

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(РГГМУ)

Допущен к защите
Зав. кафедрой к.ф.-м. н., доцент
_____ Т.Р. Еремина
_____.06.2016

Кафедра промышленной океанологии
и охраны природных вод

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Исследование изменчивости гидрометеорологических и
ледовых условий на шельфе Баренцева моря

Выполнила Е.Ю. Орлова,
гр. О – 65
Руководитель д.г.н., доцент
В.Ю. Чанцев

Санкт-Петербург 2016

Содержание

Введение.....	3
1. Физико-географическое описание района.....	5
2. Методика расчетов.....	13
3 Анализ изменчивости гидрометеорологических и ледовых условий	16
3.1 Анализ метеорологических характеристик.....	16
3.1.1 Анализ температуры воздуха	16
3.1.2 Анализ ветра.....	42
3.1.3 Анализ изменения положения кромки льда и ледовитости исследуемого района	52
3.1.4 Анализ зависимости значений ледовитости и удаления кромки льда от берега от метеорологических параметров.....	56
Заключение	59
Список источников	61

Введение

Арктика представляет собой огромное пространство с колоссальными запасами природных ресурсов. Однако суровые климатические условия, труднодоступное расположение и прочие особенности этого региона ограничивают доступ к полезным ископаемым Арктики.

Примерно 90% всей площади российского шельфа, составляющего 5,2 - 6,2 млн. км², приходится на перспективные нефтегазоносные области. В том числе 2 млн км² (примерно треть от общего количества)- в Западной Арктике на шельфе Баренцева и Карского морей, где потенциальные ресурсы углеводородного сырья составляют 50 – 60 млрд. кубометров.

Главной задачей успешного освоения нефтегазовых месторождений, строительства различных сооружений, проведения грузовых и транспортных операций является знание гидрометеорологических и ледовых особенностей Арктического региона.

Данная работа была выполнена на основании данных, полученных с интернет ресурса ECMWF и ЕСИМО (Европейский центр прогнозов погоды <http://www.ecmwf.int>, www.esimo.ru) и их обработки статистическими методами. В процессе работы в качестве исходных были использованы данные о температуре воздуха, давлении, ветре, кромке льда и ледовитости в 3х точках юго-восточной части Баренцева моря (координаты точек: 68,5°с.ш., 50,0°в.д.; 69,5°с.ш., 56,0°в.д.; 70,0°с.ш., 52,0°в.д.) (Рисунок 1, таблица 1)

Таблица 1 Координаты и наименование точек

Координаты точки	Наименование точки
68,5°с.ш., 50,0°в.д.	Точка 1
69,5°с.ш., 56,0°в.д.	Точка 2
70,0°с.ш., 52,0°в.д.	Точка 3



Рисунок 1 Положение исследуемых точек

Цель настоящей работы заключается в исследовании изменчивости гидрометеорологических и ледовых условий на шельфе юго-восточной части Баренцева моря.

Основными задачами настоящей работы являются:

- изучение термических и динамических характеристик региона;
- изучение ледовых характеристик региона;
- изучение межгодовой изменчивости термического, динамического и ледового режима;
- анализ зависимости ледового режима от метеорологических параметров.

1. Физико-географическое описание района

Баренцево море занимает самое западное положение среди арктических морей, омывающих берега России. Расположенное между северным берегом Европы и островами Вайгач, Новая Земля, ЗФИ, Шпицберген, и Медвежий, оно свободно сообщается с теплым Норвежским морем и холодным Арктическим бассейном, а также морями Карским и Белым (Рисунок 1.1). В юго-восточной части Баренцева моря располагается акватория, которую принято называть Печорским морем находящаяся между о.Колгуев с запада, архипелагом Новая Земля с севера, о.Вайгач с востока и материком с юга в диапазоне от 68° до 71° с.ш. и от 49° до 61° в.д.. Размеры Печорского моря в широтном направлении по линии о-в Колгуев – пролив Карские ворота составляют около 300 км, а в меридиональном, от мыса Русский Заворот до Новой Земли – около 180 км [1]



Рисунок 1.1 Расположения Баренцева моря

В пределах юго-восточной части Баренцева моря выделяются несколько мелководных губ (заливов), доля которых по площади не превышает 10 %, а по объему - менее 1 % от всего моря. Наиболее крупной является Печорская губа. Условной границей между этой губой и морем принята линия от мыса Русский Заворот по северным оконечностям Гуляевских Кошек до южной оконечности острова Песяков. В Печорскую губу впадает река Печора, ежегодно приносящая 130 км пресной воды, что составляет 90 % притока речных вод в Печорское море (или 70 % притока в Баренцево море). Над поверхностью моря возвышаются большие и малые острова. Среди них выделим крупные острова Колгуев и Вайчач, а также острова Сенгейский, Долгий, о.Матвеева, Большой и Малый Зеленец.[2]

