



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: «Особенности циркуляционного режима на юге Дальнего
Востока в период летних аномальных осадков»

Исполнитель Смирнова Яна Алексеевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Ефимова Юлия Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

« 10 » февраля 2024 г.

Санкт-Петербург
2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ	5
1.1 Факторы, влияющие на общую циркуляцию атмосферы	5
1.2 Климатическое описание воздушных масс	7
2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЗИИ	9
2.1. Азия.....	9
2.2 Дальний Восток	12
2.3 Приморье	15
3. ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО РЕЖИМА НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В ПЕРИОД ЛЕТНИХ АНОМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ	19
3.1 Определение цели и задач диссертации	19
3.2 Создание базы данных траекторий барических образований и её анализ	20
3.3 Анализ траекторий циклонов, влияющих на режим аномальных осадков на юге Дальнего Востока в июне	26
3.4 Анализ траекторий циклонов, влияющих на режим аномальных осадков на юге Дальнего Востока в июле.....	32
3.5 Анализ траекторий циклонов, влияющих на режим аномальных осадков на юге Дальнего Востока в августе	42
3.6 Анализ траекторий циклонов, влияющих на режим аномальных осадков на юге Дальнего Востока в сентябре.....	49
3.7 Выводы об особенностях циркуляционного режима на юге Дальнего Востока в период летних аномальных осадков	57

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТАЙФУНОВ НА ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО РЕЖИМА НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В ПЕРИОД ЛЕТНИХ АНОМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
ЛИТЕРАТУРА.....	70
Приложение 1	73

ВВЕДЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы является определение особенностей циркуляционного режима на юге Дальнего Востока в период летних аномальных осадков.

Выявление траекторий циклонов будет происходить путём построения обобщённых траекторий движения за период с 1980 года по 2020 год.

Предполагается выявить прямое или косвенное влияние траекторий на режим осадков в июне в южной части Дальнего Востока.

Актуальность работы определяется тем, что в настоящее время циркуляционные и синоптические изменчивости на Дальнем Востоке изучены слабо. Последние крупномасштабные исследования траекторий циклонов проводились в 1980-1990-х годах, а архива барических образований, исключая карты реанализа, в открытом доступе не существует. Также следует отметить, что в последних исследованиях атмосферной циркуляции над Сибирью и Дальним Востоком более внимание уделяется не синоптической изменчивости и процессам, а анализу муссонных индексов, показателям циклонической активности, интенсивности центров действия атмосферы (ЦДА) [1, 2].

В первой главе рассматривается общая циркуляция атмосферы, влияющие на неё факторы, а также воздушные массы и климат различных широт.

Во второй главе рассматриваются климатические особенности Азии, Дальнего Востока и Приморья.

В третьей главе проведен анализ циркуляционных особенностей на юге Дальнего Востока в период летних аномальных осадков.

В четвертой главе проводится исследование влияния тайфунов на особенности циркуляционного режима на юге Дальнего Востока в период летних аномальных осадков.

1. ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ

Общая циркуляция атмосферы представляет собой совокупность крупномасштабных воздушных потоков в тропосфере, стратосфере и нижней мезосфере. В зависимости от масштаба циркуляционные процессы подразделяются на два класса – глобальную и синоптическую циркуляцию, которые различаются масштабами процессов.

Примерами глобальной циркуляции являются западно-восточный перенос в умеренных широтах и пассатная циркуляция в тропиках. Волны Россби, циклонические и антициклонические циркуляции, а также муссоны тропических и умеренных широт являются примерами синоптической циркуляции. Существуют также явления более мелкие по масштабу, например, бризы, фёновые ветры в горах и бора, которые влияют на региональный климат, но не рассматриваются как процессы общей циркуляции атмосферы.

1.1 Факторы, влияющие на общую циркуляцию атмосферы

Основными параметрами, оказывающими влияние на ОЦА, являются – поступающая на Землю солнечная радиация, вращение нашей планеты, рельеф подстилающей поверхности и распределение суши и морей.

Рассмотрим кратко влияние каждого из параметров. Касательно приходящей и уходящей радиации выделяют два уровня нагревания атмосферы, которые прослеживаются на вертикальном профиле температур (рисунок 1.1). Это стратомезосферная «поверхность» на высоте около 50 километров и земная поверхность, которые формируют основные системы атмосферной циркуляции – стратомезосферная и тропосферная, соответственно.

Весной происходит постепенное смещение озонного очага нагрева из южных широт в более северные, в связи с чем глобальный градиент температуры воздуха в стратосфере меняет своё направление – от высоких широт к низким, при этом тропосферный температурный не меняет своё направление в течение всего года.

Планетарное вращение влияет в большей степени на воздушные потоки в умеренных и полярных широтах за счёт воздействия силы Кориолиса. На экваторе влияние вращения сведено к минимуму.

В приземном слое и тропосфере существенное влияние на циркуляционные процессы оказывает рельеф местности, формируя как локальные турбулентные процессы, так и более масштабные процессы [4].

В приземном слое, где наблюдается интенсивный обмен между поверхностью и атмосферой, подстилающая поверхность существенно влияет на температуру, влажность и скорость ветра. В тропосфере турбулентные процессы распространяются на более высокие слои, создавая сложные ячейки циркуляции.

Океаны также играют ключевую роль в формировании климата и характеристик атмосферы Земли, действуя как огромные тепловые аккумуляторы, что позволяет им влиять как на процессы синоптического масштаба, так и на ОЦА.

1.2 Климатическое описание воздушных масс

В ОЦА подразделяют 4 вида основных воздушных масс (ВМ): арктические (АВМ), умеренные (УВМ), тропические (ТВМ) и внутритропическую зону конвергенции (ВЗК). АВМ формируются над Арктикой и Антарктидой.

Кроме основных ВМ, описанных выше, существуют переходные климатические зоны: субтропическая, субарктическая и субэкваториальная.

Субтропическая зона находится между тропиками и умеренными широтами, субарктическая — между умеренными широтами и полярными регионами, а субэкваториальная — между экваториальными и тропическими зонами, соответственно.

Наиболее заметно, в сравнении с другими типами ВМ, влияние ВЗК на климат. ВЗК свойственны сезонные изменения и небольшие смещения, что существенно влияет на экваториальную циркуляцию. При её движении на север в весенне-летний период на экваторе начинается сезон дождей, который заканчивается при движении ВЗК обратно в южном направлении осенью. Такие перемещения сопровождаются муссонными циркуляциями в тропиках [5].

В холодное полугодие муссонная циркуляция приносит прохладу на данные территории. Суточные перепады температур могут быть от слабо отрицательных значений до $+25^{\circ}\text{C}$. В этот период антициклоническая циркуляция снижает количество осадков.

Весной, с приходом смещения восточно-западного переноса (ВЗК), наступает период летних тропических муссонов. Эти муссоны характеризуются высокой влажностью, низкой температурой воздуха и обильными осадками.

В осенний период муссоны приносят холодный и сухой воздух, что способствует снижению температуры и уменьшению осадков.

На материковой части Евразии разным регионам соответствуют разные климатические особенности. В западных районах континента климат формируют Азорский и Арктический антициклоны. Циклоны же делятся на западные – приходящие с Атлантического океана, ныряющие – характерные скорее для северо-западных территорий в связи с вторжениями АВМ, южные – приходящие с южных частей континента в центральную и реже с северо-

западную часть, и орографические – то есть местные, зависящие от региональной циркуляции.

В зимний период в Азиатской части материка погода формируется под влиянием Сибирского антициклона. Он приносит экстремально низкие температуры, которые могут достигать -50°C и ниже. Этот антициклон оказывает значительное влияние на климат региона, делая его одним из самых холодных на планете. С приходом весны на данной территории постепенно возникает летняя термическая депрессия, что означает переход на летний режим циркуляции.

На востоке Евразии климат определяют дальневосточные муссонные циркуляции, которые в зимнее время приносят холодный воздух из Сибирского антициклонического вихря. Летом они сменяются термической депрессией, из-за которой на территории приходят влажные тропические ВМ, и начинается сезон дождей.

При возмущении западно-восточного переноса в умеренном поясе меридиональные преобразования могут приводить к формированию блокирующих антициклонов, которые летом приводят к сильным засухам в центре и на юго-восточной периферии антициклона. В холодный период года эти антициклонические вихри приносят холодные ВМ на обширные территории [6].

2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЗИИ

2.1. Азия

Как уже было затронуто в предыдущей главе, Азиатская часть континента расположена в 7 климатических поясах (рисунок 2.1): арктическом, субарктическом, умеренном, субтропическом, тропическом, субэкваториальном и экваториальном [7].

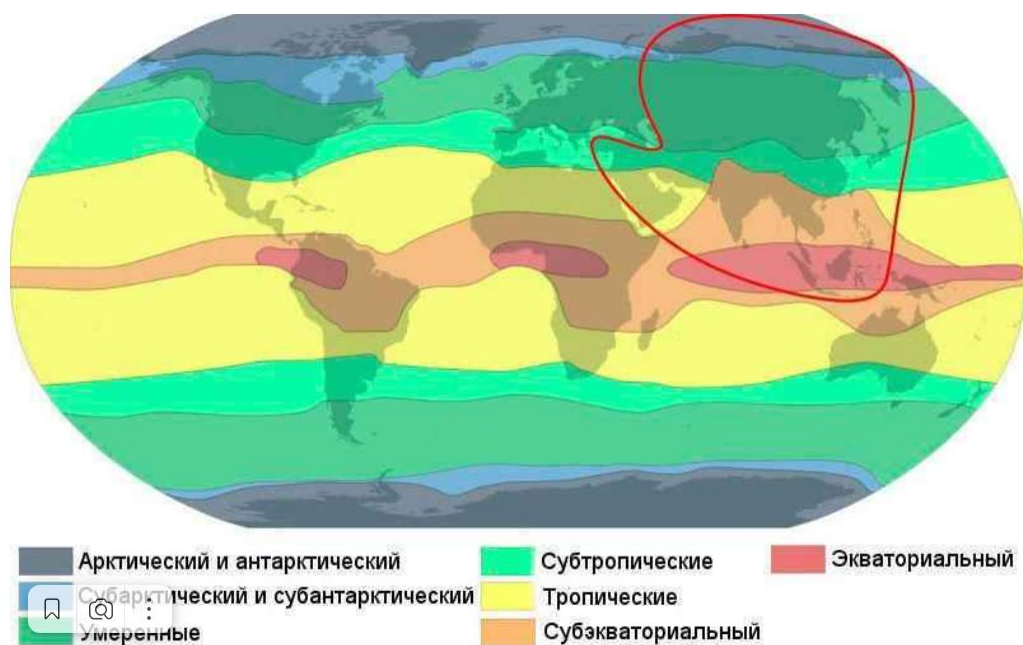


Рисунок 2.1 – Карта климатических поясов мира по Алисову (Азия обведена красным)

Территории полуострова Таймыр, острова Северной Земли, Новосибирские, Врангеля и другие, а также северное побережье Азии характеризует арктический климат. В этих регионах наблюдаются полярные ночи, когда солнце вообще не поднимается над горизонтом. Большую часть года здесь держатся отрицательные температуры, лишь летом иногда поднимаясь выше нуля.

Субарктический климат присущ Западно-Сибирской равнине. Именно на этой территории отмечаются температурные рекорды до -50°C , а летом температура воздуха повышается немногим больше $+10^{\circ}\text{C}$ [8].

Климат умеренных широт характеризуют ВМ с Атлантики, а температурный фон меняется от -20 градусов зимой до $+20$ градусов летом.

Над территориями Восточной Сибири и Средней Азии господствует резко континентальный климат. Столбики термометров зимой нередко

опускаются ниже -30°C , зато непродолжительным летом температуры воздуха переходят отметку $+30^{\circ}\text{C}$.

Муссонный климат Дальнего Востока и Сахалина формируется под влиянием сезонных ветров. Зимой преобладают холодные и сухие континентальные воздушные массы, а летом — влажные и теплые воздушные потоки с Тихого океана. Это приводит к сезонным изменениям погоды: зимой — морозы, в среднем около -25 градусов, и снегопады, а летом регион ожидают обильные дожди, смена ветров, и тропические циклоны, приносящие аномально высокие суммы осадков и приводящие к разрушительным последствиям.

Климат Камчатки и Курильских островов обусловлен их близостью к Тихому океану и прилегающим морям. Зимой температуры редко опускаются ниже -10°C , а летом воздух разогревается в среднем лишь до $+15^{\circ}\text{C}$.

Субтропический климатический пояс дополнительно делят на средиземноморский, континентальный и муссонный климат.

Средиземноморский климат характеризуется зимне-весенним режимом увлажнения на западных территориях. Континентальный климат диктует погоду на нагорьях передней Азии, принося сухие холодные или тёплые ВМ в зависимости от времени года. Особенностью муссонного климата является продолжительный сезон дождей.

На прибрежных территориях Средиземного моря количество осадков может достигать 700 мм/год, однако в центральных и восточных частях Азии, таких как Иранское нагорье, осадков выпадает значительно меньше — около 200 мм в год, что способствует формированию пустынных и полупустынных ландшафтов.

Тибетские горы, расположенные в центральной части Азии, характеризуются высокогорным пустынным климатом. Зимы здесь холодные и довольно сухие.

Субэкваториальный климат формирует погодные условия Южного Китая, Индостана, Индокитая, Малых Зондских островов и восточной части острова Ява. Там главенствуют тропические муссоны с сильными осадками летом и сухими тропическими ВМ зимой.

В регионах полуострова Малакка, Больших Зондских островов, юго-запада Шри-Ланки и юга Филиппинских островов климат экваториальный – жаркий и влажный в течение всего года, в связи с влиянием теплых экваториальных течений.

Для регионов Южной, Юго-Восточной и Восточной Азии особую опасность представляют тайфуны, сезон которых начинается в начале лета и достигает максимума к августу-сентябрю, нанося территориям значительный ущерб.

2.2 Дальний Восток

К Дальнему Востоку относятся несколько субъектов Российской Федерации: Сахалинская область, Якутия, Еврейская автономная область, Магаданская область, а также Амурский, Приморский, Хабаровский, Чукотский и Камчатский края.

Климат Дальнего Востока определяется влиянием частых столкновений тёплых и холодных ВМ. Эти процессы приводят к значительным температурным перепадам. При этом из-за близости Тихого океана в этом регионе в течение всего года сохраняется высокая влажность.

Дальний Восток России охватывает три климатических пояса: субтропический, умеренный и арктический. Субтропический пояс охватывает юго-восточную часть региона, включая часть Приморского края и остров Сахалин. Умеренный пояс охватывает Магаданскую область, Камчатский край, а также северные части Хабаровского и Приморского краев. В Хабаровском и Амурском краях преобладает муссонный климат [9].

На юге территории и на Сахалине зима характеризуется низкими температурами и незначительным количеством осадков, что приводит к образованию устойчивого снежного покрова. В центральных районах Дальнего Востока умеренный муссонный климат характеризуется сильными ветрами, низкой влажностью и температурами до -35 градусов и ниже. На Курильских островах из-за влияния Тихого океана и морей климат немного мягче.

Весной под влиянием муссонной циркуляции климат смягчается. Средняя температура по территории составляет около +10 °С, в первые месяцы погода чаще сухая, а со второй половины весны в силу постепенно входит дождливый сезон.

Летом на Дальнем Востоке начинается сезон дождей, когда в разных регионах выпадает до 80 % годовых осадков, а также начинают фиксироваться тайфуны. Температурный фон на территории варьируется в пределах +15...+20 гр.

Осенью заморозки начинаются рано, и к концу октября морозы отмечаются уже на всей территории. К концу ноября муссонная циркуляция переходит на зимний режим.

Далее рассмотрим детальнее климатические особенности каждого региона Дальнего Востока.

Для Чукотского края характерен субарктический климат. Зимы здесь продолжительные, с сильными ветрами и температурами воздуха до -50 градусов, в связи с влиянием арктических ВМ. Лето короткое, с температурами около +10 градусов. Погода отличается большими амплитудами температурного хода и частыми осадками, что связано с активной циклонической деятельностью. Весна начинается с июня и быстро перетекает в непродолжительное лето. Температура воздуха повышается,

усиливаются ветры и учащаются дожди. Осень длится около 25 дней, после чего резко переходит в зиму.

Климат Приморского края определяется влиянием Тихого океана с одной стороны и континента — с другой. Зимой осадков мало, а температура воздуха находится в пределах $-15\dots-20$ градусов с редкими повышениями до $+5$ градусов в отдельные дни. Весной средняя температура поднимается до $-3\dots+5$ градусов. Начало лета в Приморье обычно не отличается сильными и многочисленными осадками, а вот во второй половине сезон дождей входит в полную силу, и сильные дожди могут идти по несколько дней. При этом средние температуры воздуха достигают $+25\dots+30$ гр. С приходом осени средний температурный фон опускается до $+15$ градусов, и количество осадков постепенно уменьшается.

Климат Сахалина характеризуется резкими температурными перепадами. Зима здесь длится с октября по май, а температура может опускаться до $-25\dots-30^{\circ}\text{C}$. Летом среднесуточная температура редко превышает $+12^{\circ}\text{C}$, но выпадает большое количество осадков.

Долина Амура и бассейн реки Уссури имеют более мягкий климат. Здесь среднесуточная температура в летний период достигает $+25^{\circ}\text{C}$ и держится более двух месяцев, а зимой температура редко опускается ниже нулевых отметок.

Климат Камчатки отличается выраженной сезонностью и значительными температурными колебаниями. Лето и осень очень влажные, а весна и начало лета — тёплые. Это приводит к высокой влажности и частым туманам на протяжении большей части года. Зимой часто идут сильные осадки, а температура воздуха может опускаться до -25 градусов.

У тихоокеанского побережья Дальнего Востока в начале лета разрушается береговой припай, что приводит к резкому понижению

температуры восточных морей, кроме Охотского моря, где лед сохраняется до 11 месяцев.

Летом на большей части Дальнего Востока, исключая южное побережье Приморья, происходят вторжения циклонов со стороны Тибета, которые приносят тёплые и сухие ВМ. Влияние циклонов играет важную роль в формировании погодных условий. Они могут вызывать аномально высокие температуры и засухи, что негативно сказывается на сельском хозяйстве и экосистемах региона.

Зимой ветры с континентальной части приносят холодные и сухие ВМ, из-за которых некоторые регионы Дальнего Востока страдают от продолжительных и сильных осадков.

