

УДК 620.92 + 621.311  
DOI: 10.24412/2658-4255-2021-2-62-80

**Для цитирования:**  
Иванов А.В., Складчиков А.А., Хренников А.Ю.  
Развитие электроэнергетики арктических регионов Российской Федерации с учетом использования возобновляемых источников энергии // Российская Арктика. 2021 № 13. С. 62–80.  
DOI: 10.24412/2658-4255-2021-2-62-80

Получена: 30.06.2021  
Принята: 19.07.2021  
Опубликована: 21.07.2021



Статья распространяется в полнотекстовом формате на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0

## РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С УЧЁТОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

А.В. Иванов<sup>1</sup>, А.А. Складчиков<sup>2</sup>, А.Ю. Хренников<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Филиал АО «СО ЕЭС» Ленинградское РДУ, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Средней Волги, Самара, Россия;  
skladchikov-aa@mail.ru

<sup>3</sup> АО «Научно-технический Центр Федеральной сетевой компании ЕЭС», Москва, Россия

**Аннотация:** в статье приведен анализ схем и программ перспективного развития электроэнергетики арктических регионов Российской Федерации с учётом влияния изолированных энергорайонов и труднодоступных территорий, факторов перспективного изменения спроса на электроэнергию, влияния экономики и климата, износа основных фондов субъектов энергетики, а также современных мировых тенденций применения возобновляемых источников энергии как альтернативы традиционной энергетике.

**Ключевые слова:** Арктическая зона Российской Федерации, перспектива развития электроэнергетики, возобновляемые источники энергии

## DEVELOPMENT OF ELECTRIC POWER INDUSTRY IN THE ARCTIC REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION, CONSIDERING THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

A.V. Ivanov<sup>1</sup>, A.A. Skladchikov<sup>2</sup>, A.Yu. Khrennikov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Branch of JSC "System Operator of the United Power System" Regional Dispatching Office of St. Petersburg and the Leningrad Region Power System, St. Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> Branch of JSC "System Operator of the United Power System" Interregional Dispatching Office of the of Middle Volga Power System, Samara, Russia; skladchikov-aa@mail.ru

<sup>3</sup> JSC "Science and Technology Center of Federal Grid Company of Unified Energy System", Moscow, Russia

**Abstract:** The article focuses on analysis of schemes and programs for the prospective development of the electric power industry in the Arctic regions of the Russian Federation, considering the influence of isolated energy regions and hard-to-reach territories, factors of prospective changes in the demand for electricity, the influence of the economy and climate, the deterioration of fixed assets of energy entities, as well as modern global trends in application renewable energy sources as an alternative to traditional energy.

**Keywords:** the Russian Arctic, the prospects for the development of electric power industry, renewable energy sources

## Введение

В соответствии с подзаконными актами, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации ежегодно разрабатываются и утверждаются схемы и программы развития электроэнергетики при участии системного оператора и сетевых организаций на 5-летний период с учетом схемы и программы развития Единой энергетической системы России. В арктическую зону России входят все районы: Мурманской области, Ненецкого автономного округа, Чукотского автономного округа, Ямало-Ненецкого автономного округа, а также часть районов республики Карелия, республики Коми, республики Саха (Якутия), Красноярского края и Архангельской области (рис.1) [1].

В целях определения вектора развития арктических регионов Российской Федерации рассмотрим текущее состояние электроэнергетики как основы функционирования экономики и жизнеобеспечения, используя утвержденные главами регионов схемы и программы развития. Используя метод сравнительного анализа, выявим общие проблемы и намеченные пути их решения, планы на модернизацию и развития данных территорий. Определим, как арктические регионы решают одну из основных задач в сфере развития инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации по развитию системы энергоснабжения, модернизации объектов локальной генерации, расширению использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), сжиженного природного газа (СПГ) и местного топлива [2].

*Примечание авторов: программа развития электроэнергетики республики Коми не рассматривалась по причине отнесения к Арктической зоне только территории*

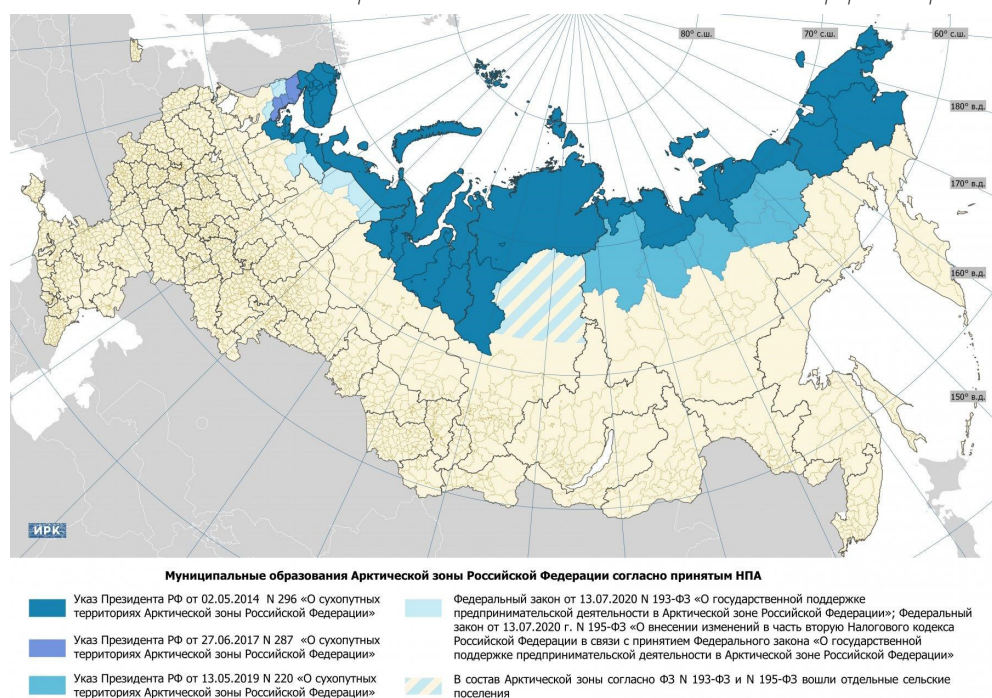


Рисунок 1 – Арктическая зона Российской Федерации.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Карту подготовила А.В. Потураева по заказу АНО «Институт регионального консалтинга»: <https://urban.ranepa.ru>.

муниципального образования городского округа «Воркута», все потребители которого находятся в зоне централизованного энергоснабжения. Также большая часть данных схемы и программы развития электроэнергетики региона предназначена для служебного пользования и не разглашается.

### **Электроэнергетика арктических регионов Российской Федерации**

В **Архангельской области** до начала 1970-х гг. существовало более 60 малых ГЭС приплотинного типа, построенные из древесины, с мощностями от 6,5 до 107 кВт, которые были заменены на более дешевые из условий на тот момент времени дизельные электростанции (ДЭС), но сейчас ситуация изменилась – основной задачей модернизации энергетики стало снижение объемов завозного топлива из-за его возросшей стоимости и высокого процента износа оборудования. В Архангельской области до 86 % первичных энергоресурсов ввозится из других регионов страны и только около 22 % приходится на местные виды топлива: дрова и кородревесные отходы. Такое соотношение ввозимых энергоресурсов обусловлено географическими и природно-климатическими особенностями территории области. Минимальная удаленность от производителей каменного угля и нефтепродуктов до г. Архангельска составляет 1700-1800 км, максимальная – свыше 4500 км [3].

