



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра МКОА

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему: «Разработка ветрового кадастра для Магаданской области»

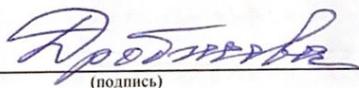
Исполнитель \_\_\_\_\_ Агурьянова Ксения Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель \_\_\_\_\_ Кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Абанников Виктор Николаевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И.О. заведующего кафедрой

  
(подпись)

\_\_\_\_\_ Доктор физико-математических наук, доцент.  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Дробжева Яна Викторовна  
(фамилия, имя, отчество)

«24» 06.2024 г.

Санкт-Петербург

2024

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. Физико-географические особенности магаданской области .....	5
1.1. Краткая физико-географическая характеристика Магаданской области	5
1.2. Рельеф Магаданской области .....	6
1.3. Обзор климата Магаданской области .....	13
1.4. Целесообразность развития чистой энергетики в Магаданской области.	15
ГЛАВА 2. Ветровой режим Магаданской области .....	21
2.1. Классификация ветрогенераторов и их технические потребности к ветровому режиму .....	21
2.2. Анализ ветрового режима Магаданской области .....	25
2.3. Особенности формирования розы ветров .....	30
ГЛАВА 3. Разработка ветрового кадастра для Магаданской области .....	36
3.1. Понятия и значения ветрового кадастра .....	36
3.2. Анализ кадастровых показателей режима ветра в Эвенске Магаданской области .....	38
Заключение .....	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	48

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** В последние десятилетия проблема устойчивого развития энергетики становится все более актуальной в связи с истощением традиционных углеводородных ресурсов и ухудшением экологической обстановки. Особое внимание уделяется возобновляемым источникам энергии, таким как ветер, солнце и гидроэнергия. Ветровая энергетика, в частности, обладает значительным потенциалом для обеспечения регионов электроэнергией с низкими затратами и минимальным воздействием на окружающую среду. Магаданская область, расположенная на северо-востоке России, отличается сложными климатическими условиями, которые порой препятствуют стабильному энергоснабжению на основе традиционных техник. Оценка ветрового потенциала территории и разработка ветрового кадастра для региона представляют собой ключевые этапы на пути к оптимизации производства электроэнергии из возобновляемых источников. Это позволит значительно сократить зависимость региона от внешних поставок углеводородов и повысит энергетическую автономию, что особо важно для удаленных и изолированных территорий.

Альтернативные источники энергии, имеющиеся в регионе в достаточном количестве – это солнце и ветер. Однако их использование в широких масштабах экономически нецелесообразно в силу дороговизны создания генерирующих станций и их обслуживания. В то же время строительство ветрогенераторов и солнечных электростанций возможно в районах нового освоения при разработке удаленных месторождений полезных ископаемых или в населенных пунктах, автономных от энергосистемы региона и использующих дорогое привозное топливо для выработки тепла и электричества

**Цель исследования.** Изучить климат области, влияние ветра и разработать ветровой кадастр.

**Задачи исследования.**

- 1) Дать краткую физико-географическую характеристику Магаданской области;
- 2) Изучить рельеф Магаданской области;
- 3) Провести обзор климата Магаданской области;
- 4) Выявить целесообразность развития чистой энергетики в Магаданской области;
- 5) Охарактеризовать климатическую норму ветрового режима;
- 6) Изучить современную динамику скорости ветра;
- 7) Изучить микроклимат ветра;
- 8) Провести расчет повторяемости скорости ветра;
- 9) Провести оценку удельных мощностей ветрового потока;
- 10) Оценить потенциальный объем вырабатываемой электроэнергии.

**Объектом исследования** является территория Магаданской области, на которой планируется разработка ветрового кадастра.

**Предметом исследования** является анализ и систематизация данных о ветровых ресурсах данной территории.

Для достижения поставленной цели можно использовать следующие **методы исследования**:

- анализ научной литературы;
- статистический анализ и интерпретация полученных данных для определения оптимальных мест;
- экономический анализ для оценки экономической целесообразности инвестиций в ветроэнергетику на данной территории.

**Структура работы.** Работа состоит из введения, основной части, заключения и списка использованных источников.

## ГЛАВА 1. Физико-географические особенности Магаданской области

### 1.1. Краткая физико-географическая характеристика Магаданской области

Магаданская область занимает северо-восточную окраину Азиатского материка и представляет собой обширную территорию со сложным и многообразным рельефом, омываемую с юго-востока водами холодного Охотского моря, входящего в бассейн Тихого океана. Граничит область с юго-восточной стороны с Камчатским краем, с западной - с Хабаровским краем, с северо-западной - с Республикой Саха (Якутия), с северо-восточной - с Чукотским автономным округом. Сухопутные границы проходят по горным районам, а южная граница Магаданской области - морская со странами Азиатско-Тихоокеанского бассейна. [6]

Большая часть области гориста. На востоке - Колымское нагорье, в центральной части - отроги хребта Черского (высота до 2586 м), на юго-востоке обширные низменности. Наиболее крупная река – Колыма. Область расположена в зоне северной тайги, лесистость 38,4%. Входит в Дальневосточный Федеральный Округ.

Территория области впервые была исследована русскими в 18 в. Постоянные поселения возникли в 19 в., города и крупные поселки - в 20 в. Строительство Магадана началось в 30-х годах 20 в. в связи с освоением природных ресурсов северо-востока заключенными.

В 1930-1950 Магадан был центром управления Северо-Восточных исправительно-трудовых лагерей НКВД СССР. С 1939 г. - город; с 1953 центр - Магаданской области. Территория - 461,4 тыс. кв. км, численность населения 174,7 тыс. чел., национальный состав: русские, украинцы, белорусы, татары, чукчи, евреи, эвены, коряки, якуты и др.; городских жителей - 88,5%. [8]

Включает 8 административных районов, 2 города, 31 посёлок городского типа. Крупные города - Магадан, Сусуман. Административный центр - Магадан. Расположен в 7110 км к востоку от Москвы, на берегу бухты Нагаева

Охотского моря, на многолетнемерзлых породах и в зоне повышенной сейсмичности. Население 124,2 тыс. чел.



Рисунок 1 - Карта Магаданской области

## 1.2. Рельеф Магаданской области

В рельефе Магаданской области преобладают горы, небольшие низменности образуются лишь в нижнем течении рек вдоль побережья Охотского моря. В целом поверхность суши области имеет северный уклон, а южная

часть шириной около 100 км - южный уклон в сторону Охотского моря. Геологическая структура области формировалась более 500 миллионов лет. В регионе встречаются троговые долины, ледниковые цирки, кары, морены и подпрудные озера. В палеозойскую эру территория области была дном обширного прогиба, где шло интенсивное накопление осадочных пород. [7]

Одновременно с накоплением отложений под действием внутренних сил земли происходит смятие пластов в складки, а по трещинам внедряются магматические породы. С современными магматическими массивами связаны все рудные месторождения золота, серебра и других металлов. Сложные тектонические движения в конце мезозойского периода привели к формированию горного рельефа региона. Современный облик регион приобрел под воздействием как внутренних, так и внешних сил.

Основными факторами, влияющими на формирование современного рельефа, являются проточные воды, ледники, мороз и химическое выветривание. Важную роль играют оползни и обвалы. В их основе лежит эффект вечной мерзлоты. Обычно на переувлажненных склонах происходит миграция рыхлого грунтового покрова. Этот же процесс происходит под воздействием землетрясений.

Ведущее место в рельефе Магаданской области принадлежит средневысотным нагорьям и плоскогорьям, над которыми возвышаются горные хребты. Большая часть территории расположена в пределах Яно-Чукотской горной страны. На западе ее более чем на 1500 км протянулись цепи хребта Черского, которые своей южной оконечностью захватывают западные районы области. Они представляют собой отдельные горные кряжи, разделенные речными долинами. Наибольшей высоты хребет достигает в Якутии — пик Победа — 3147 м, а на территории области — пик Абориген — 2586 м, Хребты и цепи системы Черского сложены в основном магматическими и песчано-сланцевыми породами. В прогибах между хребтами имеются толщи осадочных обломочных пород. Водные потоки и ледники, разрушая горные массивы, создали в этом районе грандиозные альпийские формы рельефа. [19]

На юге хребет Черского сливается с Охотско-Колымским нагорьем, являющимся водоразделом между реками бассейна Охотского моря и Северного Ледовитого океана. Это нагорье занимает территорию на юго-западе области по правобережью Верхней Колымы и простирается до Охотского моря. На севере нагорье переходит в Юкагирское плоскогорье, а на востоке — в Корякское. Основные высоты Охотско-Колымского нагорья колеблются в пределах 600—1500 м. Сложена эта горная система изверженными и осадочными породами. Здесь преобладают более сглаженные формы рельефа, расчлененные речными долинами. Нагорье в прибрежной части Охотского моря переходит в небольшие низменности с всхолмленным рельефом.

Северная часть области занята двумя нагорьями. От правобережья Колымы до верховий Анюя и Чаунской губы расположено Анюйское нагорье. Вся восточная часть Чукотки занята Чукотским нагорьем. Анюйское нагорье и Аиюйский хребет характеризуются альпийскими формами рельефа с преобладающими высотами 1000—1600 м. Максимальная высота этого района — 1853 м — гора Двух Цирков. На нагорье хорошо заметны следы разрушительной деятельности ледников. Свидетельством вулканической деятельности в прошлом является конус давно потухшего Анюйского вулкана. Поверхность Чукотского нагорья отличается от Анюйского плосковершинными формами рельефа» Наибольшие высоты — 1500—1800 м.

В прибрежной зоне расположены низменности Ванкаремская, Чаунская, Мечигменская и другие. Вдоль Арктического побережья характерны многочисленные песчаные косы, отделяющие от моря неглубокие лагуны. Наибольшей длины достигает коса Двух Пилотов — 450 км. Корякское нагорье на территорию области заходит северными хребтами, которые простираются почти до реки Анадырь.