2.3 Приморье

Приморский край занимает значительную часть исследуемой территории, поэтому климатические особенности этого региона требуют более детального рассмотрения.

Приморский край подвержен влиянию муссонных воздушных масс. Зимой, под действием Азиатского антициклона, над регионом преобладают холодные и сухие ВМ, которые движутся со стороны Китая на юго-восток, стремясь к циклонической циркуляции над Тихим океаном. Летом юго-восточные ветры приносят прохладные и влажные морские ВМ.

Зима в Приморье не отличается большим количеством осадков. Среднемесячные температуры воздуха в этот период варьируются от -13 до -25 градусов в зависимости от региона. Наиболее низкие температуры наблюдаются в горах Сихотэ-Алиня, которые препятствуют проникновению холодных воздушных масс с континента.

Южное побережье Приморья является самым тёплым регионом зимой. Температура воздуха здесь повышается благодаря влиянию моря и фёновых ветров, которые дуют с Сихотэ-Алиня [10].

Продолжительность зимнего периода с отрицательными температурами в Приморском крае составляет около 130-180 дней в зависимости от региона.

Характерной особенностью для зимнего периода являются частые оттепели временами до +12...+16 градусов, которые имеют как кратковременный, так и долговременный характер.

Кроме того, зимний период в Приморском крае характеризуется высокими значениями влажности, что способствует образованию густых туманов и осадков. Туманы могут сохраняться в течение нескольких дней, затрудняя передвижение и навигацию.

Зимние месяцы в Приморском крае характеризуются наименьшим количеством осадков в течение года. На западе Приморья их выпадает около 5 мм, а в центральной части — до 29 мм. На юге же осадки часто не достигают нормы. В восточных областях ежегодно наблюдаются сильные снегопады с интенсивностью более 20 мм за 12 часов. В остальных регионах сильные метели и гололёдные отложения случаются раз в десятилетие. Штормовые ситуации усложняет и частое усиление ветра [11].

Весной температура воздуха постепенно поднимается до +10 градусов за 1-2,5 месяца. В марте температура может достигать -3...-8 градусов. В апреле начинается активное снеготаяние, которое ускоряют и увеличивающееся количество осадков. Этот период знаменует начало весеннего сезона. В конце весны также увеличивается количество осадков, достигая 70-94 мм за месяц.

Весной также увеличивается количество туманных дней и их продолжительность: от 1-3 дней в центральных районах до 11-13 дней на побережьях. Вместе с температурными изменениями начинают меняться и

ветры. В континентальных районах туманы чаще всего связаны с холодными воздушными массами, которые приходят с севера. На побережьях туманы могут быть вызваны как холодными, так и теплыми воздушными потоками. В начале весны прибрежные районы испытывают воздействие зимнего муссона, который приносит холодные воздушные массы с континента. Однако, уже к середине весны муссон начинает ослабевать, и на его место приходят теплые воздушные потоки с океана. Это приводит к образованию туманов, которые могут сохраняться на протяжении нескольких дней.

Лето в Приморском крае начинается как засушливый и жаркий период в континентальной части края, но туманный и дождливый на побережье. С июля увеличивается влажность и повсеместно начинают идти сильные и частые дожди. Температурный фон находится в пределах +12...+17 гр., а ночные заморозки прекращаются. В начале лета штормовые ситуации, связанные с ветром, возникают нечасто – лишь когда холодные ВМ с Охотского моря переходят на прибрежные территории, ветер может усиливаться до 20 м/с.

Летняя муссонная циркуляция достигает своей максимальной силы в июле-августе. В это время суточные максимальные температуры воздуха могут достигать +35...+40°.

Летний сезон в Приморском крае характеризуется также сезоном сильных дождей. Сильными дождями по руководящим документам Приморского УГМС считается выпадение не менее 30 мм осадков менее чем за 1 час, а очень сильными дождями принято считать выпадение не менее 50 мм осадков не более чем за 12 часов. Также для этого периода года характерны случаи продолжительных ливней. В таких ситуациях за 1-2 дня может выпасть более 100 мм осадков, а иногда дожди задерживаются и на несколько дней, тогда количество осадков превышает 120 мм [12].

Ливни чаще всего связаны с тайфунами и южными циклонами, которые приходят с юго-востока по морским траекториям.

К осени средняя температура воздуха на континентальной части понижается на 7 градусов, на побережье Японского моря понижение не столь стремительно – лишь до четырёх градусов. Таким образом, температурный фон днём варьируется в пределах +19...+24 градусов. В ночные часы к концу сентября в долинах и предгорьях хребта в отдельные дни могут уже фиксироваться заморозки.

Количество осадков в начале осени постепенно снижается, составляя в среднем около 80-140 мм. Синоптическая ситуация тоже становится более устойчивой и предсказуемой. Хотя редкие тропические циклоны ещё могут посещать Приморский край, они всё реже сопровождаются грозами (менее 3 случаев в месяц) и туманами (до 6 случаев).

С октября начинается холодный сезон. Средняя температура воздуха опускается ещё ниже – в среднем на 7-9 градусов, а в конце октября в долинах рек и на вершинах Сихотэ-Алиня уже отмечаются отрицательные температуры воздуха.

Для октября также характерен переход от дождей к смешанным осадкам, а в отдельных случаях и снегу. При этом их количество постепенно уменьшается, что свидетельствует о переходе от дождливого сезона к более сухому и холодному периоду.

Туманных дней в октябре становится меньше, что связано с уменьшением влажности воздуха и общим похолоданием.

В ноябре Приморский край сталкивается с сильными ветрами зимнего муссона. В этот период скорость ветра может достигать более 35-40 м/с. Средние значения температурного фона в ноябре варьируются от -4 до -13 градусов. В ночные часы температурные значения опускаются до -5...-10 градусов, а в некоторых случаях могут достигать -35 градусов.

Осадки в ноябре идут преимущественно в мокрого снега или снега, хотя в отдельные дни сохраняется вероятность кратковременных дождей. При этом

увеличивается вероятность выпадения сильных осадков, благодаря чему формируется устойчивый снежный покров.

3. ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО РЕЖИМА НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В ПЕРИОД ЛЕТНИХ АНОМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ

3.1 Определение цели и задач диссертации

Целью выпускной квалификационной работы ставится определение синоптических процессов и их особенностей, формирующих циркуляционный режим на юге Дальнего Востока в летний период аномальных осадков.

На южных территориях Дальнего Востока России в период с июня по сентябрь выпадает более 60% годового объема осадков. На климат в это время года влияет Азиатский муссон, за счет которого в регионе увеличивается активность циклонических движений, достигая наибольшего количества фиксируемых циклонов за весь год, что естественным образом влияет на режим осадков, увеличивая их количество, интенсивность и повторяемость [13, 14].

Хотя акцент в исследовании делается на исследование режима осадков в летний сезон, сентябрь также является одним из наиболее значимых месяцев в рассматриваемом нами периоде аномальных осадков, поэтому в нашей работе был исследован и он, чтобы получить наиболее полную картину как о синоптических процессах в период максимального увлажнения рассматриваемой территории, так и о непосредственно полном режиме аномальных осадков теплого полугодия на юге Дальнего Востока.

Для достижения поставленных целей необходимо было решить следующие задачи.

На основе приземных карт погоды и карт реанализа необходимо было построить траектории циклонов в июне-сентябре за период с 1980 года по 2020 год над территорией юга Дальнего Востока и повести их анализ.

Далее важно было определить характерные траектории барических объектов, осреднить их и оценить их повторяемость.

Затем необходимо было провести анализ сезонного и среднемесячного режим осадков, после чего выделить дни с аномальными суммами осадков на рассматриваемых нами метеорологических станциях.

После анализа архива аномальных осадков нам нужно было по картам оценить синоптические ситуации в каждом случае выпадения большого количества осадков на метеостанциях рассматриваемого региона и сопоставить с полученными траекториями циклонов.

Сопоставив данные по аномальным осадкам и характерным траекториям циклонических образований, следующей задачей стоял анализ влияния выявленных траекторий на режим осадков в июне-сентябре на территории юга Дальнего Востока.

В заключении предстояло сделать оценку вклада различных траекторий циклонов в режим летних аномальных осадков и определить влияние их особенностей.

3.2 Создание базы данных траекторий барических образований и её анализ

Первым шагом нашей работы стало создание базы данных о барических образованиях в июне за период с 1980 года по 2020 год.

Для исследования на южной территории Дальнего Востока России были выбраны 11 метеорологических станций (рисунок 3.2.1):

- Пограничный (31915);
- Владивосток (31960);
- Преображение (31989);
- Свягино (31931);
- Терней (31909);

- Красный Яр (31845);
- Лермонтовка (31788);
- Хабаровск (31735);
- Смидович (31725);
- Солекуль (31677);
- Нижнетамбовское (31562).

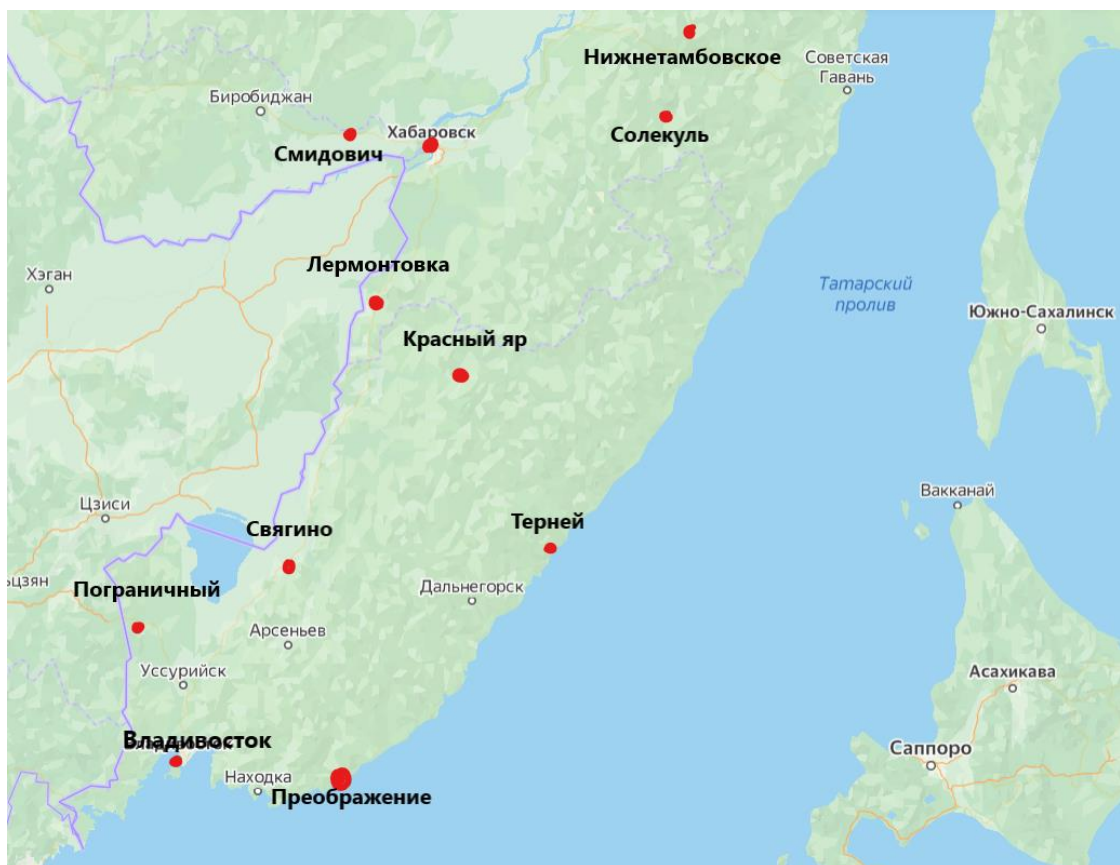


Рисунок 3.2.1 – Расположение выбранных метеорологических станций на карте

Для подробного изучения ежедневной синоптической ситуации в интересующие нас месяцы с 1980 по 2020 год были использованы приземные карты барической топографии «MERRA-2», которые анализировались каждые три часа [15]. Таким образом, мы могли отслеживать и строить точные траектории движения воздушных масс, а также учитывать возникающие между сроками барические образования. Такой подход обеспечил

всесторонний анализ и выявление закономерностей, важных для понимания климатических процессов.

Для создания архива использовались как ручной метод (отрисовка траекторий на бумажных картах вручную), так и электронный. Пример оформления одной из отрисованных вручную карт с траекториями показан на рисунке 3.2.2., где можно увидеть траектории всех барических образований за июнь 2020 года.



Рисунок 3.2.2 – Карта траекторий антициклонов (красные линии) и циклонов (синие линии) за июнь 2020 года

Зафиксировав и детально изучив все траектории циклонических систем, которые оказывали как-либо влияние на режим осадков на юге Дальнего Востока, мы осреднили их и выявили «общие» траектории, которые показали на карте. Пример такой карты для июня представлен на рисунке 3.2.3.



Рисунок 3.2.3 – Обобщённые траектории циклонов в июне

Следующим шагом было деление полученных траекторий на две группы. К первой группе относились циклоны, которые влияли на климатический режим рассматриваемого нами региона, но их траектории

движения не пересекали его непосредственно, проходя рядом. Такие траектории были названы «косвенными». Ко второй группе, группе «прямых» траекторий, отнесли циклонические траектории, пересекающие исследуемую область. Принцип деления траекторий на «прямые» и «косвенные» сохранялся на протяжении всего исследования для всех месяцев.

Примеры траекторий циклонов представлены на рисунках 3.2.4 и 3.2.5.



Рисунок 3.2.4 – Примеры «косвенных» траекторий циклонов в июне



Рисунок 3.2.5 – Примеры «прямых» траекторий циклонов в июне

Рассмотрим географию движения полученных траекторий.

Траектория «1к» – очаг зарождения циклонов находится в Восточно-Сибирском море, откуда далее циклоны движутся через материк к Магаданской области, где происходит их заполнение.

Траектория «2к» начинается в Охотском море. Развиваясь, циклоны пересекают Камчатский полуостров и Алеутские острова, двигаясь в северо-

восточном направлении. Завершается траектория в Беринговом море, где циклоны заполняются.

Траектория «3к» – начинаясь на востоке Филиппинского моря, пролегает через Японское море, КНДР, юг Дальнего Востока и через южные воды Охотского моря, выходят в Тихий океан, где заполняются.

Путь циклонов траектории «1н» начинается на севере Филиппинского моря. Развиваясь, циклонические системы проходят через Японские острова и доходят до Алеутских островов. В некоторых случаях эти циклоны могут соединяться с циклонами траектории «2к» и регенерировать, продолжая движение по новому пути уже в качестве новой циклонической системы над океаном.

Траектория «2н» – пролегает от южных территорий Казахстана по северному Китаю к Приморью, заканчиваясь на побережье или в западной акватории Охотского моря.

Циклоны траектории «3н» зарождаются в северной части Средне-Сибирской низменности, недалеко от полуострова Таймыр. Они продвигаются по северу Якутии и заполняются в Красноярском крае.

Циклонические системы траектории «4н» приходят из Западной Сибири и двигаются через Среднесибирское плоскогорье к берегам Охотского моря.

3.3 Анализ траекторий циклонов, влияющих на режим аномальных осадков на юге Дальнего Востока в июне

Для анализа осадков из базы Мирового банка данных ВНИИГМЦД МЦД [16] были взяты необходимые нам архивы рассматриваемых метеостанций. Осадки на каждой метеорологической станции за каждый месяц с июня по сентябрь 1980-2020 гг. были проанализированы, после чего для дальнейшей работы нами были выбраны дни с аномальным количеством выпавших

осадков на станциях. Аномальными значениями осадков считались случаи выпадения суточных сумм от 30 мм и более [17].

В процессе исследования для удобства работы архив данных по количеству аномальных осадков на метеорологических станциях был сопоставлен с картами циклонических траекторий, в результате чего был сформирован архив данных по количеству выпавших аномальных осадков и соответствующих им траекториям барических образований, часть которого представлена в приложении 1.

После анализа совмещенных архивов случаи выпадения аномальных осадков были разделены на «единичные» и «ансамблевые». К «единичным» относились случаи выпадения аномального количества осадков на одной метеорологической станции. «Ансамблевыми» случаями считались случаи выпадения аномальных осадков на двух и более станциях.

Таким образом, проанализировав имеющиеся архивы, в июне за сорокалетний период исследования было выявлено 88 случаев циклонов, сопровождавшихся выпадением аномальных осадков на исследуемой территории (таблица 3.3.1). Из них 40 – единичных случаев циклонов с аномальными осадками, и 48 – ансамблевых.

Таблица 3.3.1 – Общее количество циклонов различных траекторий в июне с 1980 по 2020 гг. и их повторяемость

	№ траектории				
	3к	1н	2н	3н	4н
Количество циклонов	33	1	44	2	8
Повторяемость циклонов, %	38	1	50	2	9

В таблице 3.3.2 представлена информация о количестве циклонов различных траекторий единичной группы и сумме принесённых ими осадков.

Таблица 3.3.2 – Количество циклонов различных траекторий единичной группы и суммы принесённых ими осадков в июне

№ траектории	3к	1н	2н	3н	4н
Количество циклонов	20	1	13	2	4
Сумма осадков, мм	847,3	36,7	567,4	87,9	155,6

На рисунке 3.3.1 в качестве примера движения циклона по траектории «1н» представлены фрагменты карт реанализа «MERRA-2» с выделенной стрелкой зоной выпадения аномальных осадков на рассматриваемой нами территории.

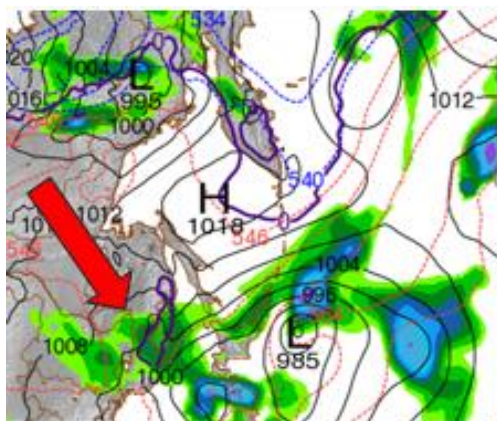


Рисунок «а» – осадки в зоне окклюзии на востоке области исследования

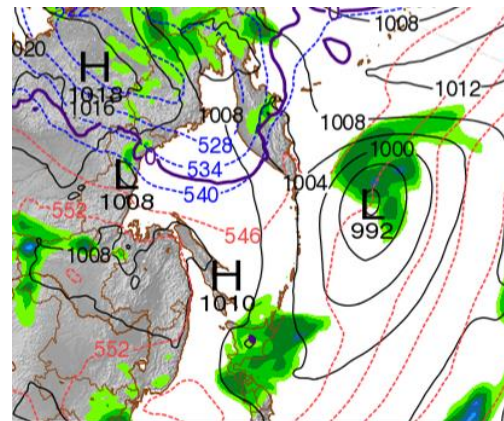


Рисунок «б» – циклон ушёл восточнее Камчатки

Рисунок 3.3.1 – Движение циклона по траектории «1н» и выпавшие над областью исследования осадки

На рисунке 3.3.2 представлена информация о количестве циклонов различных траекторий, относящихся к единичной группе, и о суммах принесённых ими осадков.

