 году Кольский ветропарк (рис. 1) включает в себя 57 турбин и расположен на территории в 257 га. Ветровая электростанция способна вырабатывать около 750 ГВт•ч электроэнергии в год, что позволит избежать 600 тыс. т выбросов углекислого газа в атмосферу.

В 2022 году группа компаний «Хевел» в поселке Тура Эвенкийского района Красноярского края построила гибридную солнечную электростанцию на базе фотоэлектрических панелей мощностью 2,5 МВт и с интегрированной системой накопления энергии (рис. 2). Установка начала снабжать поселок, что позволит сэкономить около 10% объема ранее используемого дизельного топлива.

Холдинг АЕОН «Северная звезда» успешно реализует проект по созданию угольного кластера на базе Сырадасайского месторождения на Таймыре и планирует построить ветропарк мощностью 4 МВт для нужд этого кластера.

Многие крупные промышленные компании рассматривают возможность строительства ветропарков на Таймыре для покрытия энергоемкости своих проектов по освоению углеводородных и минеральных месторождений. Реализуются инвестиционные проекты по модернизации объектов промышленной энергетики в отдаленных энергорайонах Якутии, в рамках которых в регионе планируется запуск четырех гибридных ветро-солнечных электростанций.

Для успешной реализации энергетических проектов, необходимо учитывать, что северные территории России

Принцип	Реализация	Достижение
Адаптация к последствиям климатическим изменений	Обеспечение жизнедеятельности	Конструктивные решения энергетических объектов
Восстановление среды от последствий загрязнения от традиционной энергетики	Переход на использование ВИЭ и местные виды топлива	Экологически ответственный подход к планированию энергообеспечения
Оптимизация размеров энергетических сооружений	Визуальный контакт с природой и сохранение биоландшафтов	Законодательные ограничения высоты зданий и сооружений
Учет распространения многолетнемерзлых грунтов	Развития геотехнического мониторинга в криолитозоне	Внедрение строительных норм для энергетических объектов
Ответственная система водопотребления	Решение проблемы дефицита пресной воды	Развитие централизованных систем водоснабжения и водоотведения
Минимизация барьеров в природных ландшафтах	Сохранение ареала распространения животного мира растительности	Ландшафтное проектирование
Энергоэффективность экономичность проектных и технологических решений	Ресурсо- и природосбережение	Внедрение норм и сертификации
Стремление сохранения почвенно-растительного слоя в процессе освоения	Сбережение ландшафтов и видового разнообразия растений и животных	Ограничения в организации и технологии строительства и эксплуатации
Биопозитивность энергетических сооружений	Интеграция растительного и животного мира из поселений	Организация ниш, укрытий, «гнезд», водоемов и т. д.
Долговечность энергетических инфраструктурных объектов	Сбережение и экономия возобновляемых ресурсов	Обеспечение (технологическое) увеличения срока эксплуатации материалов и конструкций
Согласование энергопотребления населения с возможностями природы	Устойчивое развитие	Экологизация потребления

< Таблица 1. Обобщенные принципы формирования благоприятной среды обитания и эффективного энергообеспечения в условиях Арктики

располагаются на вечномерзлых грунтах. Появляется необходимость в мониторинге грунтов, который позволяет выявить малейшие изменения температур, структуры грунта, деформацию и т. д. Особенно это важно для фундаментов зданий и сооружений, эксплуатируемых на вечномерзлых грунтах [11]. В этом случае чрезвычайно важной задачей при создании энергетических объектов является предотвращение оттаивания грунтов, способного привести к недопустимым деформациям фундамента и разрушению здания или сооружения.

Арктические энергетические объекты возобновляемой энергетики объединены несколькими локациями. Все объекты находятся в отдаленных населенных пунктах, что обусловлено их географическим расположением, характеризующимся высокой степенью изолированности и отсутствием постоянного транспортного сообщения. Данные объекты обеспечивают потребителям автономность и энергонезависимость. Обобщая приведенные выше данные, следует отметить, что существуют как общие, так и не всегда очевидные признаки, которые в сочетании с решением сопутствующих задач дают наиболее полное представление о принципах формирования концепции благоприятной среды обитания и эффективного энергообеспечения в условиях Арктики. Эти универсальные принципы, способы их реализации и достижения заявленных целей представлены в табл. 1., составленной авторами с использованием данных [8].

Инновационные подходы к энергообеспечению удаленных территорий Российской Арктики

Наблюдаемые изменения климата можно объяснить в том числе увеличением содержания углекислого газа в атмосфере [12]. По сути, мы стоим на пороге новой промышленной революции. Использование ископаемых видов топлива заменяется применением новых наукоемких технологий, обеспечивающих минимизацию вредного воздействия топливно-энергетического комплекса на природный баланс. Приоритетным является использование возобновляемых технологий и местных энергетических ресурсов в энергетических целях.