Здесь хребты понижаются и представляют собой увалы, возвышающиеся над Анадырской низменностью. Эта низменность — самая крупная в области. Ее относительно ровная поверхность сложена осадочными породами. В отдельных местах над поверхностью низменности возвышаются отдельные

хребты: Ушканий, Пекульней, Рарыткин и др. Небольшие низменности есть также по долинам рек Тауй, Ола, Армань, Яна, Гижига. Поверхность их сложена продуктами разрушения гор и выноса их водными потоками.

Магаданская область лежит в пределах Черского и Охотско-Анадырского сейсмических поясов. Сила землетрясений может достигать в хребте Черского до 8 баллов, а вдоль побережья — до 6-7 баллов. Обычно в очаге землетрясения происходят смещения и разрывы пластов. Сдвиг горных масс в очагах даже на несколько сантиметров на поверхности земли сопровождается подземными толчками и колебаниями. Самым сильным было землетрясение 16 ноября 1851 года. Тогда подземный гул, колебания, трещины наблюдались по всему побережью.

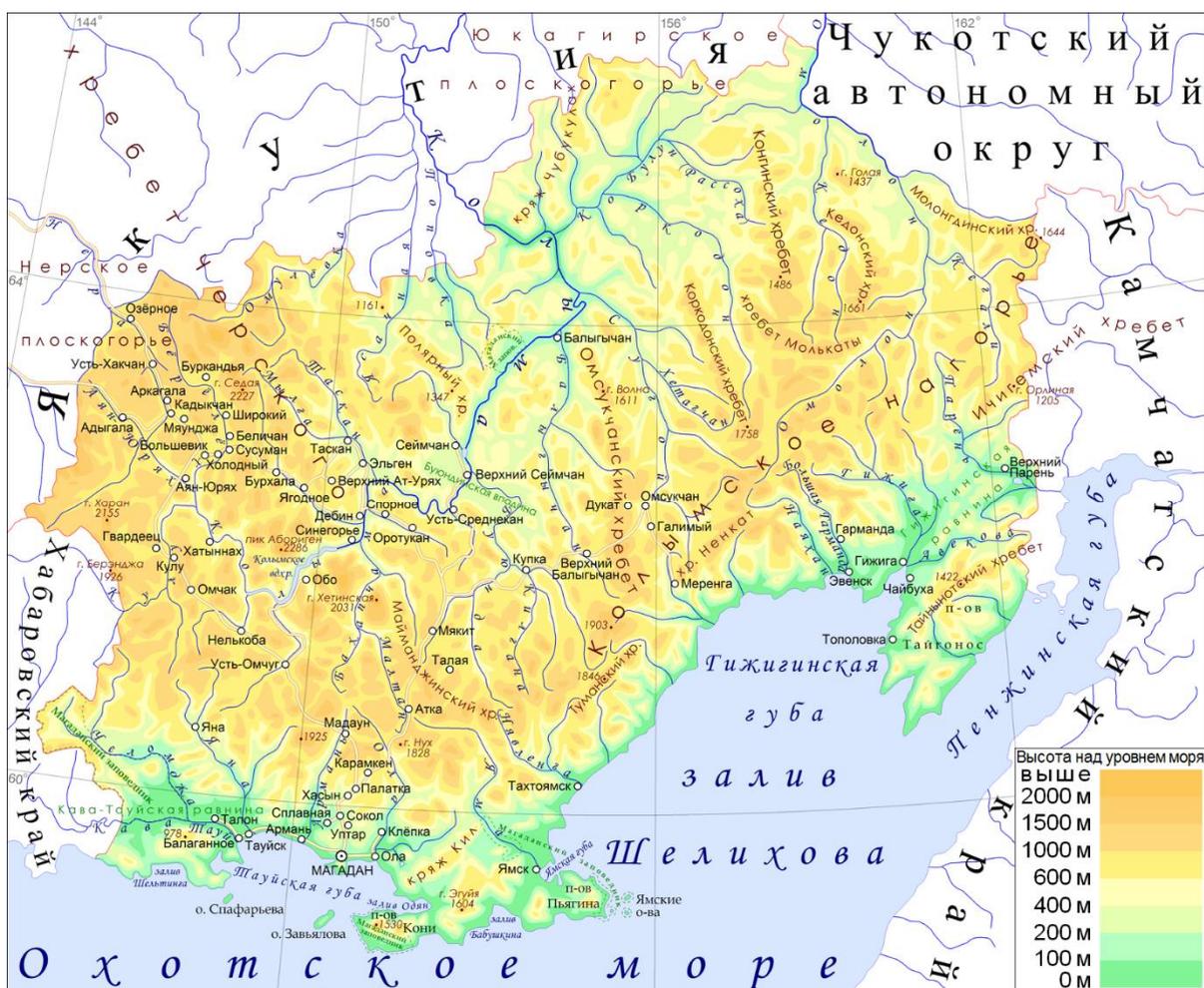


Рисунок 2. Карта рельефа Магаданской области.

Для территории области характерно сложное сочетание разновысотных хребтов, нагорий, плато, впадин и прибрежных равнин. В восточной части расположено Колымское нагорье (высота до 1903 м). Вершины его в основном выположены, часть из них несёт следы ледниковой обработки. Нагорье включает 3 крупных, параллельно ориентированных хребта – Омсукчанский, Коркодонский, Конгинский, высоты которых уменьшаются к северу до 600–800 м (на границе с Юкагирским плоскогорьем); своеобразную «кольцевую» структуру образуют хребты Кедонский и Молькаты.

Наиболее крупные межгорные впадины – Омсукчанская, Верхнекедонская, Верхнеомолонская, Сеймчано-Буюндинская. В северо-западной части находится южная оконечность хребта Черского (высота до 2337 м, хребет Охандя – высшая точка Магаданской области) с альпинотипными формами рельефа, многочисленными следами древнего оледенения, скально-осыпными склонами, глубоко врезынными долинами. На юге вдоль побережья протягивается цепочка приморских заболоченных впадин (высота 100–150 м) с равнинным (холмисто-моренным или озёрно-аллювиальным) и останцово-равнинным рельефом (например, равнины Кава-Тауйская; Ольская и Ямская, разделённые невысоким кряжем Кил).

В целом более половины площади области приходится на эрозионно-денудационный среднегорный рельеф с глубиной расчленения преимущественно 300–500 м. Морфоскульптура склонов и выровненных вершинных поверхностей определяется степенью проявления криогенных процессов. Обычны курумы, солифлюкционные террасы, бугры пучения, криогенные оползни, делли, каменные кольца и др. Во впадинах и на прибрежных равнинах развит термокарст. Сочетание криогенеза с активной денудацией способствовало широкому развитию коллювиально-делювиальных отложений мощностью от 2 до 5 м, на отдельных участках – до 10 м. Наблюдается активизация склоновых и криогенных процессов.

В пределах Верхояно-Колымской складчатой системы на севере и северо-востоке области выделяют фрагменты докембрийского Колымо-Омолонского массива (микроконтинента). Фундамент массива образован архейско-нижнепротерозойскими метаморфическими комплексами; чехол включает верхнепротерозойские и нижнепалеозойские мелководно-морские терригенно-карбонатные толщи, среднепалеозойские наземные вулканиты и терригенно-вулканогенные формации, верхнепалеозойско-мезозойские терригенные отложения. Синклинории и антиклинории Верхояно-Колымской складчатой системы сложены мощным терригенным комплексом верхнего палеозоя, триаса и юры, прорванными мезозойскими гранитоидами. Местами выделяются орогенные впадины, заполненные верхнеюрскими терригенно-вулканогенными и вулканогенными молассами. Через полуострова Кони, Пьягина и Тайгонос протягивается Кони-Тайгоносско-Западнокорьякская складчатая система, сложенная мезозойскими (преимущественно юрскими) терригенно-вулканогенными толщами.

В пределах Охотско-Чукотского пояса широко развиты покровы меловых вулканитов; раннемеловые впадины предвулканогенного этапа заполнены терригенно-вулканогенной и терригенной угленосной молассами. В южной, восточной и центральной частях области расположены новейшие орогенные впадины (Кавская, Ямская, Гижигинская, Сеймчано-Буюндинская), заполненные неоген-четвертичными континентальными обломочными отложениями. Отмечаются покровы четвертичных базальтов. Через юго-западную часть области протягивается сейсмический пояс Черского, маркирующий границу Евразийской и Северо-Американской литосферных плит; возможны землетрясения интенсивностью 8 баллов и выше.

На территории области находятся памятники природы геологического профиля регионального значения:

— геоморфологические – Атарганский (скальные останцы со следами абразии);

— лито-петрологические – Базальтовый (обнажение мощного покрова базальтов, пересечённых серией даек; встречаются друзы горного хрусталя, аметиста; агаты), Джегдянский (выходы кварцевых жил, секущих пласты песчаников и сланцев), Кананьжский (обнажение щелочных базальтоидов, слагающих вершину сопки);

— стратиграфические – Песчаный (аргиллиты, песчаники, угольные пластов с окаменевшей флорой), Омуревский (непрерывный стратиграфический разрез от среднего ордовика до нижнего девона с остатками ископаемой фауны);

— палеонтологические – Остров на реке Колыма (строматолиты *Omaethenia rhoda* в отложениях ятулия), Нелюдимая (рифогенные известняки и доломиты нижнего девона с ископаемой фауной);

— минералогический – Ольское плато (сложено андезитами, андезито-базальтами, базальтами и риолитами позднемелового возраста; горизонт с многочисленными халцедоновыми, агатовыми миндалинами и жеодами);

— гидролого-гидрогеологические – Таватумский, Широкая (источники термальных вод) и др.

Основные высоты Колымского нагорья колеблются от 600 до 1500 метров, а некоторые горы достигают 1800-1900 метров. Эти горы сложены изверженными и осадочными породами и часто имеют гладкую поверхность. Плато круто спускается к Охотскому побережью. В устьях рек Гижига, Яна, Талон, Яма, Ола образовались небольшие, слегка всхолмлённые равнины, сложенные аллювиальными отложениями. Обычно это глина, песок, галька. В центральной части области есть несколько впадин. Самые крупные из них Сеймчано-Буюндинская и Верхне-Сугойская, сложенные озёрно-аллювиальными отложениями. На севере области нагорье и хребты сменяются Юкагирским плоскогорьем, а на востоке — Корякским нагорьем.

