



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной и системной экологии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему **«Ветроэнергетическая станция для обеспечения  
электроэнергией арктических поселков»**

Исполнитель

Воднева Ригина

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

д.т.н., профессор кафедры прикладная и системная экология  
(ученая степень, ученое звание)

Дмитриев Алексей Леонидович

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

канд. геогр. наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Алексеев Денис Константинович

(фамилия, имя, отчество)

«12» июня 2022г.

Санкт-Петербург

2022

## **Разделы бакалаврской ВКР:**

**Воднева Ригина**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор  
кафедры прикладной и системной экологии**

**Дмитриев А.Л**

### **Природно-хозяйственные, экологические и экономические характеристики Арктического региона России**

В настоящее время основная доля получения электроэнергии приходится на использование топливных энергетических ресурсов таких как нефть, газ, уголь. Россия является страной-лидером по запасам и добыче жидких углеводородов, а также природного газа. Более того, Россия способна обеспечить население всеми необходимыми энергоресурсами при этом экспортируя часть в зарубежье. С каждым годом объем добычи растет, природные ресурсы не безграничны, для удовлетворения нужд населения необходимо разведывать новые запасы. Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) является уникальной территорией, где ежегодно крупные компании получают новые лицензии на разведку полезных ископаемых. Многие государственные программы направлены на развитие арктических регионов, так, например, Государственная программа «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» утверждена постановлением Правительства от 30 марта 2021 года №484. Программа направлена, на привлечение новых инвесторов и квалифицированных специалистов, а также обеспечить устойчивое развития региона. Одной из составляющих устойчивого развития является сохранение окружающей среды региона. Экосистема Арктики является одной из наиболее уязвимых и любое антропогенное воздействие влечет за собой ряд негативных последствий. Одной из наиболее остро стоящих проблем арктических регионов является большое количество отходов, а именно огромное количество тары изпод дизельного топлива и смазочных материалов. Изолированные регионы Крайнего Севера обеспечиваются электроэнергией за счет дизельных электростанций (ДЭС), которые в свою очередь работают на традиционных энергоносителях. Помимо того, что в ходе 4 эксплуатации ДЭС происходят выбросы вредных веществ в атмосферу, также это служит причиной образования свалок из пустых бочек. Одним из решений данной проблемы, является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). АЗРФ имеет высокий ветровой потенциал благодаря близкому расположению к акватории Северного Ледовитого океана. Обеспечение электроэнергией поселков с помощью ветровых электростанций или гибридных установок, может способствовать снижению количества выбросов вредных веществ в атмосферу, а также снизить количество образованного мусора из-под дизеля.

#### **Цель исследования:**

- оценка эффективности создания ветроэнергетических установок в Арктическом регионе

#### **Задачи:**

- изучить природно-климатические особенности арктических регионов (метеорологический и ветровой режимы);
- ознакомиться с ростом хозяйственной и промышленной деятельности на территории АЗРФ;
- рассмотреть обеспечение энергоресурсами;
- выполнить расчет ВЭС для обеспечения электроэнергией арктического поселка с населением 4000 человек;
- оценить экономические и экологические преимущества использования ВЭС по сравнению с ДЭС. Объект исследования: изолированные регионы АЗРФ. Предмет исследования: ветроэнергетическая установка для обеспечения электроэнергией арктического поселка с населением 4000 человек.

