



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

Кафедра метеорологии, экологии и природопользования

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)  
по направлению подготовки 05.03.05 Прикладная гидрометеорология  
(квалификация – бакалавр)

На тему «Физические процессы формирования режима ветров в Краснодарском крае»

Исполнитель Шуть Егор Сергеевич

Руководитель к.с/х.н., доцент Цай Светлана Николаевна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай Светлана Николаевна

«20» июня 2022г.

Филиал Российского государственного  
гидрометеорологического университета в г. Туапсе

**НОРМОКОНТРОЛЬ ПРОЙДЕН**

«17» июня 2022г.

ПОДПИСЬ РАСШИФРОВКА ПОДПИСИ

Туапсе  
2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Орографические особенности территории Краснодарского края.....	5
1.1 Геотектоника, рельеф Краснодарского края.....	5
1.2 Особенности климата региона.....	10
2 Физические факторы и основные причины формирования режима ветров.....	18
2.1 Разнообразие сил вызывающих ветер в атмосфере.....	18
2.2 Зависимость ветрового режима от рельефа, открытости или защищенности метеоплощадки и высоты местности.....	22
3 Распределение ветра по территории Краснодарского края и возможности их использования.....	33
3.1 Распределение характеристик ветра по территории .....	33
3.2 Развитие ветроэнергетики на Кубани .....	38
Заключение .....	49
Список использованной литературы.....	49

## Введение

Ветер является одной из самых изменчивых характеристик состояния атмосферы, которая оказывает существенное влияние на многие отрасли народного хозяйства. Например: в предгорных и горных районах весной продолжительный и теплый фен может привести к бурному таянию снега в горах, к повышению уровня и разливам горных рек, сходу снежных лавин. Летом фен вследствие высокой температуры и сухости воздуха может губительно влиять на растительность, снижая урожайность яровых зерновых и плодовых культур.

Для авиации особенно важен прогноз сильного ветра в приземном слое, в том числе местных ветров, так как, скорость и направление ветра влияет на взлет, полет и посадку воздушного судна, например, увеличивая или уменьшая длину разбега. Особенно важен боковой ветер, сдвиг ветра вызывает болтанку самолета, на море вызывает волнение.

Сильный ветер может повреждать линии электропередач, срывать крыши домов, ломать, а иногда и вырывать с корнем деревья и т.д. Ветер оказывает влияние на строительные сооружения, транспорт и сельское хозяйство. Сильный ветер оказывает влияние на скорость движения поездов, выдувает с насыпей балластный слой, что создает опасность их схода с рельс. Для ведения сельского хозяйства необходимо знать, где возможны суховеи, что поможет принять меры по их ослаблению.

Влияние ветра на сооружения двойко: он регулирует температурно-влажностный режим (в зоне избыточного увлажнения он способствует просушиванию ограждающих конструкций, обеспечивая их сохранность); он создает нагрузку на здания и сооружения, возрастающие с высотой (при определенных условиях приводит к разрушению здания).

В области использования источников энергии, где от сжигания большого количества топлива промышленными предприятиями и загрязнения атмосферы газопылевыми выбросами и отходами образуются очаги техносферы.

В качестве общих климатических характеристик ветра используются: средняя скорость ветра, роза ветров по направлениям повторяемость %, повторяемость и средняя скорость по направлениям, повторяемость штилей.

Актуальность исследований выражается в том, что изучение режима пространственных и временных характеристик ветра Краснодарского края, позволит оценить и прогнозировать условия использования их в качестве альтернативных источников энергии.

Объект исследований режим ветра на территории Кубани

Предмет исследований пространственно- временное распределение режима ветров в Краснодарском крае, их возможное использование в качестве альтернативных источников энергии.

Цель исследований - изучение особенностей пространственно - временного режима ветра городов Краснодарского края, и возможности использования его в хозяйственной деятельности.

Задачами данной работы являются:

- рассмотреть физико-географические особенности исследуемой территории: рельеф и особенности подстилающей поверхности местности;
- описать физические факторы, оказывающие влияние на режим ветров и методы измерения скорости и их направления;
- обобщить материалы по распределению ветрового режима в краснодарском крае и условиям их формирования.

# 1 Орографические особенности территории Краснодарского края

## 1.1 Геотектоника, рельеф Краснодарского края

Будучи продолжением великой русской равнины, более 70% территории Краснодарского края, занимают Кубанская равнина, а остальная южная ее часть плавно переходит в горную систему Большого Кавказа, омываемая теплыми водами Черного моря с юга и Азовским морем на юго-западе (рисунок 1.1).

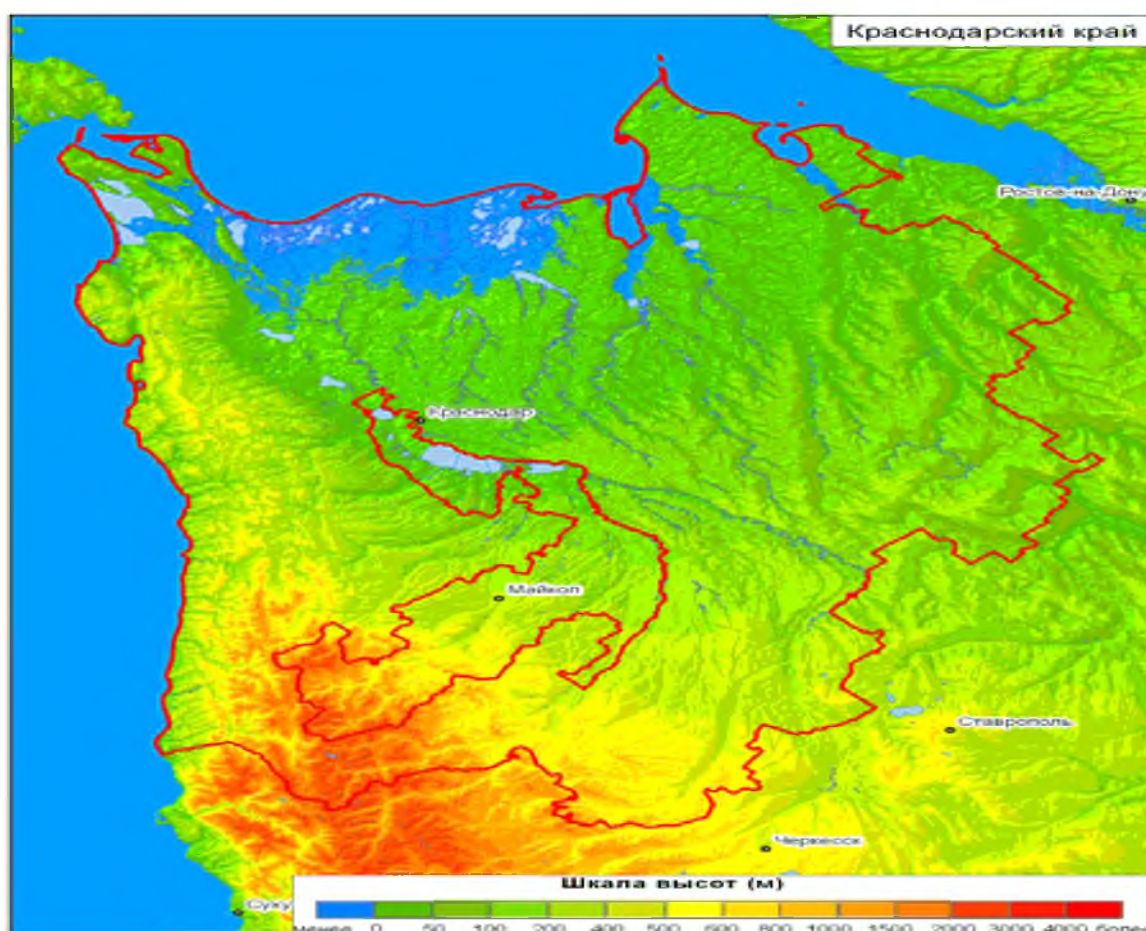


Рисунок 1.1 — Орография Краснодарского края [12]

Восточные районы прилегают к Ставропольской возвышенности, до 623 м над ур. м. поэтому относительно ровные, абсолютно обособленно расположена западная граница края или Таманский п-ов, отличающийся по всем параметрам рельефа, почвами и растительностью.

Значительная часть Кубанской равнины представлена Кубано-

Приазовской низменностью и вымощена лессовидными суглинками образовавшейся из донных отложений рек.

Центральная и Кубано-Приазовская низменность, характеризуется ет слабоволнистым рельефом и через нее проходят множество рек. На востоке больше небольшие, неглубокие степные реки.

Северная часть представлена равнинной Азово-Кубанской низменностью со спокойным однообразным рельефом с лёссовыми отложениями и долинами нескольких степных рек в Азовское море, и многочисленными балками и отрогами Ставропольского плато [8, с.341].

Береговая долина реки Кубань представлена Закубанскими плавнями, хотя к югу повышается до 250-300 м над ур. м. и сложена большей частью: песками, галечниками, глинами, прикрытыми сверху лессовидными суглинками.

Такое разнообразие географических особенностей края, позволяет выделить здесь четыре довольно резко различающиеся геологические структуры (рисунок 1.2)

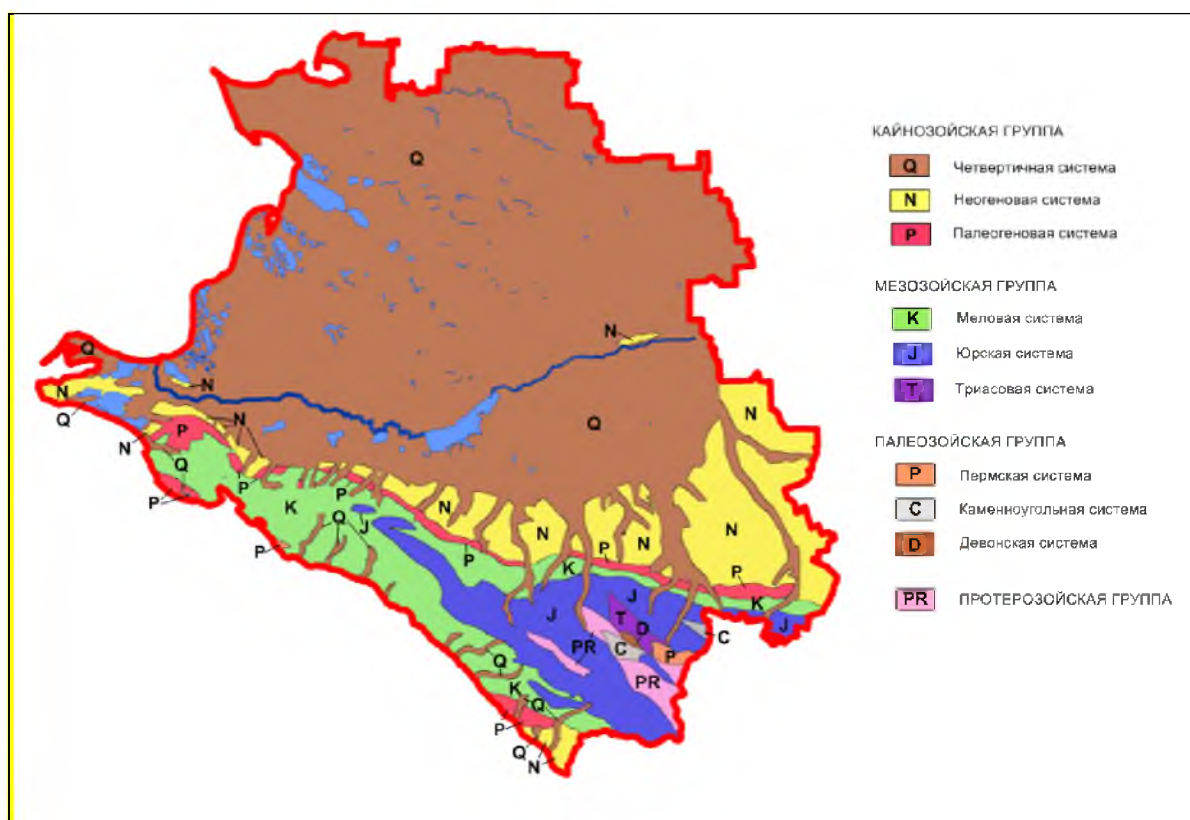


Рисунок 1.2 — Геотектонические структуры [12]

Если более подробно провести описание исторически сложившуюся структуру территории, то ее можно характеризовать следующим образом (рисунок 1.3):

Южный склон Украинского кристаллического щита, занимает северо-западную часть края состоящий из двух резко выраженных ярусов. Верхний состоит из осадочных пород мезозоя и кайнозоя, а нижний образовался еще докембрийский период более 570 млн. лет назад.

На большей части равнин и предгорий на глубине около 2000 м расположена Скифская молодая платформа, возраст которой колеблется от 250 до 470 млн. лет.

Горы Большого Кавказа принадлежат области альпийской складчатости, а предкавказские передовые прогибы ее активно развиваются с конца мезозойской эры до настоящего времени.

Ввиду неоднородности рельефа сама Кубанская равнина делится на кубано-приазовскую низменность, приазовскую дельтовую низменность, и прикубанскую наклонную равнину.

Рисунок 1.3 – Исторически сложившаяся геотектоника края

По рельефу местности Западный Кавказ распадается на северную и южную и между ними пролегает Главный Кавказский хребет, который не является цельным единым образованием.

Таманский п-ов относительно равнинный с небольшими грядами и холмами - сопками, достигающими 164 м над ур. м. Основная часть извергает холодную грязь сложного химического состава а иногда с примесями нефти и метана (горючего газа).

Отдельные горные вершины достигают 2700-3000 м над ур. м. которые большую часть года покрыты снегами и ледниками, подпитывающие многие реки Черноморского побережья края вместе с тем оказывают значительное влияние на распределение атмосферных осадков и речного стока [18, с. 139].