Берега юго-восточной части Баренцева моря отличаются значительным разнообразием. Их можно подразделить на формирующиеся преимущественно волновыми процессами и преимущественно неволновыми процессами. По типам берегов выделяют термоэрозионные в мерзлых четвертичных льдах (северное побережье о.Колгуева, материк у м.Св. Нос Тиманский), аккумулятивные выровненные берега (южное побережье о.Колгуев, район станции Ходовариха), аккумулятивные выровненные берега с отмерзшим клифом и прилегающей современной морской террасой (район Хайпудырской губы), берега с приливными осушками, илистые и песчаные (восточнее Печорской губы, на Новой Земле), вторично-расчлененные, абразионно-бухтовые (побережье о.Вайчач), берега с тектоническим расчленением и фиордами (Новая Земля в районе Карских Ворот). [1]

Материковый берег сложен в основном рыхлыми горными породами. Берега островов Вайгач и Новая Земля сложены осадочными сцементированными породами. [1]

Юго-восточная часть Баренцева моря является типично мелководным районом. Так называемое Печорское мелководье прилегает к южному побережью от мыса Канин Нос и простирается до северных мысов острова

Вайгач, ограничиваясь с севера 50-ти метровой изобатой. Глубины в море постепенно увеличиваются в меридиональном направлении с юга на север. Южная часть моря характеризуется глубинами менее 20-ти метров. В северной части Печорского моря глубины более 50-ти метров, а вдоль Новой Земли и в непосредственной близости от нее располагается сравнительно глубоководный желоб с глубинами более 150-ти метров, прослеживающийся и в проливе Карские Ворота. [2]

Дно юго-восточной части Баренцева моря представляет собой равнину с абразионно-аккумулятивными формами подводного рельефа в зонах воздействия ветрового волнения. На дне имеется большое количество мелких форм в виде холмов, гряд, бугров, террас и уступов. Данные осадки относятся к типу терригенных. Их мощность невелика, около 0,5 м, что объясняется слабым поступлением с суши материалов. Преобладают в данных осадках пески, где содержание песчаной фракции 1,0 - 0,1 мм составляет больше 50-ти %, алевроитовой от 10 до 30 %. [1]

Морской транспорт следует транзитом через юго-восточную часть Баренцева моря Северным морским путем в районы Карского моря и далее на восток. Ранее мореплавание осуществлялось, в основном, в безледный период. С началом освоения природных богатств Ямала и появлением атомных ледоколов начались попытки круглогодичного плавания через юго-восточную часть Баренцева моря. Первые плавания и грузоперевозки на Ямал относятся к марту-апрелю 1976 и 1977 гг., когда Мурманское морское пароходство организовало экспериментальные рейсы. Была определена принципиальная возможность плавания в юго-восточной части Баренцева моря в зимне-весенний период под проводкой ледоколов через проливы Карские Ворота и Югорский Шар. Из Мурманска было доставлено более 40 тыс. тонн грузов с выгрузкой на ледовый причал Ямала. С вводом в 1978 г. атомного ледокола "Сибирь" стала возможна круглогодичная навигация в Карское море. Ямальские операции с выгрузкой на ледовый причал стали обычными, и их

объем определяется потребностями освоения Севера. Подобные операции с середины 70-х годов проводятся у м.Варандей. [1]

В 50-е годы начали развиваться пассажирские перевозки из Мурманска и Архангельска через Печорское море в Дудинку и Тикси, а в 60-е годы открылись арктические туристические круизы на восток и север.

Местные грузопассажирские линии связывают Архангельск и пункты Белого моря с морским портом в Нарьян-Маре и осуществляются кораблями Северного морского пароходства (г.Архангельск).

На территории, прилегающей к Печорскому морю, находится Печорский угольный бассейн, самый мощный по своим запасам в европейской части страны. Его геологические запасы составляют 214 млрд. тонн, в том числе особенно ценны коксующиеся угли с невысоким содержанием серы.

Территорию Европейского Севера от Тиманского кряжа до западных границ Урала охватывает Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция. При этом скопление нефти и газа увеличивается по мере продвижения на север. В настоящее время на севере открыто множество месторождений как в прибрежной зоне юго-восточной части Баренцева моря, так и на его шельфе. В сентябре 1987 г. на самом северном месторождении страны - острове Колгуев добыта первая пробная нефть. Всего, по оценкам геологов, на шельфе Печорского и Баренцева морей возможна добыча 200 млн.тонн нефти в год.

На всем протяжении Новоземельской дуги - по хребту Пай-Хой, о.Вайгач, Новая Земля широкой полосой проходит слабоизученная зона полиметаллического оруднения. [1]

Климат юго-восточной части Баренцева моря определяется его высокоширотным положением, особенностями атмосферной циркуляции, поступлением сравнительно теплых морских вод с запада и характером подстилающей поверхности.