## Глава 1.

### Природно-климатические особенности Арктических регионов

#### 1.1. Метеорологический режим в околополюсном районе Северно-ледовитого океана

Метеорологический режим высоких широт Северного полушария формируется в результате взаимодействия разнообразных климатообразующих факторов. Одной из основных особенностей, формирующих режим солнечной радиации и погоды вблизи полюса, является чередование полярных дня и ночи. На широте 85° с.ш. полярный день длится с 31 марта по 12 сентября, а полярная ночь – с 8 октября по 6 марта, севернее они начинаются раньше и заканчиваются позднее [1]. Характерной подстилающей поверхностью в районе полюса являются многолетние паковые льды, покрытые снегом. Снежный покров эффективно препятствует теплообмену океана с атмосферой. Наличие снежного покрова на льдах на протяжении более чем 320 дней в году (в отдельные годы снег полностью не оттаивает вообще) обуславливает высокие значения альбедо подстилающей поверхности и тем самым уменьшает количество поглощенной солнечной энергии. В результате радиационный баланс положителен только с мая по август и его максимальные месячные суммы в июле не превышают 150 МДж/м<sup>2</sup>. Годовое значение радиационного баланса в районе полюса отрицательно и достигает величины –40 МДж/м<sup>2</sup> [2]. Вблизи полюса значения среднемесячной температуры с февраля по август ниже, а с сентября по январь несколько выше, чем для остальной части Арктического бассейна [2].

Таблица 1.1 – Максимальные, минимальные, средние ежемесячные значения температуры в п. Тикси за 2021 (по данным из архива ААНИИ)

Температура, °С	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Минимальная
Максимальная	-12,7	-5,7	-11,7	5,20	14,6	27,2	23,2	20,4	15,2	0	-6,1	-16,7	-72,1
Средняя	-43,5	-41,0	-45,9	-38,8	-30,5	-25,0	-25,2	-25,3	-33,8	-40,8	-43,0	-44,1	-69,7
7													-75,9

Основываясь на данных их архива ААНИИ, на метеостанции в поселке Тикси [3] минимальные температуры воздуха за 2021 год были зафиксированы в марте и составили –75,9°С, максимальная температура в июле составила 27,2°С. Как видно из таблицы 1.1 на протяжении всего года средняя температура воздуха была отрицательной. Также присутствовали резкие перепады

температур с положительных значений на отрицательные. Так, например, в июне при максимуме в 27,2°C могли происходить резкие перепады, и температура опускалась до -60,9 °С. Такая динамика резкого спада температуры характерна для периода с апреля по октябрь 2021 года. Давление воздуха в Арктическом бассейне тесно связано с циркуляционными условиями. Основным максимум в годовом ходе давления в околополюсном районе приходится на апрель–май, когда уменьшаются термические и барические градиенты и начинает заполняться исландская депрессия. Минимум в годовом ходе давления наблюдается в июле-августе, когда в западной части Арктического бассейна образуется обширная депрессия. Межгодовая изменчивость среднемесячного давления в районе полюса составляет около 4 гПа в летние месяцы и 6– 9 гПа в зимние [1].

## 1.2 Ветровой режим Арктики

Ветровой режим Арктики, как правило, характеризуется таким природным явлением как циклон. Данный вид воздушных масс чаще всего сконцентрирован над морями Северного Ледовитого океана: Баренцовым, Гренландским, Беринговым и Чукотским. В зимнее время на юго-западной стороне Арктики скорость ветра может достигать 50 м/с. Однако, средние значения скорости ветра вариативны, например, над морями они возрастают, а при продвижении на сушу (вглубь) наоборот уменьшаются. Как уже было сказано выше, арктические регионы почти всё время находятся во власти циклонов, а именно их активность и играет особую роль в формировании ветров и определяет их скорость. Во многих 8 районах Арктики именно в зимнее время скорость ветра выше, чем в летнее. Например, в околводных пространствах среднее значение скорости ветра в январе может достигнуть 7 м/с, когда в июле до 4 м/с. Однако, в Арктике наблюдаются такие опасные явления как полярные мезоциклоны. Их ещё называют полярными бомбами. Они возникают спонтанно и существуют до трёх дней. Такое мезомасштабное образование способно нанести большой урон. Из-за сильных перепадов давления скорость ветра очень высока. Вдобавок ко всему возникновение мезоциклона спрогнозировать практически невозможно. Его можно обнаружить только тогда, когда он уже возник [4]. Ранее мезоциклоны формировались преимущественно в Баренцевом и Охотском морях, где зимой формируется кромка льда и вероятны вторжения холодного воздуха на относительно тёплую морскую поверхность. Это явление наблюдается в осенний и зимний периоды. Однако, в последние годы, в связи с уменьшением площади ледяного покрова и увеличением продолжением безледного сезона в морях Восточной Арктики, полярные мезоциклоны стали образовываться и там, где ранее практически не наблюдалось: над Карским, Восточно-Сибирским морями и морем Лаптевых [4].