### 1.3. Обзор климата Магаданской области

Магадан расположен в зоне неблагоприятных климатических условий, характеризующихся продолжительной зимой и коротким холодным летом. Такой климат формируется как под влиянием расположения в северных широтах, так и под воздействием холодного Охотского моря. Из-за сурового климата продолжительность сезонов значительно отличается от общепринятых.

Характерной особенностью климата Магаданской области является сезонная изменчивость океанических и континентальных влияний. Различная степень континентального и океанического нагревания и охлаждения приводит к неодинаковому образованию антициклонов и циклонов. [2]

В научно-прикладном справочнике по климату СССР отображены фактические данные по температуре воздуха, почвы, влажности, скорости ветра.

Началом зимы в Магадане считается день, когда среднесуточная температура изменяется от  $0^{\circ}\text{C}$  в отрицательную сторону, а концом зимы - день, когда среднесуточная температура изменяется от  $0^{\circ}\text{C}$  в положительную сторону. Зима считается самым ветреным сезоном в Магадане, а зимний сезон в прибрежных районах характеризуется небольшим повторением прохладной, но мягкой погоды. Более низкие температуры, но ветреные условия обычно возникают, когда глубокая система низкого давления проходит на небольшом расстоянии от северного побережья Охотского моря. Зимой облачность меньше, чем в другие сезоны. В августе и сентябре уже случаются заморозки. Осенью усиливается ветер, увеличивается частота штормовой погоды и уменьшается частота туманов, особенно в октябре. [4]

Осенью и зимой формируется антициклон - Лено-Колымское ядро, часто сочетающееся с Азиатским высоким. Зимой над северо-востоком России, достигающим до Магаданской области, формируется масса сухого холодного континентального воздуха. Однако, как правило, морозный период длится недолго. Циклоны, зарождающиеся в Японии, Желтом и Японском морях в южных широтах, смещаются на север и северо-восток и достигают Алеутских

островов. Его траектория часто проходит прямо над Охотским морем. Остывающий континент служит препятствием для дальнейшего движения циклона на север. В районе Охотского моря циклон направляется на восток, усиливая Алеутскую систему низкого давления.

В зимний период на северном побережье Охотского моря, включая Магадан, господствуют северные ветры (континентально-континентальные зимние муссоны): с декабря по январь в Охотском море наблюдается 23-26 дней циклонической циркуляции, а за весь зимний период-около 108 дней. Несмотря на то, что прохождение циклонической циркуляции над Охотским морем необязательно приносит штормовую погоду в Магадан, максимальное количество дней со штормами приходится именно на зимний период.

Весна обычно начинается с таяния и постепенного схода снега и повышения среднесуточных температур до 0°C. Первый день весны в Магадане приходится на апрель, но средняя температура все еще отрицательная, что делает этот месяц переходным. Весной в центральной части Якутии и Магаданской области происходит ослабление антициклона и постепенная утрата благоприятных условий для интенсивной деятельности низкого давления над Дальневосточным морем, при этом антициклоны все чаще перемещаются в регион. Уменьшается частота северо-восточных ветров и увеличивается частота западных и юго-западных ветров. В прибрежную зону поступают менее облачные, теплые, влажные воздушные массы и осадки с моросью.

Лето характеризуется более частыми ветрами и дождями, чем весна. Самый теплый климат устанавливается после прохождения циклона над Охотским морем недалеко от северного побережья, за которым следуют северные ветры, приносящие теплый воздух с континента. Летом ветры ослабевают, появляется туман и дымка, а грозы становятся короткими и слабыми.

В это время года наблюдается обратное зимнему влияние уровня континентов и моря на воздушные массы. Быстрое потепление континентов усили-

вают активность низкого давления, а на холодной морской поверхности развивается высокое давление. В прибрежных районах преобладают западные юго-западные ветры с морской стороны, т.е. летний муссон.

Над сушей возникает область высокого давления, характеризующаяся низкой облачностью и очень низкими температурами, а над океаном-область низкого давления с более теплыми и влажными воздушными массами. Такая картина давления создает устойчивое холодное течение от суши к морю, формирующее зимний муссон. Это означает, что над нагретым азиатским континентом атмосферное давление падает и образуется область низкого давления, а над океанами атмосферное давление повышается и образуется область антициклона. Такая структура давления заставляет воздушные массы перемещаться из более холодных океанов на сушу, формируя летний муссон.

#### 1.4. Целесообразность развития чистой энергетики в Магаданской области

Чистая энергия – это энергия, получаемая из возобновляемых источников энергии, которые не загрязняют атмосферу при использовании и имеют нулевые выбросы.

Чистая энергия обеспечивает ряд экологических и экономических преимуществ, включая снижение уровня загрязнения воздуха. Разнообразие источников чистой энергии также снижает зависимость от импорта топлива (и связанные с этим финансовые и экологические издержки). Возобновляемая и чистая энергия не требует добычи и транспортировки таких видов топлива, как нефть и уголь, и по своей сути позволяет экономить деньги, поскольку ресурсы пополняются естественным путем. Еще одно промышленное преимущество чистой энергии - создание рабочих мест для разработки, производства и установки чистых источников энергии будущего. Чистая энергия может использоваться в самых разных сферах, от производства электроэнергии до нагрева воды.

Солнечная энергия может использоваться для отопления, освещения, выработки электроэнергии, прямого нагрева воды и охлаждения зданий. Солнечные панели могут использоваться для сбора энергии солнца и преобразования ее в электричество. Солнечные панели часто используются для небольших электрических задач, таких как зарядка батарей, а многие люди уже используют солнечную энергию для освещения небольших садов. Однако эту же технологию экологически чистой энергии можно распространить на более крупные панели, используемые для питания домов и других зданий, и даже установить несколько солнечных панелей, например, в виде их массивов для питания целых городов.

Ветроэнергетика работает за счет присоединения генератора к ветряной турбине и преобразования вращения лопастей ветряка в энергию. Эта энергия веками использовалась для перемалывания зерна, перекачивания воды и выполнения других механических задач, но теперь она все чаще используется для выработки электричества. Ветряные электростанции на суше и в море становятся все более распространенными, но энергия ветра может использоваться и для выработки электроэнергии в гораздо меньших масштабах, а также в качестве источника питания для зарядки мобильных телефонов.

Суровые Магаданские погодные-климатические условия, неразвитые системы коммуникаций, низкая плотность населения - все это результат точечной застройки территории, которая привела к формированию центральной системы расселения и неравномерному распределению точек генерации. В силу географической удаленности от центральных регионов страны главной особенностью энергоснабжения области является ее изолированность как от единой энергетической системы России, так и от других региональных энергосистем, не входящих в единую энергетическую систему. Единственным исключением во всем Дальневосточном федеральном округе является энергетический узел Оймяконского улуса, административный район Республики Саха (Якутия).

В самой Магаданской области наряду с крупными электростанциями существуют зоны децентрализованного энергоснабжения, в том числе дизельные электростанции для обеспечения энергией отдаленных поселков. В настоящее время в регионе действуют четыре электростанции общей проектной мощностью 1 530,5 МВт, две из которых-гидроэлектростанции общей мощностью 1 210,5 МВт.

1) Колымская ГЭС им. Ю.И. Фриштера (плотинная, на реке Колыме), ввод агрегатов которой происходил в 1981 – 1994 году, имеющая мощность 900 МВт;

2) Усть-Среднеканская ГЭС им. А.Ф. Дьякова (плотинная, на реке Колыме), ввод двух агрегатов которой происходил последовательно в 2013 и 2019 году, а ввод третьего должен произойти в 2022, имеющая сегодня мощность 310,5 МВт, а в перспективе – после ввода третьего агрегата будет иметь 570 МВт;

3) две тепловые электростанции мощностью 320 МВт:

4) Аркагалинская ГРЭС (самая мощная тепловая станция региона), введенная в эксплуатацию в 1955 и имеющая мощность 224 МВт;

5) Магаданская ТЭЦ (основной источник теплоснабжения Магадана), введенная в эксплуатацию в 1962 и имеющая мощность 96 МВт.

В зоне децентрализованного энергоснабжения несколько дизельных электростанций вырабатывают в общей сложности 18,9МВт энергии. Например, несколько населенных пунктов вдоль федеральной трассы Р504"Колыма" относятся к зоне децентрализованного энергоснабжения и снабжаются теплом от дизельных электростанций и котельных.

Дизельные электростанции (ДЭС) широко используются в различных отраслях, таких как промышленность, строительство, сельское хозяйство и даже в крупных городах в качестве резервного источника электроэнергии. Однако, их использование может приводить к негативным последствиям для окружающей среды. Дизельные электростанции могут наносить вред окружа-

ющей среде и здоровью человека, из-за выбросов выхлопных газов. Они содержат в себе многочисленные токсичные вещества, такие как оксиды азота, оксиды серы и углеродные соединения. [15]

Кроме того, ДЭС могут использовать нефть, которая является не только не возобновляемым источником энергии, но и может приводить к разливам нефти, а они имеют катастрофические последствия для окружающей среды. Существует несколько мер, которые могут помочь уменьшить негативное влияние дизельных электростанций на окружающую среду. Одна из таких мер — использование биодизеля.

Биодизель является биоразлагаемым и возобновляемым видом топлива, который производится из растительных масел или животных жиров. Он может использоваться вместо нефтяного дизеля и значительно снижает выбросы газов в атмосферу.