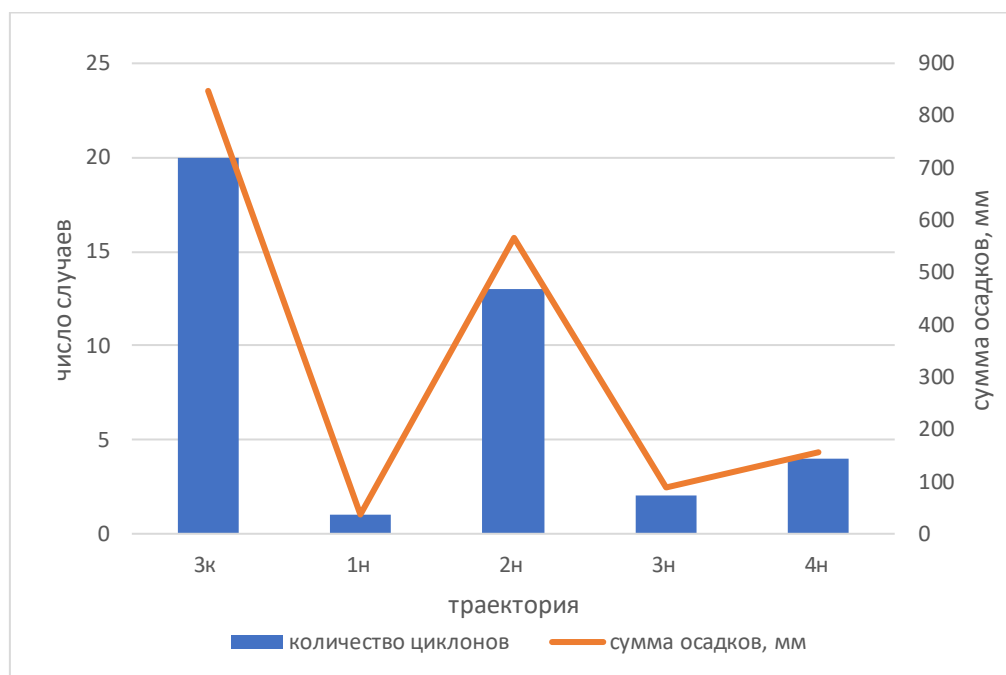


Рисунок 3.3.2 – Количество циклонов различных траекторий единичной группы и суммы принесённых ими осадков в июне

Циклоны ансамблевой группы вносят больший вклад в режим осадков на юге Дальнего Востока в сравнении с циклонами единичной группы. Данные о их количестве и сумма приносимых ими осадков представлены в таблице 3.3.3.

Таблица 3.3.3 – Количество циклонов различных траекторий ансамблевой группы и суммы принесённых ими осадков в июне

№ траектории	3к	2н	4н
Количество циклонов	13	31	4
Сумма осадков, мм	1817,8	4286	526,6

Из графика (рисунок 3.3.3) и таблицы видно, что наиболее влиятельными и часто повторяющимися циклонами из ансамблевой группы являются циклонические системы, проходящие по траектории «2н».

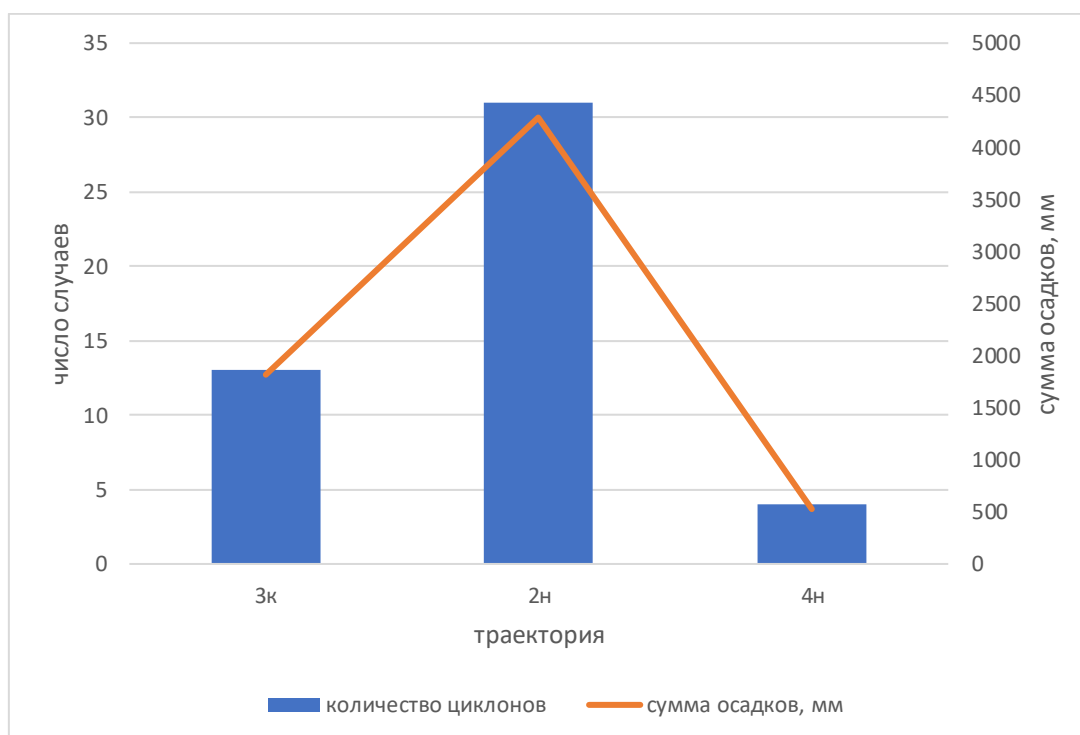


Рисунок 3.3.3 – Количество циклонов различных траекторий ансамблевой группы и суммы принесённых ими осадков в июне

В качестве примера на рисунке 3.3.4 показано прохождение циклона по траектории «2н» и сопутствующие ей зоны осадков.

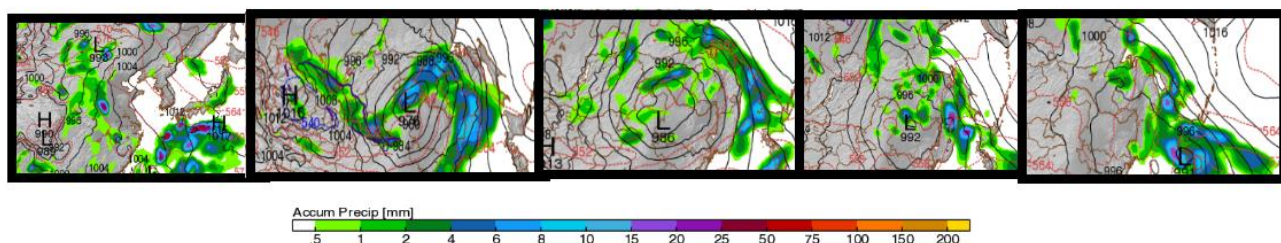


Рисунок 3.3.4 – Пример прохождения циклона по траектории «2н»

18-22.06.2009 г. при выпадении аномального количества осадков

Представленный циклон начал свой путь с северных территорий Китая с давлением в центре около 993 гПа. Подойдя к концу дня к западным склонам Большого Хингана, циклон углубился, его фронтальные зоны обострились, а давление в центре упало на 10 гПа. 19 числа зона умеренных осадков уже пришла на территорию юга Дальнего Востока, а центр циклона перешёл горный хребет. За следующие сутки аномальные осадки от 30 до 55 мм отметились на пяти метеорологических станциях рассматриваемой территории (в Смидовиче выпало 30 мм осадков за сутки, в Хабаровске – 32 мм, на метеостанции «Красный Яр» – 40 мм, в Тернее – 34 мм, во Владивостоке – 55 мм). 21 июня циклон начал заполняться, количество и интенсивность осадков существенно уменьшились, и он бы прекратил своё существование, но 22 июня с юга в акваторию Татарского пролива пришел один из циклонов морских траекторий, который слился с заполняющимся континентальным циклоном и продолжил своё движение к Тихому океану.

После анализа базы данных по аномальным осадкам и соответствующим им траектория циклонов приходим к следующим выводам.

Было выявлено, что наибольшую повторяемость среди единичных случаев имеют циклоны траекторий «3к» (50% случаев от общего количества) и «2н» (33% случаев от общего количества). В ансамблевых случаях – это циклонические образования траектории «2н» (65% случаев от общего

количества). При этом им же принадлежит наибольший вклад в суммарное количество аномальных осадков.

В исследовании нами также был поднят вопрос о том, насколько большую часть рассматриваемого региона могут захватывать аномальными осадками циклоны различных траекторий. Для изучения данного вопроса был заново проанализирован составленный нами архив данных по аномальным осадкам со станций и соответствующим им траекториям циклонов. Результаты этого исследования представлены в таблице 3.3.5.

Таблица 3.3.5 – Территориальный охват траекторий циклонов
по случаям выпадения аномальных осадков на станциях в июне

№ траектории	3к	1н	2н	3н	4н
Количество циклонов	33	1	44	2	4
Охват по количеству станций	1-3	1	1-7	1	1-4
Кол-во случаев охвата 6 и более станций	-	-	1	-	-

В результате выяснилось, что в июне за период с 1980 по 2020 года был лишь один случай прохождения циклона, который отметился аномальными осадками на большей части территории. Данное событие принадлежало циклону траектории «2н», который при прохождении через Приморье стал причиной выпадения аномального количества осадков на 7 станциях.

3.4 Анализ траекторий циклонов, влияющих на режим аномальных осадков на юге Дальнего Востока в июле

Аналогично июньским картам, был собран и проанализирован архив карт для июля в период с 1980 по 2020 гг.

Основная циклоническая циркуляционная деятельность в середине лета происходила над водами Японского моря у восточного побережья Дальнего Востока и островов Японии, а также над горными системами северной части Тибетского нагорья. Траектории циклонов имели преимущественно северо-восточное направление.



Рисунок 3.4.1 – Обобщённые траектории циклонов для июля

Рассмотрим географию движения полученных траекторий.

Траектория «2к» в июне начиналась у западных берегов Охотского моря, проходила через южную акваторию Западных Алеутских островов и пересекала их в северо-восточном направлении, заканчиваясь в Беринговом

море. В июле очаг зарождения циклонов данной траектории сместился на северо-восток Китая, откуда циклоны движутся через Приморский край и Курильские острова, заканчивая свой жизненный цикл в океане или регенерируя, благодаря слиянию с циклонами морских траекторий с Филиппинского моря («3к» или «1н»).

Траектория «3к» не претерпела существенных изменений.

Траектория «1н» немного увеличилась, имея теперь большую кривизну, в сравнении с положением в июне, и очаг зарождения циклонов ближе к Марианским островам.

Траектория «2н» в июле сместилась южнее, образуя мощный циклонический очаг в северной части Тибетского нагорья. Перемещаясь вдоль горной системы Наньшань и пересекая территории Монголии и северо-восточного Китая, циклоны выходят на Приморский край, принося наибольшее количество осадков в сравнении с другими видами траекторий, и заполняются в Тихом океане или Охотском море.

Начало траектории «3н» в июле опустилось ещё немного южнее в северную часть Среднесибирского плоскогорья, однако дальнейший путь не изменился.

Путь траектории «4н» существенно не изменился.

Примеры построения «прямых» и «косвенных» траекторий циклонических образований в июле приведены на рисунках 3.4.2-3.4.7.

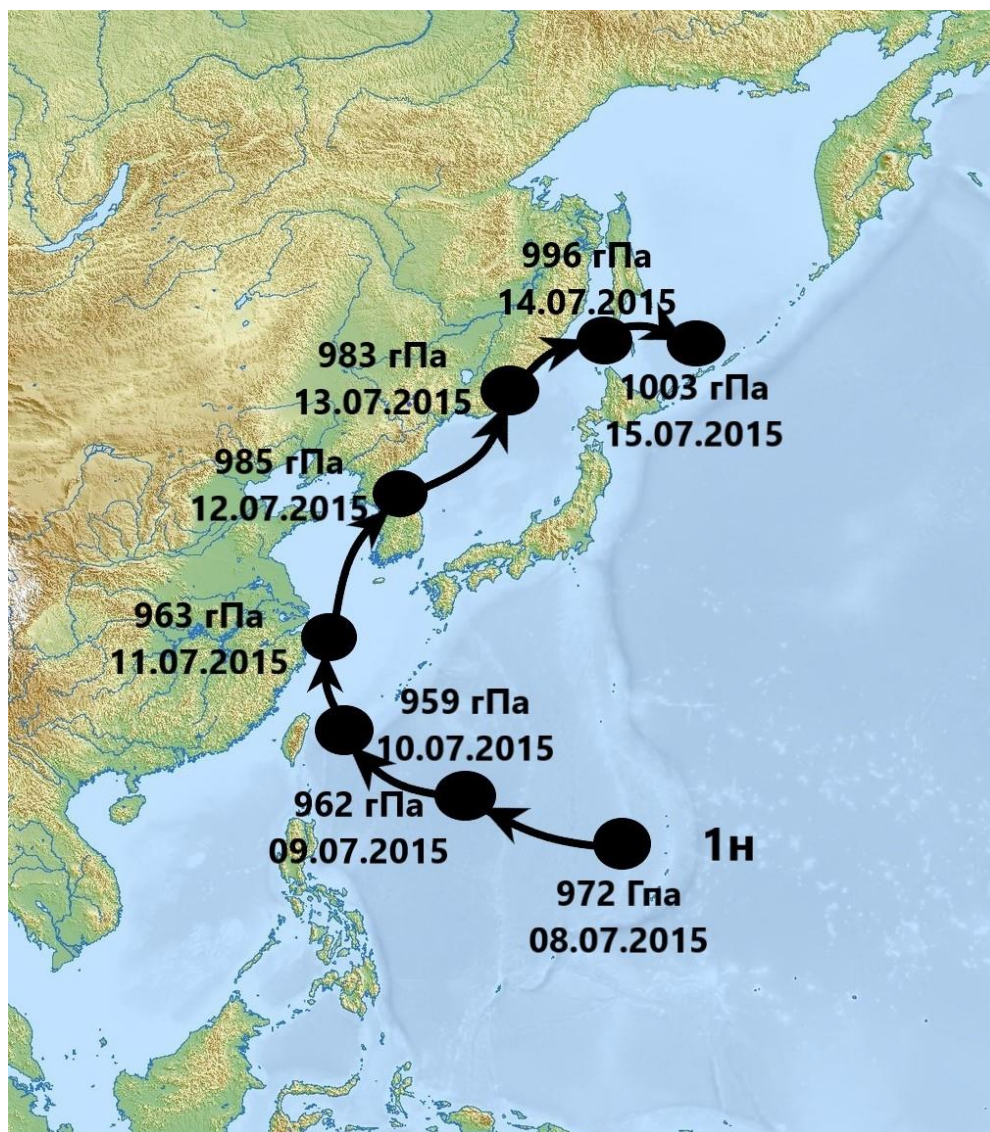


Рисунок 3.4.2 – Пример построения траектории «1н»

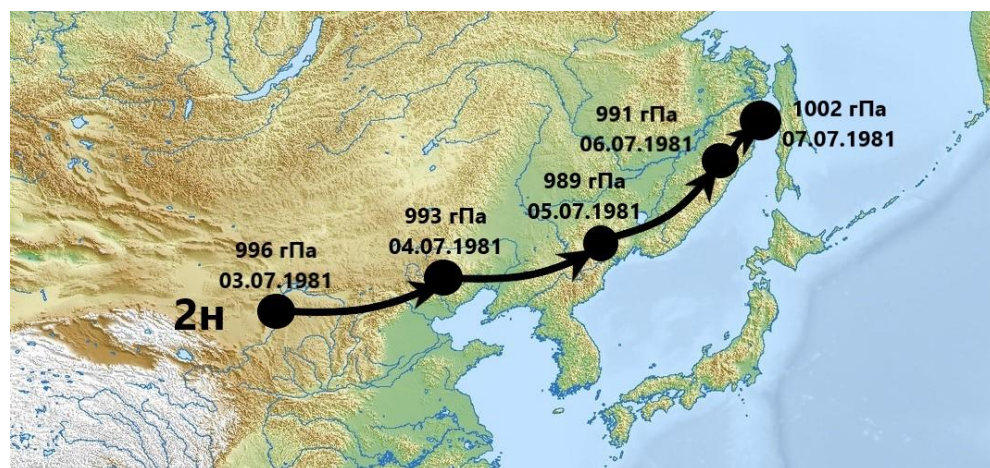


Рисунок 3.4.3 – Пример построения траектории «2н»