В рамках реализации долгосрочной целевой программы Архангельской области «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Архангельской области на 2010-2021 гг.» было построено 13 новых биотопливных котельных, 49 котельных были переведены на местные виды топлива, закрыто 22 устаревших нерентабельных котельных, тем самым удалось достигнуть замещения 51 тыс. тонн каменного угля и 21 тыс. тонн мазута и дизельного топлива, а экономия эксплуатационных расходов при этом составила 141 млн. рублей.

В период 2021-2025 гг. запланирован перевод 14 котельных, работающих на угле, на работу на древесном топливе. Всего за указанный период при успешной реализации запланированных мероприятий удастся сэкономить порядка 7121 т. угля и 10502 тыс. руб./год, что дополнительно благоприятно скажется на экологии региона за счет уменьшения вредных выбросов в атмосферу. По сравнению с предыдущим периодом, темпы модернизации снижаются, но в разработанной в регионе программе перспективного развития даны предложения по сооружению новых объектов электросетевого комплекса, реконструкции электрических сетей и по внедрению инновационных мероприятий.

Основные рассматриваемые ДЭС представляют собой небольшие изолированные энергоузлы, которые расположены в сельских населенных пунктах, не охваченных централизованным электроснабжением, удаленных от топливных баз, имеющих сложную и затратную схему доставки топлива.

Для таких систем характерны: высокие удельные расходы топлива, низкие коэффициенты использования установленной мощности, высокий износ оборудования, высокий износ и уровень потерь в местных электрических сетях и, как результат, очень высокая стоимость электроэнергии. Из-за этого в муниципалитетах имеет место устойчивая тенденция на повышение стоимости энергетических ресурсов, что ограничивает развитие экономики данных районов, а предельные значения роста тарифов затрудняют инвестиции в модернизацию локальных энергосистем.

Лешуковский и Мезенский муниципальные районы Архангельской области с постоянным населением 6,048 и 8,294 тыс. человек соответственно питаются от 22 местных ДЭС общей установленной мощностью около 19,408 МВт. Проекты подключения к централизованной энергосистеме связаны со сложной трассой, проходящей через судоходные реки Пинега, Мезень (строительство спецпереходов ЛЭП), затопляемые в период паводка территории, сверхвысокие уровни ледоходов, а также сложные геологические условия, включающие в себя карстовые отложения в районах рек Пинега и Мезень. В итоге это выливается в высокую сметную стоимость проекта, превышающую 6 млрд рублей.

Децентрализованный проект модернизации электроснабжения районов предусматривает несколько вариантов. По данным программы и схемы перспективного развития, потенциал ветровой и солнечной энергии не позволяет рассматривать модернизацию генерирующих мощностей на основе ВИЭ, хотя наиболее перспективными в части использования ветрового потенциала в Архангельской области являются Мезенский, Онежский и Приморский районы, расположенные в прибрежной части Белого моря.

Рассматривается вариант перевода действующих ДЭС на СПГ, но при этом также должно быть предусмотрено централизованное хранение топлива, его подготовка (регазификация) и доставка по трубопроводам до энергообъектов, что ведет к увеличению инвестиций на строительство хранилищ СПГ. Учитывая разнородный состав оборудования ДЭС, наиболее целесообразным представляется формирование энергоцентров на базе существующих установок, с применением автоматических систем синхронизации, управления генерацией и системой хранения и регазификации СПГ. Автономный энергетический комплекс на СПГ (АЭК СПГ) потребует затрат на проектно-изыскательские работы, стоимость оборудования и доставку его к объекту, пусконаладочные работы, замену горелок действующих ДЭС, организацию приема и хранения топлива, реконструкцию системы топливных трубопроводов, создание системы управления и проведение ряда экспертиз, изысканий, а также прохождение государственной экспертизы.

В соответствии с «Концепцией развития локального теплоснабжения на территории Архангельской области до 2030 года» [4] к 2030 году число локальных источников

теплоснабжения составит 614 единиц, из них будут использоваться в качестве основного топлива: биотопливо (дрова, древесные отходы, щепу, торф) – 470, природный газ – 108, каменный уголь – 32, жидкое топливо (дизельное) – 1, а электроэнергию – 3. В итоге реализации данного плана топливный баланс региона должен выглядеть так: 54% – природный газ; 44% – биотопливо; 2% – каменный уголь.

Рассмотрим другой регион России – **Ненецкий автономный округ**, который целиком относится к арктической зоне и более 90% территории которого находится за полярным кругом. В округе преобладает добывающая промышленность, доля которой в общем объеме производства составляет 98%. По данным государственного баланса на 01.01.2020 учтено 52 разрабатываемых и 44 разведанных углеводородных месторождений, которые располагают богатейшими стратегическими запасами полезных ископаемых. Низкая степень выработанности месторождений при существующих уровнях добычи обеспечивает разведанными извлекаемыми запасами нефти на 52 года, а по газу более 100 лет [5]. При всех богатствах ресурсами Ненецкий автономный округ является самым малонаселенным субъектом РФ, имея население на 01.01.21 всего 44389 жителей. Протяженность автодорог общего пользования составляет 385 км, а водный транспорт имеет сезонный характер с продолжительностью навигации 135-150 дней в году.

Энергосистема округа децентрализована. Электроснабжение сельских населенных пунктов обеспечивается 34 локальными ДЭС. Топливо-энергетические ресурсы (дизельное топливо, каменный уголь, дрова, моторные масла и смазки) поставляются морским и речным транспортом в период навигации, а в ряд населенных пунктов – по временным дорогам в зимний период из центров муниципальных образований. Существуют поселения, где срок для доставки ресурсов судоходным транспортом при разливе рек в весенний период составляет всего 1-2 недели в год. Состояние генерирующего оборудования поселков и сельских поселений округа имеет ряд общих проблем, таких как: износ инфраструктуры, большой парк различных моделей ДЭС и высокий удельный расход топлива 317 г/кВтч. Тяжелые климатические условия, низкое развитие инфраструктуры, отсутствие централизованной системы электроснабжения, труднодоступность территорий и экологические загрязнения (выбросы в атмосферу и не утилизируемая тара из-под ГСМ) привели к тому, что полезный отпуск электроэнергии по муниципальным образованиям падает. Концепция развития энергетического комплекса Ненецкого автономного округа определяет основной целью модернизацию энергетики региона и снижение зависимости от внешних ресурсов. Автономный округ, с относительно высокой среднегодовой скоростью ветра более 5 м/с (более 40-50% времени в году 8-10 м/с) и низким коэффициентом вариации в пределах 5-8% в прибрежных районах, является перспективным для развития ветрогенерации (рис.2).