Использование дизельных электростанций с низким уровнем выбросов. Несмотря на то, что дизельные электростанции могут иметь негативное воздействие на окружающую среду из-за выбросов, некоторые производители предлагают решения, которые помогают уменьшить их воздействие:

- 1) Например, существуют дизельные электростанции, *оснащенные системами фильтрации*, которые способны снизить выбросы до минимальных уровней. Такие электростанции используются на различных строительных объектах, в частных домах и даже на яхтах.
- 2) Некоторые производители также предлагают дизельные электростанции, *работающие на сжатом природном газе (CNG)*, который является более экологичным топливом, чем дизельное топливо.
- 3) Кроме того, в последние годы появилось множество стартапов, которые разрабатывают *гибридные дизельные электростанции*, использующие солнечные панели и ветряные турбины для генерации электроэнергии. Такие системы сокращают использование дизельного топлива и снижают воздействие на окружающую среду. [15]

Согласно стратегии социально-экономического развития Дальневосточного и Байкальского региона, существующая система энергоснабжения не может обеспечить энергоресурсами создание комфортных условий жизни в новых регионах. В результате в ближайшем будущем эти регионы, обладающие значительными природными ресурсами и потенциальными возможностями для интенсивного развития, будут остро нуждаться в новых традиционных и возобновляемых источниках энергии. Неудивительно, что в Охотском море расположено несколько нефтегазодобывающих бассейнов. Очевидно, что на основе освоения этих бассейнов можно построить традиционные тепловые электростанции. Однако, во-первых, как ими бы большими ни были запасы нефти и газа, они конечны, а во-вторых, их разработка и транспортировка всегда сопряжены с риском загрязнения окружающей среды.

Однако, судя по всему, существующие изолированные энергосистемы позволяют развивать местные системы энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии, а не расширять деятельность центральной ЕЭС, использующей традиционные источники энергии.

Кроме того, в большинстве случаев это районы, удаленные от прибрежной зоны Магаданской области, где имеются различные перспективы развития возобновляемых источников энергии, таких как:

- 1) Ветроэнергетика;
- 2) Биоэнергетика;
- 3) Солнечная энергия.

По состоянию на 2020 год ветроэнергетика занимает лидирующие позиции в этих быстро развивающихся секторах энергетики на территории России.

Работа ветряной электростанции заключается в преобразовании кинетической энергии атмосферного воздуха в электрическую энергию. Преимуществами рассмотрения ветроэнергетики в качестве одного из элементов или ресурсов регионального развития являются экологичность, эргономичность, возобновляемость и экономическая эффективность, что особенно важно для мест, удаленных от центра страны.

В процессе выбора вида возобновляемой энергии в регионе следует учитывать, что для размещения ветроустановок может быть использован не только равнинный горный рельеф Магаданской области, но и плато, горные хребты и холмистые плато. Ветроэнергетика-приоритетный инновационный проект в развитии нетрадиционных источников электроэнергии в Магаданской области: строительство ветропарков для энергоснабжения населенных пунктов. Доставка ветроэнергетических установок в регионы Магаданской области достаточно проблематична, учитывая, что осуществляется она по воздуху, либо суднами.

## ГЛАВА 2. Ветровой режим Магаданской области

### 2.1. Классификация ветрогенераторов и их технические потребности к ветровому режиму

Ветроэнергетика представляет собой одну из наиболее перспективных и быстро развивающихся областей в секторе возобновляемых источников энергии. Основной принцип, лежащий в основе этой технологии, заключается в преобразовании кинетической энергии ветра в электрическую энергию с помощью ветроэнергетических установок (ВЭУ). ВЭУ состоят из нескольких ключевых компонентов: лопасти, которые улавливают ветровую энергию, генератора, преобразующего механическую энергию в электрическую, и трансформатора, повышающего напряжение для подачи в электрическую сеть.

Важную роль в процессе мирного внедрения ветроэнергетики играют комплексные исследования ветрового потенциала регионов и детальный анализ их климатических условий. Именно такой анализ позволяет определить наилучшие места для установки ВЭУ и максимизировать их эффективность. С учетом высоких потенциалов ветровых потоков в регионах, таких как Магаданская область, использование этих технологий может значительно повысить общий объем вырабатываемой электроэнергии, а также сократить зависимость от традиционных источников энергии. Технологии в ветроэнергетике непрерывно совершенствуются, предоставляя всё более эффективные и экономически оправданные решения. Основные подходы заключаются в оптимизации компонентов ВЭУ, повышении их устойчивости к внешним воздействиям и увеличении эффективности преобразования энергии. Одним из актуальных направлений является разработка новых материалов для лопастей, позволяющих снизить их вес и увеличить прочность. Это, в свою очередь, уменьшает нагрузки на конструкцию в целом и повышает срок эксплуатации оборудования. Важное значение в ветроэнергетике имеют также технологии автоматизации и управления процессом генерации. Современные ВЭУ оснащены систе-

мами контроля и автоматической регулировки параметров работы, что позволяет реагировать на изменения скорости и направлений ветра в реальном времени. Это увеличивает общий КПД установки и снижает потери энергии.

Различают несколько типов ветроэнергетических установок, каждый из которых обладает своими особенностями и характеристиками, что делает их применимыми в различных климатических и географических условиях, включая регионы с суровыми климатическими условиями, такие как Магаданская область. Ветровые установки могут *быть горизонтально-осевые (HAWT) и вертикально-осевые (VAWT)*, и каждая из них имеет свои преимущества и недостатки.

Горизонтально-осевые ветроэнергетические установки (HAWT) наиболее распространены в промышленной ветроэнергетике (рис.3). Особенностью HAWT является горизонтальное расположение оси вращения турбины, что позволяет использовать энергию горизонтального ветрового потока наиболее эффективно, ветровые турбины этого типа обычно состоят из башни, гондолы и трехлопастного ротора. Основные преимущества HAWT включают высокую эффективность преобразования энергии, возможность установки на значительной высоте для увеличения коэффициента использования ветра, а также проверенную временем надежность конструкции. Однако, они требуют значительных капиталовложений, особенно при строительстве крупных ветропарков. Кроме того, HAWT чувствительны к турбулентным потокам ветра и требуют сложных систем управления для поддержания стабильной выработки электроэнергии.



Рисунок 3. Горизонтально-осевой ВЭУ

Вертикально-осевые ветроэнергетические установки (VAWT) обеспечивают ряд уникальных преимуществ, которые выделяют их на фоне горизонтально-осевых турбин (рис.4). Основное преимущество VAWT заключается в том, что они могут захватывать ветер с любого направления без необходимости ориентации по ветру. Это обеспечивает им большую устойчивость к турбулентным и переменчивым ветровым условиям, что может быть критическим фактором в регионах с неустойчивым климатом, например, в Магаданской области. Классификация VAWT включает несколько типов: *даррьеус*, *савониус* и гибридные модели. Даррьеусные турбины характеризуются высокой эффективностью, однако они требуют начального крутящего момента для запуска. Турбины типа Савониуса менее эффективны, но отлично работают при низких скоростях ветра, что делает их подходящими для устойчивых, но слабых ветровых условий.



Рисунок 4. Разновидности вертикально-осевых ВЭУ

Важно отметить, что выбор конкретного типа ветроэнергетической установки должен быть тщательно обусловлен учетом климатических, географических и экономических условий региона. Магаданская область, обладая значительным ветровым потенциалом, требует тщательного анализа различных типов ветроустановок для определения наиболее подходящих решений. К примеру, применение вертикально-осевых турбин может быть предпочтительно в районах с переменчивыми ветровыми условиями, в то время как горизонтально-осевые турбины могут быть эффективны в зонах с постоянным сильным ветром. Экономическая оценка различных типов ветроустановок, включая капитальные и операционные затраты, а также прогнозируемую выработку энергии, должна быть одной из ключевых составляющих разработки ветрового кадастра Магаданской области. Гибридные системы, которые комбинируют использование различных типов ветроустановок и комплементарные системы, такие как солнечные панели или системы накопления энергии, также заслуживают внимания. Синергия между различными источниками возобновляемой энергии может помочь в создании более устойчивой и надежной энергетической системы для региона. Таким образом, комплексный подход к выбору типажа ветроэнергетических установок и их интеграции в существующую энергетическую инфраструктуру играет решающую роль в достижении целей по увеличению доли возобновляемой энергии и снижению углеродного

следа. В заключение, разнообразие типов ветроэнергетических установок предоставляет обширные возможности для адаптации к различным климатическим и географическим условиям. Климат Магаданской области является суровым и характеризуется крайне низкими температурами зимой и прохладным летом. Континентальный климат региона определяется его географическим положением, удаленностью от крупных водоемов и наличием горных хребтов. Зимы продолжительные, со средними температурами января около  $-23^{\circ}\text{C}$ , что обуславливает высокий уровень морозостойкости ветроэнергетического оборудования, необходимого для работы в таких условиях. Низкие зимние температуры также сопровождаются значительным количеством осадков в виде снега, что может усложнять эксплуатацию ветроэнергетических установок и требует дополнительных мер по их техническому обслуживанию.

## 2.2. Анализ ветрового режима Магаданской области

Магаданская область характеризуется суровым климатом с длинными, холодными зимами и относительно коротким летним периодом. Каждый сезон в Магаданской области особенный, для области сезоны разделяют на два периода: осенне-зимний и весенне-летний периоды.

В осенне-зимний период над континентальными районами образуется область повышенного давления или Оймяконский антициклон, характерный низкими температурами, малыми скоростями ветра и малооблачной погодой, в то время как в Охотское море начинают смещаться глубокие циклоны, которые сопровождаются штормовыми северо-восточными ветрами, обильными снегопадами и сильными метелями. Осенне-зимний сезон самый ветреный, максимальная скорость ветра составляет  $40\text{ м/с}$  на мысовых станциях, такой ветер в основном отмечается в январе; в ноябре и декабре максимальная скорость также достигает больших значений —  $34\text{ м/с}$ , к концу зимы повторяемость штормовой погоды значительно уменьшается (табл.1.).