За год к поверхности моря поступает около 2900 мДж/м^2 солнечного тепла, значительная часть которого отражается снежно-ледяной поверхностью. Внутригодовое распределение суммарной солнечной радиации крайне неравномерное. Наибольшие средние месячные значения отмечаются в мае-июле ($500\text{-}600 \text{ мДж/м}^2$ в месяц), наименьшие - около 0 в период полярной ночи, с конца ноября до середины января.

Юго-восточная часть Баренцева моря располагается в Атлантико-Европейской части Арктики на ее восточной границе с Азией и испытывает влияние как Исландского минимума, так и Сибирского максимума атмосферного давления. [3]

Осенью и зимой море находится под влиянием циклонов, перемещающихся, главным образом, с запада на восток и переносящих теплые и влажные массы атмосферного воздуха вплоть до Новой Земли. В январе через Баренцево море проходит 7-8 циклонов. Периодически происходит вторжение холодных масс арктического и полярного воздуха. Весной траектория циклонов смещается на юг, циклоническая деятельность ослабляется. Дальнейшее ее уменьшение происходит летом, когда траектории циклонов перемещаются в более высокие широты. Над морем преобладает антициклоническая циркуляция. [4]

Подстилающая поверхность моря в течение 8 месяцев представляет собой сочетание снега и льда и только с июля по октябрь наблюдается вода. [5]

Температурный режим приповерхностного слоя атмосферы отражает влияние основных климатообразующих факторов. Средние температуры самых холодных месяцев на побережье равняются: -10° , -15° , на северных островах - 20° , -22° . В июле средняя температура в различных районах колеблется от $+1^\circ$ до $+7^\circ$. Годовой ход характеризуется минимумом в феврале и максимумом в июне-августе.[3]

Относительная влажность над морем остается высокой в течение всего года, составляя летом 88-90 % и выше.

Над юго-восточной частью Баренцева моря почти постоянно наблюдается значительная общая облачность, равная в среднем от 7 до 9 баллов. Количество нижней облачности на 1-3 балла меньше, чем общей. Для района характерна пасмурная погода. Число пасмурных дней колеблется в пределах 190-230 по общей облачности и 35-150 дней - по нижней облачности за год. Число ясных дней невелико и составляет за год по общей облачности 13-20, а по нижней - достигает 65 дней. Летом ясное небо бывает редко, особенно в августе, а в отдельные годы за навигационный период ясных дней вообще может и не быть.

В прибрежных районах моря отмечено 70-90 дней за год с туманом. Наибольшая повторяемость туманов характерна для навигационного периода, наименьшая - зимой.[3]

Годовое количество осадков увеличивается от 350-400 мм на севере до 500 мм на юге. Зимние снегопады и ветры вызывают метели и снегоперенос, характерные для рассматриваемого района. [1]

Средняя годовая скорость ветра над юго-восточной частью моря составляет 6-7 м/с. В годовом ходе максимум средней месячной скорости (7-8 м/с) отмечается в зимний период, минимум (5-6 м/с) - в летний. Число дней с сильным ветром 15 м/с и более на побережье составляет в разных районах от 40 до 100 дней за год. При этом зимой число дней с сильным ветром на западе вдвое больше, чем на востоке. Летом наблюдается всего 1-4 дня с ветром 15 м/с и более за месяц.[6]

В пределах юго-восточной части Баренцева моря выделяется прибрежная водная масса со значительной амплитудой годового хода температуры и низкой соленостью, формирующейся под воздействием материкового стока и опресненных прибрежных течений. Эта водная масса подразделяется на

беломорскую, печорскую и новоземельскую. Соленость беломорских вод изменяется от 33-34 ‰ зимой и весной до 31-32 ‰ летом и осенью.

Волнение в Печорском море наблюдается в течение 5 месяцев с июня по октябрь, т.к. остальную часть года оно покрыто дрейфующим и неподвижным льдом. [1]

Принято условно разбивать период чистой воды на два сезона: лето (июнь-август) и осень (сентябрь-октябрь). По ветро-волновому режиму осень отличается от лета более суровыми штормовыми условиями.