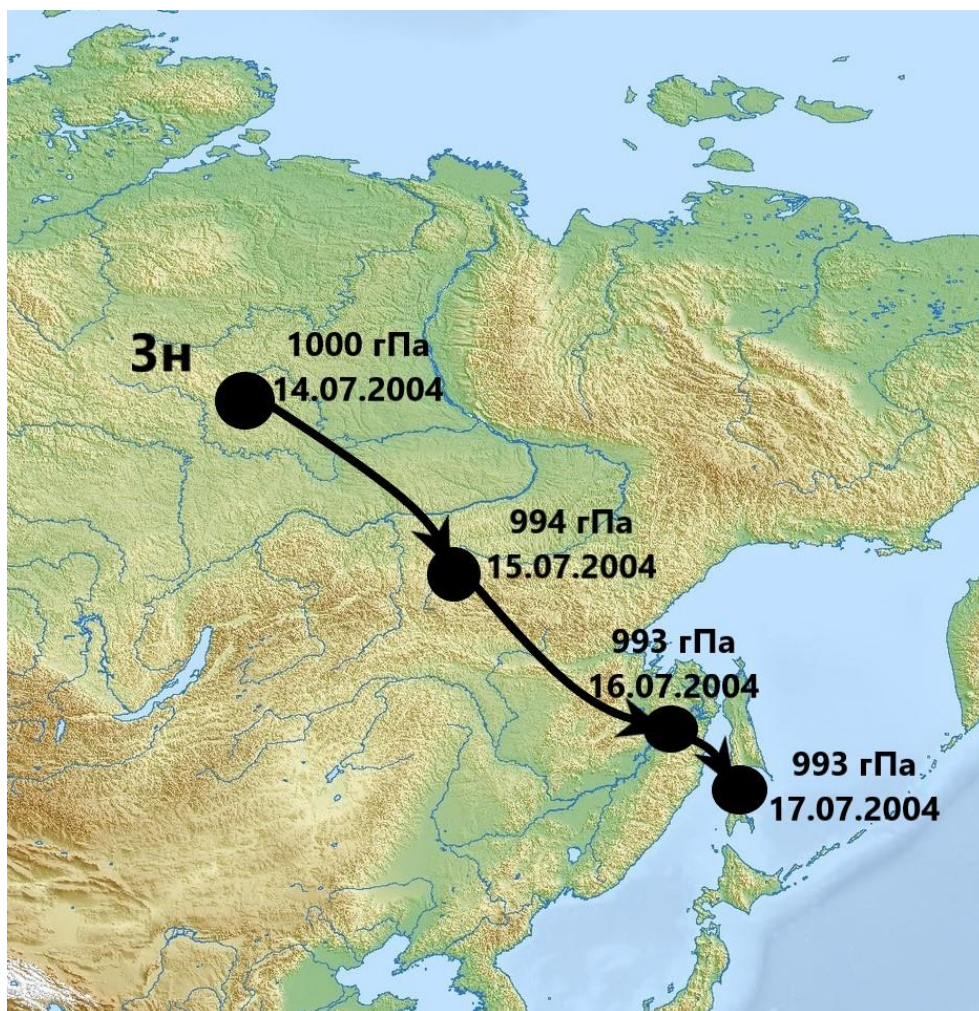


Рисунок 3.4.4 – Пример построения траектории «3н»

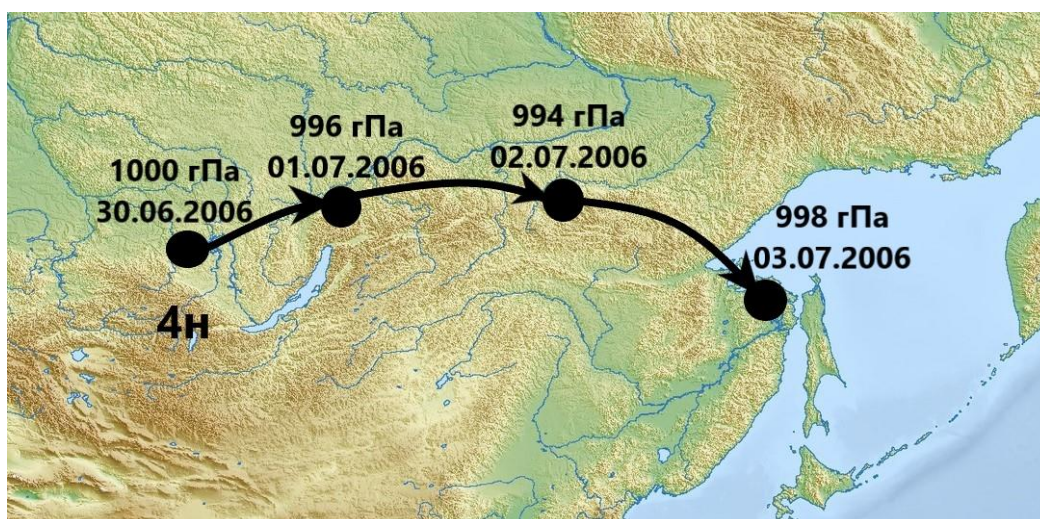


Рисунок 3.4.5 – Пример построения траектории «4н»

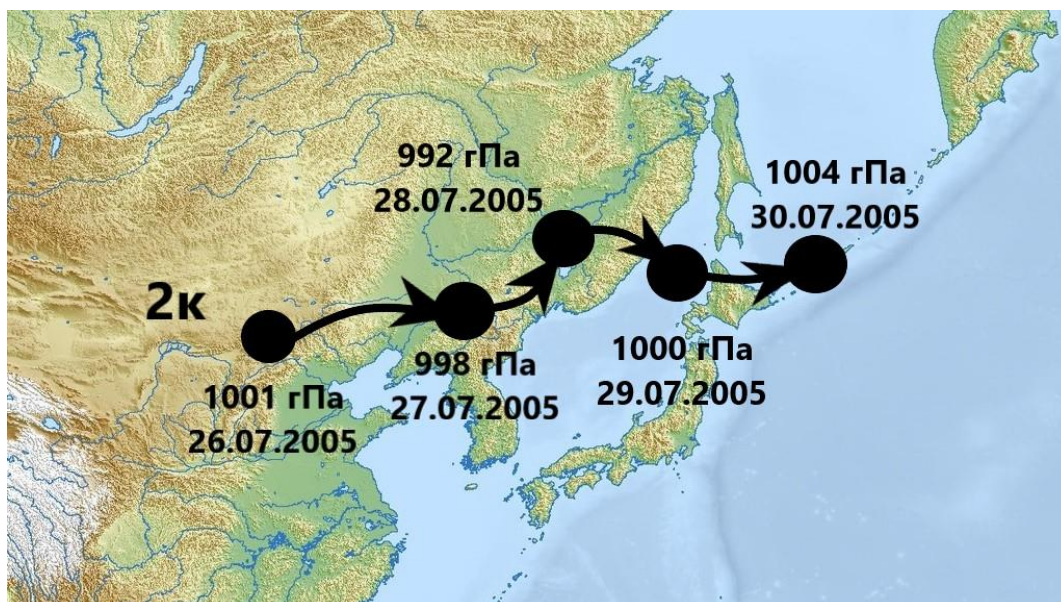


Рисунок 3.4.6 – Пример построения траектории «2к»

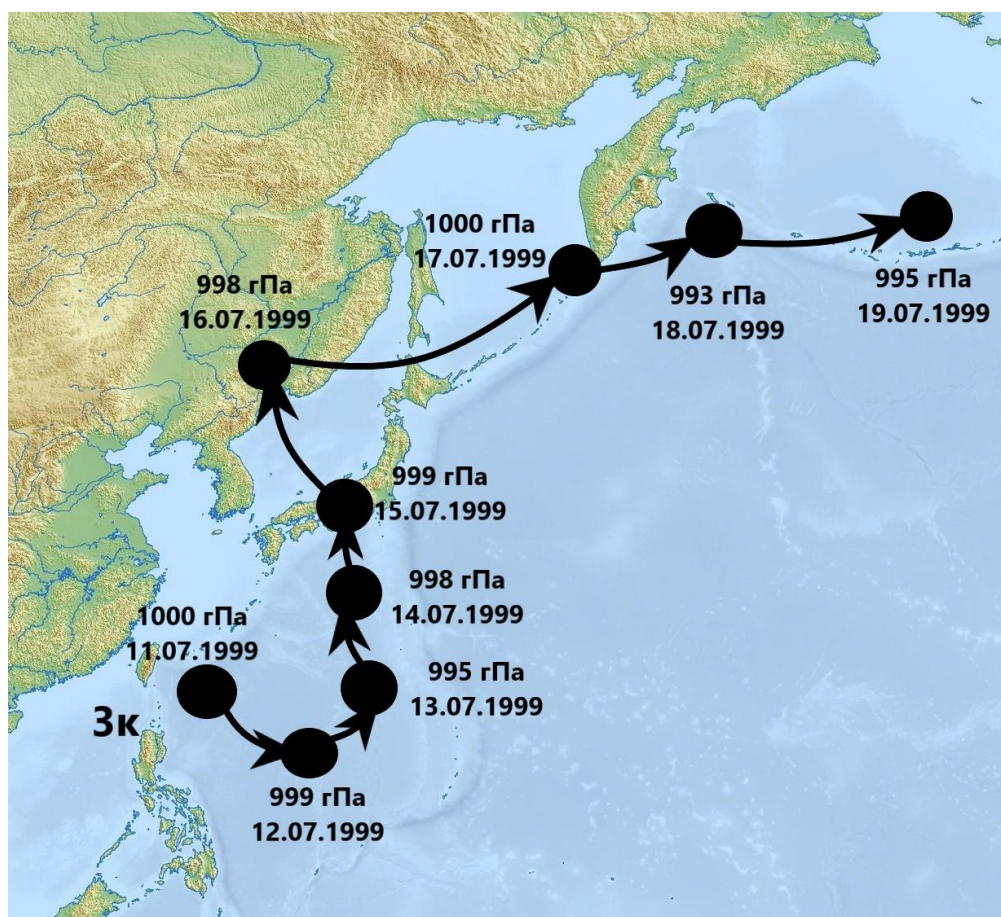


Рисунок 3.4.7 – Пример построения траектории «3к»

В период с 1980 по 2020 гг. было отмечено и подвергнуто анализу 188 циклонов. Рассматривая таблицу 3.4.1 о повторяемости различных траекторий циклонов в июле за период с 1980 года по 2020 год, можно увидеть, что наибольшую повторяемость имели циклоны, проходившие по траектории «2н» (60 % от общего числа циклонов).

Таблица 3.4.1 – Общее количество циклонов различных траекторий в июле с 1980 по 2020 гг.

	№ траектории					
	3к	1н	2н	2к	3н	4н
Количество циклонов	18	11	112	36	3	8
Повторяемость циклонов, %	10	6	60	19	2	3

На рисунке 3.4.8 показано количество различных траекторий циклонов единичной группы и суммы принесённых ими осадков. В таблице 3.4.2 представлены непосредственно числовые данные по данной группе.

Таблица 3.4.2 – Количество циклонов различных траекторий единичной группы и суммы принесённых ими осадков в июле

	№ траектории					
	3к	1н	2н	2к	3н	4н
Количество циклонов	8	6	53	12	8	2
Сумма осадков, мм	361,4	210,4	2372,7	526	310,5	130,6

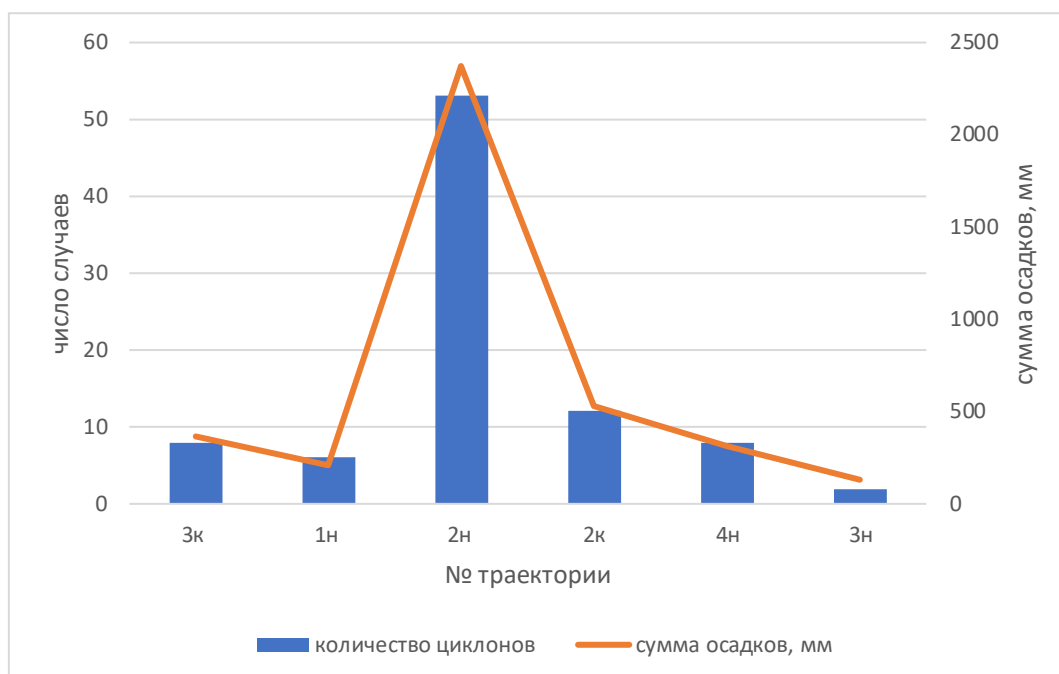


Рисунок 3.4.8 – Количество циклонов различных траекторий единичной группы и суммы принесённых ими осадков в июле

Из данных видно, что подавляющее большинство циклонов (60% от общего количества единичных случаев) приходились на траекторию «2н».

Аналогичную ситуацию с тем же процентным вкладом можно наблюдать и в ансамблевой группе на рисунке 3.4.9 и таблице 3.4.3.

Таблица 3.4.3 – Количество циклонов различных траекторий ансамблевой группы и суммы принесённых ими осадков в июле

	№ траектории				
	Зк	1н	2н	2к	3н
Количество циклонов	10	5	59	24	1
Сумма осадков, мм	1718,9	1315,7	11323,3	4129,7	74,7

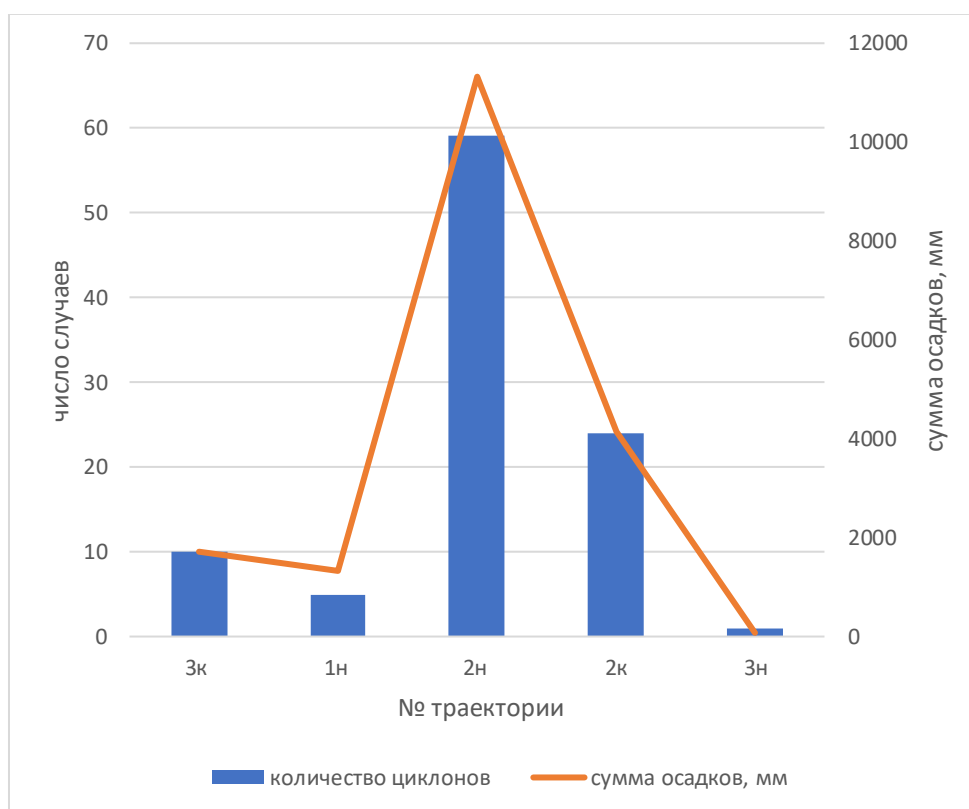


Рисунок 3.4.9 – Количество циклонов различных траекторий ансамблевой группы и суммы принесённых ими осадков в июле

При просмотре архивов погоды за рассматриваемое время было замечено, что в июле обильные и продолжительные осадки связаны в основном с континентальными циклонами с территорий горных систем

на севере Китая, тогда как океанические циклоны, проходящие через Японское море, отличались меньшим количеством осадков.

Также стоит обратить внимание и на то, что в июле, по сравнению с первым летним месяцем, количество циклонов увеличилось более чем в 2 раза.

Относительно охвата циклонами с аномальными осадками исследуемой территории можно сказать, что за сорокалетний период наблюдений в июле лишь небольшое количество циклонов были достаточно мощными, чтобы отметиться аномальными осадками на большинстве станций (таблица 3.4.4).

Таблица 3.4.4 – Территориальный охват траекторий циклонов
по случаям выпадения аномальных осадков на станциях в июле

№ траектории	3к	1н	2н	2к	3н	4н
Количество циклонов	18	11	112	36	9	4
Охват по количеству станций	1-10	1-10	1-9	1-6	1-2	1
Кол-во случаев охвата 6 и более станций	1	1	6	1	-	-

Следует отметить, что единичные случаи выпадения аномальных осадков на 10 станциях являлись следствиями выхода тайфунов траекторий «3к» и «1н» на южную часть Дальнего Востока.

3.5 Анализ траекторий циклонов, влияющих на режим аномальных осадков на юге Дальнего Востока в августе

В августе при анализе карт и составлении траекторий выяснилось, что их пути изменились ещё сильнее в сравнении с предыдущими месяцами, что отчетливо видно на рисунке 3.5.1.



Рисунок 3.5.1 – Обобщённые траектории циклонов в августе

В ходе исследования видим, что начало траектории «4н», которое в первые месяцы увлажнённого периода находилось в Западной Сибири, теперь сместилось в Забайкалье, и оттуда уже циклоны движутся к побережью Охотского моря.

Изменения претерпела и траектория «2н». В связи с частым антициклоническим блоком, возникающем на севере Китая в августе, путь движения циклонических образований сместился ближе к Корейскому полуострову и морям.

Траектория «3к» не изменила своего осреднённого маршрута, однако были замечены случаи прохождения циклонов этой траектории через восточную часть Китая и Восточно-Китайское море.

Циклонов по путям «3н» и «1к» в августе не наблюдалось, а остальные траектории («2к» и «1н») существенных изменений не претерпели.

Примеры построения траекторий циклонов для данного приведены ниже на рисунках 3.5.2-3.5.6.