Таблица 1. Распределение скоростей ветра на территории Магаданской области по сезонам и за год [Научн.прикл.справочник по климату СССР]

Расположение метеостанции	Среднегодовая скорость ветра (на высоте 10м)	Средняя скорость ветра (м/с)				Максимальная скорость ветра (м/с)
		Зима	Весна	Лето	Осень	
Магадан	3,7	4,4	3,7	3,2	3,7	30
Мадаун (Тенькинский р-н)	1,2	1,1	1,2	1,2	0,9	18
Ола	3,3	4,1	3,3	2,6	3,4	27
Омсукчан	1,8	1,4	2,1	2,3	1,5	18
Палатка	2,2	2,6	2,4	1,5	2,1	21
Сеймчан	1,5	0,6	1,9	2,0	1,3	22
Сусуман	1,6	0,9	1,9	2,0	1,3	27
Талая (Хасынский район)	0,7	0,2	1,0	1,0	0,7	14
Талон (Ольский район)	1,0	0,9	1,2	0,9	0,9	19
Усть-Омчут	2,1	1,9	2,3	2,1	1,9	20
Эвенск	4,2	5,3	4,3	2,9	4,2	35
Ягодное	1,1	0,9	1,3	1,3	1,1	17

Характерной особенностью осенне-зимнего сезона в прибрежных районах является небольшая повторяемость штилевой погоды даже при низкой температуре воздуха. В Магадане при температуре ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  скорость ветра составляет 4—10 м/с, а в некоторые дни превышает 15 м/с, ветреная погода при низкой температуре обычно устанавливается, когда глубокие циклоны проходят в некотором отдалении от северного побережья Охотского моря. В таких случаях вынос теплого воздуха на этот район, как правило, не происходит, иногда может наблюдаться незначительное потепление; при этом побережье попадает в зону больших барических градиентов, что приводит к усилению ветра.

В весенне-летний сезон расположение барических полей приблизительно обратное, над прогретыми континентальными районами разрушается Оймяконский антициклон и образуется циклоническая циркуляция, сопровождающаяся дождями, не продолжительными грозами и начинают преобладать ветра, направленные с моря на сушу, а над Охотским морем смещается гребень

антициклона, скорость ветра на побережье будет ослабевать, с южным юго-западным направлением и выносом туманов. Весенне-летний период характеризуется уменьшением частоты сильных ветров, хотя продолжительность сильных порывов ветра (более или равно 12 м/с) в мае незначительно сокращается по сравнению с зимним периодом.

Скорость ветра значительно колеблется в зависимости от времени года, что имеет важное значение при расчетах потенциальной мощности ветровых установок. Хотя летние месяцы характеризуются более устойчивыми, но менее сильными ветрами, зимние месяцы, наоборот, приносят более переменчивые и мощные ветровые потоки. Важно учитывать эти сезонные вариации при разработке ветрового кадастра, чтобы точно прогнозировать возможные уровни выработки электроэнергии в течение года.

Для анализа средней скорости ветра по Магаданской области был взят период с 20.06.2019-20.06.2024 гг.

Для построения графиков использовались данные метеостанций располагающиеся на побережье и центральных районах области (рис.5).

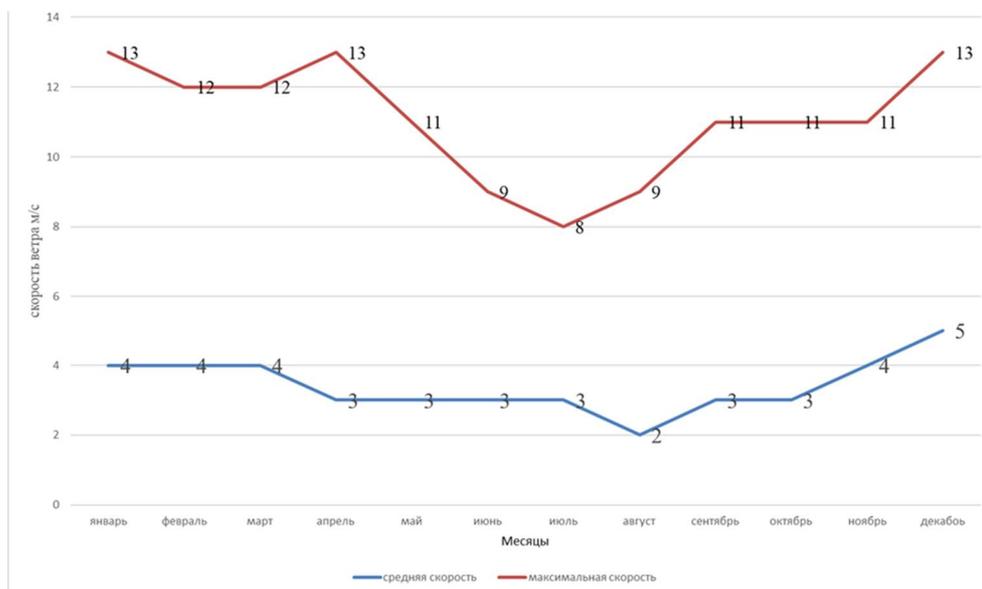


Рисунок 5. Графики средней и максимальной скорости ветра 2019-2024 гг.

Из графика по средней скорости ветра можно сделать вывод, что на территории области средняя скорость колеблется от 2 м/с до 4 м/с, максимальные значения средней скорости в основном отмечаются в осенне-зимний период, когда на территорию области оказывают влияния глубокие циклоны, в это время преобладает северо-восточный ветер с порывами. Минимальные значения средней скорости 2-3 м/с соответственно отмечаются в весенне-летний период, когда поле высокого давления оказывает своё влияние, начинают преобладать южные юго-западные ветра с туманами. Следовательно, исходя из графиков можно сделать вывод, что все периоды благоприятны для работы и установки ВЭУ.

В виду того, что, согласно таблицы, скорости ветра в Магаданской области меняются в широком диапазоне, нас волнуют среднемесячные скорости ветра выше 3 м/сек. Такие скорости ветра характерны только для Магадана и Эвенска. Средние месячные скорости ветра, согласно сайта [gr5.ru](http://gr5.ru) с 2019 по 2024 гг. имеют значения, представленные в таблице 2 и на рисунке 6.

Таблица 2. Ветровой режим г. Магадана и Эвенска

Месяцы	Скорость ветра, м/с. Магадан	Скорость ветра, м/с. Эвенск
Январь	4,2	4,9
Февраль	3,8	4,6
Март	3,3	3,7
Апрель	3,5	3,3
Май	3,4	2,7
Июнь	3,2	2,7
Июль	3,1	2,5
Август	2,9	2,5
Сентябрь	3,1	3,0
Октябрь	3,2	3,2
Ноябрь	3,9	4,4
Декабрь	4,5	4,6
<b>Среднее за год</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>

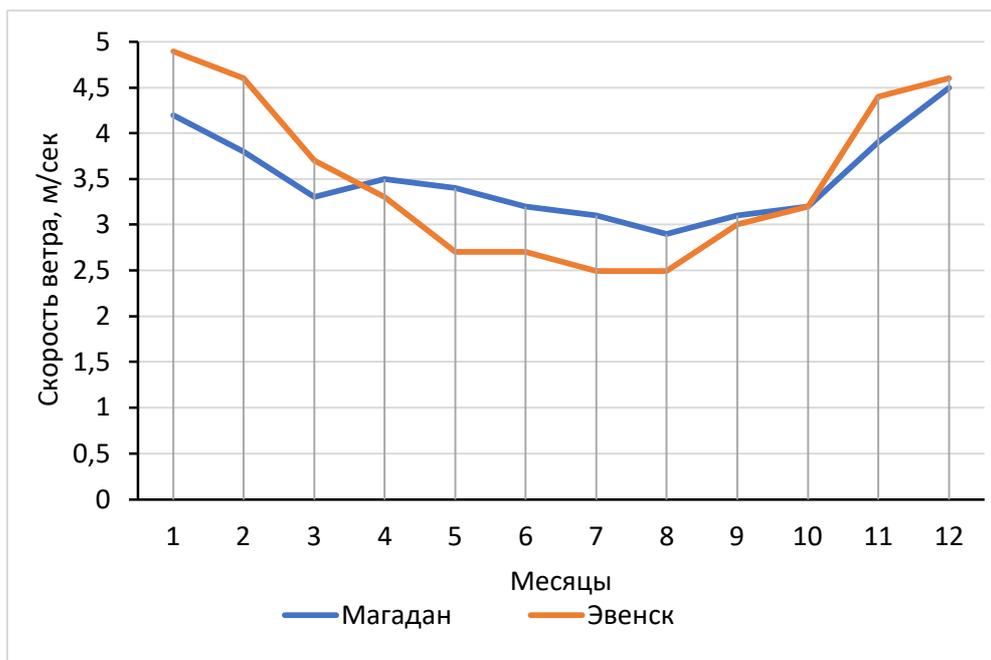


Рисунок 6. Среднемесячные скорости ветра

Эти населенные пункты располагаются на берегу Охотского моря и поэтому здесь наблюдаются высокие скорости ветра со среднегодовым значением 3,5 м/сек, и в Эвенске и в Магадане.

Важное место в анализе скоростного режима ветра занимает анализ суточного хода скорости ветра. Рассмотрим на примере ОМС Эвенск за исследуем период в среднем за год (рис. 7).