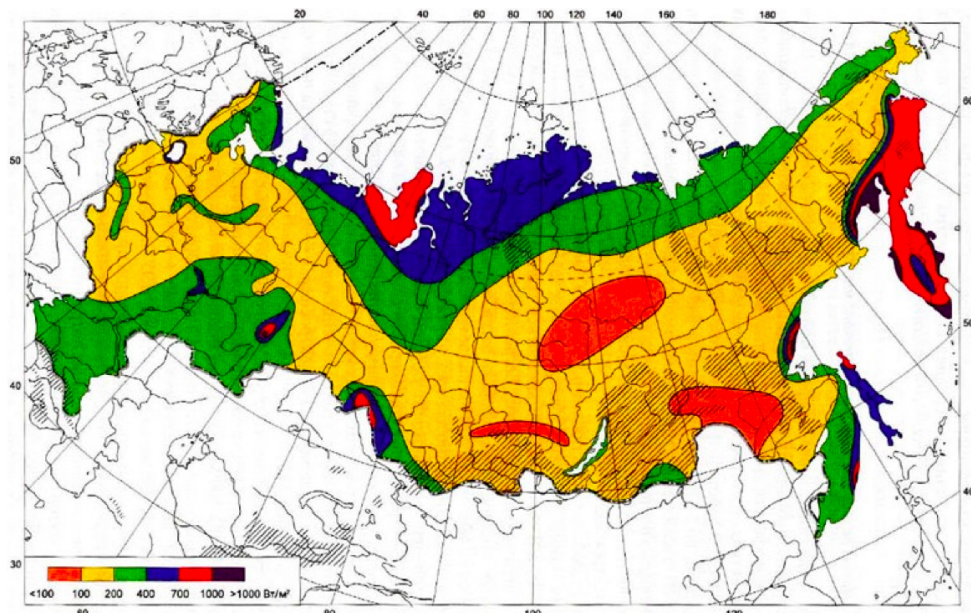


Рисунок 2 – Распределение удельного ветропотенциала на высоте 100 метров ( $\text{Вт/м}^2$ ).

В 2012-2014 гг. в рамках программы приграничного сотрудничества Европейского Инструмента Сотрудничества и Партнерства «Коларктик», Россией, Финляндией, Норвегией и Швецией был реализован проект «Полярный ветер», в рамках которого были проведены инженерные работы и исследования для модернизации 4 локальных ДЭС, питающих населенные пункты. Созданы 3D модели ветровых нагрузок и определены наиболее благоприятные места установок экологически чистых ветрогенераторов. Есть уже и реализованные объекты ВИЭ. Заменены 200 кВт мощностей ДЭС ветроэнергетическими установками в рамках проекта «Возобновляемые источники энергии Заполярья: независимое энергосбережение – ПОЛЯРИС». Еще в 4 населенных пункта в 2020 г. завезены ветрогенерирующие установки, которые в комплексе с ранее смонтированными источниками бесперебойного питания и дизель-генераторами завершат модернизацию локальных энергосистем летом 2021 года. Выполненные мероприятия позволят сократить время работы ДЭС в 2 раза, за счет энергии ВИЭ, повысят надежность, снизят затраты на горюче-смазочные материалы и благоприятно скажутся на экологии региона. По результатам проведенных экспериментов и полученного опыта, было принято решение о дальнейшей модернизации ДЭС.

**Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО)** расположен в арктической зоне, на севере крупнейшей в мире Западно-Сибирской равнины, и занимает обширную территорию – более 750 тысяч квадратных километров. По данным Государственного баланса запасов полезных ископаемых РФ, по состоянию на 01.01.2020 в ЯНАО расположено 238 месторождений углеводородного сырья, запасы свободного газа с учётом шельфа составляют 48,6 трлн  $\text{м}^3$ , жидких углеводородов – 7,2 млрд тонн. В последние годы происходит снижение добычи углеводородов на традиционных нефтяных и газовых месторождениях Надым-Пур-Тазовского региона,

компенсируемые разработкой новых месторождений. Объёмы добычи природного газа в Надымском, Пууровском районах с 2011 года упали на 18%, доля районов в региональной добыче сократилась за этот период на 17% [6]. На территории ЯНАО получили распространение энергорайоны, работающие изолированно от Единой энергосистемы России, также ряд крупных добывающих предприятий осуществляет локальное электроснабжение промышленных объектов с помощью автономных электростанций на базе ГТУ и ГПА. В малонаселённых пунктах электроснабжение осуществляется в основном от ДЭС, работающих на привозном жидком топливе. Высокая себестоимость производства электроэнергии на ДЭС определяет повышенные расходы на дотирование электроснабжения из бюджетов районов, городов окружного значения и ЯНАО в целом. Существующее состояние локальных энергосистем накладывает объективные ограничения на уровень развития экономики и качество жизни населения этих территорий. Строительство электростанций осуществляется в основном в рамках инвестиционных программ энергоснабжающих предприятий.

Данные факторы сказываются на убыли постоянно проживающего населения, которым потребляется всего около 6% электрической энергии, что приводит к снижению экономической активности и электропотребления данных территорий в конечном итоге, что противоречит задаче социально-экономического развития Арктических территорий. Меры по развитию децентрализованных энергосистем направлены в первую очередь на снижение объемов потребления привозного дизельного топлива за счет использования ресурсной базы регионов для замещения местными видами топлива. В настоящее время строительство объектов ВИЭ в ЯНАО не предусмотрено. Тем не менее, в северной и северо-западной части ЯНАО, которые являются наиболее перспективными территориями для использования ветрогенерирующего оборудования, находятся 13 населенных пунктов, питающихся от изолированных энергосистем. В условиях Крайнего Севера оптимальным вариантом развития возобновляемой энергетики в регионе, органом исполнительной власти субъекта признано применение универсальных гибридных ветро-дизельных энергетических станций. Следует дополнительно отметить, что в соответствии с письмом Минэнерго России от 05.09.2016 года № ВК-9484/09 для использования в арктических территориях рекомендованы ветроэлектрические установки следующих производителей: Vergnet (Франция), KomaihaltecInc. (Япония), Vestas (Дания). В сложных политических, экономических условиях и колебаний курса рубля, использование западных технологий ведет к удорожанию проекта в целом, увеличению рисков и вероятностью выхода за рамки срока окупаемости капитальных вложений.

Последние научные разработки на базе российских технологий позволили создать высокотехнологичное

производство фотоэлектрических модулей, обеспечивающих коэффициент полезного действия при рассеянном свете как при высоких, так и при крайне низких температурах, до 23%. Производство таких высокоэффективных гетероструктурных фотоэлектрических ячеек не зависит от внешних факторов, так как полностью находится на территории России. С 2017 года осуществляется экспорт не только ячеек, но и инжиниринговых услуг в области солнечной энергетики. Недавно используемая технология была усовершенствована – новые двусторонние гетероструктурные модули, по сравнению с односторонними, вырабатывают за жизненный цикл до 30% больше электроэнергии.

На территории Российской Федерации реализуется проект локализации производства оборудования и компонентов ветроэнергетической установок. Успешно совершён трансфер технологий производства ключевых компонентов ВЭУ, таких как лопасти, безредукторные генераторы, гондолы и стальные башни. Повышается квалификация российских специалистов в сферах проектирования и строительства ВЭУ. В 2020 году Россия впервые экспортировала в Данию партию из 48 композитных лопастей. Производится оборудование для малых ГЭС и объектов микрогенерации с единичной мощностью от 5 кВт до 1 МВт.<sup>2</sup>

Локализация производства оборудования ВИЭ на территории РФ позволит снизить риски при реализации проектов модернизации децентрализованных энергосистем.