Нам необходимо иметь данные технологии и для того, чтобы отвечать требованиям мирового сообщества по пе-

реходу с безуглеродному развитию. Имеющийся научный задел в разработке технологий данного назначения позволяет рассчитывать на передовые позиции в мире по решению данной задачи. Разработка технологий безуглеродной энергетики, создание промышленного оборудования, реализующего данные разработки, обеспечит РФ передовые позиции на мировом рынке современного энергетического оборудования. Это, в свою очередь, позволит компенсировать потери бюджета страны, связанные с прекращением использования угля и нефти, а также с санкционной политикой стран Западной Европы в отношении России.

В текущих геополитических условиях перед Россией стоит стратегическая задача по разработке технологий, обеспечивающих автономное энергоснабжения арктических территорий страны, среди которых особое место занимают установки с использованием водородных технологий [7].

Одним из вариантов решения данной задачи является создание комбинированной солнечно-ветровой установки с водородным аккумулярованием. Такие установки наиболее эффективны, поскольку сегодня во многих странах отмечается сближение стоимости электроэнергии, генерируемой тепловыми электростанциями на ископаемом топливе и ветровыми и солнечными электростанциями [13]. Начиная с 2017 года мощности вводимых ВИЭ в мире превысили объемы вводимых мощностей традиционной энергетики. Поэтапно происходит переход от традиционных технологий на ВИЭ. Использование последних дает преимущество с экономической точки зрения и позволяет минимизировать экологический след.

В настоящее время установки, использующие солнечную и ветровую энергию, широко применяются во многих странах мира. В последние годы в странах Европейского союза водится в эксплуатацию больше мощностей на возобновляемых источниках, чем с использованием ископаемого топлива. В нашей стране, особенно в удаленных северных регионах, условия применения методов возобновляемой энергетики отличны от тех, которые существуют на Западе. Возобновляемая энергетика делает необходимым резервирование.

На Западе резервирование осуществляется сетью. В России около 70% территории страны расположено вне сетей, поэтому использование возобновляемых источников представляется наиболее целесообразным как раз в тех регионах, где сеть отсутствует либо ее мощности недостаточно для покрытия требуемых нагрузок. К таким регионам прежде всего относятся удаленные территории Арктики.

Одним из оптимальных методов резервирования возобновляемых источников считается газопоршневой двигатель с электрогенератором, работающий на водороде. Когда производство электрической энергии превышает потребление, водород производится методом электролиза воды. Если производимой мощности недостаточно, водород срабатывается в виде топлива в газопоршневой электростанции с производством электроэнергии. Для создания надежных систем аккумулялирования электрической энергии необходимо создание эффективного газопоршневого двигателя, работающего на водороде, с учетом опыта российских разработок в этой области [14].

В рамках предложенной концепции рассмотренных выше подходов к энергообеспечению удаленных территорий в арктических регионах можно реализовать следующие проекты:

- Солнечная фотоэлектрическая станция с пиковой электрической мощностью 1000 кВт. Для ее размещения потребуется площадь 0,5–0,6 га. Солнечные модули серийного производства российских предприятий ООО «ХЭВЭЛ» (Новочебоксарск, Чувашия), ООО «СанВейс» (Зеленодольск, Московская область) и др. можно использовать в качестве фотоэлектрических преобразователей.

- Комбинированная ветроэлектрическая установка номинальной мощностью 600 кВт и солнечная энергетическая установка мощностью 499 кВт. Такая установка может состоять, например, из десяти серийных ветрогенераторов типа «КОНДОР» номинальной мощностью 60 кВт, установленных на расстоянии 100–120 м друг от друга.

- Система накопления электроэнергии на основе использования водорода, состоящая из электролизеров, компрессоров, группы ресиверов водорода, газопоршневой установки номинальной мощностью 100–400 кВт и микропроцессорных автоматических системы контроля и управления объектами. Хранение водорода возможно реализовать в губчатых интерметаллических соединениях.

Все указанное оборудование может быть изготовлено в России. Отработка предложенных технологий и вариантов энергоустановок должна осуществляться в «промышленных» условиях, т. е. для электроснабжения реальных потребителей.

Согласно технико-экономическим расчетам, необходимое финансирование для сооружения каждой из предложенных опытно-промышленных установок составляет не более 200 млн руб., а при нормальной работе и существующих тарифах на электрическую энергию в арктических регионах срок их окупаемости составит порядка 10 лет.