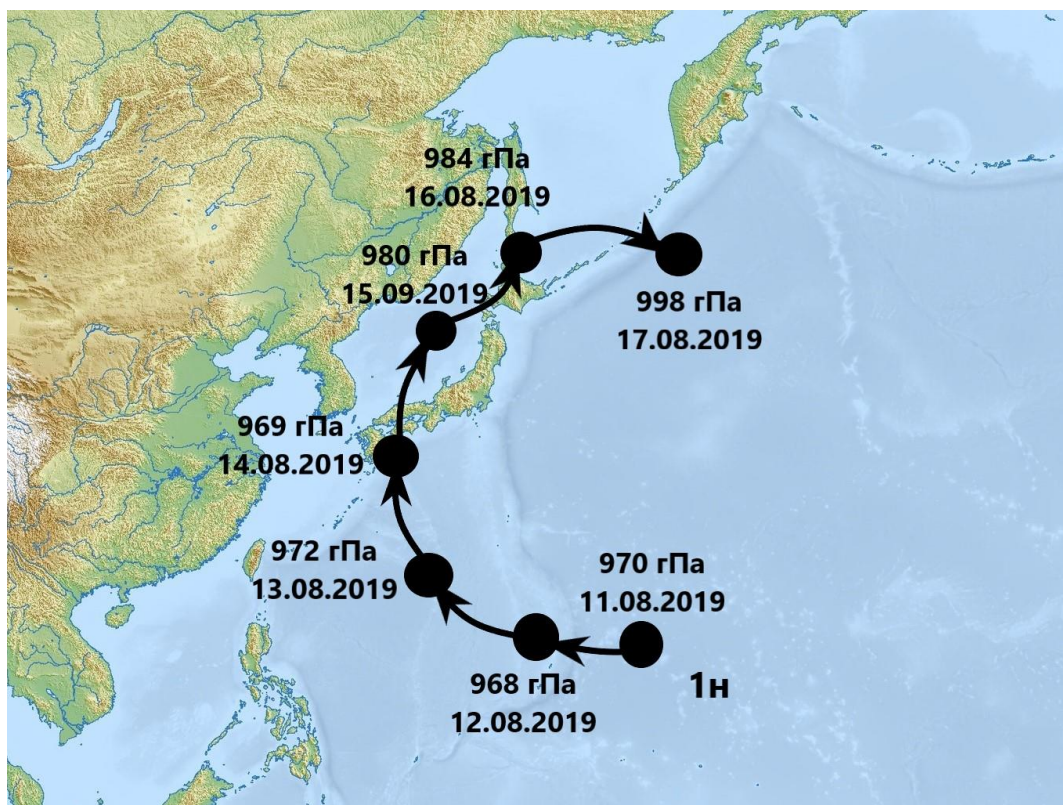


Рисунок 3.5.2 – Пример построения траектории «1н»

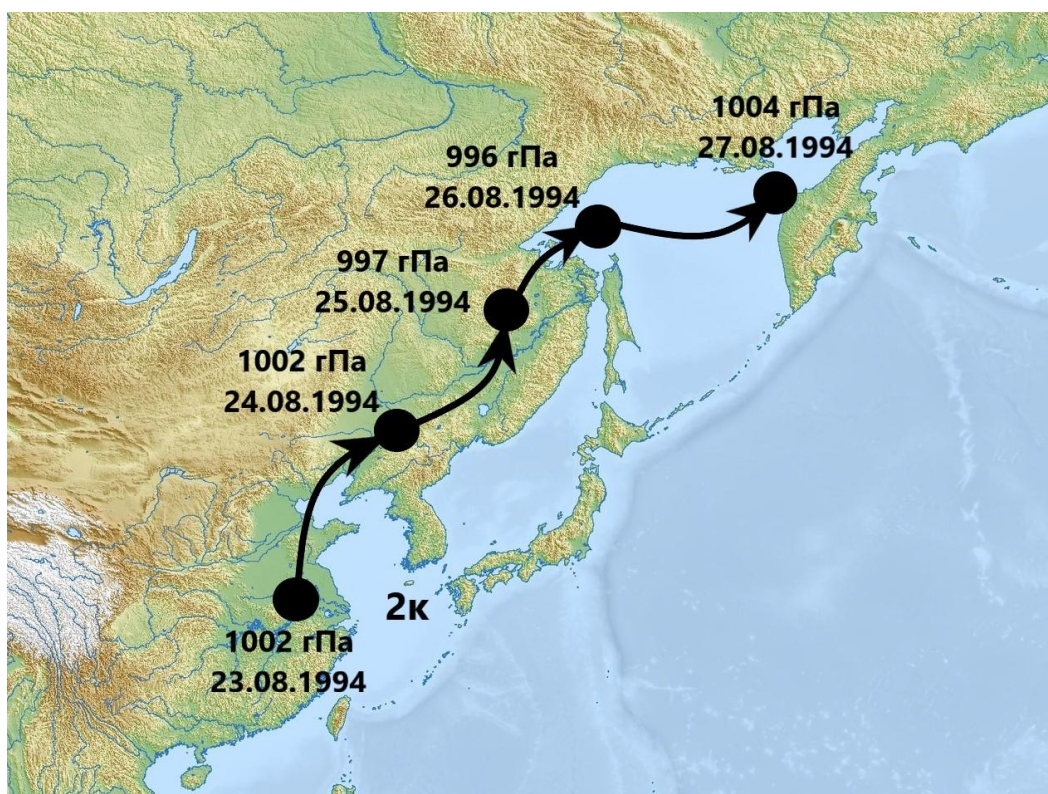


Рисунок 3.5.3 – Пример построения траектории «2к»

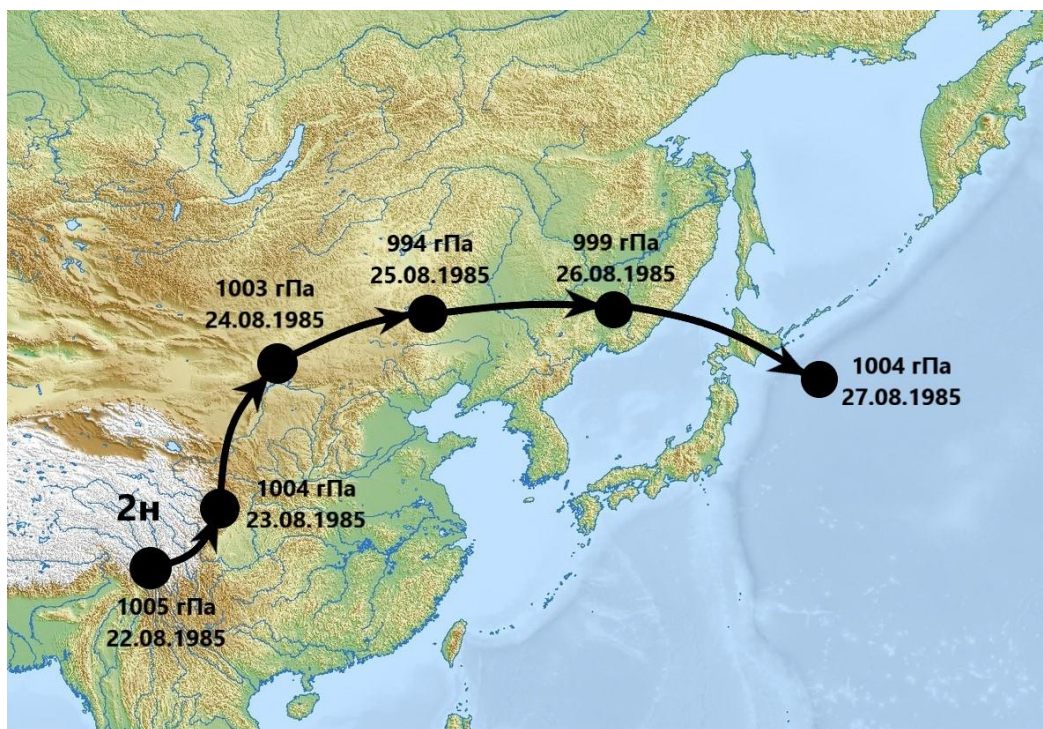


Рисунок 3.5.4 – Пример построения траектории «2н»

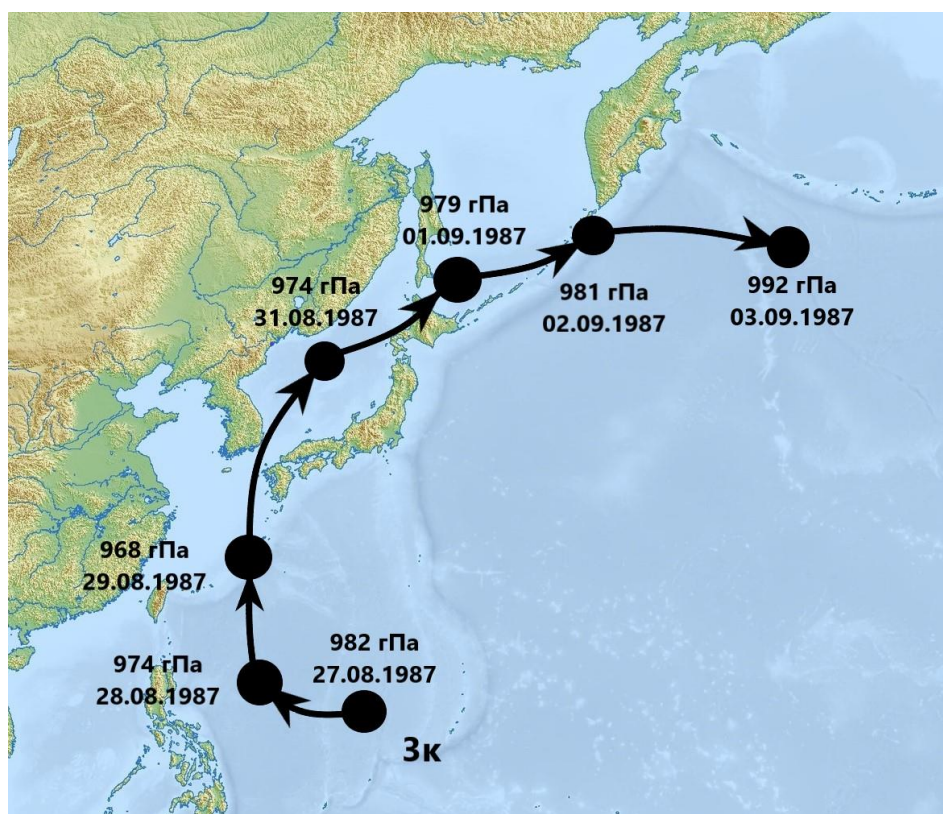


Рисунок 3.5.5 – Пример построения траектории «3к»

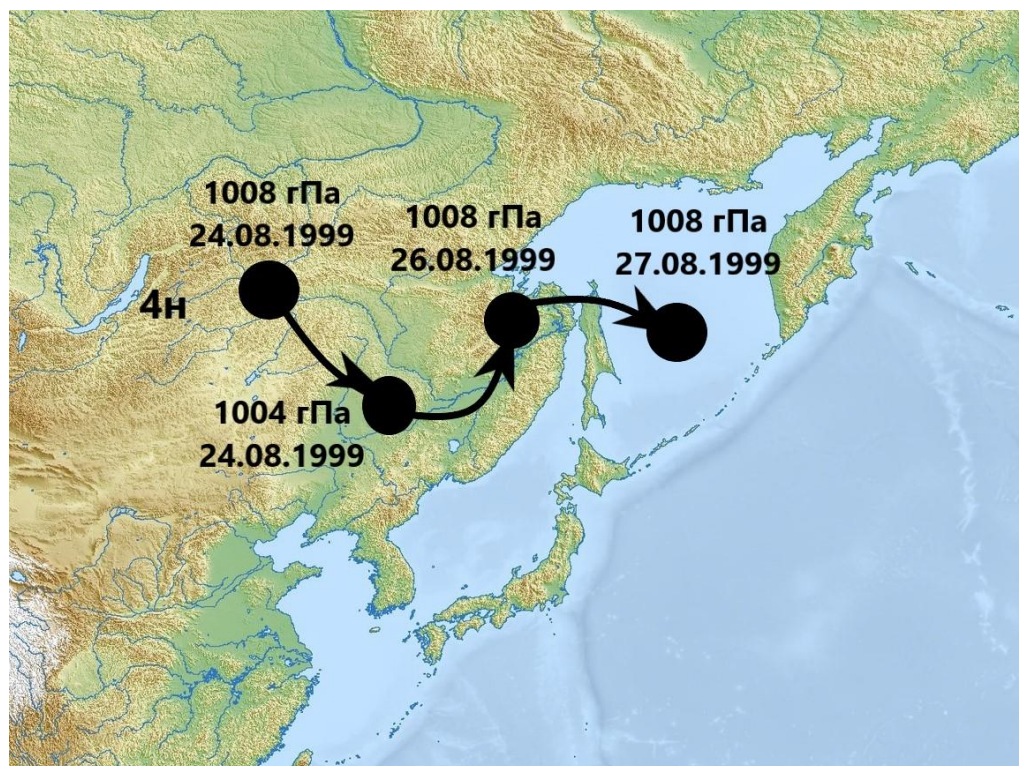


Рисунок 3.5.6 – Пример построения траектории «4н»

При анализе данных по августу за сорокалетний период был отмечен 191 случай прохождения циклонов. Из данных о повторяемости различных траекторий циклонов в августе за указанный период в таблице 3.5.1, можно сказать о том, что подавляющее большинство циклонов в данный период относились к траектории «2н» (49 % от общего числа циклонов).

Таблица 3.5.1 – Общее количество циклонов различных траекторий в августе с 1980 по 2020 гг.

	№ траектории				
	3к	1н	2н	2к	4н
Количество циклонов	23	19	94	41	14
Повторяемость циклонов, %	12	10	49	22	7

Из общего числа было выделено 80 случаев прохождений циклонов с выпадением аномальных осадков единичной группы (таблица 3.5.2 и рисунок 3.5.7) и 111 случаев траекторий ансамблевой группы (таблица 3.5.3 и рисунок 3.5.8).

Таблица 3.5.2 – Количество циклонов различных траекторий единичной группы и суммы принесённых ими осадков в августе

	№ траектории				
	3к	1н	2н	2к	4н
Количество циклонов	10	8	44	14	4
Сумма осадков, мм	533,7	573,4	1928,5	699,6	148,7

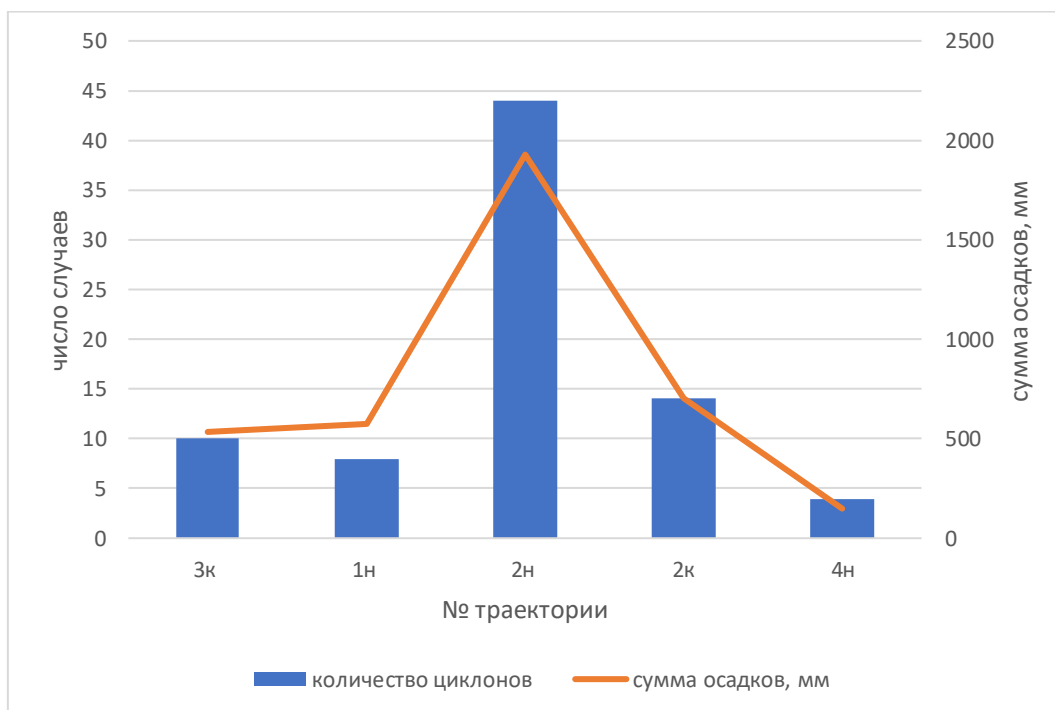


Рисунок 3.5.7 – Количество циклонов различных траекторий единичной группы и суммы принесённых ими осадков в августе

Таблица 3.5.3 – Количество циклонов различных траекторий ансамблевой группы и суммы принесённых ими осадков в августе

	№ траектории				
	3к	1н	2н	2к	4н
Количество циклонов	13	11	50	27	10
Сумма осадков, мм	2996,2	2399,7	8000,4	5008,8	1597,9

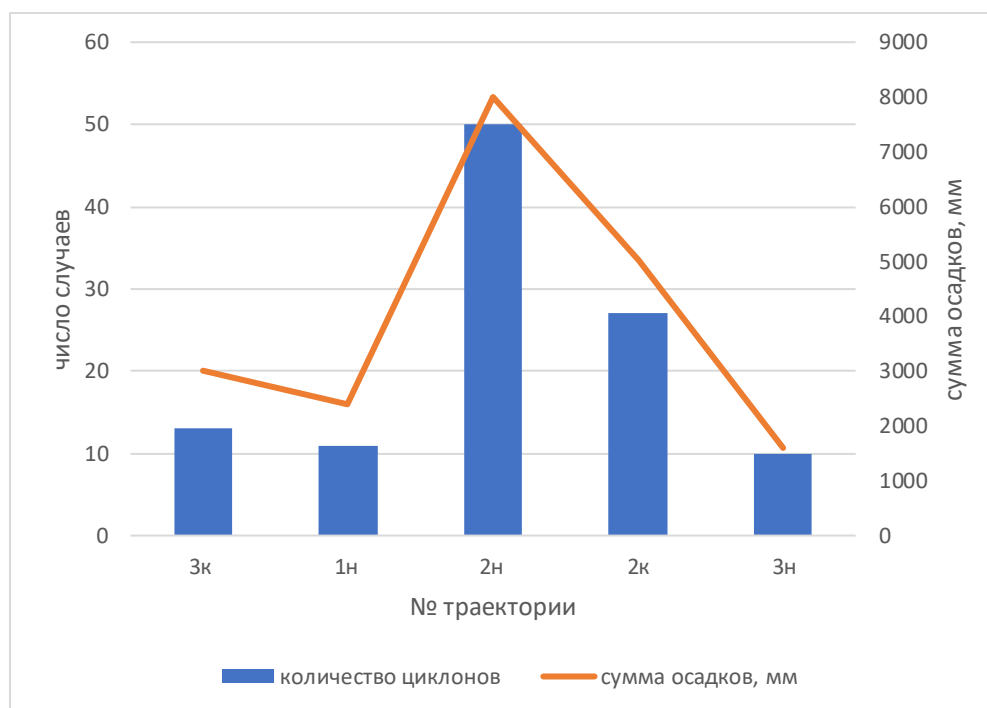


Рисунок 3.5.8 – Количество циклонов различных траекторий ансамблевой группы и суммы принесённых ими осадков в августе

Хотя общее количество циклонов изменилось и не существенно, но заметно снижение случаев траекторий циклонов единичной группы и увеличение количества ансамблевых случаев по сравнению с июлем.