Колебания уровня носят сложный характер, но определяющую роль в их формировании играют приливы. На формирование уровня существенное влияние оказывают также метеорологические и ледово-гидрологические факторы. К метеорологическим факторам относятся действия ветра и изменения атмосферного давления. Это приводит к сгонно-нагонным колебаниям уровня, достигающим в прибрежных районах моря 1-2 м ((штормовые нагоны). Сезонная и межгодовая изменчивость атмосферных процессов обуславливает соответствующую изменчивость среднего уровня моря. Наличие ледяного покрова приводит к уменьшению величины прилива.[1]

Ледяной покров Баренцева моря формируется под воздействием атмосферных и гидрологических процессов Атлантики и Арктики, и поэтому оно никогда, даже в самые суровые зимы не покрывается полностью льдом. В этом его отличие от остальных морей арктического шельфа. Ряды наблюдений за положением кромки льда охватывают все месяцы с 1934 г., а за весенне-летний период (апрель-август) с 1899 г. До 1934 г. это были судовые наблюдения транспортного, рыболовного, зверобойного и научного флотов. С 1934 г. к ним прибавились данные ледовой авиаразведки, которая получила свое основное развитие с 50-х годов. С конца 60-х годов добавились спутниковые наблюдения, которые сейчас являются основными в данном

регионе. Они позволяют получить информацию о положении кромки льда, границах зон сплоченности и различного возраста. Данные о сроках замерзания и таяния (фазах ледовых явлений), распространении припая и его характеристиках (толщинах, заснеженности, торосистости и т.д.) в прибрежных районах поступают со стационарных гидрометеорологических станций, а также благодаря авиационным радиолокационным съемкам станций бокового обзора и аэрофотосъемки.

Ледяной покров юго-восточной части формируется как за счет процессов ледообразования в регионе, так и за счет ледообмена с Белым и Карским морями. Из Белого моря выносится в юго-восточную часть 13,6 км.куб. льда. С течением Литке через пролив Карские Ворота в Печорское море - 21,4 км.куб. Причем, льды Беломорского происхождения четко прослеживаются на всем протяжении Беломорского стокового течения, вдоль припайных льдов южной прибрежной части вплоть до Карских Ворот и даже в Карском море. [5]

Льды в Печорском море и в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период распространяются с востока на запад. В период таяния кромка льда смещается в противоположном направлении. Даже в начале ледового сезона (декабрь-январь) положение кромки льда выходит за пределы Печорского моря, в холодные зимы юго-восточная часть с февраля по май полностью покрыта льдом; в наиболее теплые годы лед отсутствует на акватории с июня вплоть до декабря. Общий ход ледовитости в различные годы претерпевает значительные колебания.[2]

2. Методика расчетов

Для исследования был выбран десятилетний период с октября 1997 по сентябрь 2007г. В качестве исходных данных были использованы двухсрочные метеорологические данные за каждые сутки и среднемесячные данные о положении кромки льда и ледовитости в период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года. За каждый месяц были определены минимальные и максимальные значения температуры воздуха. А также, по следующим формулам вычислены:

- среднемесячные значения температуры:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

где n – длина статистического ряда

- среднеквадратическое отклонение ряда

$$s = \sqrt{D}$$

где D - дисперсия

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

- границы доверительного интервала среднего значения, в случае с -95%:

$$\bar{x} - 1.96 \times s/\sqrt{n}$$

в случае с +95%:

$$\bar{x} + 1.96 \times s/\sqrt{n}$$

[7]

Также, между точками со средними значениями была рассчитана корреляция по следующей формуле:

$$r = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

Интерпретация коэффициента корреляции производилась исходя из уровня силы связи:

$r > 0,01 \leq 0,29$ – слабая положительная связь,

$r > 0,30 \leq 0,69$ – умеренная положительная связь,

$r > 0,70 \leq 1,00$ – сильная положительная связь,

$r > -0,01 \leq -0,29$ – слабая отрицательная связь,

$r > -0,30 \leq -0,69$ – умеренная отрицательная связь,

$r > -0,70 \leq -1,00$ – сильная отрицательная связь.

И определена значимость корреляции, на основании расчета стандартной случайно погрешности:

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n - 1}}$$

и расчета критерия Стьюдента:

$$t^* = r / \sigma_r$$

который сравнивался с критерием Стьюдента из таблиц, и для наших расчетов составлял 1,98.[8]

Для средних значений всех точек с помощью метода наименьших квадратов было рассчитано линейное уравнение трендовой составляющей:

$$T(t) = a_0 + a_1 t$$

где t – время.

Затем был вычислен коэффициент корреляции (r), его стандартная ошибка (σ_r) и определен коэффициент детерминации, показывающий вклад тренда в описание дисперсии исходного ряда:

$$R^2=r^2$$

После вышеуказанных вычислений была определена значимость тренда, аналогично определению значимости коэффициента корреляции. [9]

В качестве исходных данных по ветру были использованы двухсрочные данные составляющих скорости и направления ветра за каждые сутки с октября по май с 1997 года по 2007 год. В процессе обработки были проведены расчеты, преобразовавшие исходные данные непосредственно в скорость по следующей формуле:

$$V = \sqrt{u^2 + v^2}$$

где u и v – составляющие вектора скорости ветра.