Территории большинства регионов Арктической зоны России обладают высоким потенциалом солнечной и ветровой энергии [6], поскольку они имеют длительный световой период и постоянные сильные ветра. По существующим оценкам стоимость электроэнергии, которая может быть получена с использованием солнечно-ветровых установок в Арктической зоне, примерно на 40% дешевле по отношению к электроэнергии, получаемой с использованием ископаемых топлив в центральных регионах России. При создании солнечно-ветровых установок в Арктическом регионе России наличие «дешевой»

электроэнергии позволяет организовать получение водорода электролизом воды.

С использованием водорода на новом уровне может быть решена проблема создания собственной системы энергообеспечения арктических регионов. На севере России расположен целый ряд угольных месторождений, разработка которых затруднена из-за их удаленности от потребителей. Например, архипелаг Шпицберген, который является зоной особых государственных интересов Российской Федерации, имеет крупные запасы высококалорийного угля, оцениваемые в 10 млрд т. Основной район угледобычи расположен в центральной части о. Западный Шпицберген. Здесь расположены все действующие норвежские и российские шахты. К сожалению, российская угольная промышленность на Шпицбергене нерентабельна. Низкая рентабельность вызвана необходимостью установки дорогостоящего оборудования, чтобы соответствовать экологическим требованиям Норвегии, также слишком много денег нужно для содержания поселения.

Острейшей социально-экономической проблемой всех северных регионов страны является северный завоз. Устойчивая тенденция к снижению объемов поставляемых товаров стала одной из причин оттока населения из районов Крайнего Севера. Один из путей решения этой проблемы – создание на базе местного угля производства экологически чистого моторного топлива для собственных нужд, что позволит снизить завоз нефтепродуктов и создать новые рабочие места.

Все эти вопросы показывают, что назрела необходимость разработки и оптимизации новых технических решений, направленных на решение проблем, связанных с энергетическим использованием местных топливно-энергетических ресурсов, в частности угольных месторождений. А наличие дешевого водорода могло бы позволить эффективно использовать местное органическое сырье (уголь, торф, вторичную биомассу) для производства продуктов с высокой добавленной стоимостью, в том числе зеленого дизельного топлива, высших спиртов и т. д. Экспорт этих продуктов может быть более прибыльным, чем экспорт водорода. Для отдаленных арктических районов важную роль играет организация производства топлива из местного сырья, так как коммерциализация таких технологий потенциально может сократить или даже полностью ликвидировать потребность обеспечивать северный завоз.

Низкоуглеродное развитие удаленных арктических территорий означает сохранение экологического баланса, культуры, традиций, языков коренных народов и в конечном счете заботу об условиях жизни на нашей планете. Изложенные выше подходы позволят решить задачи, связанные с формированием благоприятной среды обитания и эффективного энергообеспечения в суровых климатических условиях. При этом реализация потенциала использования новых технических решений в сфере развития альтернативных источников энергии, преодоления проблемы дефицита пресной воды, создания энергетической инфраструктуры в условиях многолетнемерзлых грунтов для регионов Арктической зоны России позволит получить значительный экономический эффект за счет сокращения и в конечном итоге прекращения северного завоза топлива.

Следует отметить, что решение проблем энергообеспечения Арктической зоны России на начальном этапе проектирования среды обитания человека должно быть комплексным и осуществляться с использованием принципов, не только учитывающих изменение климата, но и включающих в себя передовые решения в области обращения с отходами, создания объектов возобновляемой энергетики, интегрированных в условия традиционного жизненного уклада коренных народов.



< Рис.3. Перспективные регионы Арктической зоны РФ для внедрения технологической солнечной и ветровой энергетики [6]