В августе также увеличивается территориальный охват циклонов с аномальными осадками (таблица 3.5.4).

Таблица 3.5.4 – Территориальный охват траекторий циклонов

по случаям выпадения аномальных осадков на станциях в августе

№ траектории	3к	1н	2н	2к	4н
Количество циклонов	23	19	94	41	14
Охват по количеству станций	1-9	1-7	1-7	1-7	1-6
Кол-во случаев охвата 6 и более станций	1	3	5	3	2

Как видим, большинство циклонов всё равно не являются достаточно мощными, чтобы принести аномальные осадки на 6 и более станций, однако по сравнению с июльскими данными заметно не только увеличение количества «мощных» циклонов за 40 лет, но и хотя бы единичное появление их в случае каждой траектории.

3.6 Анализ траекторий циклонов, влияющих на режим аномальных осадков на юге Дальнего Востока в сентябре

Сентябрь завершает наиболее увлажнённый период на юге Дальнего Востока, именно поэтому было принято решение по проведению аналогичного анализа и рассмотрения и для синоптических процессов этого месяца в период с 1980 по 2020 гг.

Для первого месяца осени карта обобщённых траекторий получилась следующая (рисунок 3.6.1).

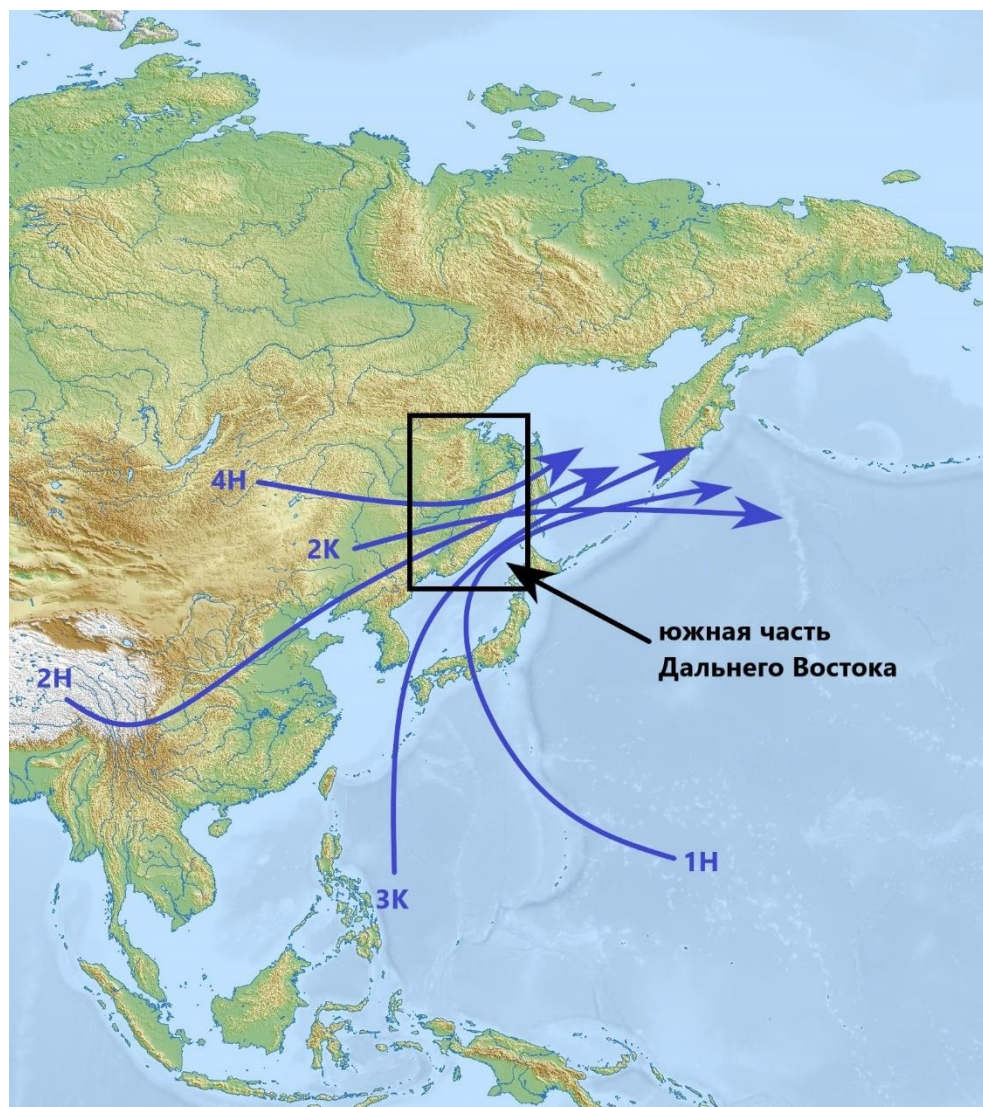


Рисунок 3.6.1 – Обобщённые траектории циклонов в сентябре

Как видим, в сентябре значимым изменениям, по сравнению с августом, подверглась лишь траектория «2к», очаг возникновения циклонов которой находился теперь в районе восточных склонов Большого Хингана. Остальной же путь через южную часть Дальнего Востока и Охотское море остался без изменений.

Примеры построения траекторий приведены на рисунках 3.6.2-3.6.6.

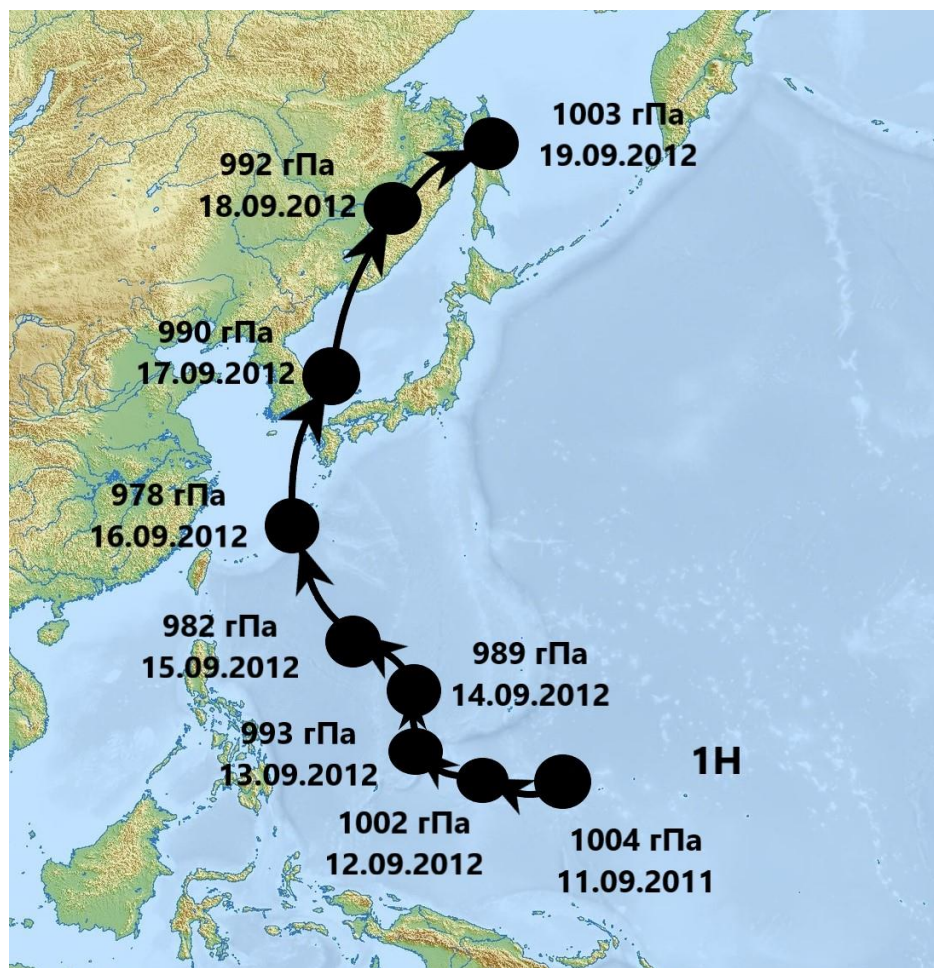


Рисунок 3.6.2 – Пример построения траектории «1н»

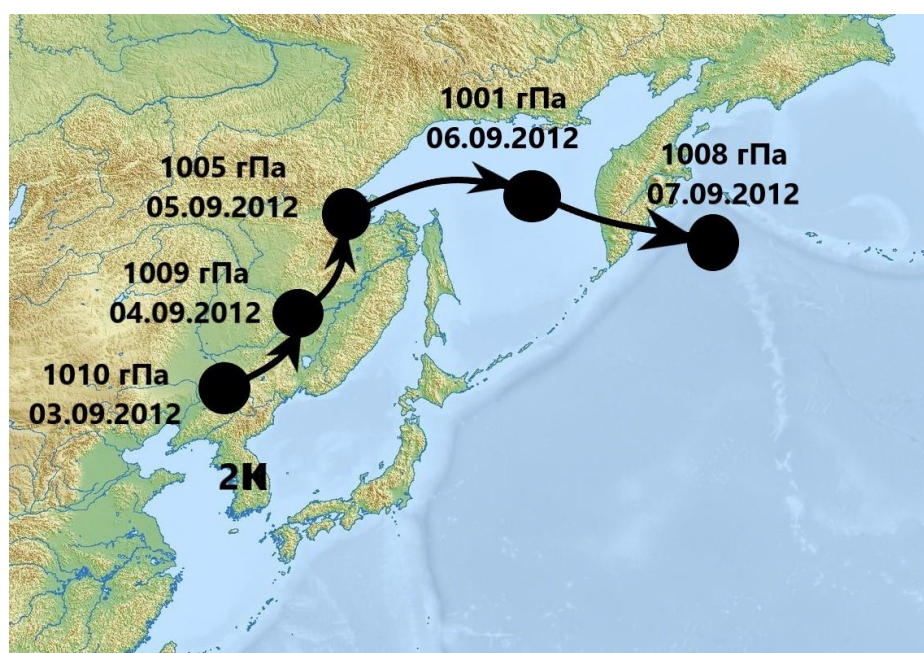


Рисунок 3.6.3 – Пример построения траектории «2к»

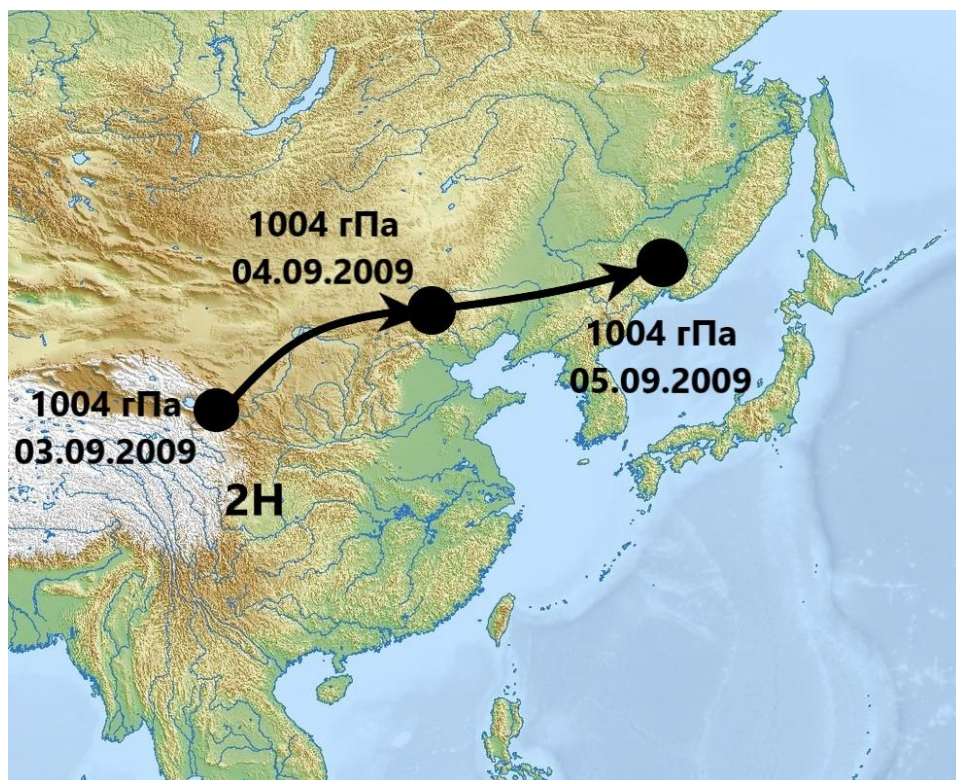


Рисунок 3.6.4 – Пример построения траектории «2н»

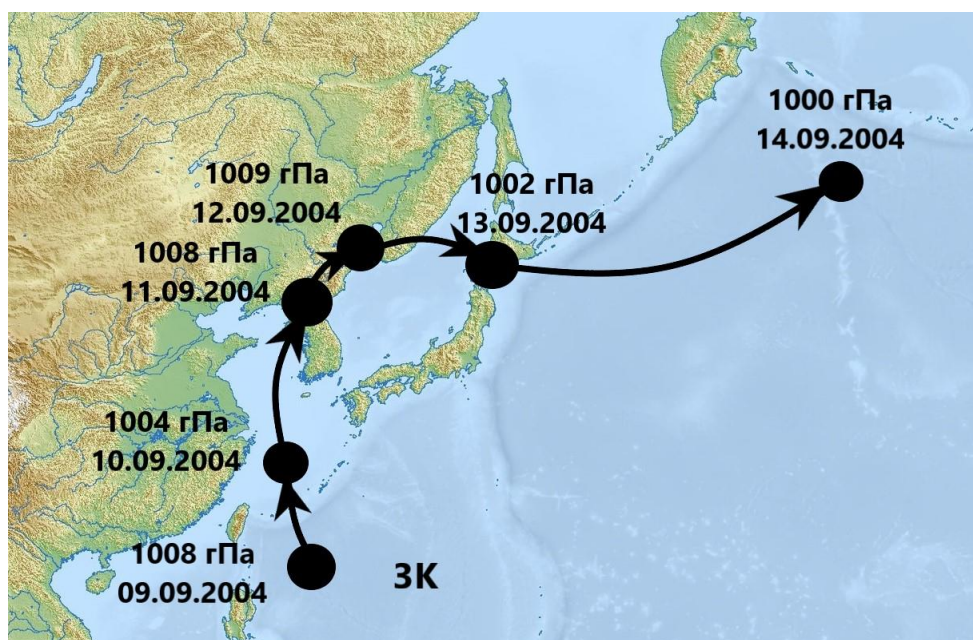


Рисунок 3.6.5 – Пример построения траектории «3к»

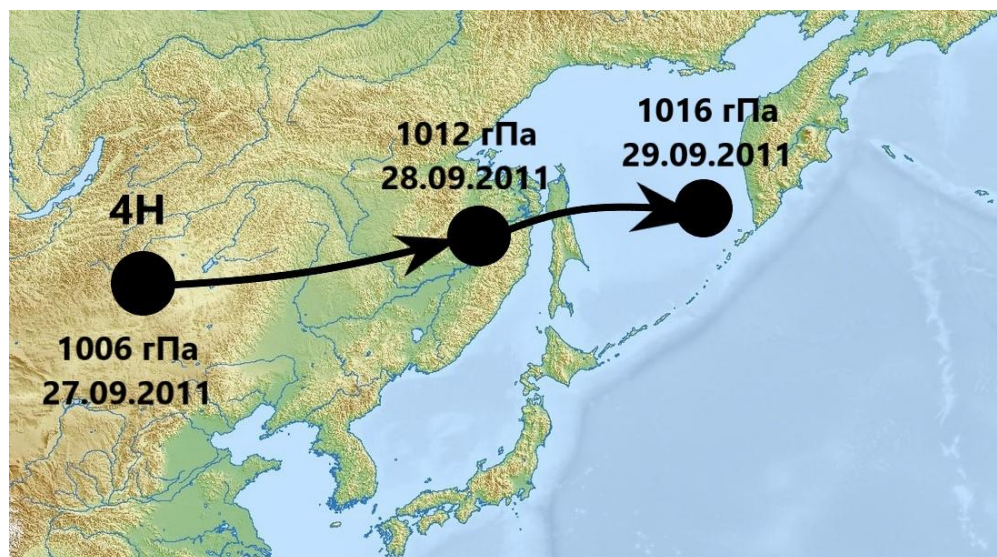


Рисунок 3.6.6 – Пример построения траектории «4н»

В сентябре наблюдалось 117 случаев прохождения циклонов над интересующей нас территорией, сведения о траекториях которых представлены в таблице 3.6.1.

Таблица 3.6.1 – Общее количество циклонов различных траекторий в сентябре с 1980 по 2020 гг.

	№ траектории				
	Зк	1н	2н	2к	4н
Количество циклонов	16	14	37	18	32
Повторяемость циклонов, %	14	12	32	15	27

Проведя анализ данных, можно заметить, что к концу наиболее увлажнённого периода в южной части Дальнего Востока «континентальные» траектории вновь стали преобладать над «морскими», которые теперь в сумме составляют лишь 26 % от общего числа циклонов.

Что касается единичной и ансамблевой группы, то данная тенденция прослеживается и там, однако не настолько чётко, как в общей статистике месяца. Так нами было зафиксировано 59 случаев единичных аномальных осадков (рисунок 3.6.7 и таблица 3.6.2) и 58 ансамблевых случаев (рисунок 3.6.8 и таблица 3.6.3).