Рассматривается следующее предложение по развитию распределенной генерации (РГ – генерирующее оборудование, установленной мощностью до 25 МВт, подключённое к распределительным сетям и использующее любые первичные источники электроэнергии).

По результатам технико-экономического сравнения, наиболее экономичным вариантом является электроснабжение – 75% от ВЭС и 25% от существующих ДЭС. Даже при режиме работы 25% от ВЭС и 75% от существующих электростанций для 11 из 13 удалённых населённых пунктов ЯНАО, использование ветрогенераторов экономичнее существующей схемы электроснабжения, а для оставшихся двух равноэкономичны. Данные предложения, изложенные в схеме и программе перспективного развития электроэнергетики Ямало-Ненецкого автономного округа, требуют дополнительной проработки.

**Мурманская область** имеет высокий ветропотенциал в прибрежных зонах и является перспективной для развития ВИЭ. Продолжительность отопительного периода достигает до 9 месяцев, централизованная газовая инфраструктура отсутствует, а часть потребителей не подключена к централизованной энергосистеме и питается в основном от ДЭС. Вышеперечисленные обстоятельства сделали область зависимой от поставок нефтетоплива, которое обеспечивает до 58% валового спроса на энергию в регионе [7]. Учитывая планы по

2 ООО «Хевел Ритейл»: [сайт]. URL: <https://hevellsolar.com/proizvodstvo>



реализации крупных инфраструктурных и промышленных проектов по развитию севера РФ, в частности Мурманского транспортного узла, остро стоит вопрос по эффективности, надежности, автономности региона и децентрализованных районов, в том числе за счет ВИЭ. Есть примеры успешной реализации высокого ветропотенциала региона.

В Мурманской области действуют ВЭУ мощностью от 5 до 500 кВт, есть примеры реализации строительства ветродизельных и ветросолнечных установок для питания удаленных труднодоступных районов. Конечно, существуют климатические особенности, ограничивающие внедрение солнечных установок (рис.3) — среднегодовой уровень суммарной солнечной радиации составляет менее 2 кВтч/кв.м, а с октября по март – менее 1 кВтч/кв.м; однако в июле-августе этот показатель значительно возрастает, достигая на побережье Белого моря 5,5-6 кВтч/кв.м. Но все же солнечные панели используются в составе комбинированной генерации, а также для обеспечения энергией более 120 маяков Кольского полуострова, на каждом из которых установлены фотоэлементы мощностью от 0,05 до 0,5 кВт.

Потенциал использования ВИЭ в Мурманской области значителен, но его масштабное освоение еще не началось и пока носит локальный характер для обеспечения энергией удаленных и сложно доступных территорий. В конце 2021 года планируется ввод в эксплуатацию крупного ветроэнергетического парка вдоль дороги г. Мурманск - п. Туманный установленной мощностью 200 МВт от 57 установок SG 3.4-132 Siemens Gamesa. В перечне проектов ВИЭ, отобранных АО «АТС» в 2017 году, фигурируют ещё 4 объекта ветроэнергетики ООО «Ветропарки ФРВ» суммарной установленной мощностью 150 МВт, планируемых к возведению на территории Мурманской области к концу 2022 года, но конкретная информация по строительству сейчас отсутствует.

**Республика Карелия** входит в Северный экономический регион, основными отраслями производства которого

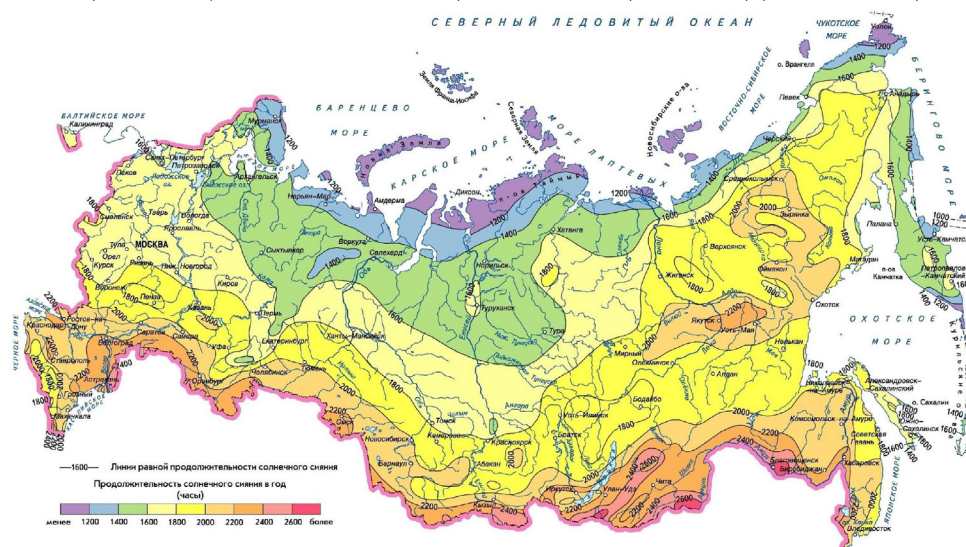


Рисунок 3 – Продолжительность солнечного сияния в Российской Федерации.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Национальный атлас России: [сайт]. URL: <https://nationalatlas.ru>

являются камнеобработка, черная и цветная металлургия, машиностроение, лесная, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная и рыбная промышленность, добыча природных ресурсов, в том числе железных, медно-никелевых, алюминиевых руд и апатитов. По данным Карелиястата, численность населения республики Карелия на 1 января 2020 года составила 614064 человека и имеет тенденцию к незначительному снижению: в соответствии с демографическим прогнозом до 2036 года прогнозируется снижение численности населения.

Энергетический комплекс республики Карелия характеризуется как энергодефицитный и зависит от привозного топлива. Собственное производство электроэнергии покрывает порядка 60% от общего потребления электроэнергии, а дефицит покрывается за счет перетоков по магистральным сетям ПАО «ФСК ЕЭС» из смежных энергосистем Ленинградской и Мурманской области. Для достижения устойчивого социально-экономического развития республики требуется наращивание собственной генерации.

В республике Карелия имеется большое количество малых ГЭС мощностью менее 25 МВт. В большинстве своем это станции, построенные более 60 лет назад, их оборудование устарело и подлежит замене и модернизации. Так, в 2021 году планируется ввод двух малых ГЭС: МГЭС «Белопорожская ГЭС-1» и МГЭС «Белопорожская ГЭС-2» ООО «НГБП» суммарной мощностью 49,8 МВт. Кроме этого в 2022 году планируется строительство Сегозерской МГЭС установленной мощностью 8,1 МВт [8]. В области имеется потенциал использования ВИЭ для строительства и модернизации удаленных энергосистем. С 2013 года Norsk Energi совместно карельским Центром энергетической эффективности разработали технико-экономическое обоснование использования экологически чистых ВИЭ для 8 поселков республики Карелия. В 2015 году NEFCO подписало с АО «ПСК» соглашение о финансировании данного проекта и на данный момент автономные гибридные энергоустановки (далее – АГЭУ) уже установлены в 5 населенных пунктах. Смонтированы панели СЭС, системы накопления энергии и ПАК для управления накопителями энергии, что совместно с действующими ДЭС позволило сократить объем завозного топлива.