По аналогии с температурой воздуха, были вычислены минимальные, максимальные, средние значения скорости ветра, определены границы среднего, вычислено среднеквадратическое отклонение, рассчитана корреляция между точками. [8]

Изменение положения кромки льда рассчитывалось на основании данных о движении кромки на запад или на восток по трем параллелям ($68,5^\circ$ с.ш., $69,5^\circ$ с.ш., 70° с.ш.). На основании расчетов среднего значения определялось положение кромки в конкретном месяце. Далее по формуле вычислялось, на какое расстояние произошло замерзание или таяние льда с момента t_1 до момента t_2 :

$$R = (X(t_2)-X(t_1))*60*1,85*\cos(y),$$

где X – долгота (в градусах), y – широта (в градусах).

3 Анализ изменчивости гидрометеорологических и ледовых условий

3.1 Анализ метеорологических характеристик

3.1.1 Анализ температуры воздуха

Рассмотрим данные о температуре воздуха в период с октября по май в трех точках с 1997 по 2007гг.

В таблице 3.1 представлены расчетные данные о средней температуре, границах среднего, минимальной и максимальной температуре, среднеквадратическом отклонении температуры за каждый месяц рассматриваемого периода в Точке 1.

Таблица 3.1 Расчетные данные о температуре воздуха в Точке 1

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
1997-1998						
октябрь	0,71	0,03	1,40	-4,91	6,67	2,75
ноябрь	-5,23	-6,49	-3,97	-17,02	2,01	4,99
декабрь	-10,50	-12,20	-8,79	-23,69	0,93	6,86
январь	-14,32	-16,27	-12,36	-25,64	-0,75	7,85
февраль	-25,65	-27,73	-23,57	-35,67	-3,66	7,94
март	-10,35	-11,79	-8,90	-22,94	-0,37	5,81
апрель	-10,61	-11,67	-9,55	-17,21	-2,09	4,20
май	-2,15	-3,41	-0,90	-13,49	8,09	5,04
июнь	2,83	2,20	3,46	-2,94	10,76	2,47
июль	10,42	9,74	11,11	3,87	16,55	2,74
август	8,01	7,44	8,59	4,09	13,54	2,28
сентябрь	3,15	2,67	3,62	-0,86	8,32	1,86
1998-1999						
октябрь	-2,23	-3,14	-1,33	-9,06	4,24	3,64

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
ноябрь	-12,53	-14,17	-10,88	-23,12	-0,47	6,51
декабрь	-13,29	-15,41	-11,18	-29,88	0,24	8,50
январь	-20,95	-23,36	-18,54	-36,07	-2,37	9,67
февраль	-13,99	-16,75	-11,22	-31,08	-1,02	10,55
март	-10,94	-12,42	-9,46	-24,18	-0,24	5,95
апрель	-8,09	-9,35	-6,84	-16,83	2,45	4,97
май	-4,52	-5,34	-3,71	-11,29	0,56	3,27
июнь	3,62	2,82	4,43	-1,91	14,29	3,17
июль	6,73	6,08	7,39	2,83	16,91	2,63
август	6,79	6,19	7,39	2,72	12,97	2,39
сентябрь	5,03	4,57	5,50	1,78	9,23	1,81
1999-2000						
октябрь	2,25	1,61	2,90	-2,91	8,63	2,59
ноябрь	-4,69	-5,61	-3,77	-13,29	2,03	3,64
декабрь	-5,67	-6,72	-4,61	-16,67	1,44	4,24
январь	-15,31	-16,63	-14,00	-25,75	-2,60	5,28
февраль	-9,54	-11,17	-7,90	-27,23	-0,71	6,24
март	-7,08	-7,99	-6,17	-20,80	-1,94	3,66
апрель	-3,11	-4,06	-2,16	-15,91	2,31	3,75
май	0,47	-0,44	1,37	-8,57	10,75	3,64
июнь	5,60	4,88	6,31	0,73	11,64	2,79
июль	11,19	10,10	12,28	4,15	21,18	4,33
август	9,02	8,65	9,39	6,18	13,86	1,49
сентябрь	5,84	5,25	6,43	2,09	12,32	2,31
2000-2001						
октябрь	3,78	3,04	4,51	-3,20	8,25	2,95