Долина реки Кубань с ее притоками, расположена между Главным и Скалистым хребтами, разнообразна по строению. Если рассматривать современное описание края, то оно следующее [19, с. 184]:

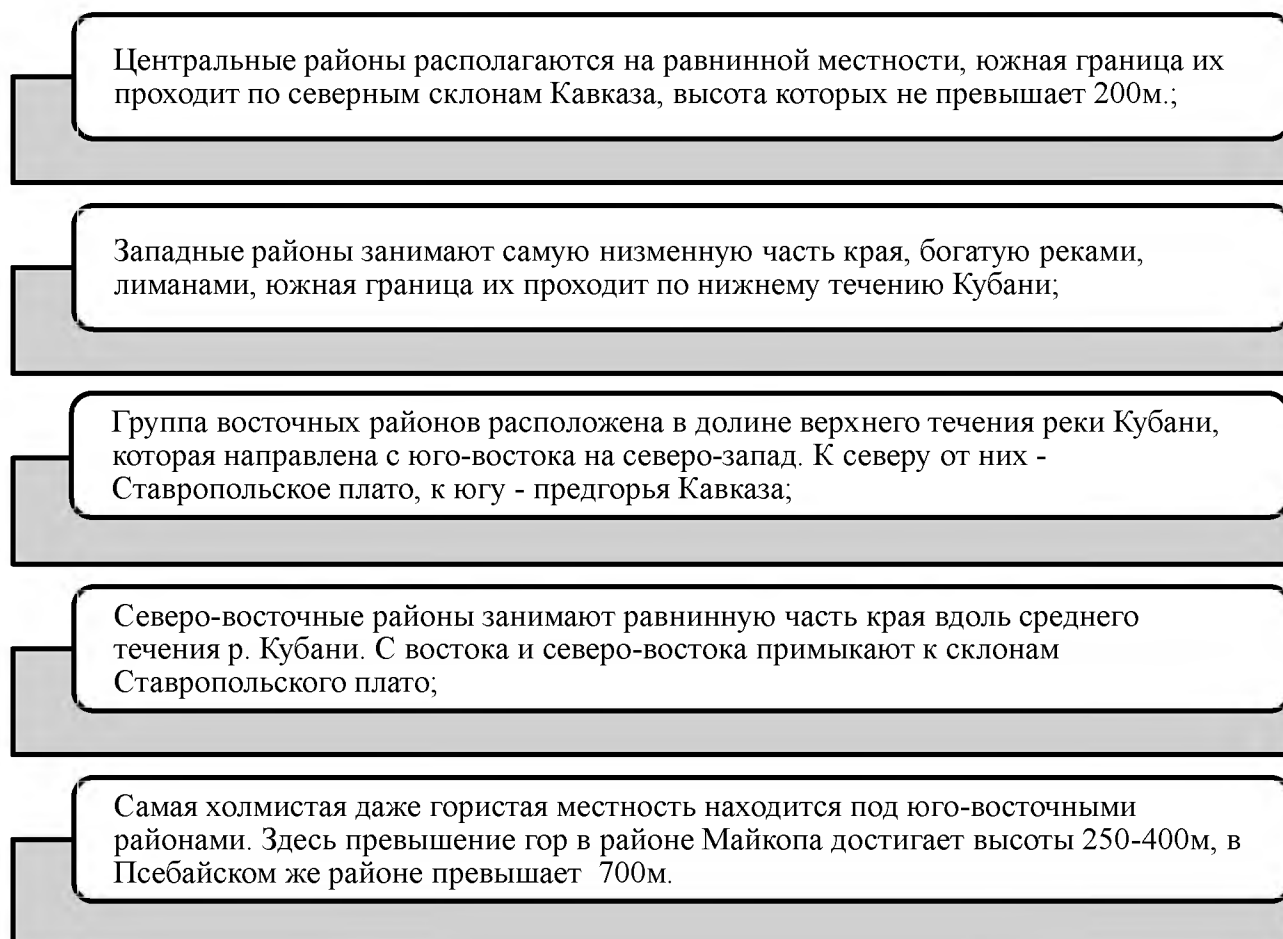


Рисунок 1.4 – Разнообразие рельефов Краснодарского края

Более масштабный подход к описанию территории края позволяет ее условно поделить на горную ( $1/3$ ) и равнинную части. К первой из них относится незначительный отрезок высокогорной западной части Большого Кавказа, с южными и северными склонами и предгорьями и средневысотные вершины Черноморского Кавказа.

Берега большинства рек относительно широкие и пологие с отчетливо выраженной поймой, а в низовьях сильно заболочены.

Абсолютные отметки Азово-Кубанской низменности прилегающие к Ставропольской возвышенности не превышают 200 м, причем на северо-



западе более равнинная и примыкает к Азовскому морю и относят её к Кубано- Азовской низменности.

Относительно обособленно расположена горная система состоящая из горных хребтов с запада Абхазско-Кубанский Кавказ, и заканчивается на востоке – Лабинскими горами Большого Кавказа, или от горы Эльбрус до правого истока реки Белой. Максимальная протяженность гор от города Анапа до юго-восточной границы края приблизительно составляет 300 км, а протяженность по ширине с северо-запада от 40–45 км увеличивается в 2,0- 2.5 раза или до 120–130 км на юго-востоке (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Юго-Западная часть Большого Кавказа

К западу от Лабинских гор, вдоль побережья протянулся Черноморский Кавказ, к северо-западу обретает мягкие и округлые формы.

В районе Анапы, горы Большого Кавказа заканчиваются, невысокими грядами и холмами [8, с. 356].

От реки Псоу или границы с Абхазией до Таманского полуострова

протянулась узкая от 10 до 30 метров шириной протянулась причерноморская полоса, поперек которой изрезана большим количеством больших и малых, а зачастую сезонных горных рек. Самые крупные из них это: Мзымта, Сочи, Шахе и Туапсе.

## 1.2 Особенности климата региона

В формировании климата участвуют следующие факторы: географическая широта, циркуляция воздушных масс, близость водоемов, рельеф местности и характер подстилающей поверхности [13, с.109].

Особенность географии края, её равноудаленность от Северного полюса и экватора, и по климатической классификации расположена в зоне умеренного климата. Данные солнечной радиации по краю приведены на рисунке 1.6.

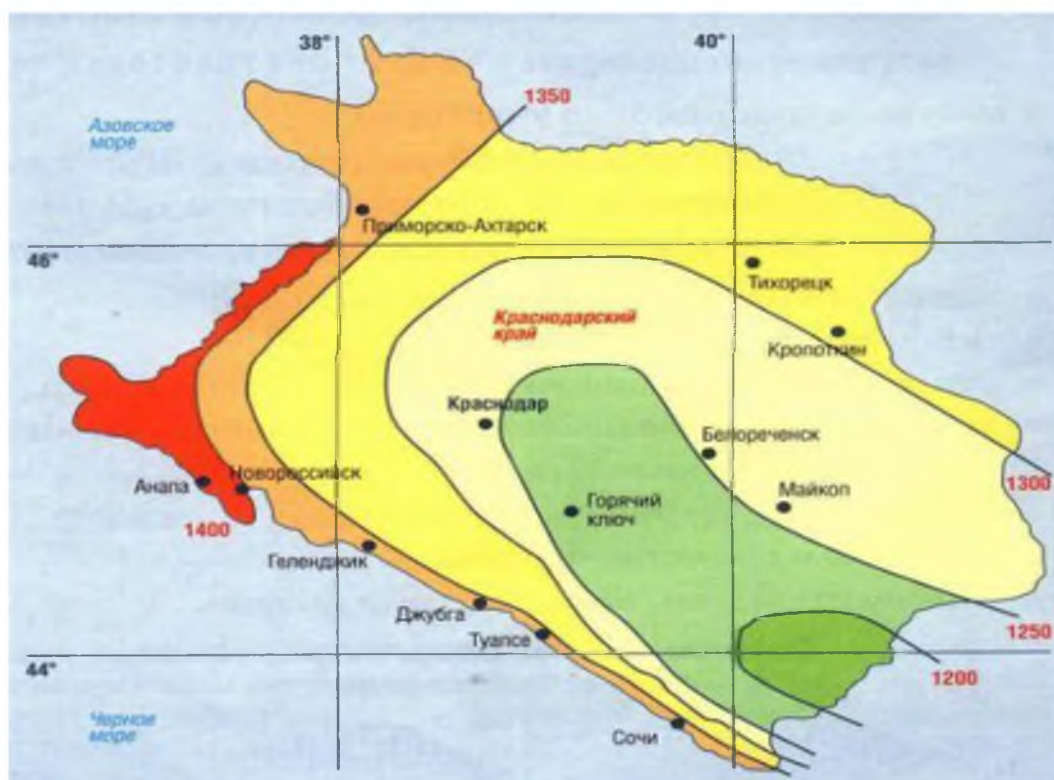


Рисунок 1.6 - Количество суммы солнечной радиации по территории края, (кВт·ч)/м<sup>2</sup> [6, с.110]

Минимум составляет в декабре — январе до 3—6 ккал/см<sup>2</sup>, а максимум

в июне — июле от 17—18 ккал/см<sup>2</sup> в равнинной северо-западной и 20—21 ккал/см<sup>2</sup> в восточном Закавказье.

В годовом ходе наименьшая продолжительность солнечного сияния приходится преимущественно на декабрь в 4—5 раз, а наибольшая — на июль, что касается анализа зависимости от поднятия в высоту наблюдается явное уменьшение от Новороссийск до Маркотхского перевала и от Сочи — до Красной Поляны, т. е. при переходе, из береговой зоны в горную. Зимой их десять-пятнадцать, а к лету до нуля (таблица 1.1).

Таблица 1.1 — Среднее число дней без солнца

Пункты	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Темрюк	16	11	7	5	0	1	0	1	2	3	13	10	71
Краснодар	13	9	7	4	2	0	0	0	1	3	9	13	61
Армавир	12	7	7	4	2	0	0	0	2	3	9	11	57
Анапа	9	8	5	3	2	1	0	0	0	2	6	9	45
Новороссийск	10	9	6	4	2	1	0	0	0	2	7	11	52
Туапсе	10	9	8	5	2	1	0	0	1	2	6	10	54
Сочи. Оп. Ст.	10	8	8	6	3	0	0	0	1	2	7	9	54
Среднее	12	9	7	5	3	1	0,3	0,2	1	3	8	13	62

Годовой ход изменения числа ясных и пасмурных дней является, по существу, единым для всех метеостанций региона. С декабря по май, ясных дней существенно меньше пасмурных. С июня по сентябрь ясные дни, наоборот, — преобладают над пасмурными [10, с.103]. Во многом они определяются высотой над уровнем моря (таблица 1.2)

Таблица 1.2 – Высоты над уровнем моря по территории края

№ п/п	Территория Кубани	Высота над уровнем моря в разных частях равнины
1	в дельте Кубани	1-2 м
2	у Славянска-на-Кубани	12 м
3	у Ейска	20 м
4	у Краснодара	34-35 м
5	у Тихорецка	88 м
6	у Кропоткина	128 м
7	к югу от Лабинска	300 м
8	к западу от Отрадной (Желтмесские высоты)	800-900 м



Ее географическое положение и широтность привели к высоким показателям суммы радиации до 115-120 ккал/см<sup>2</sup>, из них более 1/3 на рассеянную, что указывает на редкость малооблачной погоды в крае (рисунок 1.7).

В отличие от многих прибрежных частей Российской Федерации, побережье Черного моря длиной около 400 км (от северо-западной точки Анапы до юго-восточного города Сочи) характеризуется наличием большей частью предгорий, от невысоких отрогов кавказских гор до относительно высоких хребтов, а берега либо пологие и ровные или переходят в обрывистые скалы.

Примерно таким же разнообразием и исключительной красотой отличаются горные вершины, они чередуются то острыми и резкими подъемами, то впадинами - карами в ледниках или снежниках которых часто образуются живописные с особым цветом озера. Скалистые пики здесь скорее исключение, чем правило (горы Индюк, Два Брата).

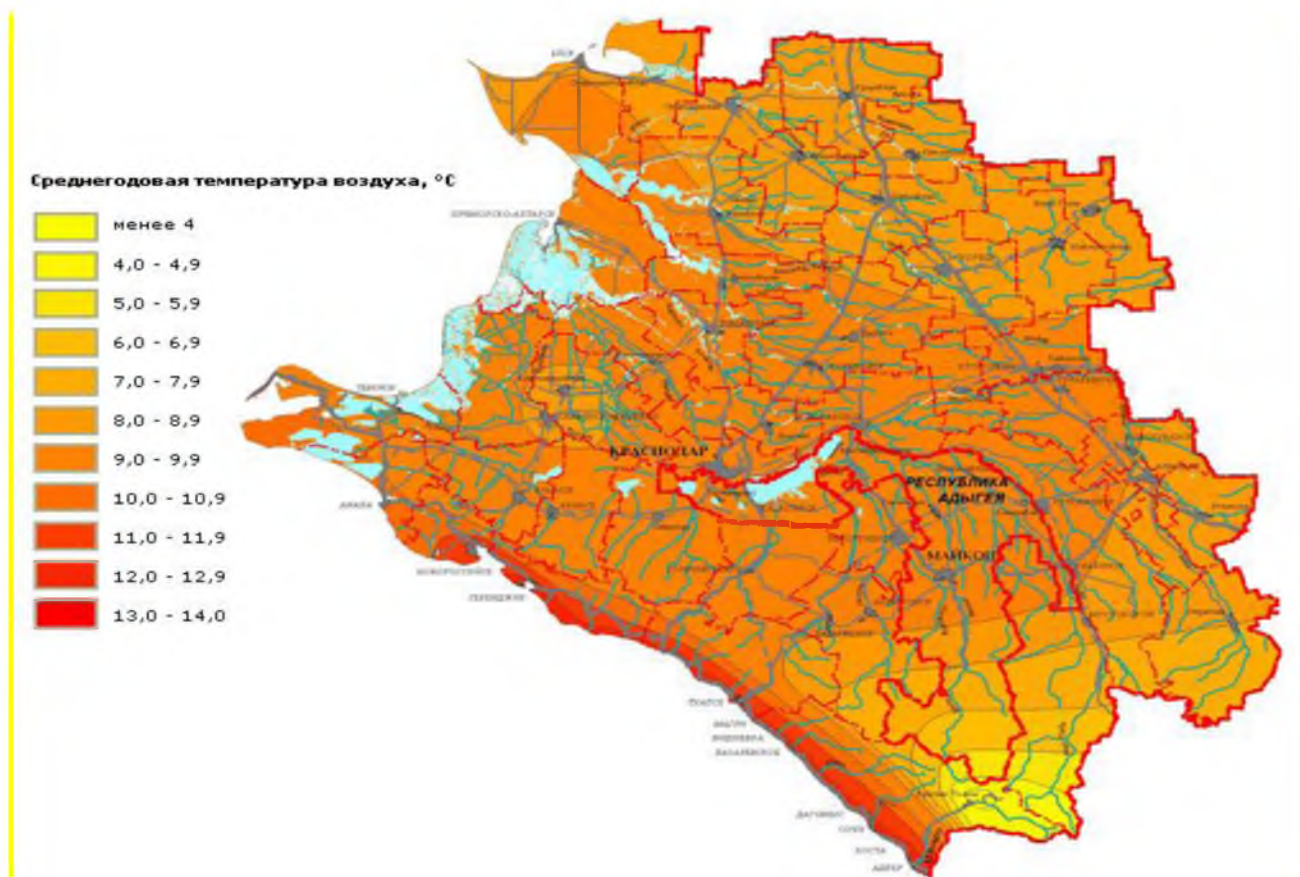


Рисунок 1.7 — Температурный режим в Краснодарском крае

При анализе температурного режима прослеживается её понижение с увеличением абсолютных высот, а увеличение наблюдается с запада на восток особенно это заметно в прибрежной зоне Черноморского побережья.