Таблица 1.2 – Максимальные, минимальные, средние ежемесячные значения скоростей ветра в п. Тикси за 2021 (по данным из архива ААНИИ) Скорость ветра м/с

Месяц	Макс.	Мин.	Средняя
I	67	1	13.3
II	55	1	12.1
III	47	1	12.8
IV	56	2	13.5
V	30	2	7.2
VI	59	1	9.6
VII	62	1	11.3
VIII	109	1	8.8
IX	57	1	11.2
X	55	1	10.9
XI	64	1	12.1
XII	60	1	9.2

Таким образом, опираясь на данные МС Тикси можно сделать вывод, что данный район подвержен штормовым ветрам, а также полярным мезоциклонам. Основываясь на том, что максимальные скорости ветра приходятся как на теплое, так и холодное времена года, можно сказать, что именно в эти периоды район больше подвержен

циклонической активности. Также стоит отметить, что такие большие значения скоростей ветра не предполагают, что продолжительность ветров была очень высокой, как правило, у них небольшой период продолжительности. 10 Глава 2. Рост промышленной и хозяйственной деятельности в АЗРФ Наличие минеральных ресурсов, развитие промышленной и хозяйственной деятельности остается одними из ключевых преимуществ в развитии экономики России. Углеводородная база РФ благодаря высокому качеству нефтепродуктов и большому объему запасов, способна обеспечить не только российское население, но и экспортироваться в зарубежные страны. Стоит учитывать, что Россия по запасам жидких углеводородов занимает лидирующие позиции на мировом рынке. Только в настоящее время зарегистрировано более 240 лицензий на пользование недрами в арктическом шельфе, из них большая часть принадлежит ОАО «НК «Роснефть» и ОАО «Газпром».

Рисунок 2.1 - Добыча и экспорт жидких углеводородов в арктическом шельфе РФ 2017-2019 гг. На рисунке 2.1 видно, что в период 2017-2019 гг. видна тенденция роста добычи нефти и экспорта соответственно. В зону арктического шельфа РФ 200 400 600 2017 2018 2019 540,3 555,9 558,5 252,6 260,6 269,2 Миллионы тонн Год Экспорт Добыча 11 входят Баренцево, Карское, Лаптевых и Восточно-Сибирское моря, причем на Баренцево, Карское и Лаптевых моря приходится основная нагрузка добычи углеводородного сырья. Ведущее место по запасам и добыче нефти занимает Ямало-Ненецкий АО (65,0% от запасов и 50,1% от добычи в целом по АЗРФ), на втором месте – Ненецкий АО (17,5% и 18,6%, соответственно). В этих же регионах сосредоточено и наибольшее количество уникальных и крупных месторождений: в Ямало-Ненецком АО – 3 уникальных (Русское (66,38,5 с.ш., 80,23,56 в.д.) запасы оценены в 410 млн извлекаемой нефти, Восточно-Мессояхское, Новопортовское и 21 крупное, в Ненецком АО – 9 крупных [5]. Государственным балансом запасов в Арктической зоне Российской Федерации (включая прилегающие акватории) учтены 204 месторождения с технологическими извлекаемыми запасами свободного газа (в том числе газа газовых шапок) кат. А+В1+С1 – 37 417,491 млрд м3 - 76,3% от запасов по РФ, кат. В2+С2 – 16 898,309 млрд м3. Добыча свободного газа в пределах АЗРФ в 2019 году составила 607,517 млрд м3 - 87,4% от добычи в целом по РФ [5]. Извлекаемые запасы растворенного газа учтены на 264 месторождениях АЗРФ. Ведущее место по запасам и добыче свободного газа в Арктической зоне и в целом по Российской Федерации занимает Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО), на территории которого учтено 151 месторождение с технологическими извлекаемыми запасами свободного газа (в том числе газа газовых шапок). Добыча свободного газа в автономном округе составила 582,630 млрд м3 – 96,0% от добычи по АЗРФ и 83,8% от добычи в целом по РФ. Наиболее значимые по запасам и добыче месторождения ЯНАО: Уренгойское – НГКМ, Бованенковское – НГКМ, Ямбургское – НГКМ, Заполярное – НГКМ, Тамбейское – НГКМ, Харасавэйское – ГKM [5].