Ветроэнергетический потенциал республики Карелия относительно скромный, если сравнивать с расположенной севернее Мурманской областью. Планы по размещению в Карелии достаточно крупных ВЭС разрабатывались еще с 1990-х годов. Согласно ряду прошлых федеральных и региональных программ, планировалось построить четыре ВЭС: Валаамскую (мощностью 1 МВт), ВЭС в пос. Валдай (1,2 МВт), Беломорскую (10 МВт) и Морскую ВЭС под г. Кемь (8 МВт). Однако ни один из этих планов реализован не был, так как не нашлось инвесторов.

Перспективным для республики Карелия является местное топливо – торф, добыча которого в настоящее время

возрождается. Торфодобыча в Карелии, как и во всей России, за последние десятилетия существенно снизилась, многие торфопредприятия закрылись или перешли на добычу торфа для сельского хозяйства. Из числа кадастра запасы торфа в изученных болотах в границах промышленной залежи составляют 2014,2 млн. т, при средней глубине промышленной залежи 2,06 м. На среднесрочный период запланирована реконструкция торфяных полей и организация промышленной добычи на 11 месторождениях.

**Республика Саха (Якутия)** – это не только самый крупный по площади регион Российской Федерации, занимающий 18% её территории, но и самая крупная в мире административно-территориальная единица, являющаяся геостратегической территорией Арктической зоны России. Свыше 40% территории находится за северным полярным кругом, и значительная часть территории республики находится в зоне вечной мерзлоты. Численность населения на 01.01.2021 составляет 984,7 тыс. чел. Территория республики характеризуется малой заселенностью, низкой плотностью населения (0,32 чел./кв.км – одна из самых низких в РФ). Средняя плотность населения в Арктической зоне (занимающей 52,2% площади территории республики) составляет 0,04 человек на 1 км<sup>2</sup>. Экономическое развитие региона характеризуется умеренным стабильным ростом, что позволило выйти в Дальневосточном федеральном округе на 1 место по уровню валового регионального продукта и на 12 по РФ [9]. В структуре промышленного производства основная доля приходится на добычу полезных ископаемых – 87,6%. Доля топливно-энергетического комплекса за последние годы существенно выросла в связи со спросом на энергетические ресурсы со стороны стран Азиатско-Тихоокеанского Региона (рис.4).

Зона децентрализованного электроснабжения включает в себя обширную территорию республики с большим количеством автономных электростанций, которые снабжают отдельные поселки и горнодобывающие предприятия. Зона действия автономной энергетики охватывает площадь 2,2 млн км<sup>2</sup> (64% территории региона с 15% проживающего

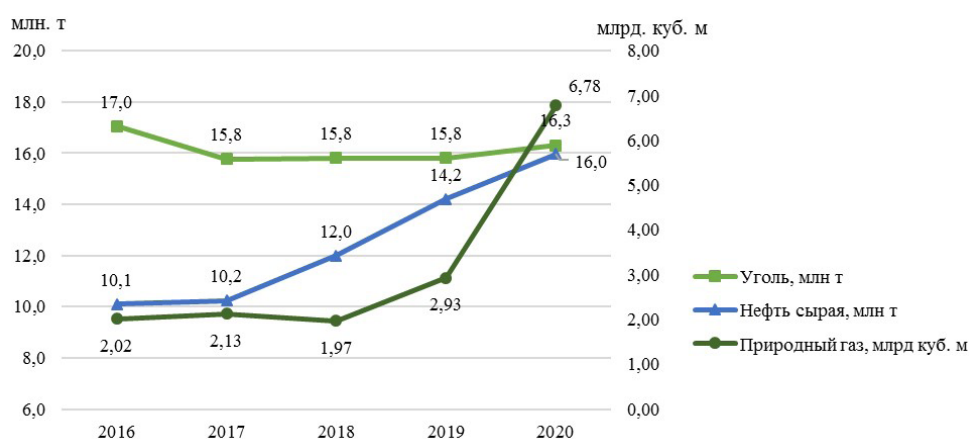


Рисунок 4 – Динамика добычи энергоресурсов в республике Саха (Якутия).<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Данные Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия) за 2016-2020 гг.

в республике населения). Суммарная установленная мощность генераторов децентрализованных энергосистем составляет на 01.01.2020 более 167,2 МВт (28% от суммарной генерации региона). Отсутствие крупных потребителей на территории обуславливает нецелесообразность строительства больших источников мощности, а значительные расстояния между населенными пунктами и слабая инфраструктура не позволяют существенно расширить централизацию электроснабжения из-за высокой проектной стоимости ЛЭП. Данные объективные обстоятельства создают необходимость реконструкции и модернизации существующих локальных энергосистем.

В Арктической зоне Якутии 94% от установленной мощности децентрализованных энергосистем приходится на ДЭС, 4,5% – на мини ТЭЦ и лишь 1,3% – на ВИЭ. В соответствии с «Планом модернизации неэффективной дизельной (мазутной, угольной) генерации в изолированных и труднодоступных территориях» [10] ПАО «РусГидро» реализует 6 пилотных проектов модернизации ДЭС с использованием ВИЭ.

«Узкие места» в электроэнергетике арктической зоны Якутии характерны: физическое и моральное старение генерирующего оборудования и электросетевого хозяйства, что ведет к повышенному расходу топлива и снижению надежности питания потребителей, проблемы с транспортировкой топлива в труднодоступные территории из-за дефицита специальной техники, проблемы с содержанием автодорог и ограничения сроков функционирования навигации с мая по сентябрь, использование автозимника с января по март. На некоторых ДЭС часть агрегатов выработали нормативный ресурс на 100% (рис.5).<sup>5</sup>

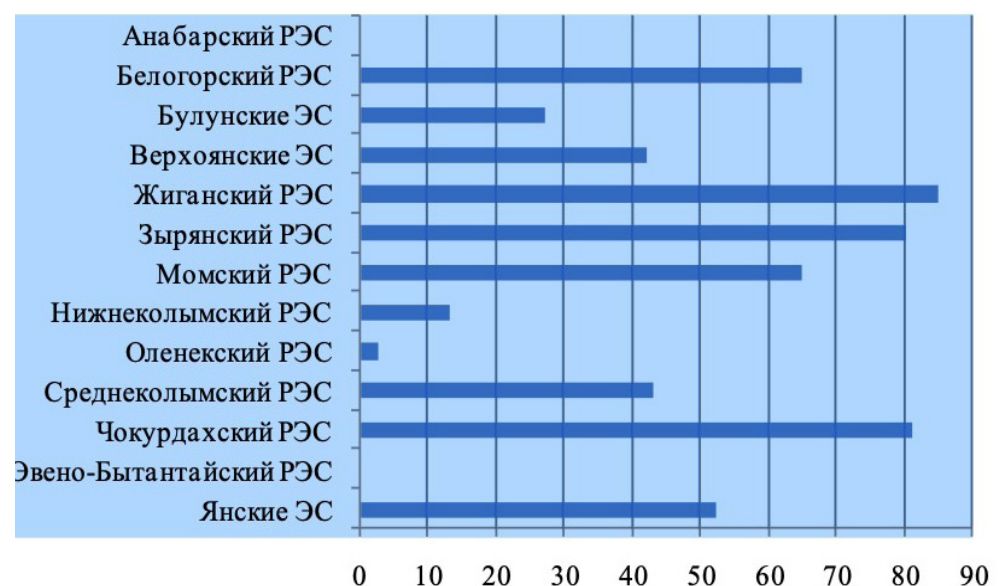


Рисунок 5 – Процентное отношение мощности агрегатов, превысивших нормативный ресурс эксплуатации, к суммарной мощности в республике Саха (Якутия).