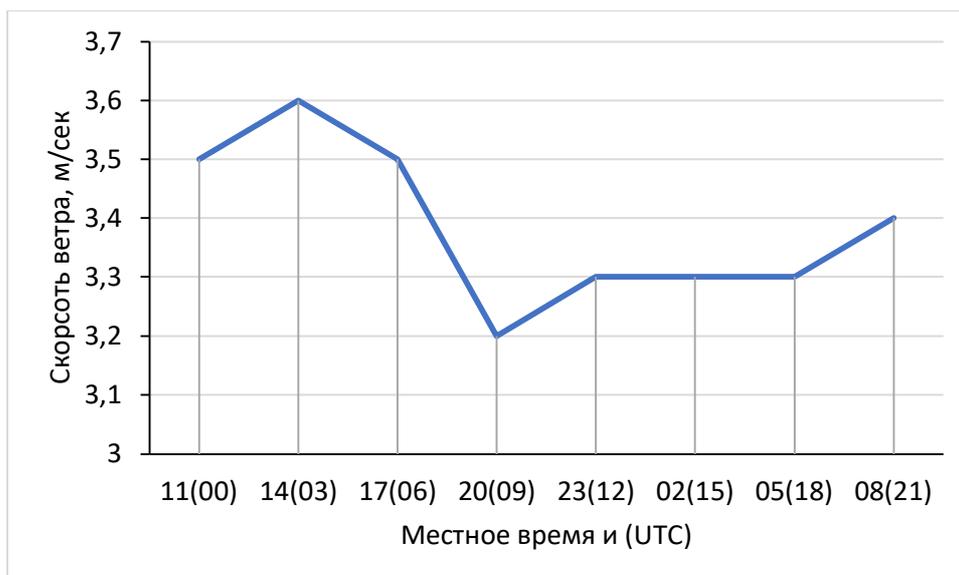


Рисунок 7. Среднегодовой суточный ход скорости ветра

Максимальные скорости ветра наблюдаются околополуденные часы с 11 до 17 часов, с максимумом в 14.00 со скоростью 3,6 м/сек. Вечерние и ночные часы скорость ветра становится минимальной.

### 2.3. Особенности формирования розы ветров

Роза ветров представляет собой диаграмму, на которой направления ветра отображаются по кругу, а длина радиуса в каждом направлении указывает на частоту или силу ветра. Для Магаданской области создание такой диаграммы требует систематизации данных по каждому направлению ветра. В процессе построения розы ветров учитываются не только направления, но и скорости ветра, что позволяет создать более полное представление об их распределении. Когда роза ветров построена, приступают к её интерпретации. В данном случае важно не только выявить преобладающие направления и скорости, но и понимать, как эти данные соответствуют реальным условиям Магаданской области. Выводы, полученные из розы ветров, могут быть использованы для различных практических целей, таких как планирование строительства, оценка потенциальных сайтов для ветроэнергетики и т.д.

Дальнейшем представим розы ветров, которые построены по периодам. Осенне-зимний период (рисунки 6 -10):



Рисунок 6. Роза ветров г. Магадан



Рисунок 7. Роза ветров ст. Коркодон



Рисунок 8. Роза ветров ст. Брохово

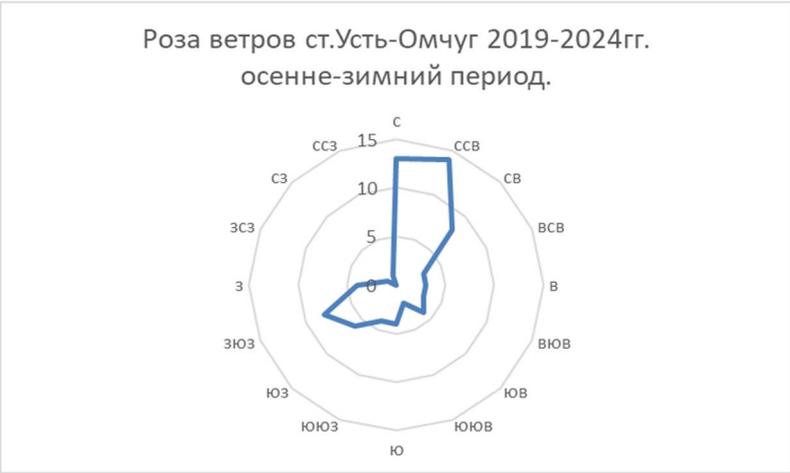


Рисунок 9. Роза ветров ст. Усть-Омчуг



Рисунок 10 Роза ветров ст. Лабазная

Наиболее чаще в нашем регионе в этот период отмечаются северные северо-восточный ветра 50-60% связанные с влиянием глубоких циклонов, но также отмечаются и ветра, преобладающие с западным юго-западным направлением.

Весенне-летний период (рисунки 11 – 15):



Рисунок 11. Роза ветров г. Магадан



Рисунок 12. Роза ветров ст. Коркодон



Рисунок 13. Роза ветров ст. Брохово

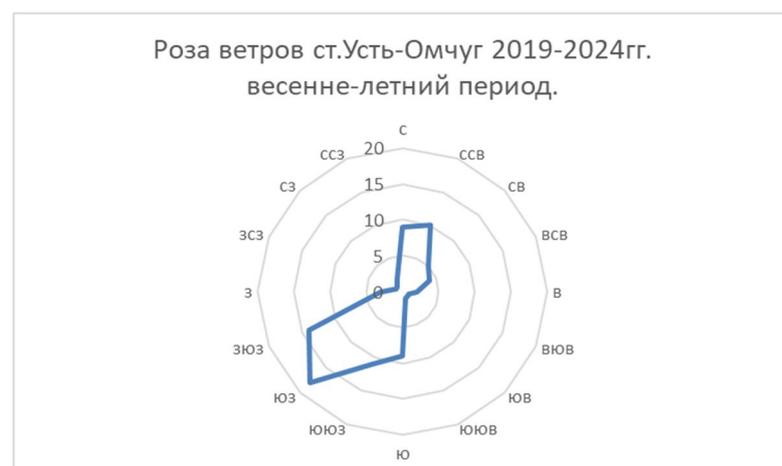


Рисунок 14. Роза ветров ст. Усть-Омчуг



Рисунок 15. Роза ветров ст. Лабазная

Рассмотрим также среднегодовую розу ветров по ОМС Эвенске (рис.16).

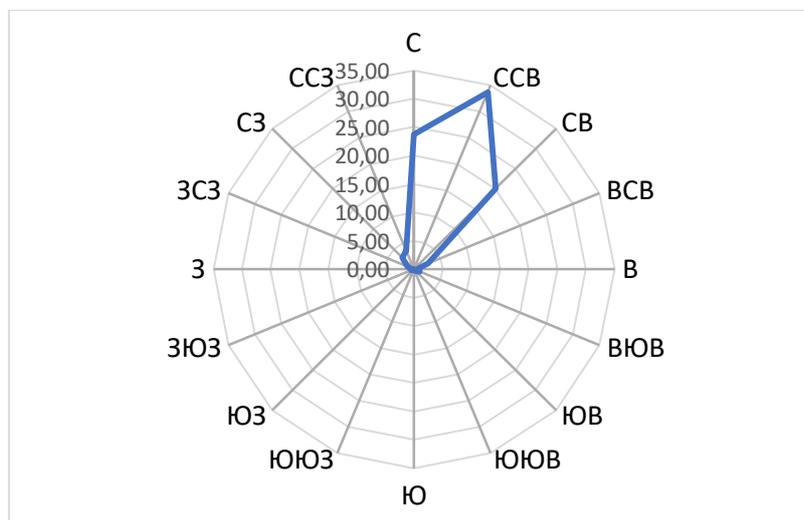


Рисунок 16. Среднегодовая роза ветров, Эвенск

По характеру розы ветров в Эвенске можно отметить максимальную повторяемость направлений ветра северо-северо-восточных составляющих, до 35%

В весенне-летний период в основном отмечаются западные юго-западные направления, связанные с циклонами в континентальных районах и антициклонах в Охотском море.

Региональные особенности рельефа Магаданской области также существенно влияют на ветровые режимы. Территория региона характеризуется значительным разнообразием ландшафтов, включая высокие горные хребты,

низменности и прибрежные зоны. Эти топографические элементы могут создавать как барьерный эффект для воздушных масс, так и каналы для интенсивных ветровых потоков. Горы, такие как хребет Джугджур и Становой хребет, часто служат барьерами для передвижения воздушных масс, заставляя их подниматься и охлаждаться, что приводит к образованию облаков и осадков. В прибрежных зонах, воздушные массы сталкиваются с более теплыми водами, что может усиливать конвекционные процессы и приводить к усилению ветра. Такие различия в рельефе и температурных градиентах создают сложные и переменные ветровые условия, которые часто изменяются в зависимости от сезона и текущей общей циркуляции в атмосфере. Еще одним важным элементом, влияющим на формирование ветров в Магаданской области, являются атмосферные фронты и циклоны. Атмосферный фронт представляет собой зону перехода между двумя различными воздушными массами, где наблюдаются резкие изменения температуры, влажности и давления. В области фронтальных зон часто происходят значительные изменения ветровых условий; сильные горизонтальные градиенты давления приводят к усилению и турбулентности ветров.

Магаданская область является ветреным регионом. Более слабые максимальные ветра (5,0-11 м/сек) преимущественно характерны для континентальных районов Магаданской области, в то время как сильные ветры (15 м/с и более) наблюдаются на побережье области.

## ГЛАВА 3. Разработка ветрового кадастра для Магаданской области

### 3.1. Понятия и значения ветрового кадастра

Ветровой кадастр представляет собой систематизированный сбор, обработку, хранение и анализ данных о ветровых условиях на определенной территории. Основная цель создания ветрового кадастра заключается в выявлении и оценке потенциала территории для использования ветроэнергетических установок. Ветровой кадастр позволяет осуществлять планирование и размещение этих установок с максимальной эффективностью и минимальными затратами. Это особенно важно для регионов с различными климатическими условиями, где сезонные и географические факторы могут существенно влиять на выработку энергии. Ветровые кадастры помогают определить наилучшие местоположения для установки ветрогенераторов, учитывая, как среднегодовую энергию ветра, так и её колебания в течение года. Экономическая оценка целесообразности использования ветроэнергетических установок на основе данных ветрового кадастра является одним из ключевых этапов его разработки.

Ветровой кадастр представляет с собой прежде всего количественные характеристики ветрового режима [2]:

- Средняя месячная скорость ветра;
- Среднегодовая скорость ветра;
- Суточные скорости ветра;
- Повторяемость скорости ветра в различных градациях;
- Продолжительность времени застоя и рабочих периодов;
- Удельная мощность ветрового потока;
- И т.д.