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
ноябрь	-0,98	-1,89	-0,07	-11,68	4,42	3,60
декабрь	-8,82	-10,63	-7,00	-21,39	1,71	7,30
январь	-9,10	-10,61	-7,59	-22,52	0,64	6,07
февраль	-18,32	-19,98	-16,66	-26,94	-5,52	6,35
март	-13,09	-14,31	-11,87	-24,82	-5,08	4,91
апрель	-3,58	-4,70	-2,46	-14,94	5,69	4,43
май	-0,55	-1,08	-0,02	-5,59	5,14	2,12
июнь	4,40	3,69	5,12	-0,79	13,37	2,80
июль	6,37	5,61	7,13	1,69	18,61	3,03
август	6,42	5,90	6,93	3,68	13,47	2,04
сентябрь	6,96	6,26	7,67	1,93	12,79	2,77
2001-2002						
октябрь	0,40	-0,24	1,04	-7,91	4,32	2,56
ноябрь	-3,34	-3,81	-2,88	-7,49	0,65	1,82
декабрь	-7,66	-9,15	-6,17	-17,83	2,35	5,98
январь	-15,51	-16,98	-14,03	-26,30	-2,60	5,92
февраль	-13,01	-14,68	-11,35	-25,25	-1,34	6,35
март	-9,47	-10,73	-8,20	-21,06	0,62	5,07
апрель	-3,78	-5,21	-2,36	-19,05	4,65	5,64
май	-1,13	-1,78	-0,48	-6,12	4,32	2,60
июнь	3,07	2,42	3,73	-1,64	9,68	2,55
июль	4,94	4,10	5,78	0,31	12,58	3,35
август	2,13	1,88	2,39	0,54	6,37	1,02
сентябрь	1,72	1,33	2,11	-0,86	5,39	1,54
2002-2003						
октябрь	0,60	0,27	0,92	-2,32	3,31	1,31

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
ноябрь	-4,34	-5,24	-3,44	-12,84	0,76	3,55
декабрь	-8,73	-10,40	-7,06	-26,99	0,08	6,72
январь	-16,35	-17,86	-14,84	-27,23	-2,49	6,06
февраль	-11,35	-13,13	-9,57	-23,81	-1,10	6,80
март	-9,36	-10,77	-7,96	-23,58	-1,11	5,66
апрель	-4,93	-6,01	-3,85	-18,62	1,76	4,26
май	0,99	0,18	1,81	-6,67	9,75	3,28
июнь	1,29	0,79	1,79	-1,88	6,72	1,97
июль	9,41	8,66	10,16	1,09	18,62	2,99
август	11,53	11,06	12,00	7,14	15,98	1,88
сентябрь	6,55	6,09	7,01	2,89	11,03	1,80
2003-2004						
октябрь	2,81	1,87	3,74	-4,50	9,77	3,75
ноябрь	-1,66	-2,41	-0,90	-7,06	3,25	2,99
декабрь	-5,31	-6,15	-4,47	-11,42	0,52	3,37
январь	-7,02	-7,86	-6,17	-17,84	-1,46	3,41
февраль	-11,69	-13,67	-9,71	-29,33	-2,96	7,69
март	-11,90	-13,52	-10,29	-22,48	-0,54	6,49
апрель	-6,72	-8,18	-5,26	-20,24	3,52	5,76
май	-0,92	-1,89	0,05	-9,15	6,77	3,89
июнь	2,51	1,64	3,38	-2,64	13,44	3,40
июль	10,01	9,01	11,02	3,48	23,67	4,01
август	8,55	8,08	9,02	3,95	14,11	1,88
сентябрь	6,61	6,19	7,03	2,36	9,28	1,66
2004-2005						
октябрь	1,71	1,10	2,31	-3,62	6,64	2,44

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
ноябрь	-2,99	-4,04	-1,95	-12,78	3,15	4,13
декабрь	-7,36	-8,63	-6,09	-15,72	-0,01	5,11
январь	-7,37	-8,22	-6,53	-14,05	-0,86	3,40
февраль	-9,14	-10,19	-8,10	-19,25	-1,14	3,98
март	-14,34	-15,37	-13,32	-24,59	-5,67	4,12
апрель	-7,20	-8,32	-6,07	-17,38	0,35	4,44
май	0,04	-1,13	1,20	-9,40	9,55	4,66
июнь	3,17	2,30	4,03	-0,52	14,88	3,38
июль	8,14	7,05	9,22	2,18	21,14	4,32
август	9,89	9,31	10,46	5,17	15,69	2,30
сентябрь	7,20	6,74	7,66	3,22	11,65	1,80
2005-2006						
октябрь	4,12	3,24	5,00	-2,30	9,33	3,54
ноябрь	1,32	0,73	1,92	-4,73	5,74	2,34
декабрь	-4,17	-4,91	-3,43	-10,67	1,14	2,98
январь	-13,70	-15,34	-12,05	-23,75	-2,10	6,61
февраль	-11,90	-13,24	-10,55	-23,47	-1,74	5,13
март	-9,17	-10,04	-8,29	-14,93	-1,13	3,51
апрель	-4,68	-5,78	-3,58	-16,71	1,36	4,36
май	0,37	-0,17	0,91	-4,41	8,99	2,18
июнь	5,63	4,57	6,69	-1,20	14,68	4,17
июль	7,34	6,59	8,09	3,03	16,20	3,00
август	6,71	5,99	7,43	0,94	11,76	2,87
сентябрь	5,85	5,26	6,44	1,10	10,02	2,32
2006-2007						
октябрь	-0,11	-1,04	0,83	-9,24	5,96	3,76