Таблица 3.6.2 – Количество циклонов различных траекторий единичной группы и суммы принесённых ими осадков в сентябре

	№ траектории				
	3к	1н	2н	2к	4н
Количество циклонов	10	4	22	8	15
Сумма осадков, мм	543,2	141,3	966,8	300,9	732,8

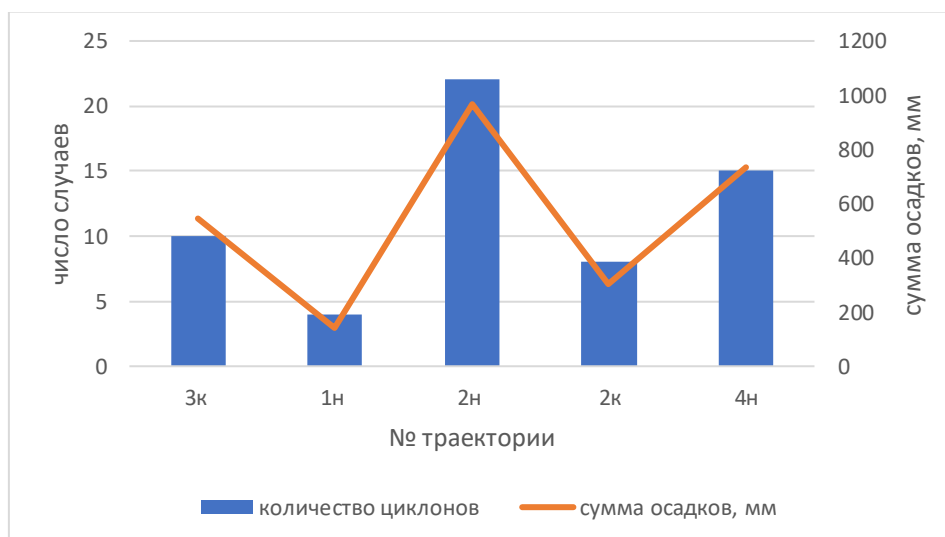


Рисунок 3.6.7 – Количество циклонов различных траекторий единичной группы и суммы принесённых ими осадков в сентябре

Таблица 3.6.3 – Количество циклонов различных траекторий ансамблевой группы и суммы принесённых ими осадков в сентябре

	№ траектории циклона				
	3к	1н	2н	2к	4н
Количество циклонов	6	10	15	10	17
Сумма осадков, мм	1386,6	3386,2	3058,6	1315,8	2556,3

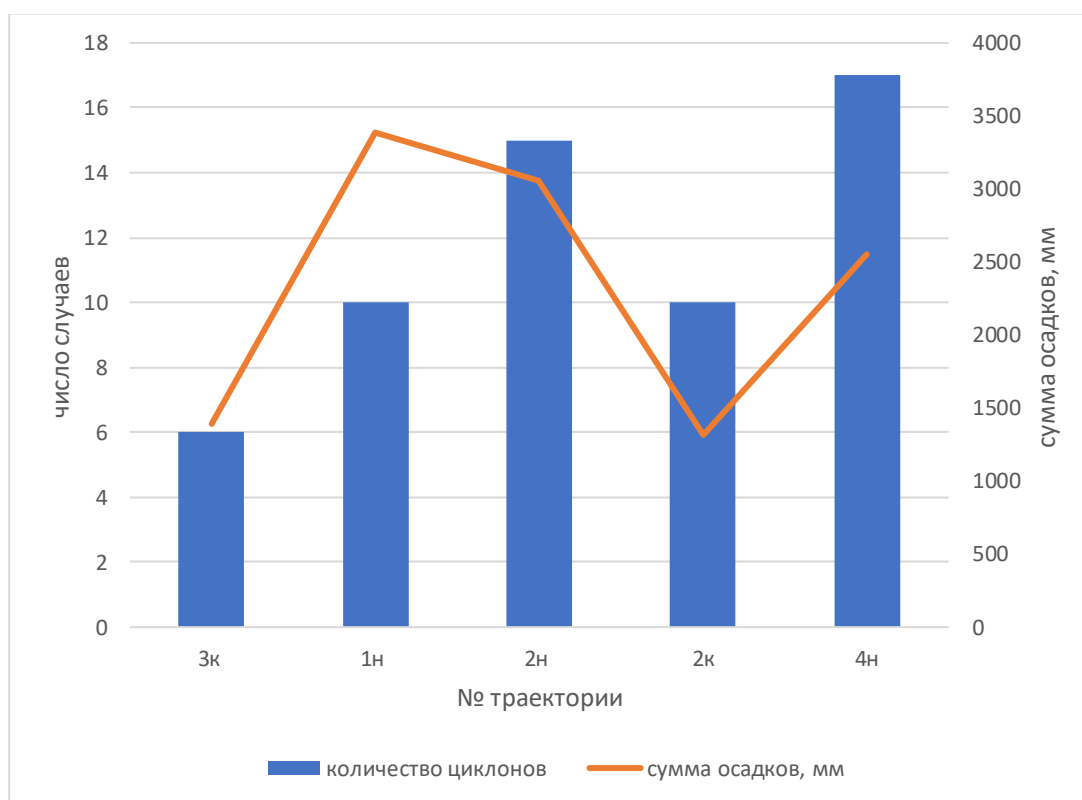


Рисунок 3.6.8 – Количество циклонов различных траекторий ансамблевой группы и суммы принесённых ими осадков в сентябре

Как мы видим, хотя траектория «2н» всё ещё является лидером по повторяемости и вкладу в режим осадков, циклоны остальных «континентальных» траекторий также стремятся увеличить своё влияние, в то время как циклоны траекторий «3к» и «1н» становятся всё более малочисленными.

В сентябре большая часть случаев выпадения аномальных осадков на 6 и более станциях является следствием прохождения тайфунов по югу Дальнего Востока (таблица 3.6.4).

Таблица 3.6.4 – Территориальный охват траекторий циклонов
по случаям выпадения аномальных осадков на станциях в сентябре

№ траектории	3к	1н	2н	2к	4н
Количество циклонов	16	14	37	18	32
Охват по количеству станций	1-6	1-10	1-7	1-5	1-8
Кол-во случаев охвата 6 и более станций	1	4	1	-	2

Так, все циклоны морских траекторий («3к» и «1н»), которые отмечались аномальными осадками на 6-10 станциях, были тайфунами, а вот континентальные циклоны в этом месяце наоборот становятся менее мощными, в основном задевая большим количеством осадков максимум половину исследуемой территории.

3.7 Выводы об особенностях циркуляционного режима на юге Дальнего Востока в период летних аномальных осадков

Подводя общий итог под основной частью данного исследования, можно сделать краткие выводы об особенностях циркуляции на юге Дальнего Востока в наиболее увлажнённый период тёплого полугодия.

- В июне на циркуляционный режим оказывали влияние циклоны всех семи траекторий – как четырёх «прямых» («1н», «2н», «3н» и «4н»), так и трёх косвенных («1к», «2к» и «3к»).
- Наибольший вклад в режим осадков и повторяемость, имели циклонические системы, относящиеся к траекториям «3к» (38% от общего числа циклонов и 32% от всей суммы осадков) и «2н» (50% от общего количества циклонов и 58% от всей суммы осадков).
- В июле 3 траектории («2к», «3н», «2н») сдвинулись южнее, преимущественно ближе к горным системам, а траектория «1к» и вовсе перестала наблюдаться.
- Количество циклонов с аномальными осадками в середине лета увеличилось более чем в 2 раза по сравнению с началом увлажнённого сезона.
- Наибольшее влияние как на режим осадков, так и на циркуляционный режим атмосферы, оказывали циклоны траектории «2н» - по 60% от общего количества.
- В августе обобщённых траекторий циклонов, влияющих на климат юга Дальнего Востока, осталось лишь 5 – перестали наблюдаться циклоны траектории «3н». Центр зарождения циклонов траектории «2н» сместился ещё глубже в горы северного Китая, а «4н» опустилась в Забайкалье.

- Общее количество траекторий изменилось не существенно в сравнении с июльскими показателями, однако увеличилось количество циклонов ансамблевой группы, приносящих аномальные осадки.
- В сентябре количество циклонов с аномальными осадками сильно уменьшилось (в августе был 191 случай, в сентябре - 117), а «океанические» циклоны начали появляться всё реже и меньше влиять на режим осадков и циркуляцию, уступая место «континентальным» траекториям. При этом траектории остались теми же, что и в августе, лишь «2к» поднялась вновь на северо-восток Китая.
- В июне практически не проходит настолько мощных циклонов, которые задевали бы аномальными осадками более половины станций рассматриваемой территории. В июле циклоны охватывают аномальными осадками большую часть территории в среднем в 11% случаев (от 4 до 20% случаев охвата 6 и более станций у разных траекторий), в августе средний процент повышается до 15% (также увеличиваются проценты охвата аномальными осадками более половины территории у каждой траектории в отдельности - уже от 8 до 27% случаев). В сентябре средний процент охвата циклонами большей части территории также равняется 15%, но тут существенный вклад вносят тайфуны первой и третьей траектории, занимая 53% от общего числа циклонов с большим территориальным обхватом по количеству выпадения аномальных осадков.

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что на основе обработки и анализа климатических данных за 40 лет август является наиболее значимым месяцем в «дождливом сезоне» на юге Дальнего

Востока как относительно активности циклонической циркуляционной обстановки, так и относительно своего вклада в режим осадков в данном регионе.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТАЙФУНОВ НА ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО РЕЖИМА НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В ПЕРИОД ЛЕТНИХ АНОМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ

В процессе основной исследовательской работы нами был поднят вопрос о том, в какой степени на режим аномальных осадков и циркуляционный режим на юге Дальнего Востока могут влиять тайфуны, основной сезон которых также совпадает с исследуемыми нами месяцами.

Для изучения данного вопроса с помощью архивов спутниковых снимков [18, 19], исторических данных, карт реанализа и данных метеостанций были проанализированы все случаи прохождения тайфунов над интересующей нас территорией в период наиболее увлажнённого сезона тёплого полугодия в 1980-2020 гг. В соответствии с полученными сведениями в основную базу данных траекторий и осадков, используемую в данной работе, были внесены новые данные, касающиеся тайфунов.

По полученным данным была составлена таблица 4.1, чтобы оценить влияние тайфунов на циркуляционный режим южной части Дальнего Востока в период аномальных осадков тёплого полугодия.

Таблица 4.1 – Оценка влияния тайфунов на циркуляционный режим юга Дальнего Востока в период с июня по сентябрь 1980-2020 гг.

характеристика	месяц							
	июнь		июль		август		сентябрь	
№ траектории	3к	1н	3к	1н	3к	1н	3к	1н
Кол-во случаев	3	1	5	2	4	7	2	12
Сумма осадков, мм	380,8	40,5	1966	952,8	528	1377,3	655,3	3467,5
Общее кол-во циклонов за период	88		99		111		117	
Повторяемость тайфунов от общего кол-ва циклонов, %	4,5		7,1		9,9		12,0	
Вклад тайфунов в режим аном. осадков, %	5,0		13,0		8,0		21,0	

Как видно из таблицы, несмотря на, казалось бы, значимый вклад в режим аномальных осадков, особенно если учитывать, что их вклад является единовременным и тем самым приводит к катастрофическим последствиям, по факту тайфуны являются довольно редкими «гостями» на исследуемой нами территории. Повторяемость данных явлений варьируется от 4,5% в начале «периода дождей» до 12% в конце. При этом вклад в общий режим аномальных осадков колеблется от 5% до 21%.

Для примера проанализируем ситуацию в июле, когда за весь рассматриваемый нами сорокалетний период в Приморье отмечался

выход лишь 7 тайфунов. Из них 5 случаев относились к траектории «Зк» и 2 тайфуна – к траектории «1н». С начала двухтысячных годов на исследуемой нами территории в июле было зафиксировано 4 тайфуна, жизненный цикл одного из которых мы посмотрим детальнее.

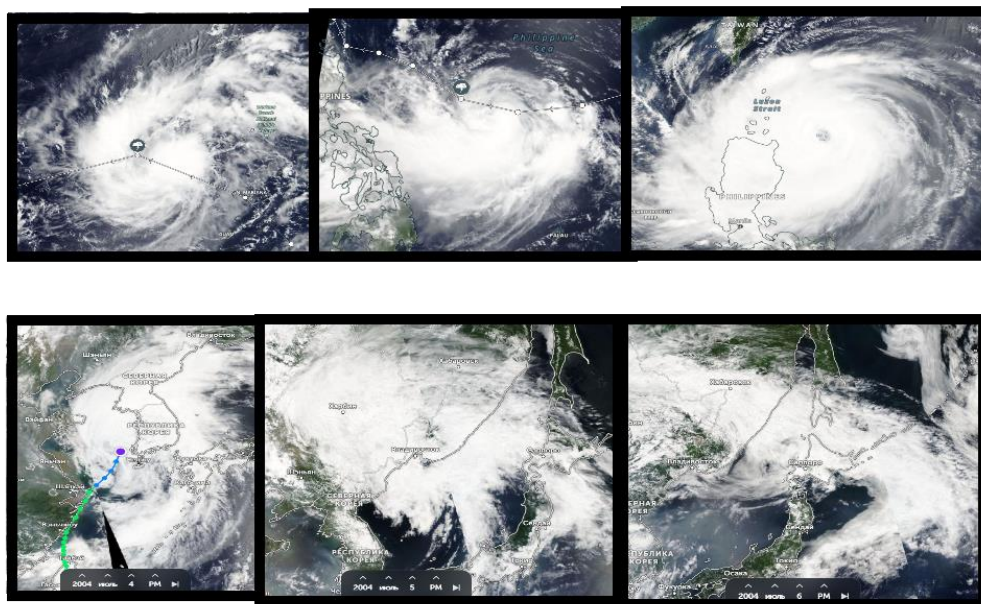


Рисунок 4.1 – спутниковые снимки прохождения тайфуна «Миндулле»

Тайфун "Миндулле" по своей траектории относится к порядку морских и проходил по пути "Зк". 21-22 июня 2004 года недалеко от Северных Марианских островов было отмечено формирование тропической депрессии. Порывы ветра были небольшими, около 15 м/с, и давление в центре составляло 1000-1002 гПа. Во второй половине дня 23 июня с продвижением циклона на запад по Филиппинскому морю началось резкое падение давления. Класс циклона дошёл до тропического шторма. За почти двое суток давление упало на 13 гПа, ветер усилился до 25 м/с. В последующие два дня с продвижением циклона по морю его класс и ветровые показания менялись, однако он продолжал углубляться

и наращивать силу. 27 июня на космических снимках уже отчётливо наблюдался "глаз бури", к этому моменту барическое образование перешло в класс тайфуна, ветер достигал 45 м/с, атмосферное давление уже упало ниже 980 гПа. 28 числа сильный тайфун был уже вблизи острова Лусон (северный из Филиппинских островов). 29 июня отмечались следующие показатели: минимальное атмосферное давление составляло 916 гПа, ветер достигал 65 м/с. После этого траектория тайфуна повернула на север. Через Тайвань к юго-восточному побережью Китая и далее через Восточно-Китайское море к южным водам Корейского полуострова циклон добрался к 4 июля, где его существование в качестве тайфуна закончилось. Это был уже внетропический циклон с 1002 гПа атмосферного давления в центре и ветром до 15 м/с. Однако на этом движение циклона не остановилось, и 5 июля он уже вылился аномальными осадками в Приморском крае (во Владивостоке выпало 41 мм, а в Преображении 42 мм осадков), после чего через о. Хоккайдо и Охотское море вышел в Тихий океан, где и закончил своё существование.

Для сравнения также рассмотрим случай прохождения тайфуна «Talas», который являлся представителем траектории «1н». На рисунке 4.2. представлены спутниковые изображения некоторых моментов его жизненного цикла.

Японии. Давление в его центре опустилось до 82 гПа, а ветер усилился до 30 м/с. Медленно приближаясь к Японии, он обрушился ливнями на острова в первые дни сентября. К концу дня 2 сентября тайфун накрыл всю южную часть Японии, хотя он немного и ослаб – атмосферное давление начало повышаться (в конце дня оно составляло 989 гПа), сила ветра уменьшилась до 25 м/с, и пропал «глаз бури». К концу следующего дня циклон большей своей частью переместился в Японское море, а 4 числа стал считаться уже внетропическим циклоном (атм. Давление выросло до 1004 гПа, максимальный ветер достигал 15 м/с). Однако это не помешало ему 5 сентября выйти на территорию Приморского края и вылиться аномальными осадками. На метеорологической станции «Красный Яр» за сутки выпало 44,4 мм осадков, а в Тернее все 142 мм. 6 сентября циклон накрыл всю территорию юга Дальнего Востока – на 6 из 10 рассматриваемых нами в данной работе метеостанциях выпало аномальное количество осадков («Терней» – 43 мм, «Свягино» – 56 мм, «Лермонтовка» – 72 мм, «Солекуль» – 38 мм, «Хабаровск» – 76 мм, «Нижнетамбовское» – 39 мм). 7 числа циклон продолжил двигаться по материку, всё ещё отмечаясь аномальными осадками на севере рассматриваемой нами территории, и на следующий день завершил свой жизненный цикл, заполнившись над Сахалином и прилегающими морскими водами.

Данный тайфун примечателен тем, что, несмотря на своё следование траектории «1н», он изменил направление движения в Японском море, продолжая двигаться на континент, а не выходить через Японию в Тихий океан. Такое поведение объясняется тем, что в момент прохождения тайфуна над Японскими островами, на севере Тихого океана происходило усиление антициклонической циркуляции, что не давало циклонам следовать стандартным морским траекториям.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что, несмотря на редкие вторжения тайфунов на южную территорию Дальнего Востока, и в частности Приморского края, в оперативной работе синоптиков при прогнозировании аномальных осадков стоит уделять особое внимание циклонам «морских» траекторий «1н» и «3к», а также синоптической обстановке в северной части Тихого океана, чтобы вовремя заметить и проследить возможные изменения в траекториях циклонов и тайфунов и своевременно давать предупреждения о возможных аномальных осадках на территории.

Кроме того, нами были проанализированы все случаи выхода тайфунов на юг Дальнего Востока относительно метеорологических станций. На рисунках 4.3-4.6 представлены данные для каждого месяца о количестве тайфунов, фиксировавшихся на каждой метеостанции, и о сумме принесённых ими осадков за период 1980-2020 гг.