Число дней с положительными температурами варьирует от 220 до 330 дней в году в предгорьях, а на высотах 2000 м 3000 м от 220-240 дней до 140-160 дней соответственно[21, с. 148].

Аналогично изменяется сумма активных  $T^{\circ}C$  воздуха: в предгорьях она достигает 4050-4400  $^{\circ}C$ , на равнинных территориях западного Кавказа до 1700-2050 $^{\circ}C$ , а тритысячметровой высоте всего 900-1100 $^{\circ}C$ . Резкий скачок наблюдается на на черноморском побережье, где сумма составляет 5100-5300 $^{\circ}C$ .

В середине зимы температура (таблица 1.3) повышается с северо-запада +1,3 $^{\circ}C$  в Анапе до +5,8 $^{\circ}C$  на юго-восток, в Сочи.

Таблица 1.3 — Годовой ход температуры воздуха в Причерноморье

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Анапа	1,3	1,6	5,1	9,9	15,3	19,6	22,9	22,8	18,0	13,2	7,5	3,8	11,8
Новороссийск	2,6	2,7	5,8	10,6	15,9	20,2	23,6	23,7	19,2	14,2	8,6	5,0	12,7
Туапсе	4,4	4,7	7,2	11,1	16,1	20,0	23,0	23,4	19,5	15,1	10,2	6,7	13,4
Ачишко	-5,5	-5,5	-2,5	2,2	6,9	9,8	12,6	12,9	9,4	5,7	1,1	-2,7	3,7
Красная Поляна	-0,1	0,8	4,2	9,2	14,0	16,9	19,3	19,4	15,3	10,9	6,3	2,0	9,8
Сочи, оп. ст.	5,8	5,9	8,1	11,6	16,1	19,9	22,8	23,2	19,9	15,9	11,6	8,2	14,1
Адлер	5,0	5,4	7,7	11,3	15,8	19,7	22,6	22,8	19,2	14,9	10,4	6,9	13,5

Климатические условия Западного Кавказа определяются его положением на границе двух широтных климатических поясов умеренного и субтропического, с чем связаны особенности радиационного режима, и циркуляции атмосферы.

Северные и северо-западные и восточные районы отличаются большей континентальностью, когда заметны сезонность перехода от зимы к весне и от лета к осени, тогда, как на черноморском побережье температурный режим сезонов сглажен и может отличия могут наблюдаться между летним и зимним

сезоном. Минимумы температур, установлены на севере края, когда понижение достигало до  $-40^{\circ}$ .

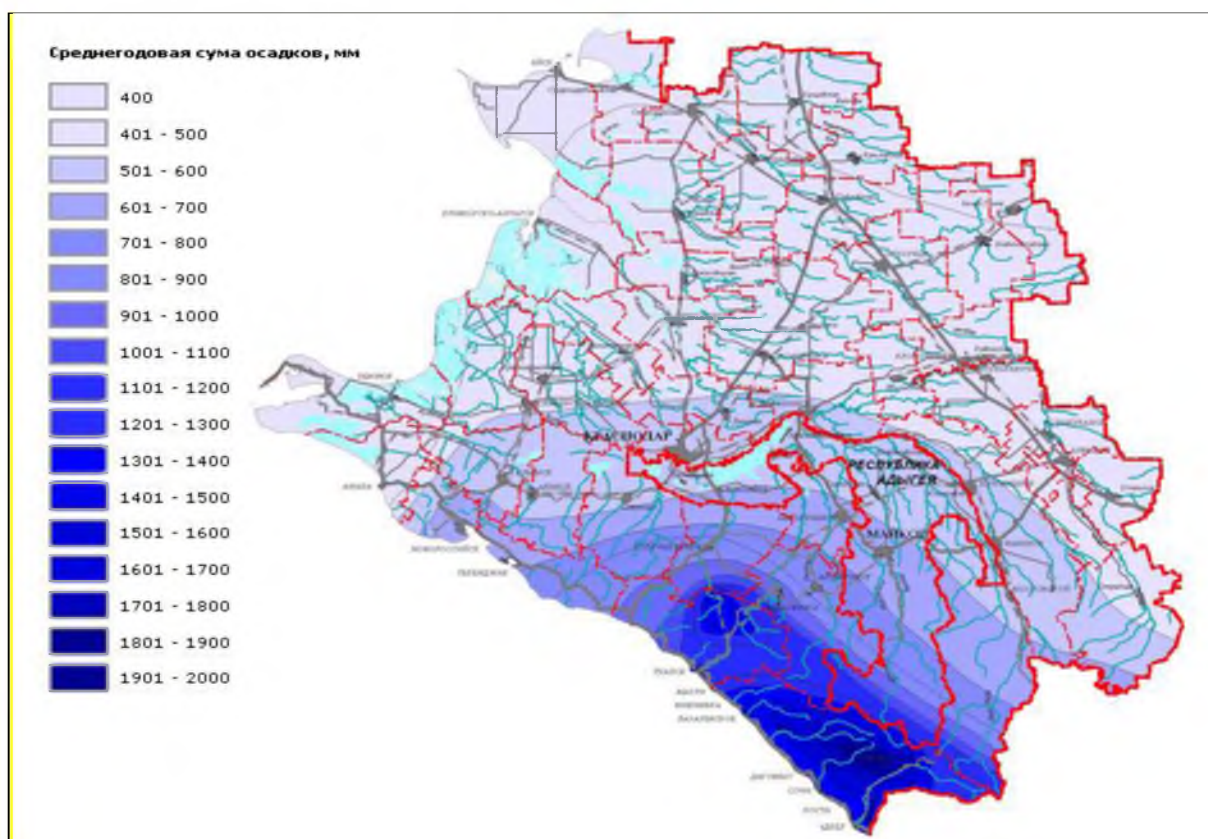


Рисунок 1.8 — Распределение осадков в Краснодарском крае

В силу разнообразия рельефа и других географических факторов, колебания количества осадков достаточно высокие от 400 до 800 мм в степной равнинной зоне, а на отдельных особенно значительных высотах до 3200 мм год к примеру в районе г. Ачишхо. Такие величины очень редки не только для Кубани, но и для обширной территории Российской Федерации. Очень мало, а в иные месяцы и вообще отсутствуют и характеризуются засушливостью районы Таманского полуострова и Анапы, где выпадает в году наблюдаются от 350 до 400 мм осадков.

Величина осадков в году также неравномерно и количество их повышается с севера на юг от 500-600мм до 700-800 мм на юге предгорий и до 800-2000 мм в горах [14, с. 124].

Ученые синоптики полагают, что в пределах края следует рассматривать два типа годового хода осадков.

Из таблицы 1.4 видно, что количество осадков в районе Кавказского хребта в 1,5-2 раза больше, чем в береговой зоне.

Таблица 1.4 — Среднее количество осадков (мм) [19, с. 211]

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Анапа	49	41	33	31	29	40	30	33	33	39	45	49	452
Новороссийск	78	72	57	47	40	54	62	45	52	56	72	89	724
Туапсе	137	122	93	75	58	81	112	111	102	116	117	140	1264
Гойтх	200	165	136	88	84	116	114	128	103	160	165	201	1660
Сочи, оп. ст.	179	147	122	106	76	89	97	106	133	141	157	181	1534
Ачишхо	390	358	322	212	194	216	161	161	199	279	344	406	3242
Красная Поляна	185	168	154	129	119	128	115	108	136	167	180	206	1795
Адлер	158	126	104	100	78	87	90	103	130	113	142	146	1377

Как следствие, с увеличением высоты гор существенно возрастает модуль стока. Этому способствует и уменьшение испарения в горах, связанное с понижением температуры. Уменьшение испарения обуславливает также существенное увеличение в горной зоне коэффициента стока. Вертикальная зональность режима увлажнения сильно сказывается на речном стоке и водных ресурсах региона.

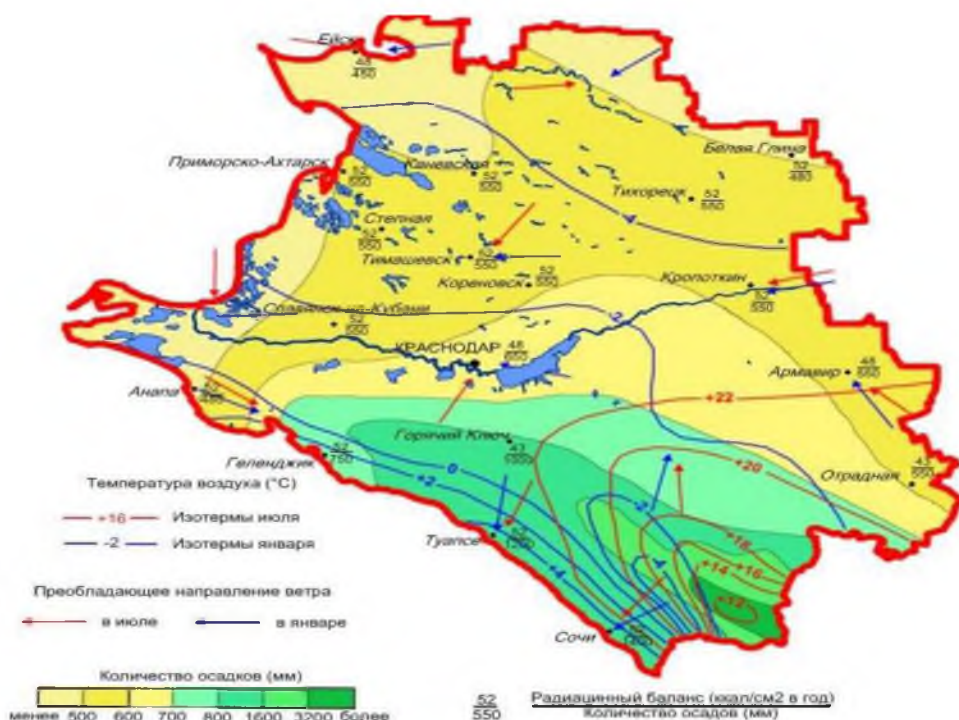


Рисунок 1.9 – Распределение метеорологических показателей по Краснодарскому краю



Судя по данным рисунка 1.9, максимумы отмечаются как в летний, так и в зимний периоды.

Толщина и устойчивость снежного покрова в значительной степени зависит от высоты над уровнем моря и рельефа местности: на равнинах, а средняя толщина снежного покрова не превышает 5–10 см и не обладает устойчивостью, тогда, как в горах, на высоте свыше 1000 м, наблюдается устойчивый снежный покров с максимальной высотой до полуметра.

Показатели влажности воздуха зависят от сезона, так засухи в степной зоне часто отмечаются летом меньше 30% , а на Черноморском побережье такие величины исключительная редкость, причем независимо от сезона влажность высокая варьирует в пределах 60–85% , что создает дискомфорт как для людей, так и для некоторых отраслей промышленности.

Вполне естественно, что на этот фактор оказывают влияние близость теплых вод Чёрного и Каспийского морей. Располагаясь на пути средиземноморских, и не менее активных атлантических циклонов, они оказываются существенным источником влаги.

Несмотря на близость субтропиков, и относительную сглаженность, в северных районах, которые являются продолжением русской равнины края, выражены по сезонам года. Во многих районах, уже в первой декаде мая устанавливается переход среднесуточной температуры через  $+15^{\circ}\text{C}$ , что является предвестником начала жаркой местами сухого лета [14, с. 164].

В отличие от них, в предгорной зоне юга края, с повышением высоты, лето отодвигается на поздние сроки и явно коррелирует с подъемом в высоту. Так на высотах 600-700м оно зарегистрировано в первой декаде июня, а с высот 1700-1800 м только лишь в первую половину июля. Выше зафиксированного уровня переход температуры через  $15^{\circ}\text{C}$  не наблюдается вовсе.

Самые теплые месяцы на всей территории Краснодарского края - июль - август, когда на равнине средние значения достигают  $23-24^{\circ}\text{C}$ , с максимумом в отдельные дни до  $39-40^{\circ}\text{C}$ , а в предгорьях  $25-26^{\circ}\text{C}$ .



Продолжительность дней с такой температурой длится 70-90 дней, а в предгорьях 30-40 дней и меньше.

В отдельных районах равнины северной степной зоны, в середине лета, наблюдаются частые суховейные явления до 2 - 2.5 месяцев. Они абсолютно не встречаются в горной местности, здесь имеют место быть фёны чаще юго-западного направления. Длятся они не более суток, но скорость их по шкале Бофорта высокая и в отдельных случаях до 29 м/с.

Характерная черта фенов, повышение температуры и понижение относительной влажности до максимально малых значений.

Синоптическим условием фёнов, оказываются высокие горизонтальные градиенты давления, направленных с юга на север.

## 2 Физические факторы и основные причины формирования режима ветров

### 2.1 Разнообразие сил вызывающих ветер в атмосфере

В метеорологической практике, одной из главных причин возникновения ветра, оказывается разность распределения атмосферного давления по горизонтали (рисунок 2.1).