<sup>5</sup> Данные Схемы и программы развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2021-2025 годы.

При реконструкции энергоустановок предпочтение отдается ДЭС. В перспективный период, до 2025 года, запланирован суммарный ввод генерирующих мощностей на органическом топливе в Арктической зоне в объеме 39,18 МВт, при этом суммарный запланированный демонтаж старого оборудования ДЭС за рассматриваемый период составит 23,1 МВт.

В арктической зоне Якутии из 1304,7 км воздушных линий электропередачи, 211 км (16,2% от общего числа) превысили предельный срок эксплуатации 40 лет. Остро стоит проблема изношенности воздушных линий электропередачи во многих отдаленных населенных пунктах, а в некоторых уже 100% сетей превысили свой срок эксплуатации. Из кабельных линий электропередачи в арктической зоне Якутии общей протяженностью 122,8 км, 58,8 км или 47,9% превысили предельный срок эксплуатации 40 лет.

Отдельная проблема – потери электроэнергии в электрических сетях по РЭС, которые составляют от 10,6 до 21,2%. В 2 из 13 РЭС наблюдается постоянный прирост потерь электроэнергии.

На конец 2020 года в республике функционировало 23 возобновляемых энергоисточника суммарной мощностью 2602 кВт, из них: 21 солнечная электростанция (СЭС) суммарной мощностью 1662 кВт и 2 ветроэлектростанции (ВЭС) суммарной мощностью 940 кВт.

В 2021 году запланировано строительство возобновляемых источников энергии в Арктической зоне Якутии компаниями ПАО «РусГидро» (6 солнечных электростанций суммарной мощностью 3343 кВт с накопителями энергии) и ООО «Якутская генерирующая компания» (две СЭС суммарной мощностью 125 кВт с накопителями энергии), а суммарный ввод возобновляемых источников энергии в Арктической зоне за период 2021-2025 оценивается в 3,47 МВт.

Вся территория **Чукотского автономного округа** относится к районам Крайнего Севера. Численность населения округа по данным Росстата на 2021 год составляет 49527 чел. Плотность населения — 0,07 чел./км<sup>2</sup>. На территории автономного округа имеются значительные запасы полезных ископаемых: нефти, природного газа, угля, золота, серебра, олова, вольфрама, молибдена, хрома, сурьмы, ртути, меди, урана, строительного сырья.

По причине географической отдаленности, большой площади и низкой плотности населения, энергосистема Чукотки разделена на независимые энергорайоны, изолированные друг от друга и от единой энергосистемы России.

Централизованное электроснабжение обеспечивается в четырех энергоузлах округа: Анадырском, Иультинском, Чаунском и Билибинском. В этих узлах работают 4 электростанции АО "Чукотэнерго": Анадырская ТЭЦ, Анадырская газомоторная ТЭЦ, Эгвекинотская ГРЭС и Чаунская ТЭЦ, а также Билибинская АЭС, входящая в структуру АО "Концерн Росэнергоатом". Суммарная установленная мощность 201,2 МВт [11].

Себестоимость производства электрической энергии на Анадырской ГМ ТЭЦ в 5 раз ниже, чем на Анадырской ТЭЦ, и почти в 6 раз меньше, чем на Эгвекинотской ГРЭС. При максимальном использовании мощности высокоэкономичной Анадырской ГМТЭЦ, при реализации проекта «Строительство одноцепной ВЛ 110 кВ Анадырская - Валунистый, ПС 110 кВ Анадырская. Реконструкция ПС 110 кВ Валунистый» возможно объединение Анадырского и Эгвекинотского энергоузлов, что позволит увеличить суммарный отпуск с шин Анадырской ТЭЦ, в 2,5 раза, при этом число часов использования установленной мощности ТЭЦ повысится до 61,7%, расход электроэнергии на собственные нужды снизится до 10 - 15%. Объем потребления природного газа возрастет практически в 3 раза. Потенциальное снижение стоимости природного газа может составить 15 - 30%. В этом случае возможно вытеснение дорогой угольной генерации Эгвекинотской ГРЭС и снижение тарифов на электрическую энергию АО «Чукотэнерго», при снижении расходов на топливо в год на 150 млн. рублей.

Для замещения выбывающих электрических мощностей Билибинской АЭС реализовано строительство плавучей атомной теплоэлектростанции ПАТЭС «Академик Ломоносов», представляющей собой новый класс энергоисточников на базе российских технологий атомного судостроения. Данный объект позволит заместить существующие потребности в электрической энергии и мощности Чаун-Билибинского энергоузла, а также обеспечит замещение выработки тепловой энергии Чаунской ТЭЦ для г. Певек.

Плавучий энергетический блок (ПЭБ) «Академик Ломоносов» проекта 20870 – это головной проект серии мобильных транспортабельных энергоблоков малой мощности. Он предназначен для работы в составе плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) и представляет собой новый класс энергоисточников на базе российских технологий атомного судостроения. Энергоустановка ПАТЭС имеет максимальную электрическую мощность 80 мегаватт и включает две реакторные установки КЛТ-40С. Это уникальный проект, не имеющий аналогов в мире, и Россия выступает пионером в его реализации. Поэтому к объекту сейчас приковано особое внимание. Сегодня к ПАТЭС проявляют интерес множество стран, в их числе: страны юго-восточной Азии (Малайзия, Индонезия, Таиланд) и Ближнего Востока (Саудовская Аравия, Объединенные Арабские Эмираты, Катар).

В мае 2020 года ПАТЭС «Академик Ломоносов» введена в промышленную эксплуатацию, а через месяц тепло от плавучей АЭС впервые подано в городскую тепловую сеть города Певека.

**Красноярский край** – второй по площади субъект Российской Федерации, занимает 2366,8 тыс. кв. км (или 13,86 % территории страны). На территории Красноярского края выделяют арктический, субарктический и умеренный климатические пояса. Численность населения, по данным

Красноярскстата на 1 января 2021 года, составляет 2 857 567 человек. Плотность населения составляет 1,21 чел./кв. км. Красноярский край занимает одно из ведущих мест в России по запасам минеральных ресурсов и полезных ископаемых. В его недрах встречаются и разрабатываются нефть, газ, железные руды, уголь, цветные и редкие металлы и нерудные минералы.