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
ноябрь	-5,84	-6,83	-4,84	-13,23	0,90	3,91
декабрь	-6,44	-7,83	-5,04	-16,76	1,32	5,62
январь	-6,82	-8,04	-5,61	-18,99	-0,17	4,88
февраль	-16,72	-17,93	-15,51	-24,41	-7,15	4,62
март	-3,77	-4,88	-2,66	-23,65	1,60	4,47
апрель	-2,94	-3,76	-2,13	-9,81	3,87	3,21
май	-1,18	-1,92	-0,44	-7,14	5,47	2,98
июнь	3,02	1,88	4,17	-1,50	16,62	4,49
июль	9,23	8,65	9,82	6,07	19,03	2,33
август	9,21	8,66	9,76	4,77	16,18	2,19
сентябрь	7,24	6,77	7,72	3,00	11,19	1,86

Согласно вышеприведенным данным, самая низкая температура воздуха была зафиксирована в январе 1999г и составила $-36,07^{\circ}\text{C}$, а самая высокая в июле 2004г и составила $23,67^{\circ}\text{C}$. Необходимо отметить, что за 10-летний период в Точке 1 самые низкие температуры отмечались чаще всего в феврале (60% случаев), а самые высокие температуры в июле (100% случаев). Самая низкая среднегодовая температура наблюдалась в 1998-1999г и составила $-5,4^{\circ}\text{C}$, а самая высокая в 1999-2000гг и составила $-0,91^{\circ}\text{C}$.

Представим графически минимальные, максимальные и средние значения температуры воздуха в Точке 1 и проведем линию тренда (рисунок 3.1 а, б, в).