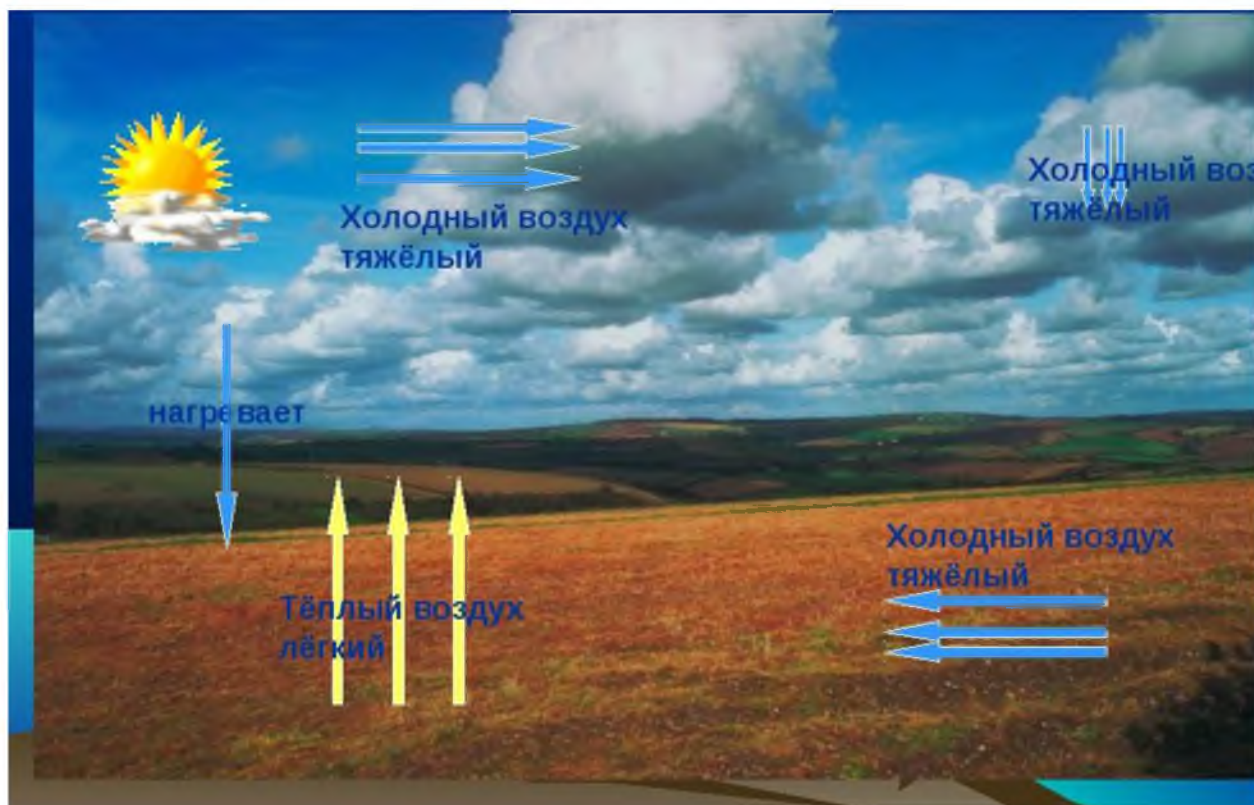
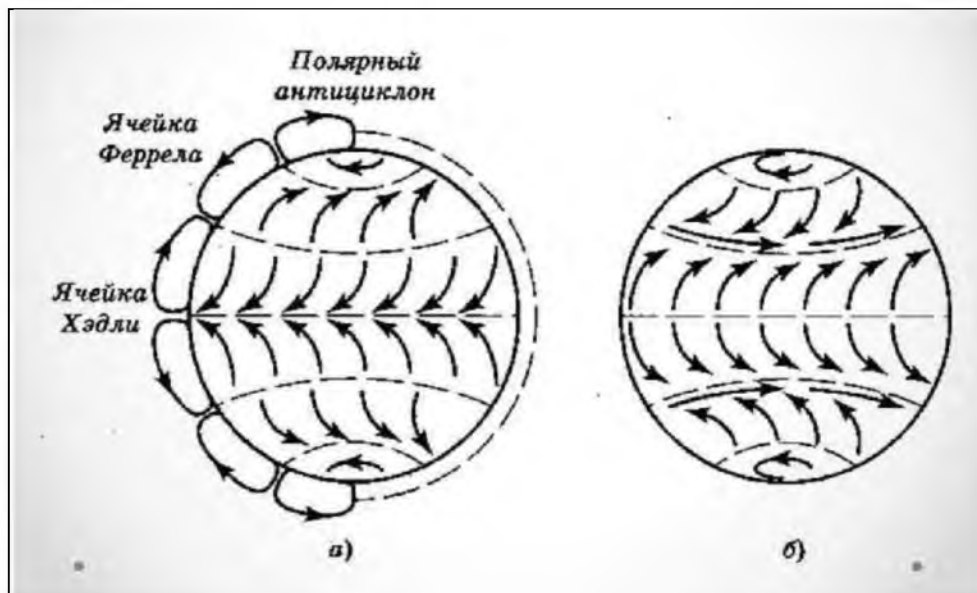


Рисунок 2.1 — Схема возникновения ветров

Как видно из схемы 2.1 особенно в межсезонье при разных температурных режимах, возникают резкие перепады горизонтального атмосферного давления, которые под воздействием силы барического градиента ( $F_p$ ), ускоряется перемещение воздуха из района более высокого в область е низкого.

Климатологами установлено, что при увеличении горизонтальной скорости воздушного потока, тем больше сила Кориолиса, которая убывает с уменьшением широты, становясь равной нулю на экваторе (рисунок 2.2).



а - у поверхности, б - в верхней части тропосферы

Рисунок 2.2 — Глобальная схема ветров в атмосфере [17, с. 84]

Кроме того, в пограничном слое атмосферы, возникает сила трения между потоком воздуха и земной поверхностью земли.

В абсолютно прямой зависимости находятся показатели силы Кориолиса и силы трения с силой барического градиента, или математически она равна сумме двух выше названных сил.

Учитывая, что центробежная сила при прямолинейном движении и в циклонах и антициклонах равны нулю или настолько малы, что на практике их обычно берут расчет (рисунок 2.3).

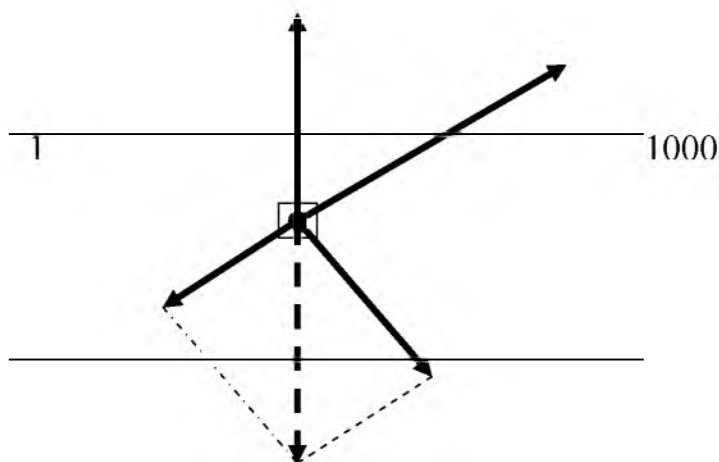


Рисунок 2.3 — Ветер в нижнем слое атмосферы

В результате действий этих сил ветер у поверхности земли (в слое трения, до высоты 1000-1500 м) при угле отклонения меньше  $90^\circ$  направляется вправо т. е. к изобаре.

Ниже, на рисунке 2.4 представлена шкала шквалов. По скорости некоторые из которых несут разрушительную силу.



Рисунок 2.4 — Градации шквалов

К числу наиболее существенных последствий можно отнести повреждение и выдувание посевов на сельскохозяйственных угодьях, разрушение опор ЛЭП, затруднение работы всех видов транспорта и строительства, и др.

Шквалы относятся к особо опасным явлениям, однако, как правило, не продолжительны, но скорость обычно ощутимо превышает градиентный ветер. Вызываются зачастую интенсивной конвективной деятельностью и сопровождаются кучево-дождевой облачностью в первую очередь и в последующем, интенсивными ливневыми осадками и градом.

Шквалы возникают благодаря значительной конденсации и кристаллизации водяного пара, образующие восходящие потоки воздуха, с развитием кучево-дождевых облаков [4, с. 348].

Первым фактором усиления восходящих потоков, происходит, при низкой температуре ниже  $-10-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  с одновременным снижением влажности обычно на определенных высотах.

Следующее условие это вариации незначительных волн падения и роста давления, вызывающие высокие значения барические градиенты давления.

Как представлено на рисунке 2.5, эти факторы вызывают мощные восходящие конвективные потоки в передней части облака и нисходящие в центральной и тыловой частях облака (рисунок 2.5).

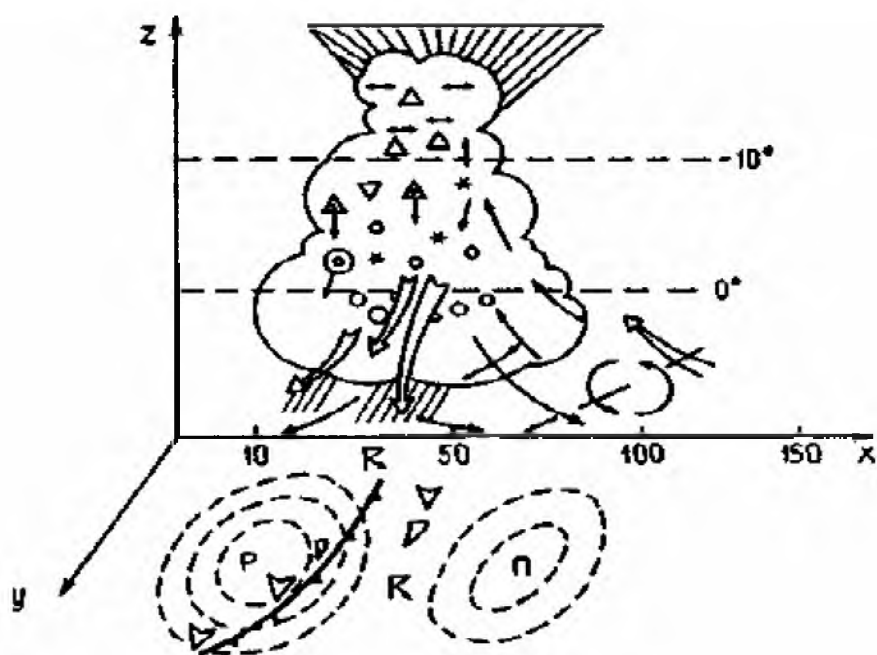


Рисунок 2.5 — Схема циркуляции в кучево-дождевом облаке при шквале [9, с. 34]

Так, усиление ветра в районе Новороссийска у поверхности Земли и на высотах до 1500 м начинается в большинстве случаев почти одновременно.

В связи с этим была выявлена зависимость между скоростью ветра и суммой разностей давления между Новороссийском и пятью точками удаленными от города на 100км к СЗ, С, СВ, В, ЮВ.

Однако для скоростей более 26 м/с эта связь проявляется лучше, если берется 6 точек удаленных от Новороссийска на 200км к З, СЗ, С, СВ, В, ЮВ. Кроме того, непосредственно для Новороссийска имеются местные признаки боры (рисунок 2.6):

1. При наличии благоприятной синоптической обстановки и усиления восточного ветра в районе Поти и падения давления в районе Трабзона - Батуми - Сухуми, ветер в Новороссийске усиливается через 5-8 часов.

2. В теплое время года максимальное усиление СВ ветра наступает в момент прохождения ядра высокого давления через меридиан Новороссийска. Продолжительность такого ветра не превышает 12 часов.

3. Бора весьма вероятна при появлении облачного вала над хребтами, и его сползании по склонам гор в сторону моря в зимнее время года. При отрыве облачных масс от Марохотского перевала и их быстром смещении юго-западном направлении СВ ветер в районе Новороссийска начинается через 2-3 часа.

Рисунок 2.6 — Особенности физических условий возникновения боры

Анализ данных рисунка 2.6 указывает на то, что отсутствует непосредственная связь между скоростью ветра и горизонтальным барическим градиентом и лишь косвенно выражает зависимость скорости ветра от барического градиента

2.2 Зависимость ветрового режима от рельефа, открытости или защищенности метеоплощадки и высоты местности

Скорость ветра возрастает с высотой и на заданной высоте в значительной мере зависит от окружающей местности: чем больше неровностей на местности, тем меньше скорость ветра в слое до высоты примерно 10-20 м. На больших высотах скорость ветра продолжает возрастать с высотой.

С подъемом вверх от земной поверхности происходит снижение трения, в результате чего скорость ветра возрастает сначала быстро, а затем все медленнее.

Высота, до которой распространяется влияние силы трения, называется уровнем трения. Этот уровень зависит от стратификации атмосферы. При неустойчивом состоянии атмосферы в нижнем слое

развивается турбулентность крупного масштаба и интенсивные конвективные движения. В результате перемешивания воздуха сильно развивается обмен скоростями между приземным слоем и выше лежащими слоями. Поэтому различие скоростей в приземном слое и на высоте невелико.

При сильно развитой конвекции и турбулентности движений медленное изменение ветра с высотой приводит к тому, что действительный ветер достигает значения геострофического на высотах 1500 — 2000 м. При устойчивом состоянии атмосферы, в особенности при температурной инверсии в приземном слое, когда степень устойчивости велика, турбулентные движения слабо развиты, а возникающие завихрения преимущественно мелкомасштабны. В таком случае обмен скоростями между приземными и выше лежащими слоями замедлен.

Поэтому в приземном слое наблюдаются слабые ветры (часто достигающие штиля), резко отличающиеся от геострофического ветра. Однако, величина угла отклонения ветра от градиента зависит от состояния атмосферы.

При неустойчивом состоянии атмосферы сильно развитая турбулентность приводит к интенсивному обмену между выше лежащими и приземными слоями воздуха. Поэтому и у земной поверхности воздушный поток будет по направлению близок к градиентному. Угол отклонения ветра от градиента при этом составляет 80-90°.

В таком случае наблюдается медленное изменение направления ветра с высотой. Иное наблюдается при температурной инверсии.

Слабый турбулентный обмен как бы прерывает связь ниже лежащих слоев воздуха с выше лежащими.

Поэтому у земной поверхности отклонение направления ветра от градиента составляет менее 45° и наблюдается резкий поворот ветра с высотой вправо.

Такой характер суточного хода скорости ветра наблюдается лишь в слое высотой около 100 м летом и около 0 м зимой.

Выше над земной поверхностью суточный ход скорости ветра становится противоположным: максимальные значения наблюдаются ночью, а минимальные — днем.

На это обстоятельство обратил внимание еще в 1884 г. Воейков А.И. Он показал, что причина суточного хода скорости ветра зависит от взаимодействия между нижними и верхними слоями воздуха, т. е. от интенсивности вертикального обмена в атмосфере в течение суток.

В верхних слоях, освобожденных от влияния слоев, скорости увеличены в соответствии с величиной горизонтального барического градиента (рисунок 2.7), в связи с этим прогноз ветра на ночь и день необходимо принимать следующие показатели:

- усиление ветра при приближении циклона или фронта;
- вращение ветра вправо при прохождении фронта в хорошо выраженной ложбине;
- усиление ветра при углублении циклона или ложбины и постепенное ослабление при их заполнении;
- ослабление ветра в центральной части антициклона, отрога или в барической седловине;
- порывистый характер ветра в тыловой части циклона.

Рисунок 2.7 — Необходимые параметры учета режима ветров при прогнозе

С восходом солнца начинают развиваться конвективные токи и увеличивается турбулентный обмен в атмосфере. При этом происходит смешение нижнего, медленно движущегося воздуха с верхним, быстро движущимся.