Особенностью Арктической зоны Красноярского края являются, прежде всего, экстремальные природно-климатические условия, характеризующиеся низкими в течение всего года температурами окружающего воздуха, сильными ветрами, продолжительной полярной ночью и другими факторами. Плотность населения чрезвычайно низка при высокой дисперсности расселения.

Удаленность Арктической зоны края приводит к существенной ограниченности транспортной доступности этих территорий. Это определяет значительную зависимость хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения от «северного завоза». Как и в других арктических зонах, электропитание труднодоступных территорий осуществляется от локальных энергосистем, где выработка энергии осуществляется ДЭС. Затраты на выработку энергоресурсов в северных районах более чем в 12 раз выше, чем среднее значение по энергосистеме на территории Красноярского края [12]. Причины высоких тарифов характерны: ограниченность сроков сезонного завоза топлива и неразвитая инфраструктура, высокая стоимость топлива, сложные логистические цепочки и высокие эксплуатационные затраты. Учитывая данные факторы, перспективным направлением развития энергетики локальных энергосистем Красноярского края является использование генерации на основе ВИЭ. Наибольшим ветроэнергетическим потенциалом обладает северная часть Красноярского края. Большая часть территории муниципального района является энергодефицитной и в данный момент получает электроэнергию от ДЭС. Среднегодовая скорость ветра в районе – более 5 м/с, удельная мощность ветра на данной территории – до 1263,3 Вт/м<sup>2</sup>, а годовая удельная потенциальная энергия ветра составляет до 7376,9 кВтч/м<sup>2</sup> в год.

В рамках энергосервисного договора, заключенного 05.12.2019 между ООО «Хевел Энергосервис» и ПМ ЭМР «Илимпийские электрические сети», ведется строительство автономной гибридной энергоустановки (АГЭУ) в п. Тура. Установленная мощность АГЭУ составит 14,1 МВт, в том числе: ДЭС – 11,6 МВт, СЭС – 2,5 МВт, а ёмкость накопителей энергии – 500 кВтч. Среднегодовая выработка энергии солнечной установки составит 2,56 млн кВтч (около 10% от суммарной годовой выработки АГЭУ). Строительные работы ведутся в соответствии с планом, ввод в эксплуатацию запланирован на 2021 год.

Для определения конкретных параметров новых проектов строительства электростанций на основе ВИЭ необходимо

разрабатывать соответствующие технико-экономические обоснования для каждого конкретного изолированного населенного пункта Красноярского края. Данные работы для Арктических территорий в ближайшей перспективе не планируются, схемой и программой перспективного развития не учитываются.

Предварительный анализ эффективности строительства малых ГЭС в п. Тура, с. Байкит и с. Ванавара Арктических территорий Красноярского края показал, что в данных населенных пунктах проекты являются экономически эффективными, но требуют дополнительного технико-экономического обоснования с целью определения возможности строительства и основных показателей. Схемой и программой перспективного развития детально не рассматриваются.

### **Выводы**

Рассматриваемые проблемы локальных энергетических систем Арктических территорий различных субъектов РФ имеют явные характерные особенности и возможные пути решения. Для некоторых регионов применяемые меры по модернизации оборудования, участие в программах развития арктических территорий уже позволили успешно заменить часть оборудования.

Зависимость от импортных технологий с учетом экономической ситуации и плавающего курса рубля снижает рентабельность проектов модернизации и смещает сроки возврата основных средств. Недостаточная инвестиционная активность не позволяет в текущих условиях нарастить темпы модернизации распределенной энергетики. Источники малой мощности, используемые для автономного электроснабжения, как правило, имеют низкие технико-экономические показатели, а сложность с поставкой топлива влечет за собой длительные перерывы в энергоснабжении или регулярные отключения.

У регионов есть успешные примеры реализации инженерных работ для определения целесообразности строительства объектов ВИЭ в удаленных сложно доступных территориях, есть успешные реализованные проекты модернизации, но есть и масштаб проблемы. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года [13] наметила глобальные проекты развития Арктики по формированию нефтегазовых минерально-сырьевых центров, нефтегазохимических комплексов, расширению инфраструктуры транспортировки энергетических ресурсов. Для достижения поставленных целей требуется быстрый переход к более эффективной, гибкой и устойчивой энергетике, создание благоприятных условий для привлечения человеческих ресурсов, улучшение условий проживания в сложных климатических условиях, создание устойчивой социальной базы. Прослеживается необходимость расширить горизонт планирования, организовать разработку программ развития регионов на среднесрочный и долгосрочный период



для определения конкретных шагов реализации энергетической стратегии РФ до 2035 года и программы развития Арктики. Учитывая, что темпы модернизации изолированных энергосистем в регионах недостаточно быстрые для замены устаревшего оборудования (с учетом износа), количество проектов мало, а финансирование в рамках региональных программ не позволяет нарастить объемы их реализации — требуется федеральное целевое финансирование.

Отмеченные достижения российских технологий и государственная стратегия по повышению уровня локализации производства необходимых компонентов ВИЭ в России в перспективе позволят снизить риски и запустить инвестиционные программы, которые позволят внедрить современное экологичное генерирующее оборудование в изолированных и труднодоступных территориях. Данный подход может решить вопрос не только развития промышленности, но и сохранения населения, освоения территорий и закрепления новых опорных точек на карте.

При участии государства в некоторых регионах уже определили перспективные места размещения новых объектов генерации на основе ВИЭ. На следующем этапе уже необходима работа на местности для определения фактических условий и рисков реализации проектов. Расчеты, приведённые в программах развития электроэнергетики Арктических регионов, показали возможность снижения расходов на завозное топливо за счёт использования местных энергоресурсов, малых ГЭС и ВИЭ, что позволит не только снизить тарифы для населения, но и качественно подойти к решению экологических проблем. При снижении потребления топлива логично и снижение потребности в специальной технике (вездеходы, болотоходы, снегоходы и другая гусеничная техника), что позволит использовать её в тех местах, где это действительно необходимо.

К сожалению, энергетическая стратегия РФ на период до 2035 не в полной мере определяет задачи в части повышения устойчивости и надежности электроснабжения Арктического макрорегиона с максимальным, экономически эффективным использованием местных энергетических ресурсов, а также ВИЭ с высокой долей локализации производства в стране.

## Список литературы:

1. Указ Президента РФ от 02.05.2014 № 296 (ред. от 05.03.2020) "О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации" // *Собрание законодательства РФ*. – 2014. – № 18 (часть I). – Ст. 2136.
2. Указ Президента РФ от 05.03.2020 № 164 "Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года" // Опубликован 05.03.2020 на официальном интернет-портале правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>.
3. Указ Губернатора Архангельской области от 28.04.2021 №58-у «Об утверждении схемы и программы перспективного развития электроэнергетики Архангельской области на 2021-2025 годы» // Опубликован 29.04.2021 на официальном интернет-портале правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>.