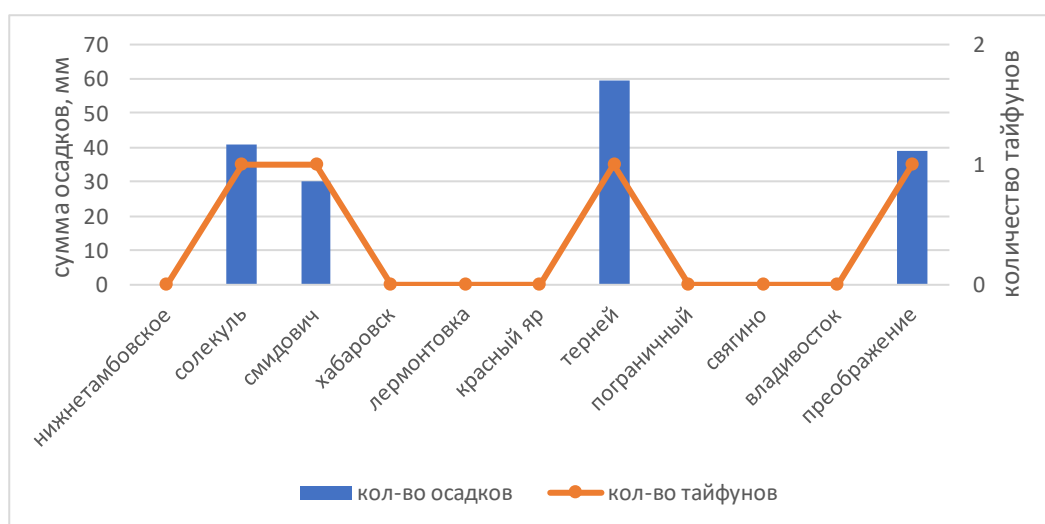


Рисунок 4.3 – Данные о количестве тайфунов, фиксировавшихся на метеостанциях, и сумме принесённых ими осадков в июне

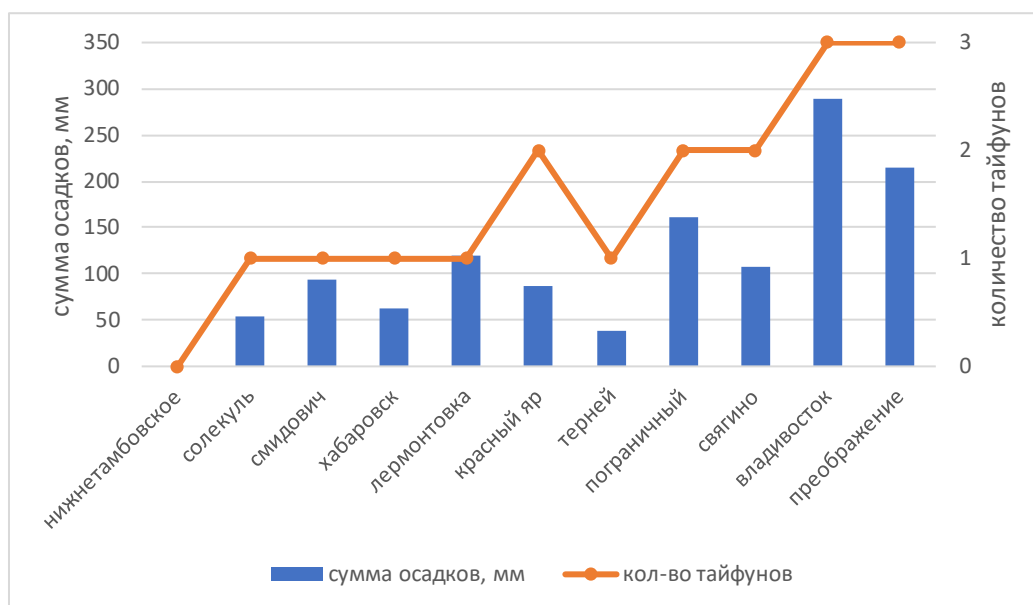


Рисунок 4.4 – Данные о количестве тайфунов, фиксировавшихся на метеостанциях, и сумме принесённых ими осадков в июле

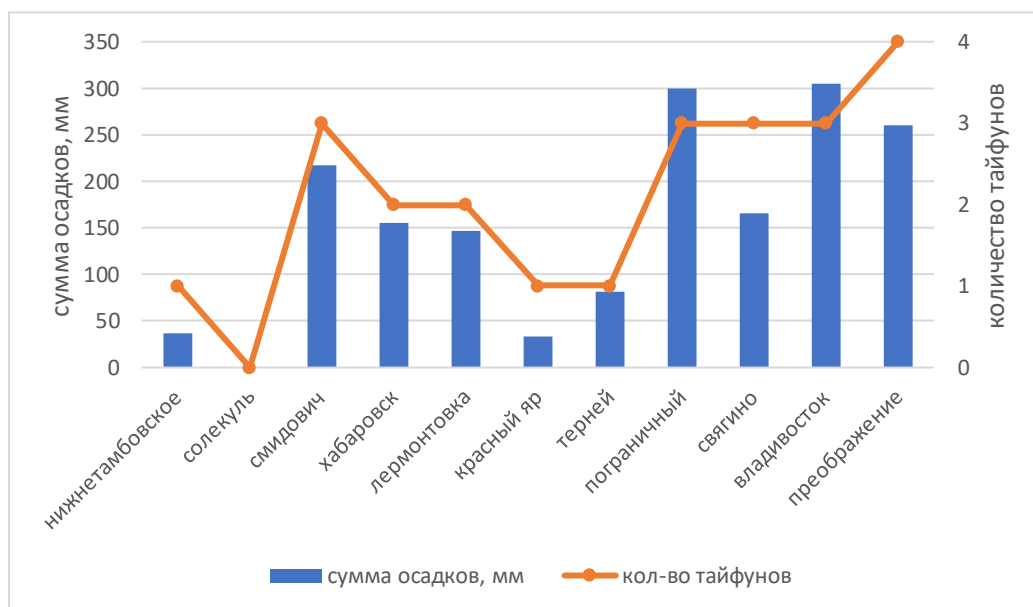


Рисунок 4.5 – Данные о количестве тайфунов, фиксировавшихся на метеостанциях, и сумме принесённых ими осадков в августе

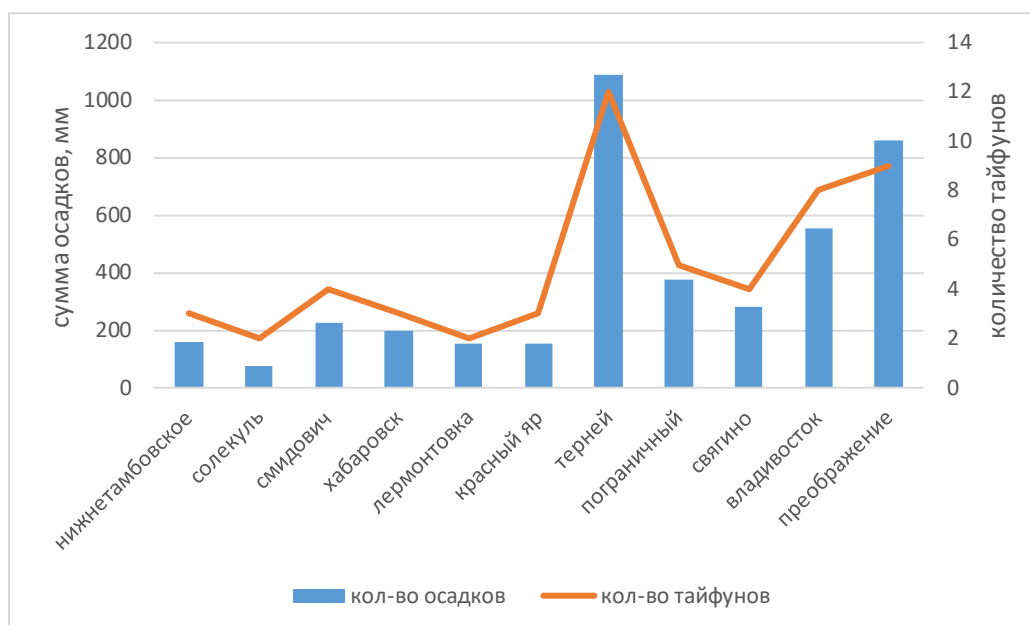


Рисунок 4.6 – Данные о количестве тайфунов, фиксировавшихся на метеостанциях, и сумме принесённых ими осадков в сентябре

Данные графики были созданы для того, чтобы узнать, какие именно районы рассматриваемой нами территории наиболее подвержены влиянию тайфунов. В результате анализа было выявлено, что чаще всего от тайфунов страдают районы южного и восточного побережья Приморья (метеостанции «Владивосток», «Преображение», «Терней»), что объясняется их близостью к Японскому морю и Татарскому проливу, где тайфуны и морские циклоны, идущие по траекториям «1н» и «3к», меняют свой курс, поворачивая на восток, северо-восток для выхода в Тихий океан. До юго-западных территорий (метеостанции «Пограничный» и «Свягино») тайфуны доходят реже, а на центральной и северной части рассматриваемой территории за сорокалетний период отмечалось лишь от 4 до 9 случаев вторжения тайфунов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения магистерской диссертации был создан и проанализирован архив траекторий циклонических образований, влияющих на климат южной части Дальнего Востока, за период с июня по сентябрь 1980-2020 гг. Выявленные траектории циклонов были разделены на «косвенные» и «главные».

После распределения траекторий была оценена их повторяемость в каждом месяце наиболее увлажнённого периода тёплого полугодия 1980-2020 гг. Так в июне наиболее повторяющимися стали траектории «3к» и «2н» (по 38% и 50% от общего числа циклонов). Для июля это была траектория «2н» (60% от общего числа циклонов). В августе к «2н» добавилась траектория «2к» (по 49% и 22% от общего числа циклонов). В сентябре же сохранилось первенство траектории «2н», которой совсем немного уступили циклоны траектории «4н» (по 32% и 27% от общего числа циклонов).

Был создан архив данных по траекториям циклонических образований и количеству выпавших аномальных осадков за период с 1980 года по 2020 год. В результате анализа архива были отобраны траектории циклонов, приносящих аномальное количество осадков на рассматриваемую территорию. Аномальными считались осадки от 30 мм и более за сутки.

Случаи прохождения циклонов были разделены на единичные и ансамблевые и проанализированы по своей повторяемости и вкладу в режим осадков.

В июне наибольший вклад в режим осадков имели циклоны с траекториями «3к» (32% от всей суммы осадков) и «2н» (58% от всей суммы осадков). В июле количество циклонов с аномальными осадками увеличилось более чем в 2 раза по сравнению с началом увлажнённого сезона. Наибольшее влияние на режим осадков оказывали циклоны траектории «2н» - 60% от общего количества. В августе увеличилось

количество циклонов ансамблевой группы, приносящих аномальные осадки, а наиболее влиятельными были циклоны траектории «2н» (50% от общего количества аномальных осадков). В сентябре количество циклонов с аномальными осадками сильно уменьшилось, а наибольшее влияние оказывали циклоны траектории «4н» - их вклад составляет 36% от общего количества аномальных осадков.

Был исследован территориальный охват для циклонов каждой траектории во все месяцы рассматриваемого периода.

В июне циклоны с аномальными осадками затрагивают менее половины станций. В июле повторяемость циклонов, охватывающих аномальными осадками при движении 6 и более метеорологических станций, составляет в среднем 11%, в августе — 15%, а в сентябре — 15%. В сентябре значительный вклад в этот показатель вносят тайфуны, проходящие по траекториям «1н» и «3к», на которые приходится 53% случаев с большим территориальным охватом.

Было проведено исследование влияния тайфунов на режим аномальных осадков на юге Дальнего Востока с июня по сентябрь 1980-2020 гг.

Тайфуны на юге Дальнего Востока редки, их повторяемость составляет 4,5-12% в разные периоды «сезона дождей». Их вклад в аномальные осадки варьируется от 5% до 21%.

Наиболее подверженной влиянию тайфунов территорией оказались южные и восточные побережья Приморского края, где количество случаев выхода тайфунов за период с 1980 по 2020 гг. доходило до 17 вторжений, а количество выпавших за сутки осадков доходило до 243 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнилов, А. С. Итоги селекционной работы по вигне-адзуки (*Vigna angularis* (Willd)) для муссонного климата Дальнего Востока России / А. С. Корнилов, Н. А. Сакара, И. А. Ванюшкина // Овощи России. – 2023. – № 5. – с. 24-27.
2. Мезенцева Л. И. Климатические тенденции атмосферной циркуляции на Дальнем Востоке / Л. И. Мезенцева, А. С. Федулов // Известия КГТУ. – 2017. – № 46. – с. 175-183.
3. Угрюмов А.И., Лаврова И.В. Основные закономерности общей циркуляции атмосферы: учебное пособие / А.И. Угрюмов, И.В. Лаврова. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2021. – 72 с.
4. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология: учебное пособие / С.П. Хромов, М.А. Петросянц – Москва: МГУ, 2013. – 581 с.
5. Bin Wang, Qinghua Ding, Jian Liu. Concept of global monsoon // World Scientific Series on Asia-Pacific Weather and Climate. – 2011. – Т. 5. – №2. – р. 3-14.
6. Изменение климата полярных областей Земли за последние 10000 лет. Под общей редакцией Д.Ю. Большакова и С.Р. Веркулича – Санкт-Петербург: ААНИИ, 2018. – 204 с.
7. Зубащенко Е.М. Региональная физическая география. Климаты Земли: учебно-методическое пособие. Часть 2. / Е.М. Зубащенко, А.Я. Немыкин, О.В. Спесивый. – Воронеж: ВГПУ, 2008. – 307 с.
8. Какой климат в Азии? [Электронный ресурс]: электрон. текст. дан. – 2021. – Режим доступа: <https://natworld.info/nauki-o-prirode/klimat-azii-osobennosti-klimaticheskie-poyasa-karta-i-tablicza>. (дата обращения: 30.09.2024)

9. Никольская В.В. Дальний Восток [Текст]: очерк природы южной половины Дальнего Востока / В.В. Никольская. – М.: Географгиз, 1962. – 215 с.

10. Самойлова Г. С., Горячко М. Д. и др. ПРИМОРСКИЙ КРАЙ // Большая российская энциклопедия. [Электронный ресурс]: электрон. текст. дан. – 2016. – Режим доступа: <https://old.bigenc.ru/geography/text/3167396>. (дата обращения: 03.10.2024)

11. Особенности климата Приморья. [Электронный ресурс]: электрон. текст. дан. – 2002. – Режим доступа: https://primpogoda.ru/articles/sezonnye_osobennosti/osobennosti_klimata_primor_ua. (дата обращения: 05.10.2024)

12. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения РД 52.27.724-2019 / разработан Федеральным государственным бюджетным учреждением "Гидрометеорологический научно-исследовательский центр России" (ФГБУ "Гидрометцентр России"). — Изд. офиц. — Москва: Гидрометцентр России, 2019. — 65 с.; 20. — (Руководящий документ).

13. Т. В. Цурикова. Муссоны / Отдел взаимодействия и обслуживания потребителей Приморскгидромета [Электронный ресурс]: электрон. текст. дан. – Режим доступа: https://primpogoda.ru/articles/prosto_o_pogode/mussony. (дата обращения: 10.01.2022)

14. Данова Т.Е., Григорьева Е.А., Густенко А.С. Современная динамика летних осадков на юге Дальнего Востока России. / Журнал Белгородского государственного национального исследовательского университета «Научные ведомости Белгородского государственного университета». – 2014. – №23. – 172-179с.

15. Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2), GMAO [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://fluid.nccs.nasa.gov/reanalysis/classic_merra2/?tau=00&stream=MERRA2&level=0&track=none®ion=siberia&fcst=19870721&field=precip&animate=1.

(дата обращения: 15.02.2022)

16. Специализированные массивы для климатических исследований ВНИИГМИ-МЦД [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori>. (дата обращения: 14.02.2022)

17. Хасанова, Г.Ф. Применение индикаторов и индексов в моделировании процессов трансформации природных комплексов (на примере среднегорий Южного Урала) // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 12. – С. 229-233.

18. The NASA Worldview application, part of the NASA Earth Science Data and Information System (ESDIS) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://worldview.earthdata.nasa.gov>. (дата обращения: 13.09.2022)

19. Приложение «Zoom Earth» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://zoom.earth/maps/satellite-hd>. (дата обращения: 13.09.2022)

Приложение 1

Часть архива данных о траекториях циклонов и соответствующих им осадках в южной части Дальнего Востока в июне с 1980 по 2020 год

станция	код станции	год	месяц	день	осадки, мм	№ траектории
Владивосток	31960	1991	6	12	34,3	2н
Смидович	31725	1991	6	20	36,4	4н
Пограничный	31915	1992	6	7	56,1	2н
Владивосток	31960	1993	6	3	46,3	3к
Пограничный	31915	1994	6	25	32,6	2н
Владивосток	31960	1995	6	28	41,3	2н
Владивосток	31960	1996	6	30	58,1	3к
Красный Яр	31845	1998	6	30	47,3	2н
Нижнетамбовское	31562	1999	6	15	31,8	2н
Владивосток	31960	2002	6	20	38,6	2н
Нижнетамбовское	31562	2004	6	19	30,1	2н
Владивосток	31960	2006	6	9	39,4	3к
Пограничный	31915	2006	6	15	54,1	3к
Солекуль	31677	2006	6	19	33,9	2н
Нижнетамбовское	31562	2006	6	27	50,9	2н
Свягино	31931	2008	6	19	45,8	3к
Преображение	31989	2009	6	10	43,4	3к
Смидович	31725	2009	6	20	30,1	2н
Смидович	31725	2009	6	29	43	2н
Пограничный	31915	2010	6	20	62,9	2н
Смидович	31725	2011	6	9	37,7	2н
Солекуль	31677	2011	6	21	36	2н
Солекуль	31677	2013	6	25	39,4	4н
Терней	31909	2014	6	10	60,2	3к
Хабаровск	31735	2016	6	12	46,1	2н
Владивосток	31960	2016	6	24	72,1	2н
Лермонтовка	31788	2017	6	14	33,9	4н
Солекуль	31677	2017	6	30	51,4	2н
Хабаровск	31735	2018	6	19	39,5	2н
Смидович	31725	2018	6	28	33,2	2н
Смидович	31725	2019	6	26	35,6	2н
Свягино	31931	2020	6	15	40,2	2н
Пограничный	31915	2020	6	21	37,7	2н