В нижних слоях вследствие трения о земную поверхность скорость ветра уменьшается.

Скорость внизу возрастает, а наверху уменьшается; в результате чего в нижних слоях скорость ветра к 13-14 часам достигает максимума.

Одновременно в выше лежащих слоях скорость ветра в это время доходит до минимума. Далее по мере ослабления обмена, связь между нижними и верхними слоями начинает уменьшаться и ночью почти прекращается. но необходимо предусмотреть следующие факторы (рисунок 2.8):

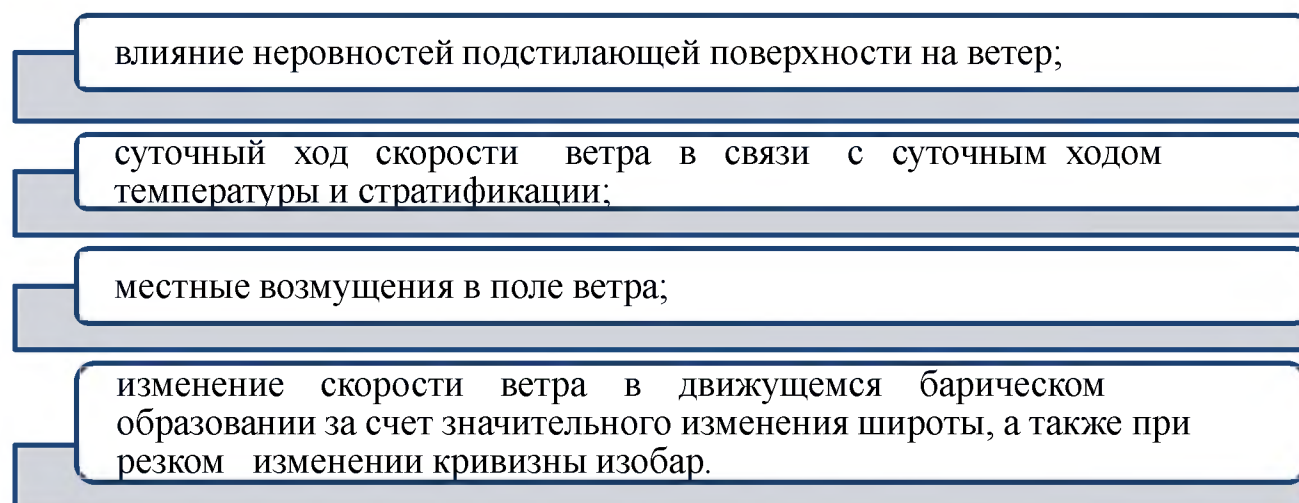


Рисунок 2.8 — Необходимые параметры учета внешних факторов при прогнозе

Математическая корреляция суточной амплитуды скорости ветра у поверхности земли, однозначно прямо пропорциональна суточной амплитуде температуры воздуха.

Так при повышении суточной амплитуды температуры больше  $15^{\circ} \text{C}$ , и низких градиентах в течении суток, то амплитуды колебаний изменяются мало, с разницей до 10 м/сек.

В отличие от этого зимние градиенты дневных и ночных температур разнятся незначительно.

Весной и летом особенно при отсутствии облачности, градиенты температуры поднимаются, большей частью, благодаря усилению

вертикального перемешивания воздуха. Например, на рисунке 2.9 направления ветра в большей или меньшей мере зависят от расположения препятствий.



Рисунок 2.9 — Схема обтекания препятствий воздушным потоком

Обтекание препятствий воздушным потоком (лес, горный хребет, длинный ряд строений), возникает вихрь с параллельной препятствию горизонтальной осью, создающий у земной поверхности движение.

Действие подобных завихрений можно наглядно проследить зимой по форме залегания снега около изгородей и заборов: в нежном покрове около препятствий образуются глубокие выемки, а сугробы бывают лишь на некотором расстоянии за препятствием.

Заметную роль при этом играет термическая стратификация. При устойчивой стратификации воздушный поток стремится только обогнуть препятствие, а при неустойчивой развиваются сильные восходящие движения с наветренной стороны и нисходящие с подветренной (поток переваливает через препятствие сверху).

Воздушный поток, направленный вдоль долин и ущелий, свободно изменяет направление движения ветра перпендикулярно протяженности

долины или ущелья. Любые встречающиеся на пути объекты обтекаются потоком воздуха и огибают их сверху или с боков (рисунок 2.10).

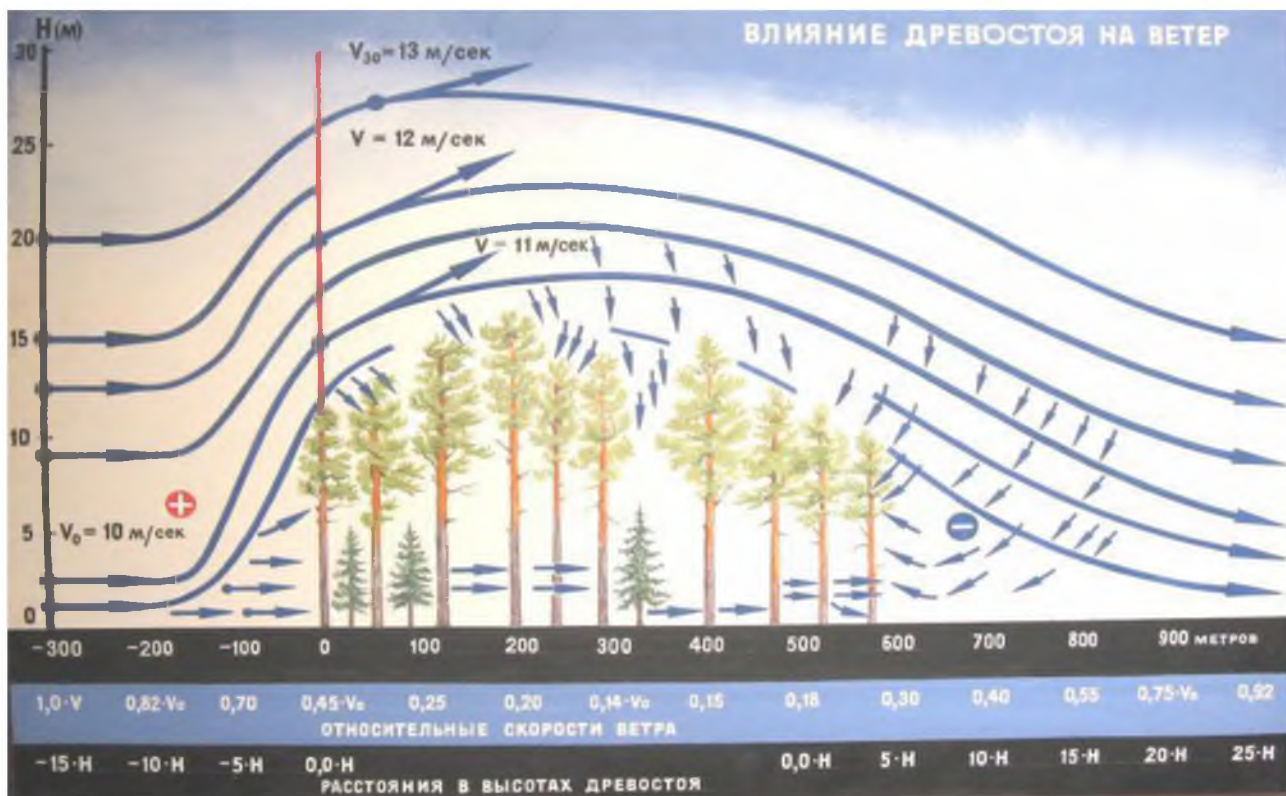


Рисунок 2.10 — Влияние древостоя на ветер

Лес вызывает замедление ветра у земной поверхности, уже начиная с 50... 100м перед лесом, скорость уменьшается, а внутри него отмечается слабый ветер или штиль или порой достигают нуля.

Почти по тем же правилам происходит изменение скорости ветра позади леса, на 100 - 500 м, ветер ослабевает.

Как видно на рисунке 2.10, скорость ветра над лесом до высоты 200-300 м, возрастает в разы, с одновременным увеличением порывистости.

Это свойство используется как мелиоративные работы в борьбе с пыльными бурями и снежными заносами, а также для максимального накопления влаги при весеннем таянии снегов.

Величина усиления ветра, характерна при сужении долин, перевалов проливов дорог. Особенный эффект усиления, вызывают узкие горные ущелья или ярко выраженные ложбины (рисунок 2.11).

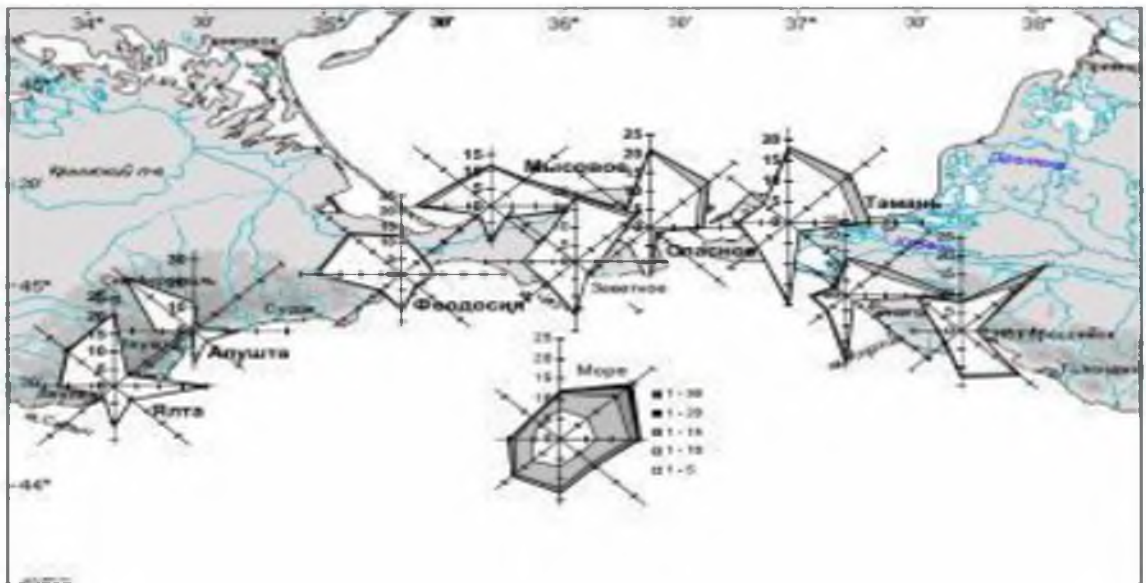


Рисунок 2.11 — Пример розы ветра (%) на шельфе и берегах северо-востока Черного моря

Ввиду разнообразия рельефа местности края, здесь одинаково разнообразна и классификация ветров. Так в горной местности, днем увеличивается долинный ветер, на побережье морской бриз, а зимой или поздней осенью, так называемая бора, известная как Крымская или Новороссийская (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 — Основные причины сдвига ветра



Долинный ветер, чаще возникает у поверхности земли или на высоте не более 50 м в малооблачную погоду через 2-3 часа, после восхода солнца, усиливаясь днем и понижаясь за 1,5-2 часа до захода солнца.

Бризы на побережьях Черного моря часты в конце лета и осенью (август-октябрь), но не исключены в холодное время года. На Черном море дневной бриз летом достигает берега в утренние или полуденные часы. На значительных высотах, от одного до трех км, ветер дует с суши на море, и приобретает направление, соответствующее общему переносу воздуха в средних слоях тропосферы.

Изменение скорости ветра при резком изменении кривизны изобар следует учитывать в прогнозе в следующих случаях (рисунок 2.13):

когда изобары в тылу циклонов приобретают антициклоническую кривизну вместо циклонической;

когда изобары на периферии антициклона в связи с приближением циклона приобретают циклоническую кривизну вместо антициклонической;

при одних и тех же барических градиентах скорость ветра в области антициклонически изогнутых изобар больше, чем в области циклонически изогнутых изобар. Эта разница будет увеличиваться с увеличением кривизны.

Рисунок 2.13 — Изменение скорости ветра при кривизне изобар

На развитие бризов оказывают влияние отроги гор, обрывистые берега, где горная гряда переходит в широкую долину, бризы возникают часто а в узких проходах и ущельях, открытых со стороны моря, дневной бриз усиливается долинным, а ночной бриз усиливается горным ветром.

На бризы черноморского побережья влияет Кавказский хребет, который задерживает распространение воздушных масс с севера и северо-востока на

юг от Туапсе, поэтому в районе Сочи он становится значительно слабее.

Скорость и направление ветра, как известно, изменяются в силу постоянного изменения давления во времени и пространстве (рисунок 2.14).

Измеряя скорость ветра  $U_1$  на высоте флюгера  $z_1$  можно рассчитать скорость ветра  $U$  на любой высоте  $z$ :  $U = U_1 \varphi$

$$U = U_1 \frac{z^{\frac{n}{2-n}} - z_0^{\frac{n}{2-n}}}{z_1^{\frac{n}{2-n}} - z_0^{\frac{n}{2-n}}}$$

при  $n=0$   $U = U_1 \frac{\ln \frac{z+z_0}{z_0}}{\ln \frac{z_1+z_0}{z_0}}$

Где  $z_0$  - высота над поверхностью земли, на которой вследствие шероховатости поверхности скорость ветра принимается равной нулю, напр. для сельской местности  $z_0 = 0,1$  м.

$n$  – параметр, зависящий от устойчивости атмосферы:

Условия устойчивости атмосферы	$n$
Большой градиент температуры	0,20
Нулевой или малый градиент температуры	0,25
Умеренная инверсия	0,33
Значительная инверсия	0,5

Рисунок 2.14 – Изменение скорости с высотой

Между тем, математическая взаимосвязь средних скоростей ветра с разностью высот приземного слоя, пока еще ученые не до конца установили и исследования в этой области продолжают (таблица 2.1).

Таблица 2.1 — Взаимосвязь режима ветров а высотами над уровнем моря.

Примерная высота над наивысшей характерной точкой поверхности	Природа воздушного потока
500 - 1000 м	Атмосфера свободна. Здесь не проявляется вязкость воздуха, потому что он не контактирует с твердыми телами. Движение воздуха определяется только градиентом давления и эффектом Кориолиса

Продолжение таблицы 2.1

50 - 100 м	Переходная область. Здесь эффект трения о поверхность влияет на структуру ветра. До этого уровня простирается действие морских бризов. Эффект Кориолиса и изменение плотности из-за прогрева земной поверхности существенные силы на этом уровне.
Поверхность	Область постоянно меняющихся процессов. Структура ветра определяется в основном природой поверхности и изменением температуры с высотой. Равнинные и горные ветры встречаются на этом уровне.