Методика расчета показателей ветрового кадастра включает несколько ключевых этапов, начиная со сбора и анализа исходных данных. Исходные

данные включают в себя информацию о географических и климатических характеристиках региона, а также данные о ветровом режиме — частоте, скорости и направлении ветров. Для повышения точности расчетов необходимо учитывать данные за продолжительный период времени — от 5 до 10 лет, что позволяет минимизировать влияние краткосрочных климатических аномалий. Важной составляющей исходных данных также является информация о рельефе местности, так как горные возвышенности, долины и другие ландшафтные особенности могут значительно влиять на скоростной режим ветра. Кроме того, следует учитывать существующую инфраструктуру и режимы землепользования, что поможет избежать конфликтов и оптимально распланировать размещение ветровых турбин.

Для оценки ветроэнергетического потенциала Магаданской области через анализ характеристик ветрового кадастра следует учитывать несколько ключевых аспектов. Вот некоторые из них:

1) Сбор и анализ данных о скорости и направлении ветра за длительный период времени позволяют определить характеристики ветрового режима в регионе.

2) Учет ландшафта, рельефа и природных препятствий, которые могут влиять на скорость и направление ветра.

3) Анализ топографических карт для определения возможных мест с высоким потенциалом для размещения ветрогенераторов.

4) Использование специализированных программных инструментов для прогнозирования ветрового потенциала на основе имеющихся данных.

5) Оценка экономической целесообразности развертывания ветроэнергетики в регионе, учитывая затраты на строительство и эксплуатацию ветропарков.

Пример разработки ветрового кадастра и оценки ветроэнергетического потенциала проведем на основе данных ОМС Эвенск Магаданской области.

### 3.2. Анализ кадастровых показателей режима ветра в Эвенске Магаданской области

Проектирование, эксплуатация ветряных энергостанций требует учета различных параметров скорости ветра, таких как средняя скорость, максимальная скорость, минимальная скорость и продолжительность скорости ветра в определенных диапазонах. Для оценки продолжительности скоростей ветра в рабочих диапазонах ветряных энергостанций обычно используются данные измерений скорости ветра на определенной высоте над уровнем земли. Эти данные позволяют определить, сколько времени в течение года скорость ветра находится в определенных диапазонах, которые могут быть оптимальными для работы ветряной установки.

Для ветроустановок есть обязательный диапазон рабочих скоростей ветра от минимальной 3-4 м/с и до максимальной 25 м/с. При скорости ветра менее 3,0-3,5 м/с и более 20-25 м/с ВЭУ отключаются от сети и устанавливаются в нерабочее положение, а при восстановлении скорости ветра ВЭУ подключаются к сети и разгоняются с помощью генератора, работающего в двигательном режиме.

Для анализа продолжительности скоростей ветра в рабочих и нерабочих диапазонах был взят архив погоды по ОМС Эвенск Магаданской области за 2023 год. Оценка режима скорости ветра была проведена в гл.2. Далее на основе ежедневных данных определяем повторяемость скоростей ветра. Результаты анализа представлены на рисунке 17.

В целом, за год, осредненные за срок наблюдений скорости ветра меняются в диапазоне от 0 до 15 м/сек. Максимальная повторяемость характерна для скорости 2 м/сек и составляет примерно 25%. Далее происходит постепенное снижение повторяемости.

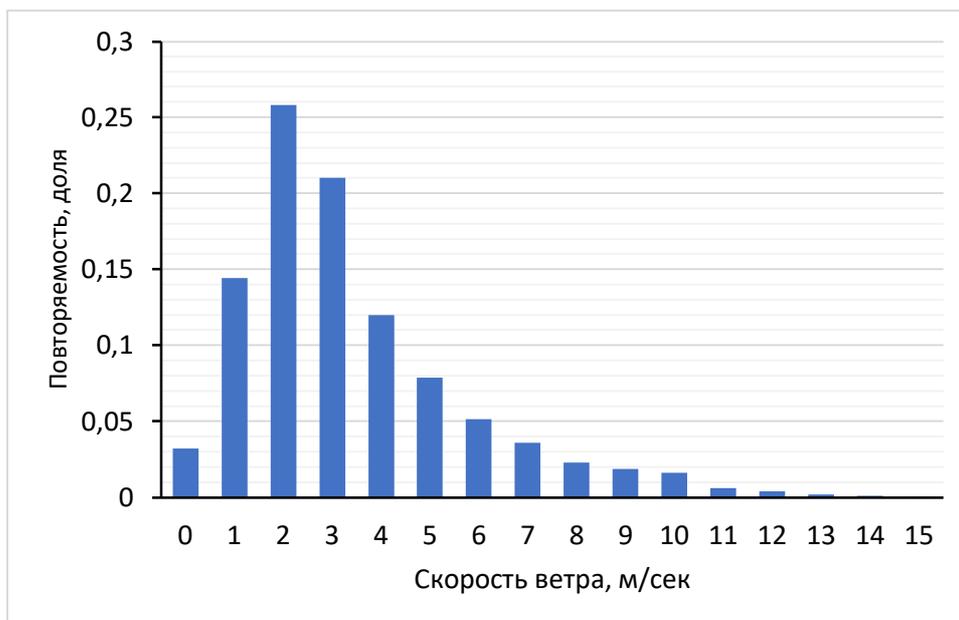


Рисунок 17. Повторяемость скорости ветра за год, в долях

С точки зрения кадастровой оценки необходимо установить продолжительность наблюдаемых скоростей ветра в переводе на часы за год. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3. Расчет повторяемости скорости ветра, Эвенск

Скорость ветра, м/сек	Количество случаев	Доля	Часы
0	93	0,0319	279,48
1	420	0,1441	1262,16
2	752	0,2580	2259,87
3	612	0,2099	1839,15
4	349	0,1197	1048,80
5	229	0,0786	688,18
6	150	0,0515	450,77
7	105	0,0360	315,54
8	66	0,0226	198,34
9	54	0,0185	162,28

10	47	0,0161	141,24
11	18	0,0062	54,09
12	11	0,0038	33,06
13	5	0,0017	15,03
14	3	0,0010	9,02
15	1	0,0003	3,01
Итого	2915	1	8760

Данные значения приведены для высоты флюгера на высоте 10 м. Большинство ветрогенераторов располагаются на высоте 70 м и выше. Поэтому указанные скорости ветра пересчитаем для высоты 70 м, согласно формулы 1 [24].

$$V_{h2} = V_{h1} \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^m \quad (1)$$

где  $V_{h1}$  – скорость ветра на высоте 10 м в м/сек,  $V_{h2}$  – скорость ветра на интересующей высоте,  $m$  – значение степени равное 0,2.

Полученные значения повторяемости скорости ветра на высоте 10 м можно соотнести к скоростям ветра и для высоты 70 м. Это позволит определить распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший (по длительности за год в часах и в днях), как на высоте 10 м, так и на высоте 70 м. Рассмотрим на примере 70 метров результаты пересчета приведены в таблице 4.

Согласно приведенным данным, можно определить рабочую и нерабочую продолжительность скоростей ветра на высоте 70 м. Для большинства ветрогенераторов рабочие скорости начинаются с 3 м/сек. На высоте 70 м суммарное количество часов от 3 до 15 м/сек за год в Эвенске составит 7218 часов, что составляет 82 % за год и 301 день за год. Следовательно, нерабочие диапазоны скорости ветра от 0 до 3 м/сек составит 1542 ч, или 64 дня за год.

Таблица 4. Скорость ветра на высоте 70 м и продолжительность

Скорость ветра, м/сек. 10 м	Часы	Скорость ветра, м/сек. 70 м.
0	279,48	0,00
1	1262,16	1,48
2	2259,87	2,95
3	1839,15	4,43
4	1048,80	5,90
5	688,18	7,38
6	450,77	8,85
7	315,54	10,33
8	198,34	11,81
9	162,28	13,28
10	141,24	14,76
11	54,09	16,23
12	33,06	17,71
13	15,03	19,19
14	9,02	20,66
15	3,01	22,14
Итого	8760	

Исходя из проведенного анализа можно сказать, что в Эвенске ветрогенераторы на высоте 70 метров практически в течение всего года будут иметь возможность по выработке электроэнергии. Согласно годовому ходу, максимальное количество энергии можно получить в холодное полугодие и в дневные часы, когда потребность в электроэнергии достигает максимума.

Следующие важные кадастровые показатели – это среднегодовая удельная энергия ветрового потока и среднегодовую удельную мощность ветрового потока [24].

Среднегодовая удельная энергия ветрового потока  $W_{уд.п}$  (энергия, протекающая за 1 год через  $1 \text{ м}^2$  поперечного сечения ометаемой площади) зависит от повторяемости скоростей ветра, т.е. какую долю годового времени  $t_i$  ветер дул со скоростью  $V_i$ . Данную величину рассчитываем для 70 м. (ф.2) [24].

$$W_{уд.п} = \frac{1}{2} \rho T \sum_{i=1}^k t_i V_i^3 \quad (2)$$

где  $k$  – число градаций ветра;  $\rho$  – плотность воздушного потока, равная  $1,25 \text{ кг/м}^3$ ;  $T$  – число часов в году (в месяце).

В завершении следует рассчитать среднегодовую удельную мощность ветрового потока для 70 м по формуле (3):

$$P_{ср} = \frac{W_{уд}}{T} \quad (3)$$

Согласно ф.2 среднегодовая удельная энергия ветрового потока составит  $615363,7 \text{ кВт} \cdot \text{час/м}^2 \text{ год}$ , и по ф.3 среднегодовая удельная мощность ветрового потока для 70 м  $70,2 \text{ кВт/м}^2$ .

С точки зрения оценки потенциальных ветроэнергетических ресурсов территории необходимо определить валовый объем электроэнергии возможной с определенной территории при использовании ветрогенераторов.

Полное использование энергии ветра на высоте  $h$  осуществляется ветроэнергетической системой, в которой ряды ветроэнергетических установок, ориентированных перпендикулярно направлению ветра, отстоят друг от друга на расстоянии  $(10 \dots 20)h$ , так что полная ветровая энергия, захватываемая установками на площади территории  $S, \text{ м}^2$ , в год, представляет валовый потенциал территории  $W_{в}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}$ , который при удельной энергии ветра  $W_{уд.п}$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , равен (ф.4) [24]:

$$W_B = W_{уд.п} \frac{S}{20} \quad (4)$$

где  $S=10^6 \text{ м}^2$ .