Рисунок 2.2 – Добыча и экспорт природного газа в РФ за 2017-2019 гг. Последние 5 лет в России идет активный процесс перехода ТЭС на природный газ. Данный вариант работы предполагает меньше выбросов парниковых газов в атмосферный

воздух и, как следствие, значительное улучшение его качества. В связи с этим природный газ еще ни одно десятилетие будет стоять в приоритете разведки новых месторождений. Уголь. В свете реализации национального проекта по освоению и развитию Арктики сегодня ускоренными темпами развивается Северный морской путь (СМП). В советские годы рекордный показатель грузооборота по этому маршруту составлял около семи миллионов тонн в год. В 2018 году он был превзойден втрое и достиг 20 млн тонн. Президентским указом поставлена задача — к 2024 году увеличить грузооборот до 80 млн тонн в год. Основной рост грузооборота планируется обеспечить за счёт поставок сжиженного природного газа с уже действующего завода «Ямал–СПГ» и с перспективного «Арктик СПГ–2». Кроме того, сейчас рассматриваются возможности добычи угля в Арктической зоне. Несмотря на современные тенденции, связанные с

Год	Экспорт	Добыча
2017	693,3	725,4
2018	743	213
2019	220,6	219,9

Миллионы тонн

ростом использования в энергетике природного газа как самого чистого ископаемого вида топлива, спрос на уголь в мире продолжает расти. Заветная мечта любой угольной компании — добывать коксующийся уголь как можно ближе к морскому побережью [6]. Запасы угля в АЗРФ, учитываемые Государственным балансом, сосредоточены на 45 месторождениях. Разведанные запасы угля (балансовые запасы кат. А+В+С1) на территории Арктической зоны размещены крайне неравномерно, большая их часть (5028,368 млн т - 70,2 % от запасов по АЗРФ) сосредоточена на территории городского округа Воркута (Печорский угольный бассейн), единственного муниципального образования Республики Коми, входящего в состав Арктической зоны РФ. В то же время площадь данного муниципального образования составляет всего 0,5% от площади сухопутной части Арктической зоны. Наиболее значимые по запасам – Воргашорское, Усинское, Воркутское каменноугольные месторождения (предприятие-недропользователь - АО «Воркутауголь»), эти же месторождения лидируют по запасам коксующихся углей, при этом все они относятся к особо ценным маркам [5].

Рисунок 2.3 – Добыча и экспорт угля в РФ за 2017-2019 гг. Дальнейшее развитие месторождений коксующегося угля будет способствовать развитию СМП, кроме того играть ключевую роль в улучшении экономической ситуации в регионах, за счет роста грузооборота, а это, в свою очередь, даст толчок к развитию судостроительной отрасли — потребуются балкерные суда усиленных ледовых классов. Не менее 30% цены любого корабля составляет стоимость судовой стали, которую невозможно производить без коксующегося угля, что стимулирует увеличение его добычи [6]. В социальном плане разработка месторождений будет способствовать увеличению рабочих мест и как во время строительства, так и в периоды эксплуатации объектов и, благодаря этому, будут выделены средства для благоустройства Арктических регионов (строительство домов, школ, аэропортов), что благоприятно скажется для развития арктических регионов РФ.