Скорость ветра в ночное время на нижних слоях поверхности земли меньше, по сравнению со скоростью на высотах в дневное время.

Суточный ход изменяется как по направлению, так и по скорости ветра. Утром и днем, скорость повышается благодаря вращением ветра вправо, по часовой стрелке, а в вечерние и ночные часы - наоборот вращением влево (рисунок 2.15).

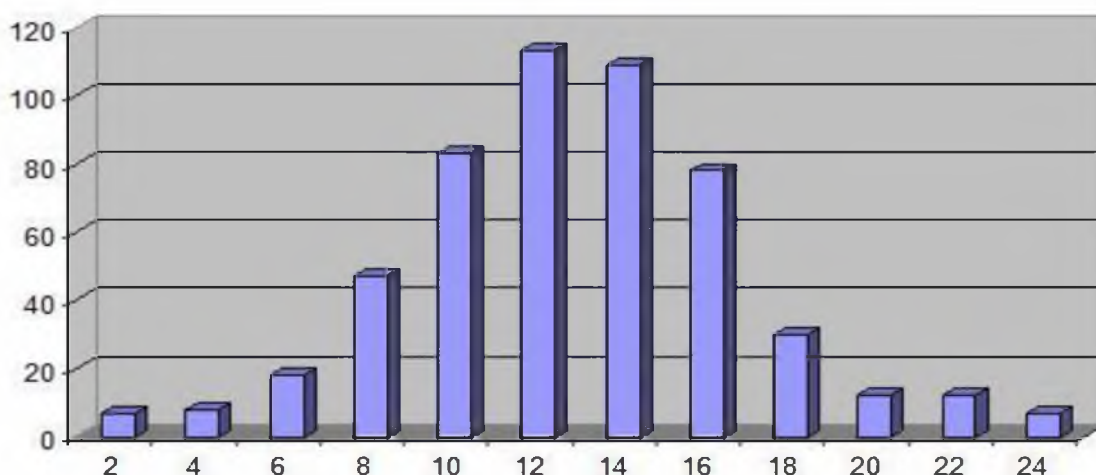


Рисунок 2.15 — Гистограмма суточного хода явления сдвига ветра

Высотные ветры зависят от господства тех или ветров на конкретных высотах, а в частности в зависимости от их струйных течений.

У синоптиков известно непреложное обстоятельство: что усиление режима ветра с высотой наблюдается в теплом секторе антициклона и в противоположность этому понижается в холодном секторе антициклона.

Наоборот левое вращение при усилении скорости и правое при ослаблении. В южном полушарии вращение происходит в обратном направлении. На горных вершинах суточный ход ветра в общем такой же, как в свободной атмосфере: с максимумом скорости ночью и минимумом днем.



### 3 Распределение ветра по территории Краснодарского края и возможности их использования

#### 3.1 Распределение характеристик ветра по территории

На основании многолетних метеорологических наблюдений, в таблице 3.1 сведены данные повторяемости и направления ветра в Краснодаре, (2000-2020гг).

Таблица 3.1 — Повторяемость (%) ветра по градациям скорости в г. Краснодар (1990 -2020гг)

Скор. м/с	1-2	3-5	6-7	8-11	12-15	16-20	21-25	>26	штиль
Месяц									
I	14.0	37.5	7.9	14.1	5.8	1.1	0.1		19.5
II	14.2	35.3	10.0	15.2	5.8	1.6	0.1		17.8
III	10.9	37.2	11.8	17.1	6.2	1.9	0.0		14.9
IV	12.3	36.7	10.0	15.7	6.2	1.5	0.1		17.5
V	14.6	38.6	8.3	13.0	3.9	0.8			20.8
VI	15.0	38.9	6.8	10.0	2.5				26.8
VII	17.1	41.1	6.7	9.9	2.0	0.1			23.1
VIII	19.0	40.3	7.1	9.3	1.3				23.0
IX	18.0	36.0	7.1	9.3	2.4	0.3			26.9
X	16.2	34.5	7.8	12.0	2.9	0.4			25.0
XI	15.1	35.2	9.7	12.9	4.3	1.3	0.0		20.9
XII		15.0	38.7	11.9	14.4	5.1	0.8		17.0
Год	Всего случаев 1331	752	1116	364	73,2	3,3			1852

В течение всего года преобладает, градация скорости ветра 3-5 м/сек. Максимум повторяемости градации скорости 3-5 м/сек, отмечается в июле, августе -41%. Минимум повторяемости приходится на ноябрь, февраль -35,3%.

Повторяемость скорости ветра 6-7 м/сек реже повторяемости 8-11 м/сек, причем они преобладают либо в холодный период года и весной - с ноября по апрель. В среднем повторяемость градации 6-7м/с с ноября по март составляет 10%,с максимумом в марте 11,8%.

Наименьшая повторяемость градации 6-7 м/с наблюдается летом и в

первые два месяца осени. Минимум повторяемости отмечается в июле и в июне-6,8%. Ветер со скоростью 12-15 м/сек, 16-20 м/сек преобладает в холодный период года и весной.

Максимальная повторяемость градации 12-15 м/с составляет 6,2% и отмечается в марте-апреле.

Максимум повторяемости градации 16-20 м/с наблюдается в марте и равен 1,9%.

Скорость ветра 21-25 м/с, отмечается редко.

На рисунке 3.1 представлена гистограмма повторяемости направлений ветра за год.

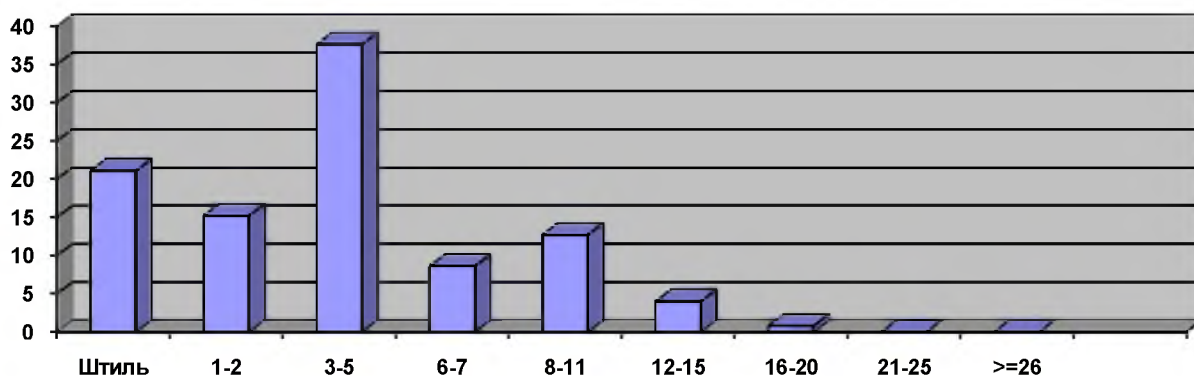


Рисунок 3.1 — Диаграмма повторяемости в (%) скорости ветра за год в Краснодаре

По гистограмме наглядно видно, что в Краснодаре в течение года преобладают ветры восточного — 9%, северо-восточного — 12%, западного — 12 % и юго-западного — 12,3% направлений.

Преобладание указанных направлений обусловлены местными особенностями циркуляции атмосферы, возникающие под влиянием акватории Черного моря и Кавказской горной системы, на которые накладываются сезонные особенности циркуляции атмосферы над Европой. Среднегодовая повторяемость (%) направлений ветра по градациям

представлена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 — Повторяемость ветра по направлениям, % (1990 -2020гг)

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	НСТ	Шт	Числ. случ.	%
I	3.7	14.0	18.2	3.8	3.0	12.3	16.8	8.6	0.04	19.5	650	100
II	3.0	8.7	24,9	6.1	5.9	13,7	11.9	8.0	0.02	17.8	678	100
III	3.3	10.6	29.3	4.6	5.5	13,9	10.9	7.0	0.06	14.9	744	100
IV	3.4	10.7	24.9	5.5	5.3	16.3	10,6	5.9	0.01	17,4	720	100
V	3.1	9.5	21,2	4.3	5.7	15.4	13.3	6.6	0.1	20.8	744	100
VI	4.1	8,5	13.0	3.4	5.9	16,6	14.7	6.9	0.13	26.8	750	100
VII	7.1	14.3	16.3	2.5	6.1	11.9	12,0	6.5	0.15	23.1	744	100
VIII	6.0	16.6	19,3	3.4	4.6	8.4	10.9	7.6	0.24	23.0	744	100
IX	4,8	12.5	18.7	4.4	6.1	10.0	11.0	5.5	0.1	26.9	720	100
X	4,2	11.9	23.0	4.8	4.6	8.0	11.3	5.8	0.01	26.4	744	100
XI	3Л	12.6	26.8	5.9	4.1	10.2	9.9	6.4	0.02	21.0	720	100
XII	4.0	14.1Л	27.2	4.3	4.9	11.5	11.8	6.3		15.9	744	100
Год	4.2	12.0	21.9	4.4	5.1	12.3	12.1	6.8	0.1	21,9	6915	100

Судя по данным таблицы 3.2, многолетние данные повторяемости направлений ветров указывают на то, что чаще всего почти четвертая часть от всех ветров, здесь наблюдаются штили от 14,9 % до 26,9 % случаях, а следующие, чуть реже — восточного направления. Средняя скорость ветра по направлениям представлена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 — Средняя скорость ветра по направлениям (м/с)(1990-2020 гг)

Румбы	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	НСТ	Ср. за месяц.	Ср. max
Месяцы											
I	3.1	4.5	5.6	3.1	4.1	8.1	7.4	4.6	2.0	5.6	8.1
II	3.4	4.9	6.2	3.8	5.1	8.6	6.6	4.4	2.0	5.8	8.6
III	3.5	5.4	7.1	3.9	4.5	8.5	6.2	4.3	2.0	6.0	8.5
IV	3.8	5.4	6.9	3.8	4.3	8.1	5.7	4.4	2.0	5.9	8.1
V	3.1	5.0	6,6	3.8	4.1	6.7	4.8	3.8	2.0	5.2	6.7
VI	3.1	4.3	5.8	3.8	3.9	5,7	4.6	3.9	2.1	4.7	5.7
VII	3.3	4.4	6.4	3.3	3.4	4.6	4.3	4.2	2.2	4.5	6.4
VIII	3.2	4.3	5.8	3.5	3.2	4.2	4.1	4.1	2.0	4,4	5.8
IX	3.2	4.7	6.2	3.6	3.6	4,8	4.3	4.2	2.0	4.6	6.2
X	3.6	4.9	5.7	3.3	4.0	5.4	5.3	4.2	2.0	4.9	4.9
XI	3.5	5.3	5.7	4.1	4.6	7.1	5.4	4.5	6.5	5.4	6.5
XII	3.4	5.6	5.0	3.2	4.8	7.7	6.3	4.7	2.2	5,4	7.7
Год	3.3	5.7	6.1	3.6	4.5	6.6	5.4	4.2	2,2	5.2	6.6

Из таблицы 3.3 и рисунка 3.2 видно, что средняя скорость ветра зимой с января и весной - с ноября по апрель 5,7м/с, а с июня по сентябрь - 4,5м/с.

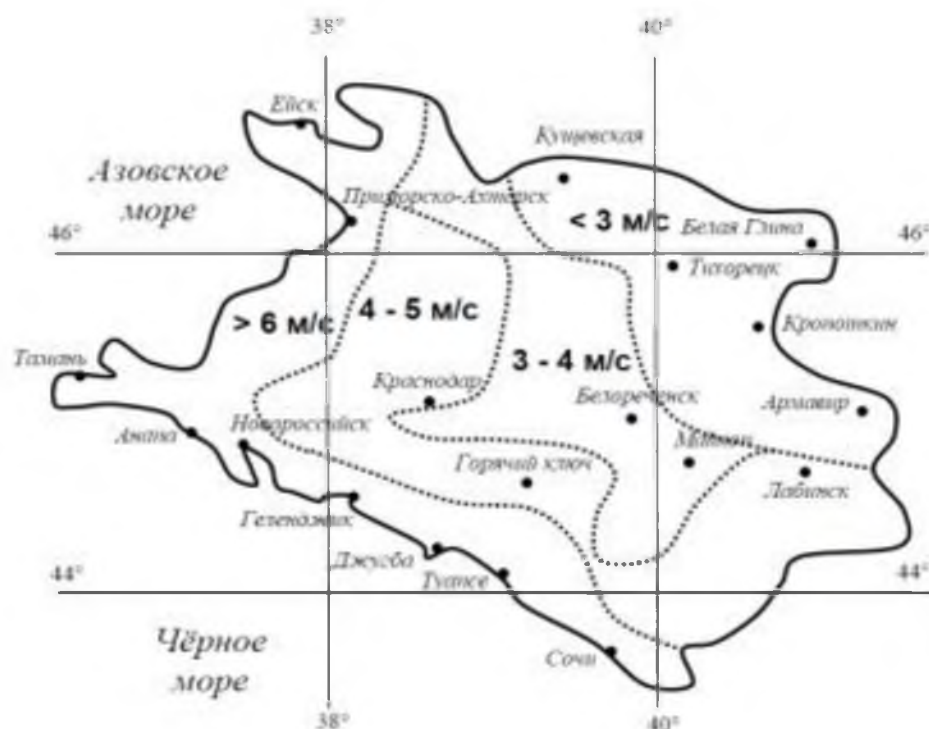


Рисунок 3.2 — Распределение среднегодовой скорости ветра в Краснодарском крае

В настоящее время нет обобщающих исследований по ветровому режиму региона. Если рассматривать в общем установлено следующее:

Повышенной повторяемостью отличаются, как правило, ветры юго-западного и северо-восточного румбов;

Повсеместно наблюдается существенный годовой ход скоростей ветра с максимумом в зимние и минимум в летние месяцы;

Типичным является уменьшение скоростей ветра при переходе от акватории к территории региона от новороссийского климатического района к сочинскому.

Рисунок 3.3 — Общая закономерность ветрового режима в крае

Многолетний режим годового хода скоростей ветра на черноморских метеостанциях сведены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Показатели средней скорости ветра (м/с) в Краснодарском Причерноморье

Метеостанция	ВФ*	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Тамань	14	6.0	6.5	6.4	5.3	5.0	4.6	4.6	4.7	4.8	5.2	5.7	6.2	5.4
Анапа	13	7.7	7.9	7.8	5.7	4.8	4.6	4.4	4.6	5.1	5.7	6.6	7.5	6.0
Новоросскийск	17	5.5	5.6	5.8	4.3	3.7	3.5	3.5	3.9	4.4	4.8	4.9	5.6	4.6
Туапсе	10	6.5	6.0	5.6	3.4	3.2	3.1	3.0	3.2	3.8	4.4	4.8	5.9	4.4

Примечание: \*ВФ - высота флюгера (м)

Здесь явно прослеживается уменьшение средних скоростей ветра в направлении с севера запада на юго-восток от 6 м/сек в Анапе до 4.4 м/сек в Туапсе.