4. Распоряжение Правительства Архангельской области от 11.11.2014 г. №382-рп «О концепции развития локального теплоснабжения на территории Архангельской области до 2030 года» // Опубликовано на сайте базы данных «Энергосбережение России» Российского энергетического агентства <https://energy.csti.yar.ru>.
5. Постановление Губернатора Ненецкого автономного округа от 11.05.2021 №32-пг «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики Ненецкого автономного округа на 2021-2025 годы» // Опубликовано 17.05.2021 на официальном интернет-портале правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>.
6. Постановление Губернатора Ямало-Ненецкого автономного округа от 28.04.2021 №65-пг «Об утверждении схемы и программы перспективного развития электроэнергетики Ямало-Ненецкого автономного округа на период 2021 - 2025 годов» // Опубликовано 08.05.2021 на официальном интернет-портале правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>.
7. Распоряжение Губернатора Мурманской области от 30.04.2021 №133-рг «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики Мурманской области на период 2022 - 2026 годов» // Опубликовано 30.04.2021 на официальном сайте Минэнерго и ЖКХ Мурманской области <https://minenergo.gov-murman.ru>.
8. Распоряжение Главы республики Карелия от 30.04.2021 №240-р «Об утверждении Схемы и программы перспективного развития электроэнергетики республики Карелия на период до 2025 года» // Опубликовано 30.04.2021 на официальном интернет-портале Республики Карелия <https://gov.karelia.ru>.
9. Указ Главы республики Саха (Якутия) от 29.04.2021 №1840 «О схеме и программе развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2021-2025 годы» // Опубликовано 30.04.2021 на официальном интернет-портале правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>.
10. План модернизации неэффективной дизельной (мазутной, угольной) генерации в изолированных и труднодоступных территориях, утверждён 15.08.2019 заместителем Председателя Правительства Российской Федерации Д.Н. Козаком // Опубликован 22.08.2019 на официальном сайте Правительства Российской Федерации <http://government.ru>.
11. Постановление Правительства Чукотского автономного округа от 28.01.2016 №41 (ред. от 13.05.2021) «Об утверждении Государственной программы Чукотского автономного округа "Развитие энергетики Чукотского автономного округа"» // Опубликовано 01.02.2016 на официальном интернет-портале правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>.
12. Распоряжение Губернатора Красноярского края от 30.04.2021 №212-рг «Об утверждении схемы и программы перспективного развития электроэнергетики Красноярского края на период 2022-2026 годов» // Опубликовано 30.04.2021 на официальном интернет-портале правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>.
13. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» // Опубликовано 11.06.2020 на официальном интернет-портале правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>.

## References:

1. Decree of the President of the Russian Federation dated 05/02/2014 No. 296 (as amended on 03/05/2020). O sukhpoputnykh territoriyakh Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii // Sobranie zakonodayel'stva RF. – 2014. - №18 (chast' I). St.2136 [On the land territories of the Arctic zone of the Russian Federation] // Collected Legislation of the Russian Federation. - 2014. - No. 18 (part I). - Art. 2136.] (In Russian)
2. Decree of the President of the Russian Federation dated 03/05/2020 No. 164 Ob Osnovakh gosudarstvennoy politiki Rossiyskoy Federatsii v Arktike na period do 2035 goda [On the Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the Arctic for the Period up to 2035] Available at:

- <http://www.pravo.gov.ru> (In Russian).
3. 3. Decree of the Governor of the Arkhangelsk Region dated April 28, 2021 No. 58-u Ob utverzhdenii skhemy i programmy perspektivnogo razvitiya elektroenergetiki Arhangel'skoy oblasti na 2021-2025 gody [On Approval of the Scheme and Program for the Prospective Development of the Electric Power Industry of the Arkhangelsk Region for 2021-2025] // Available at: <http://www.pravo.gov.ru> (In Russian).
  4. Order of the Government of the Arkhangelsk Region dated 11.11.2014 No. 382-rp O konceptsii razvitiya lokal'nogo teplosnabzheniya na territorii Arhangel'skoy oblasti do 2030 goda [On the concept of the development of local heat supply in the Arkhangelsk Region until 2030] // Available at: <https://energy.csti.yar.ru> (In Russian)
  5. Resolution of the Governor of the Nenets Autonomous Okrug dated 05/11/2021 No. 32-pg Ob utverzhdenii skhemy i programmy razvitiya elektroenergetiki Nenetskogo avtonomnogo okruga na 2021-2025 gody [On approval of the scheme and program for the development of the electric power industry of the Nenets Autonomous Okrug for 2021-2025] Available at: <http://www.pravo.gov.ru> (In Russian).
  6. Resolution of the Governor of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug dated 04/28/2021 No. 65-pg Ob utverzhdenii skhemy i programmy perspektivnogo razvitiya elektroenergetiki Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga na period 2021 - 2025 godov [On the approval of the scheme and program for the long-term development of the electric power industry of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug for the period 2021 – 2025] Available at: <http://www.pravo.gov.ru> (In Russian).
  7. Order of the Governor of the Murmansk region dated 04/30/2021 No. 133-rg Ob utverzhdenii skhemy i programmy razvitiya elektroenergetiki Murmanskoy oblasti na period 2022 - 2026 godov [On approval of the scheme and program for the development of the electric power industry in the Murmansk region for the period 2022 – 2026] Available at: <https://minenergo.gov-murman> (In Russian).
  8. Order of the Head of the Republic of Karelia dated 04/30/2021 No. 240-r Ob utverzhdenii skhemy i programmy razvitiya elektroenergetiki Respubliki Kareliya na period do 2025 goda» // Available at: <https://gov.karelia.ru> (In Russian).
  9. Decree of the Head of the Republic of Sakha (Yakutia) dated 04/29/2021 No. 1840 O skheme i programme razvitiya elektroenergetiki Respubliki Sakha (Yakutiya) na 2021-2025 gody [On the scheme and program for the development of the electric power industry of the Republic of Sakha (Yakutia) for 2021-2025] Available at: <http://www.pravo.gov.ru> (In Russian).
  10. Plan modernizatsii neeffektivnoy dizel'noy (mazutnoy, ugol'noy) generatsii v izolirovannykh i trudnodostupnykh territoriyakh, utverzhden 15.08.2019 zamestitelem Predsedatelya Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii D.N. Kozakom [The plan for the modernization of inefficient diesel (fuel oil, coal) generation in isolated and hard-to-reach areas, approved on 15.08.2019 by the Deputy Prime Minister of the Russian Federation D.N. Kozak] Available at: <http://government.ru> (In Russian).
  11. Resolution of the Government of the Chukotka Autonomous Okrug dated 01/28/2016 No. 41 (as amended on 05/13/2020) Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Chukotskogo avtonomnogo okruga " Razvitiye energetiki Chukotskogo avtonomnogo okruga "» // Available at: <http://www.pravo.gov.ru> (In Russian).
  12. Order of the Governor of the Krasnoyarsk Territory dated April 30, 2021 No. 212-rg Ob utverzhdenii skhemy i programmy perspektivnogo razvitiya elektroenergetiki Krasnoyarskogo kraya na period 2022-2026 godov [On approval of the scheme and program for the prospective development of the electric power industry of the Krasnoyarsk Territory for the period 2022-2026] Available at: [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) (In Russian).
  13. Order of the Government of the Russian Federation dated 09.06.2020 No. 1523-r Ob utverzhdenii Energeticheskoy strategii Rossiyskoy Federatsii na period do 2035 goda [On approval of the Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035] Available at: <http://www.pravo.gov.ru> (In Russian).