### **Глава 3.**

#### **Обеспеченность энергоресурсами**

### **3.1 Экологические и экономические проблемы использования традиционных энергоносителей.**

В настоящее время изолированные районы на территории АЗРФ не имеют какого-либо доступа к Единой системе электросвязи РФ, это значит, что арктические поселки относятся к типу децентрализованного электроснабжения. Данный тип подразумевает собой обеспечения электроэнергией поселений с помощью дизельных установок, которые в свою очередь работают за счет ископаемого топлива. Большая часть ДУ работают на дизельном топливе, часть из них на природном сжиженном газе и ещё меньшая часть на мазуте и угле. Вид топлива, на котором работает дизельная установка во многом зависит от модели используемого генератора, а также от местоположения поселка. Так, например, Камчатский край запустил проект по переводу ДУ на природный сжиженный газ, в то время как в удаленных районах Республики Саха (Якутия) имеются генераторы, которые работают на угле. Так как значительная часть существующих ДУ работают на дизельном топливе, именно проблема использования данного энергоносителя (дизеля) в работе будет рассмотрена более детально как с экологической, так и с экономической точки зрения. Экологическая проблема использования дизельного топлива (ДТ). На 2020 год по оценке Российского Энергетического Агентства на арктических, северных и приравненных к северным территориям действуют примерно 900 дизельных электростанций, вырабатывающих до 2,5 млрд кВт\*ч электроэнергии в год, и потребляя свыше 1 млн т ДТ [7]. Большая часть ДЭС эксплуатируемая в изолированных территориях АЗРФ обусловлена сильным физическим износом оборудования, вследствие чего снижается надежность и эффективность электроснабжения. Еще одним побочным эффектом плохого состояния ДЭС является избыточный расход топлива, при нормальной работе ДЭС выбросы в атмосферу от продуктов сгорания могут достигать 40 млн т/год углекислого газа, 80 тыс. т окисей серы, 600 тыс. т окислов азота [7]. Но выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух лишь одна из экологических проблем: большие скопления бочек из-под привозного топлива и различных масел являются одним из до сих пор нерешенных вопросов. Одним из путей развития экономики Арктического региона РФ является использование экологически чистых возобновляемых источниках энергии: ветровых, солнечных, приливных ГЭС и др.

### **Список литературы**

1. Радионов, В.Ф. / Метеорологические условия в околорыбном районе Северного Ледовитого океана (по данным наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс-32,33, 34»). ААНИИ. – М., 2007. – №75 – с. 50 – 64.
2. Александров, Е.И. Метеорологический режим Арктического бассейна (по данным дрейфующих станций). Том 2. Климат приледного слоя атмосферы Арктического бассейна: монография / Е.И. Александров, Н.Н. Брызгин, А.А. Дементьев, В.Ф. Радионов. – СПб.: Гидрометеиздат, 2004. – 144 с.
3. Электронный архив ААНИИ срочных метеорологических и аэрологических наблюдений гидрометеорологической обсерватории (станции) Тикси за 1932 – 2021 гг. //Электронный ресурс [дата обращения: 14.04.2022] режим доступа: <http://old.aari.ru/main.php?lg=0&id=122>

4. Репина, И.А. Опасные погодные явления в Арктике. / И.А. Репина, А.А. Шестакова, М.И. Варенцов, Ф.А. Погарский, Д.Г. Чечин // Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. – Москва: МГУ, 2019. – с. 118 – 127.

5. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Арктической зоны РФ на 15.03.2021 г. Справка подготовлена ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2021 г. № 049-00016-21-00 // Электронный ресурс [дата обращения: 16.04.2022] режим доступа: <https://www.rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202104/45bb8bcc7b844220954744c0149a86f4.pdf> 41

6. Полюс притяжения. Проект о том, что происходит на Таймыре, в Арктике, в северных морях. Великий северный путь. // Электронный ресурс [дата обращения: 20.04.2022] режим доступа: <https://gazetazp.ru/special/poljuspritzazhenija/velikij-severnyj-put.html>

7. Сон, Э. Е. К выбору оптимальных конструктивных схем и параметров ветроэнергетических установок для Российской Арктики. / Э. Е. Сон, С. В. Ганага, В. Г. Николаев, Ю. И. Кудряшов // Известия РАН. Энергетика. – 2020 - №3 – С. 33–59