Сильные ветры из выборочных наблюдений (таблица 3.5) наиболее часты гор. Новороссийска с максимумом в холодный период (56,7 дней в году) и наименьшие в городе Сочи — 14,5 дней соответственно.

Таблица 3.5 - Число дней с сильным ветром ( $\geq 15$  м/сек.) в Краснодарском Причерноморье

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Новоросскийск	6.7	6.3	6.2	4.3	3.2	1.5	1.6	2.8	4.7	5.2	6.2	8.0	56,7
Сочи	2.5	2.6	2.4	1.0	0.3	0.2	0.3	0.2	0.8	0.7	0.7	2.5	14.5
Ачишхо	2.1	2.8	3.1	2.8	1.9	1.3	0.8	1.1	1.9	2.7	2.2	2.5	25.2

Перепады ночных и дневных скоростей ветра более резко выражены в теплое время года, особенно в ясную погоду, когда хорошо развит обмен в атмосфере.

Следует отметить, что нормальный суточный ход скорости ветра

нарушается атмосферными возмущениями (прохождением фронтов, циклонов). Для того чтобы исключить влияние этих возмущений, рассматривают суточный ход осредненных величин скорости ветра за ряд лет.

На рисунке 3.4 районирование территории Краснодарского края по режиму ветров.

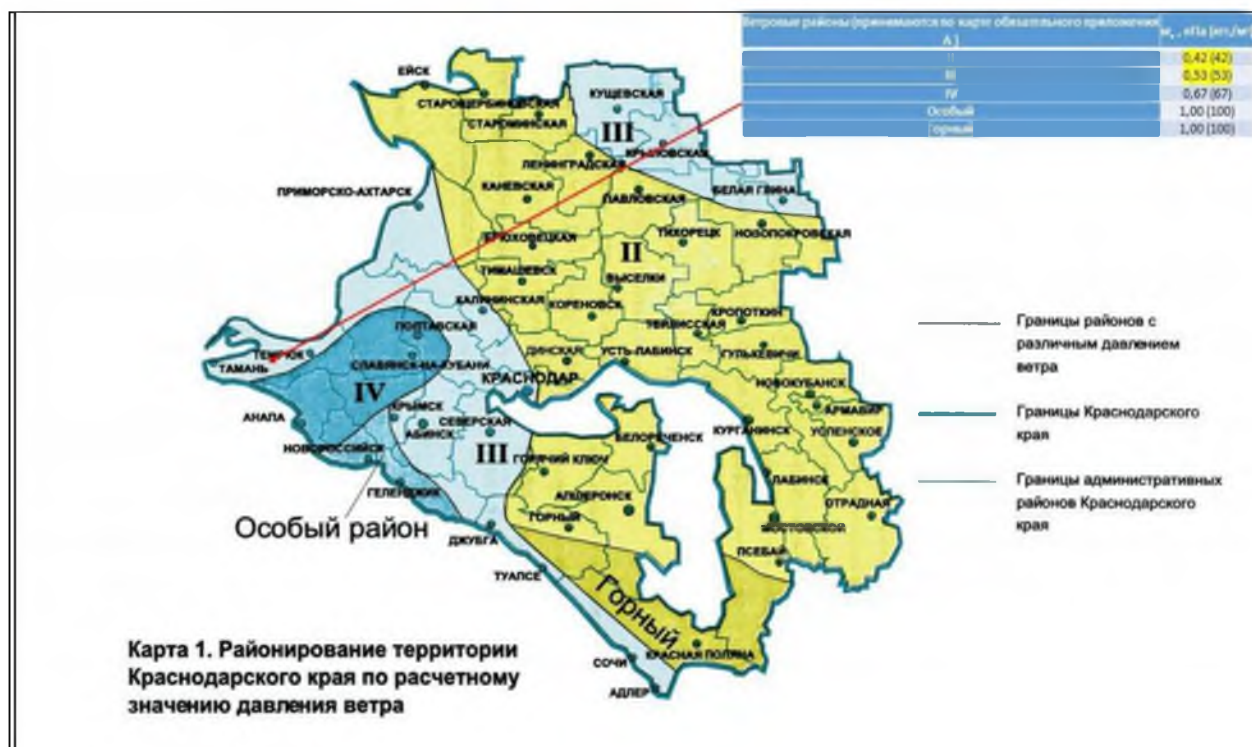


Рисунок 3.4 — Районирование территории Краснодарского края по режиму ветров

Несмотря на относительно небольшие площади региона, территория края, по расчетному значению ветрового давления, отличается и условно в соответствии с районированием по данному признаку разделена на 4 зоны, что указывает на разнообразие рельефа и других физических условий формирования режима ветров.

### 3.2 Развитие ветроэнергетики на Кубани

Особо выделяющиеся ветровые зоны в России расположены, на островах Северного Ледовитого океана от Кольского полуострова до Камчатки,

в районах Нижней и Средней Волги и Дона, побережье Каспийского, Охотского, Баренцева, Балтийского, Чёрного и Азовского морей. Отдельные ветровые зоны расположены в Карелии, на Алтае, в Туве, на Байкале (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 — Перспективы развития ветроэнергетики в России [20]

Максимальная средняя скорость ветра в этих районах приходится на осенне-зимний период, т. е в периоды максимальной потребности в электроэнергии и тепле.

Около 30 % экономического потенциала ветроэнергетики сосредоточено на Дальнем Востоке, 14 % — в Северном экономическом районе, около 16 % — в Западной и Восточной Сибири.

Суммарная установленная мощность ветровых электростанций в стране на 2009 год составляет 17-18 МВт.

На территории Краснодарского края используется только лишь 40% своей электрической энергии от общего объема потребления.

В последние годы, дефицит остального количества покрывается от энергосистем Ростовской области (Волгодонская АЭС, Новочеркасская ГРЭС)



и Ставропольского края (Ставропольская ГРЭС) (рисунок 3.6.).



Рисунок 3.6 – Общий объем потребляемой энергии в регионе (млн. квт часов)

Краснодарский край занимает первое место среди регионов Южного федерального округа по электропотреблению, что связано с динамичным развитием его экономики и интенсивным притоком инвестиций с начала 2000-х годов.

Наибольшая активность и рост электропотребления (около 10-15 % в год) отмечается в муниципальных образованиях, расположенных в зоне Азово-Черноморского побережья и Центрального района Краснодарского края (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Основные потребители электроэнергии в Краснодарском крае



Краснодарский край обладают огромными ресурсами возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Эти ресурсы во много раз превышают ресурсные возможности традиционных (ископаемых) источников энергии края [5, с. 105].

Вместе с тем, Краснодарский край по своим природно-климатическим особенностям и в условиях существенного дефицита энергоснабжения является одним из наиболее привлекательных регионов в России для развития генерации на основе использования возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ).

Значительный потенциал Краснодарского края в области использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии опирается на многолетний опыт практического применения солнечной энергии и геотермального тепла, ветро- и гидроэнергии, других энергоисточников (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 — Различные схемы ветроэнергетики в Краснодарском крае

За счет реализации потенциала ВИЭ в Краснодарском крае можно получать до 2200 МВт тепловой энергии и 1300 МВт электрической энергии взамен получаемой на традиционных углеводородных топливах. Совокупный потенциал возобновляемой энергетики в крае достигает величины 2,5 млн. тонн у.т в год.

Могут использоваться различные модификации ВЭУ (рисунок 3.9)

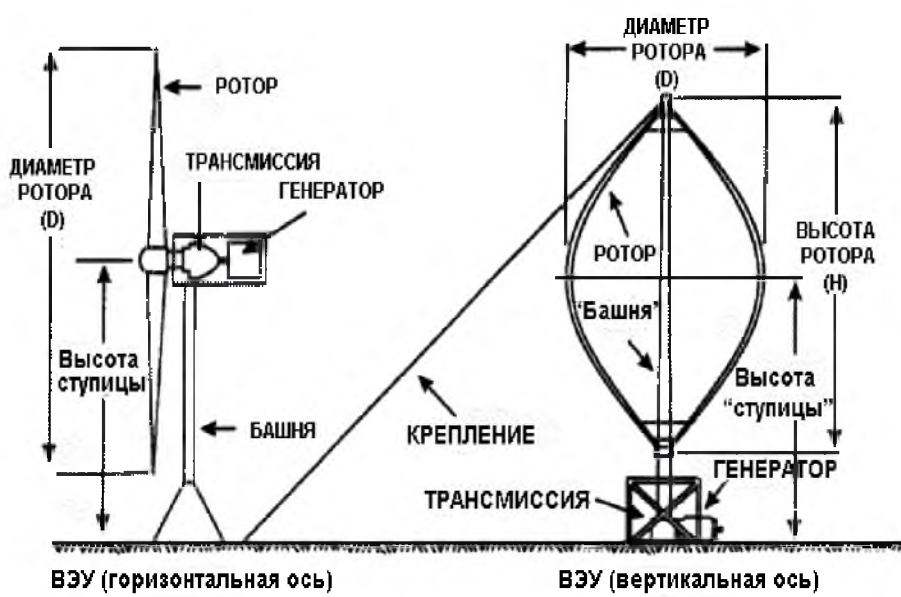


Рисунок 3.9 — Основные компоненты ВЭУ с горизонтальной и вертикальной осями

В регионе активными темпами ведется жилищное и промышленное строительство, развивается курортно-рекреационная сфера, реализуются крупные инвестиционные проекты федерального масштаба, развитие портовой инфраструктуры на Азово-Черноморском побережье.

В этой связи объекты региональной инфраструктуры в настоящее время работают на пределе своих возможностей, что является серьезным ограничением для удовлетворения возрастающих потребностей краевой экономики в качественном энергоснабжении.

Практический опыт и анализ данных эксплуатации энергии ветра, позволили определить, что маломощные обособленные ветроустановки сталкиваются с сетевой инфраструктурой, из-за высокой стоимости линии

электропередачи и распределительного устройства.

Ввиду особенностей ветрового режима, в разных частях края, применение ветрогенераторов с горизонтальной осью вращения не удастся.

На практике более эффективны, да и предложения производителей нацелены на роторные установки, или ветрогенераторы с вертикальной осью вращения.

К удорожанию энергии, получаемой от ветрогенераторов могут привести (рисунок 3.10):

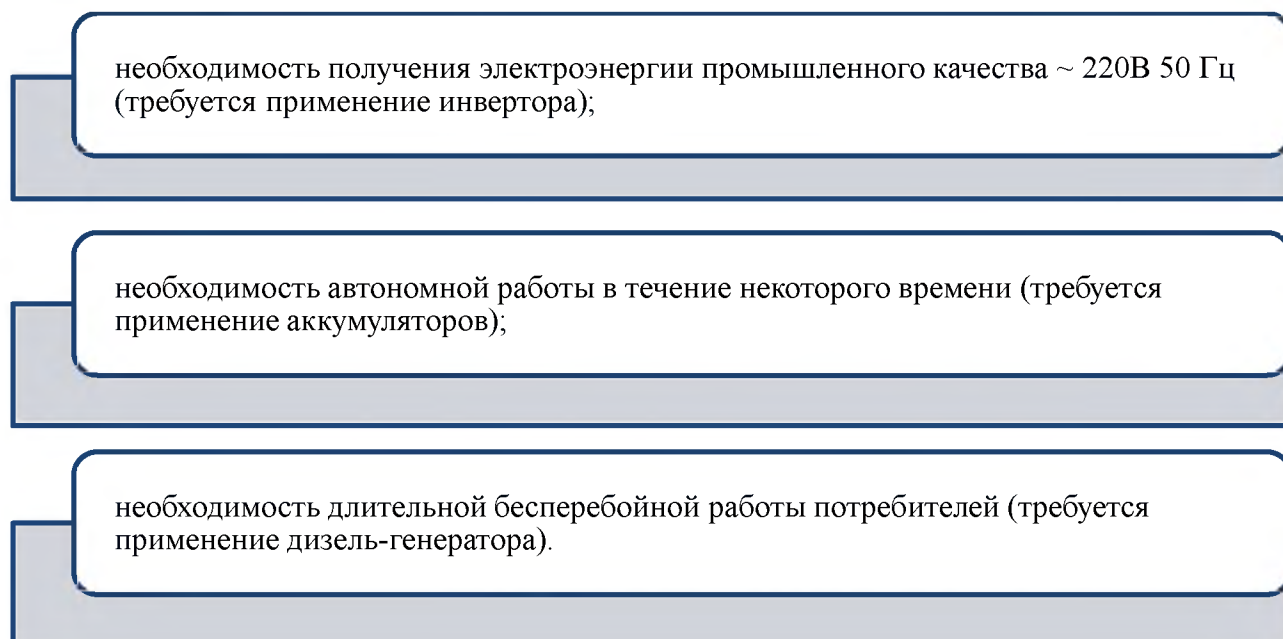


Рисунок 3.10 — Факторы удорожания энергии при эксплуатации ветрогенераторов

Поэтому, по мнению инженеров, энергию ветрогенераторов целесообразно использовать для получения постоянного или переменного тока с дальнейшим преобразованием его в тепло, для обогрева жилья и горячей воды.

Одна из главных целей использования ветрогенераторов, это снижение выбросов за счет уменьшения сжигания традиционного источника энергии, и конечно, сохранения исчерпаемых ресурсов.

Так подсчитано, что мощностью ветрогенератора в 1 МВт сокращает ежегодные выбросы в атмосферу до 1800 тонн CO<sub>2</sub>, 9 тонн SO<sub>2</sub>, 4 тонн

оксидов азота.

По данным экспертов, при высоких темпах его внедрения, уже к 2050 году, количество выбросов CO<sub>2</sub> может сократиться на 1,5 миллиарда тонн.

Предполагают, что масштабное их использование приведет к заметному изменению локальных климатических условий местности, а в некоторых случаях и к большей континентальности, за счет замедления движения воздушных масс приводящее к нагреву летом и охлаждению зимой.

В нашей стране в качестве расчетной скорости ветра используется максимально возможная один раз в 5,10,20,50,100 лет.

В таблице 3.6 приведена скорость ветра возможная раз за число лет, а в таблице 3.7 — средняя скорость ветра за год.