Литература

1. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. – URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 17.01.2023).
2. Павленко, В., Петров, А., Куценко, С., Деттер, Г. Коренные малочисленные народы Российской Арктики (проблемы и перспективы развития) // Экология человека. – 2019. – № 1. – С. 26–33.
3. Кирко, В. И., Захарова, К. Н. Традиционная хозяйственная деятельность – этносохраняющий образ жизни // Арктика и Север. – 2013. – № 12. – С. 24–31.
4. Коренные малочисленные народы Севера в условиях освоения Арктической зоны Российской Федерации // Росконгресс. – URL: <https://roscongress.org> (дата обращения: 17.01.2023).
5. Ампилов, Ю. Энергетическое развитие Российской Арктики в эпоху энергоперехода // Энергетическая политика. – 2022. – № 1(167). – С. 30–43.
6. Энергетическая инфраструктура Арктической зоны Российской Федерации / Ред. В. В. Бушуев. – Москва : ИД «Шанс», 2019. – 146 с.
7. Зайченко, В. М., Бушуев, В. В., Новиков, Н. Л., Соловьев, Д. А. Новые технологии энергоутилизации биомассы как драйверы локальной энергетики // Энергетическая политика. – 2022. – № 12(178). – С. 102–111.
8. Sarvut, T. O. Principles of habitat formation in the Arctic region // Vestnik MGSU. – 2018. – № 2. – Р. 130–140.
9. Змиева, К. А. Проблемы энергоснабжения арктических регионов // Российская Арктика. – 2020. – № 1. – С. 5–14.
10. Выучейская, Д. С., Носков, С. Н., Еремин, Г. Б. Проблемы водоснабжения и водоотведения в Российской Арктике по результатам анализа научно-практических работ // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2019. – Вып. 14, № 1. – С. 235–241.
11. Ashpiz, E. S. The problems of the railway subgrade construction in the subarctic part of the Russian cryolithozone and the ways of their solution // Transportation Soil Engineering in Cold Regions. – Springer, 2020. – Vol. 1. – P. 295–302.
12. Гулев, С. К., Катцов, В. М., Соломина, О. Н. Глобальное потепление продолжается // Вестник РАН. – 2008. – Вып. 78, № 1. – С. 20–27.
13. Raimi, D., Campbell, E., Newell, R. G., Prest, B., Villanueva, S., Wingenroth, J. Global Energy Outlook 2022: Turning Points and Tension in the Energy Transition. – Washington, 2022. – 47 p.
14. Зайченко, В. М., Соловьев, Д. А., Чернявский, А. А. Перспективные направления развития энергетики России в условиях перехода к новым энергетическим технологиям // Окружающая среда и энерговедение. – 2020. – № 1(5). – С. 33–47.

References

- Ampilov, Yu. (2022). Energy development of the Russian Arctic in the era of energy transition. *Energy Policy*, 1(167), 30-43.
- Ashpiz, E. S. (2020). The problems of the railway subgrade construction in the subarctic part of the Russian cryolithozone and the ways of their solution. In *Transportation Soil Engineering in Cold Regions* (Vol. 1, pp. 295-302). Springer.
- Bushuyev, V. V., Gabderakhmanova, T. S., Morgunova, M. O., Nefedova, L. V., & Solovyov, D. A. (2019). *Energy infrastructure of the Arctic zone of the Russian Federation* (V. V. Bushuyev, Ed.). Chance Publishing House. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3545782>
- Chislennost naseleniya Rossiiskoi Federatsii po munitsipalnym obrazovaniyam [Russian Federation population by municipality]. (2023). Rosstat.Gov.Ru. Retrieved from <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282>.
- Gulev, S. K., Kattsov, V. M. & Solomina, O. N. (2008). Global warming continues. *Vestnik RAN*, 78(1), 20-27. Retrieved from http://sail.msk.ru/articles/Gulev_Katsov_Solomina2008.pdf
- Kirko, V. I., & Zakharova, K. N. (2013). Traditional economic activity – ethno-preserved life style. *The Arctic and the North*, 12, 24-31.
- Pavlenko, V. I., Petrov, A., Kutsenko, S. Yu., & Detter, G. F. (2019). Indigenous peoples of the Russian Arctic (problems and development prospects). *Human Ecology*, 1, 26-33.
- Sarvut, T. O. (2018). Principles of habitat formation in the Arctic region. *Vestnik MGSU*, 2, 130-140. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.2.130-140>
- Sergeev, I. B. (2021, October 5). *Korennye malochislennye narody Severa v usloviyakh osvoeniya Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii [Indigenous small-numbered peoples of the North in the conditions of development of the Arctic zone of the Russian Federation]*. Roscongress Information and Analytical System. Retrieved January 17, 2023, from <https://roscongress.org/materials/korennye-malochislennye-narody-severa-v-usloviyakh-osvoeniya-arkticheskoy-zony-rossiyskoy-federatsii/>
- Vyucheykaya, D. S., Noskov, S. N., & Eremin, G. B. (2019). Problems of water supply and water disposal in the Russian Arctic by results of analysis of scientific and practical works. *Health is the basis of human potential: Problems and solutions*, 14(1), 235-241.
- Zaichenko, V. M., Bushuyev, V. V., Novikov, N. L., & Solovyov, D. A. (2022). New technologies for energy utilization of biomass as local energy drivers. *Energy Policy*, 12(178), 102-111. https://doi.org/10.46920/2409-5516_2022_12178_102
- Zaichenko, V. M., Solovyov, D. A., & Chernyavsky, A. A. (2020). Prospective directions of Russian electric power industry development within the framework of transition to new energy technologies. *Journal of Environment Earth and Energy Study*, 1(5), 33-47. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3738026>
- Zmиеva, K. A. (2020). Problems of energy supply in the Arctic regions. *Russian Arctic*, 1, 5-14.
- Raimi, D., Campbell, E., Newell, R. G., Prest, B., Villanueva, S., & Wingenroth, J. (2022). Global Energy Outlook 2022: Turning Points and Tension in the Energy Transition. In *Resources for the Future Report*. Washington.