С учетом формулы 4 для территории района Эвенска для площади примерно 100 га получим следующие значения валовой электрической энергии: 3512350 кВт с 100 га. Ограничения в получении электроэнергии обусловлены требованием по плотности установки ветрогенераторов по отношению к другу другу на расстоянии  $20h$  (м). При установленной высоте ветрогенератора 70 м они должны быть установлены друг от друга на расстоянии примерно 1,4 км.

Важное место в оценке ветроэнергетического потенциала занимает расчет вырабатываемой электроэнергии единичным ветрогенератором. Расчет осуществляется по формуле 5. Согласно формулы, мощность вырабатываемой энергии единичной ВЭУ в кВт зависит от диаметра ротора и скорости ветра на высоте ротора.

$$N_0 = 4,81 \cdot 10^{-4} \cdot D^2 \cdot V_p^3 \cdot \varepsilon \cdot \eta_p \cdot \eta_r \quad (5)$$

где  $D$  – диаметр ветроколеса, м;  $V_p$  – расчётная скорость ветра на высоте ротора, м/с;  $\eta_p$  и  $\eta_r$  – КПД редуктора и генератора (0,85 и 0,45 соответственно),  $\varepsilon=0,45$ .

Для расчета выберем ветрогенератор с следующими техническими характеристиками (табл.5).

Таблица 5. Технические характеристики ветроустановки

№ n/n	Характеристики	P-1000
1	Номинальная мощность, кВт	1000
2	Расчетная рабочая скорость ветра, м/с	13,6
3	Минимальная рабочая скорость ветра, м/с	4
4	Диаметр ветроколеса, м	48
5	Высота оси, м	70
6	Положение оси	гор.

Исходя из технических характеристик и формулы 5 значимыми параметрами для расчета выработки электроэнергии являются скорость ветра и диаметр ветроколеса. Расчет годовой выработки электрической энергии представлен в таблице

Таблица 6. Результаты расчета годовой выработки электрической энергии в Эвенске, кВт

Скорость ветра на высоте 70 м, м/сек	Выработка эл.энергии ветрогенератором в час,	Продолжительность скорости ветра за год, час	Годовая выработка эл.энергии
4,43	36,79	1839,15	67654,79
5,90	87,20	1048,80	91451,06
7,38	170,31	688,18	117200,34
8,85	294,29	450,77	132656,45
10,33	467,32	315,54	147457,47
11,81	697,57	198,34	138355,76
13,28	993,22	162,28	161177,59
14,76	1000,00	141,24	141241,85
16,23	1000,00	54,09	54092,62
17,71	1000,00	33,06	33056,60
19,19	1000,00	15,03	15025,73
20,66	1000,00	9,02	9015,44
22,14	1000,00	3,01	3005,15
ИТОГО		4958,49	1111390,86

В таблице часовую выработку электроэнергии, при соответствующей скорости ветра на высоте 70 м, умножаем на часовую продолжительность исходной скорости ветра за год и далее суммируем все значения. Таким образом

в Эвенске при установке ветрогенератора Р-1000 (мощность 1000 кВт) и с диаметром ротора 48 м и стартовой скоростью 4 м/сек за год можно получить примерно 1111391 кВт энергии за год. Следует отметить, что при достижении номинальной мощности ветрогенератора выработка электроэнергии не будет увеличиваться при достижении этой скорости ветра. У нашей установки номинальная наступает при скорости ветра 13,5 м/сек.

Динамика выработки электроэнергии приводится на рисунке 18.



Рисунок 18. Динамика выработки электроэнергии за год, кВт

Если исходит из того, что частное домовладение или семья в составе 4 человека за год потребляет примерно 26000 кВт в год, то объем выработанной энергии за год, исследуемым ветрогенератором, хватит примерно на 42 домовладений.

Таким образом следует отметить, что наиболее перспективными районами развития ветроэнергетики в Магаданской области являются прибрежные районы.

## Заключение

Ветроэнергетика является одной из наиболее перспективных областей возобновляемой энергетики, обеспечивая устойчивое развитие и снижение вредных выбросов. Исследования по оценке ветрового потенциала начали активно развиваться в середине 20-го века, когда стала нарастать потребность в альтернативных источниках энергии.

Исследование ветрового режима и микроклиматической изменчивости скорости ветра в Магаданской области представляет особый интерес, учитывая климатические особенности данной территории. Характер климатической нормы ветрового режима в Магаданской области обычно характеризуется значительными колебаниями скорости ветра в зависимости от сезона и местности. В зимний период обычно наблюдается усиление ветрового режима, что связано с приходом холодных воздушных масс. Летом же скорость ветра обычно снижается, особенно вблизи береговых районов. Современная динамика скорости ветра в Магаданской области также может быть подвержена изменениям под воздействием изменения климатических условий, таких как глобальное потепление. Это требует постоянного мониторинга и анализа данных по скорости ветра для более точных прогнозов.

Микроклимат ветра важен при оценке его воздействия на режим ветра. Расчет показателей ветрового кадастра позволяет более точно определить потенциал использования ветроэнергии и разработать эффективные проекты по ее использованию.

Повторяемость скоростей ветра также является ключевым показателем при анализе возможности использования ветра в качестве источника энергии. Оценка удельных мощностей ветрового потока и потенциальных объемов вырабатываемой электроэнергии играет важную роль в планировании и развитии альтернативных источников энергии.

В целом, Магаданская область, в особенности прибрежные районы обладают значительным потенциалом для использования ветровой энергии, однако для эффективного использования данного ресурса необходимо учитывать специфические климатические условия региона, например, высокую влажность и неравномерное распределение осадков. Тщательное изучение всех аспектов ветрового режима и микроклимата важно для разработки устойчивых и эффективных проектов по производству ветроэнергии в данной области.

В целом Эвенский район, как и Магадан обладают значительными ветровыми ресурсами, т.к. эти населенные пункты характеризуются примерно схожим режимом ветра (среднегодовая скорость 3,5 м/сек).

С точки зрения рабочих режимов ветрогенераторов от скорости ветра выше 3 м/сек, в приведенных районах эти скорости ветра имеют повторяемость 82% за год, что скажется и на выработке электроэнергии.

Единичный ветрогенератор с номинальной мощностью 1000 кВт (1 МВт), с диаметром ротора 48 м и на высоте 70 м позволит обеспечить примерно 42 домовладения электрической энергией. При увеличении мощности ветрогенератора и, следовательно, диаметра ротора, объем вырабатываемой электроэнергии вырастит на значительные величины.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агапитов, Д.Д. Нефтегазовый потенциал Чукотки и прилегающего шельфа // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. - 2001. - № 3. - С. 20-28.
2. Алисов, Б.П. Климат СССР. — М.: Высшая школа, 1969. — 104 с.
3. Барсов Н. П. Очерки русской исторической географии. География начальной летописи / Н. П. Барсов. - М.: Издательство Юрайт, 2019. - 218 с.
4. Берлянд, М. Е. Города и климат планеты. — Л.: Гидрометеиздат, 1972.- 40 с.
5. Влияние дизельных генераторов на экологию. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://barma.by/o-kompanii/posts/100-vliyanie-na-ekologiyu> (дата обращения: 02.05.2024)
6. Головин, О.С. География Магаданской области . - 1983.
7. Головин, О.С. Природа Магаданской области . - 2000.
8. География. Энциклопедия. — М.: «Росмен», 2009. – 128 с
9. Гладкий Ю. Н. Регионоведение: учебник для академического бакалавриата / Ю. Н.
10. Гладкий, А. И. Чистобаев. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 360 с.
11. Григорьев А. А. География всемирного наследия: учеб. пособие для академического бакалавриата / А. А. Григорьев. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 298 с.
12. Григорьев А. А. Удивительная география: учеб. пособие / А. А. Григорьев. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. — 364 с.
13. Данилова Е.А. География в схемах и таблицах / Е.А. Данилова. - М.: Тригон, 2022. - 128 с.
14. Дизель-генераторы и трубы обновят в Магаданской области. [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://dzen.ru/a/ZcP\\_LCwnE1Bm1REt](https://dzen.ru/a/ZcP_LCwnE1Bm1REt) (дата обращения: 02.05.2024)

15. Дизельные электростанции и защита окружающей среды. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://energobit.net/dizelnye-elektrostancii/dizelnye-jelektrostancii-i-zashhita-okruzhajushhej-sredy/> (дата обращения: 02.05.2024)
16. Калуцков В. Н. География России: учебник и практикум для прикладного бакалавриата / В. Н. Калуцков. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 347 с.
17. Каменецкий, И. С. Земля и человек: моногр. / И.С. Каменецкий. - М.: Государственное учебно-педагогическое издательство Министерства просвещения РСФСР, 2019. - 444 с.
18. Коринская В.А. География материков 6 / В.А. Коринская, Л.Д. Прозоров, В.А. Щенев. - М.: Просвещение; Издание 16-е, перераб., 2023. – 274.
19. Лобжанидзе А.А. География России. Природа, население, хозяйство. 8 кл / А.А. Лобжанидзе. - М.: Дрофа, 2021. - 271 с.
20. Максаковский В.П. География / В.П. Максаковский. - М.: Просвещение; Издание 13-е, 2020. - 400 с.
21. Магаданская область. Сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/magadanskaya\\_oblast/](https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/magadanskaya_oblast/)
22. Магаданский региональный информационный сервер. <https://kolyma.ru/?do=static&page=about>
23. Наумов В. Д. География почв. Почвы России. Учебник. — М.: Проспект, 2020. — 344 с.
24. Горяев А.А и др. Возобновляемые источники энергии: учебно – методическое пособие по решению контрольных задач по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»/ Горяев А.А., Петухов С.В., Баланцева Н.Б., Бутаков С.В.. – Архангельск: Издательство САФУ, 2015г. – 100 с.