Таблица 3.6 — Скорость ветра возможная раз за число лет

Наименование пункта	Скорость ветра в м/с возможная 1 раз за число лет					Ср. мах скорости ветра в м/с	
	1год	5лет	10лет	15лет	20лет	январь	июль
Краснодар	23	27	46	30	29	3.6	3.2
Новороссийск	32	42	44	48	46	6.7	6.5
Туапсе	31	40	29	47	44	9.7	3.6

Как видно из данных таблицы 3.7, скорости ветров в январе и в июле по всем станциям разнятся незначительно, однако отличается гор. Туапсе где скорость ветра до 9,7м/сек наблюдается до 47 раз в 15 лет. Это, в принципе, не мало.

Таблица 3.7 — Годовой ход средней скорости ветра по краю ( м/ сек)

	Ср.год	Зима	Весна	Лето	Осень	Всего за год
Краснодар	3,5	3,7	3,9	3,3	3,2	25
Туапсинский р-н	3,1	4,0	2,5	2,3	3,6	27
Новороссийск	4,1	5,4	3,5	3,1	4,5	44
Сочи	2,2	2,6	2,0	1,9	2,3	16
Туапсе	2,9	3,6	2,7	2,3	3,0	31

В тех случаях, когда средняя скорость ветра, имеющая повторяемость

направления менее 16%, но не менее 12%, превышала 1м/с и более максимальную среднюю скорость по румбам повторяемостью 16%, предпочтение отдавалось большей скорости (таблица 3.8).

Таблица 3.8 — Целевые показатели величин объёмов ввода установленной мощности генерирующих объектов по видам возобновляемых источников энергии (МВт)

Виды генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Всего
Генерирующие объекты, на основе энергии ветра	100	250	250	500	750	750	1000	3600
Генерирующие объекты, на основе фотоэлектрического преобразования энергии Солнца	120	140	200	250	270	270	270	1520
Генерирующие объекты установленной мощностью менее 25 МВт, функционирующие на основе энергии вод	18	26	124	124	141	159	159	751
Итого	238	416	574	874	1161	1179	7429	5871

Нормативное значение статической составляющей ветровой нагрузки можно найти по формуле:

$$q^{с/н} = q_0 k c \quad (3.1)$$

где  $q_0$  – скоростной напор;  $k$ - коэффициент, учитывающий изменения скоростного напора по высоте;

$c$ - аэродинамический коэффициент.

Расчет скоростного напора проводится по формуле:

$$q_0 = a V^2 / 16 \quad (3.2)$$

где  $V$ - скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью земли (осредненная) превышаемая в среднем один раз в 5 лет;

$a=0,75+5/V$  - коэффициент к скоростям ветра полученный из обработки

наблюдений по флюгеру, принимаемый не более единицы.

Скоростные напоры ветра  $q_0$  на высоте 10 м над поверхностью земли в зависимости от района России находятся по карте: Краснодар II район, а Новороссийск и Туапсе – I район. В Краснодаре  $q_0 = 35 \text{ кгс/м}^2$ , а Туапсе и Новороссийске  $q_0 = 27 \text{ кгс/м}^2$  (рисунок 3.11).

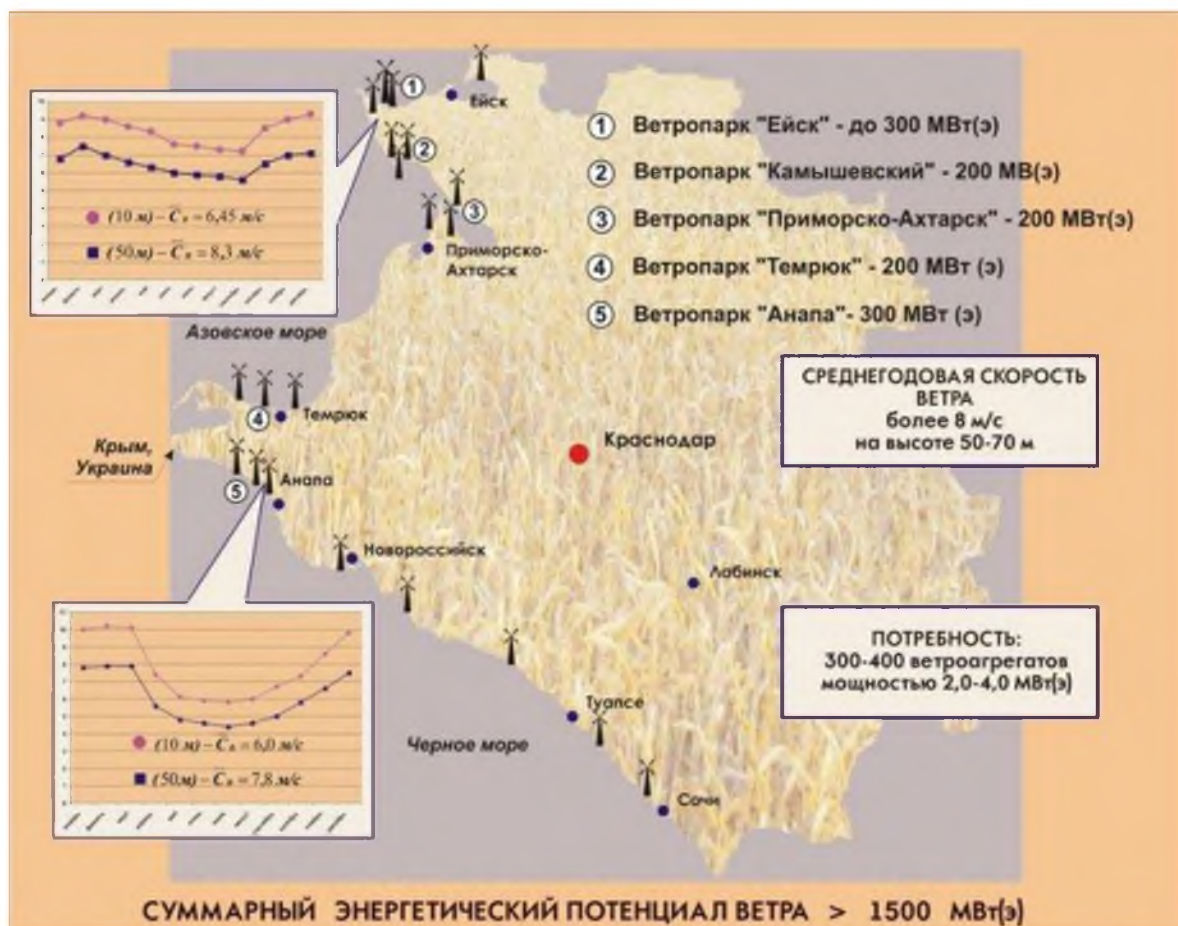


Рисунок 3.11 — Энергетический потенциал ветра в Краснодарском крае

Показатели средне- годовой скорости ветра варьируют как по сезонам так и по географическому расположению ( таблица 3.9)

Средняя скорость ветра по изученным станциям и годовом ходе невелика от 1,2 м/сек в Гузерипле, а в равнинных территориях независимо от сезона в районе 2,5—3,3 м/с. Установлена определенная закономерность ее увеличения на черноморском и азовском побережье, и связана с величиной неоднородности термических и барических полей. К примеру в Ейске и Джубге значения скоростей равны 5,9 и 5,1 м/с соответственно.



Таблица 3.9 — Средняя месячная скорость ветра, м/с края

Станция	I	II	III	IV	V	VI
Ейск	6,2	6,5	6,5	6,1	5,9	5,5
Краснодар	2,8	3,2	3,6	3,4	3,1	2,7
Мархотский перевал	11,3	11,2	11,2	9,4	8,1	7,4
Гузерицль	1,8	2,0	2,0	1,5	1,4	1,3
Станция	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ейск	5,4	5,2	5,3	5,8	6,3	6,6
Краснодар	2,6	2,5	2,4	2,5	2,7	2,8
Мархотский перевал	7,4	7,2	8,4	8,7	9,9	11,0
Гузерицль	1,3	1,2	1,2	1,5	1,4	1,6

В течение всего года над Краснодарским краем доминирует широтная циркуляция, особенно хорошо выраженная в холодное полугодие. Зимой вследствие остывания материка и образования над центральными частями Евразии антициклона, а над Черным морем - области низкого давления преобладают ветры восточных румбов

Также возможны строительства Темрюк, Приморско-Ахтарск, Камышевский (рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 - Планируемые ветроэлектростанции Краснодарского края

Судя по представленным рисункам при планировании строительства ветроэнергоустановок, опирались на данные ветроэнергетического потенциала в Краснодарском крае самые благоприятные условия для использования ветроэнергетики является Ейск и Анапа. Также возможны строительства близ населенных пунктов Темрюк, Приморско-Ахтарск, Камышевский.



## Заключение

Ветровой режим в Краснодарском крае формируется, главным образом, под влиянием циркуляционных процессов и рельефа. Зимой в Краснодарском крае преобладают ветры восточных направлений, летом - юго-западного и южного направлений: при этом ветры восточного-9%, северо-восточного-12%, западного-12 % и юго-западного-12.3% направлений.

Преобладание указанных направлений обусловлены местными особенностями циркуляции атмосферы, возникающие под влиянием акватории Черного моря и Кавказской горной системы, на которые накладываются сезонные особенности циркуляции атмосферы над Европой.

Выводы:

1. Среднегодовая скорость ветра на Кубанской равнине составляет 2,5 – 3,3 м/с до 41% из которых приходится на июль, август, а на побережье 5,1 - 6,4 м/с., с тенденцией повышения в холодное время года в ноябре, феврале до 35,3%.,

2. Самые большие скорости ветра и продолжительность в годовом ходе наблюдаются в районе Новороссийска - 56 дней, причем в холодный период и наименьшее в гор. Сочи — 14,5 дней;.

3. Лидирующим районом по ветровому потенциалу является Маркхотский перевал (432 м. н.у.м.), где среднегодовая скорость ветра достигает 9,3 м/с с порывами более 20 м/с до 4 месяцев в году, когда традиционные ветроустановки останавливаются;

4. Одна из главных целей использования ветрогенераторов, это снижение выбросов за счет уменьшения сжигания традиционного источника энергии, и сохранения исчерпаемых ресурсов. Установлено, что мощность ветрогенератора в 1МВт сокращает ежегодные выбросы в атмосферу CO<sub>2</sub>,- 9 тонн, SO<sub>2</sub>- 4 тонн, а всего до 1,5 миллиарда тонн.

5. Предполагают, что масштабное использование ветроэнергopotенциала приведет к заметному изменению локальных

климатических условий местности. А, в некоторых случаях, и к большей континентальности за счет замедления движения воздушных масс, приводящего к нагреву летом и охлаждению зимой.

6. Наиболее благоприятными для развития ветроэнергетики районами можно считать побережья Азовского и Чёрного морей: от г. Ейска до пос. Джубга, а также ряд районов в центральной и предгорной частях края: города Тихорецк и Армавир, станица Отрадная, где среднегодовые скорости ветра составляют 5-6 м/с.

## Список использованной литературы

1. Бежан, А.В. Теплоснабжение с применением ветроэнергетических установок. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=3745](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3745) (дата обращения 18.05.2022)
2. Безруких, П. П. Ветроэнергетика: моногр. / П.П. Безруких. — М.: Энергия, 2010. — 665 с.
3. Волкова, Т.Н. Ветер как альтернативный источник энергии // Энергетика. - Ульяновск: УлГТУ, 2010. — С.107-108.
4. Воробьев, В.И. Синоптическая метеорология / В. И. Воробьев. — Л.: Гидрометеиздат, 1994. — 716 с.
5. Григораш, О.В., Ступура, Ю.П., Сулейманов, Р.А. и др. Возобновляемые источники электроэнергии. — Краснодар: КубГАУ, 2012, — 272 с.
6. Дробышев, А.Д. Энергия солнца и ветра в Краснодарском крае, условия ее утилизации. Монография – СПб.: изд. РГГМУ, 2014. – 260 с.
7. Елистратов, В.В. Возобновляемая энергетика / В.В. Елистратов. — 3-е изд., доп. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. — 424 с.
8. Ефремов, Ю.В., Панов, В.Д., Лурье, П.М., Ильичёв, Ю.Г., Панова, С.В., Лутков, Д.А. Орография, оледенение, климат Большого Кавказа: опыт комплексной характеристики и взаимосвязей: монография. – Краснодар: Кубанский государственный университет, 2007. – 543 с.
9. Зверев, А.С. Синоптическая метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 71с.
10. Земсков, В. И. Возобновляемые источники энергии в АПК: учеб. пособие / В.И. Земсков. - М.: Лань, 2014. — 368 с.
11. Зысин, Л.В., Сергеев, В.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Часть 1. Возобновляемые источники энергии: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — 192 с.
12. Карты Краснодарского края [Электронный ресурс]. URL:

<http://euromap.com/karty-rossii/oblast/krasnodarskiy-kray/> (дата обращения: 24.10.2022)

13. Кислов, А.В. Климатология / А. В. Кислов. – М.: Изд. «Академия», 2013. – 224 с.

14. Климат Краснодара / Под ред. Ц.А. Швер и Т.И. Павлюченко. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 192 с.

15. Кривцов, В.С., Олейников, А.М., Яковлев, А.И. Неисчерпаемая энергия. Книга 1. Ветроэлектрогенераторы. [Электронный ресурс]. URL: <https://alternativenergy.ru/biblioteka/206-neischerpaemaya-energiya-kniga-1-vento-elektrogeneratoriy.html> (дата обращения 22.04.2022)

16. Логинов, В.Б. Новак, Ю.И. Высокоэффективные ветроэнергетические установки / Проблемы машиностроения и автоматизации. — 1995. — № 1-8. [Электронный ресурс]. URL: <https://ecoportal.su/public/industry/view/694.html> (дата обращения 19.05.2022)

17. Михеев, В.А. Климатология и метеорология / В. А. Михеев. — Ульяновск: Ул. ГТУ, 2009. – 114 с.

18. Навозова, Ф.В. Краснодарский край. – Краснодар: Краснодарское К. изд-во, 1995. – 280 с.

19. Нагалецкий, Ю.Я., Чистяков, В.И. Физическая география Краснодарского края. – Краснодар: изд. «Северный Кавказ», 2003. – 256 с.

20. Перспективы ветроэнергетики [Электронный ресурс]. URL: <http://nauka.relis.ru/06/0403/06403006.htm> (дата обращения 19.05.2022)

21. Темникова, Н.С. Климат Северного Кавказа и прилежащих степей. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 368 с.

22. Шефтер, Я.И. Использование энергии ветра /Я.И. Шефтер. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 200 с.