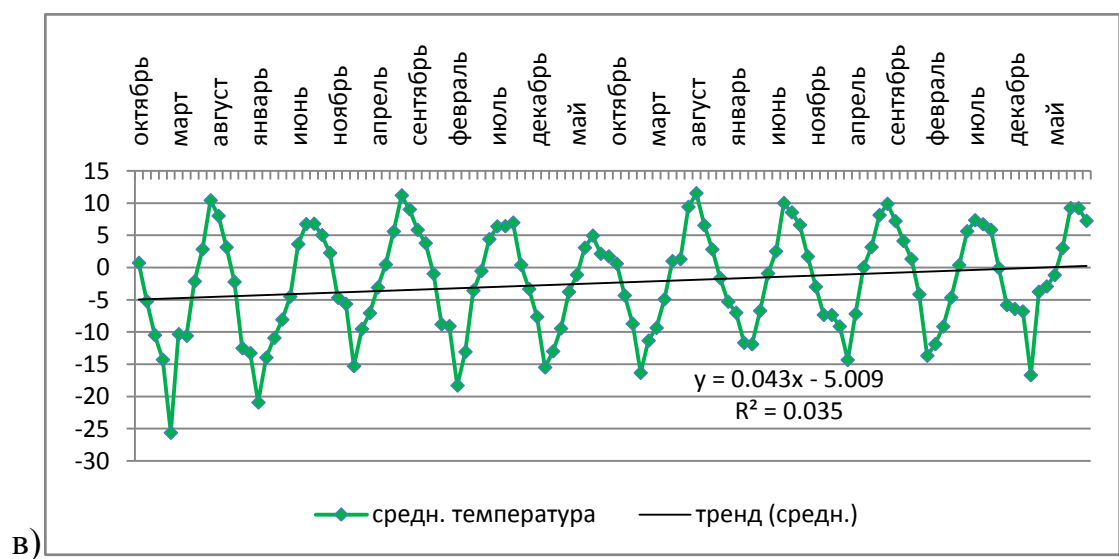
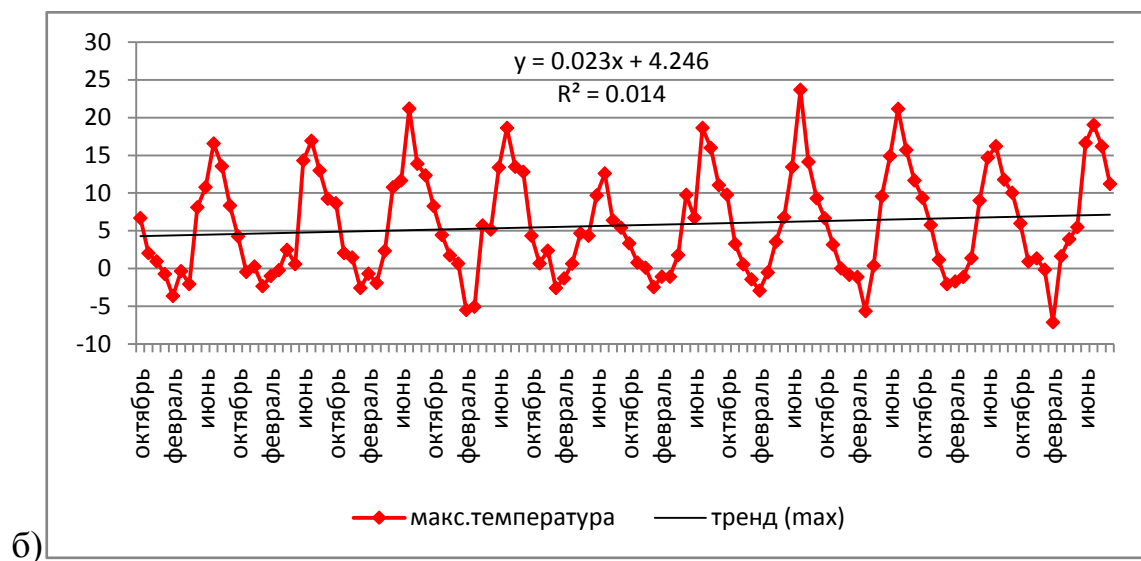
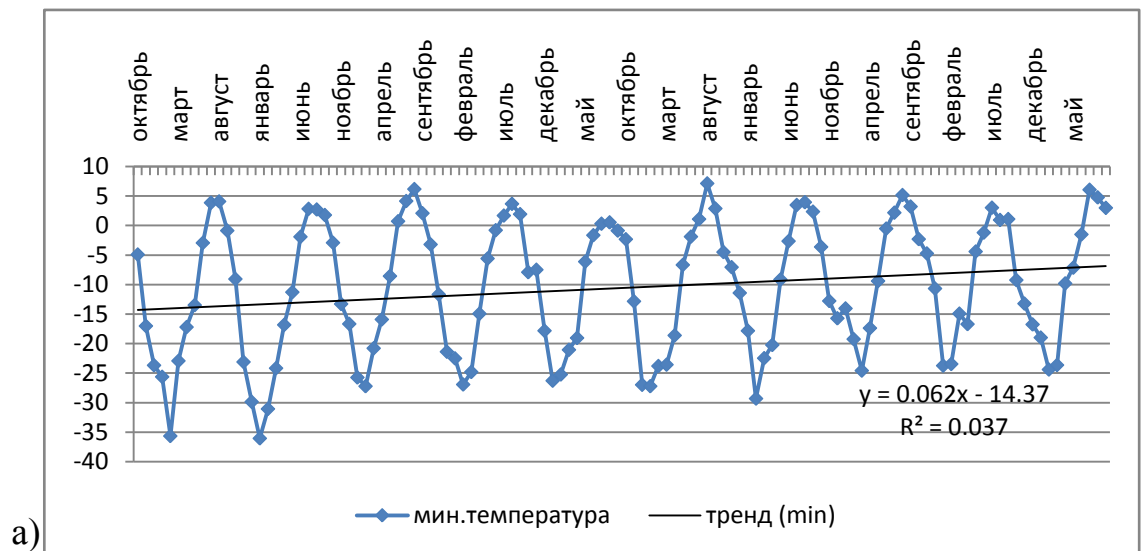


Рисунок 3.1 Минимальные, максимальные и средние значения температуры воздуха в Точке 1, °С

Проведя анализ полученных данных из рисунка 3.1 (а, б, в) можно сделать вывод, что во всех случаях угол наклона линии тренда – незначительный. Для минимальных температур он составляет 3,58°, для максимальных составляет 1,36°, а для средних он равен 2,51°. Что касается тренда, то в случае с минимальной и средней температурой он значим, а в случае с максимальной - не значим. В рассматриваемом случае критерий Стьюдента равен 1,98. Для минимальных температур рассчитанный критерий равен 2,20, для средних 2,51, а для максимальных 1,36. Таким образом, в случае с максимальными температурами тренд не вносит никакого вклада в формирование изменчивости исходного ряда, а в случаях с минимальными и средними температурами тренд вносит вклад в формирование изменчивости исходного ряда.

В таблице 3.2 представлены расчетные данные о средней температуре, границах среднего, минимальной и максимальной температуре, среднеквадратическом отклонении температуры за каждый месяц рассматриваемого периода в Точке 2.

Таблица 3.2 Расчетные данные о температуре воздуха в Точке 2

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
1997-1998						
октябрь	1,08	0,51	1,65	-3,09	5,75	2,26
ноябрь	-3,76	-4,51	-3,00	-8,60	1,75	2,96
декабрь	-7,57	-8,91	-6,23	-18,35	0,83	5,34
январь	-14,09	-15,88	-12,30	-25,54	-0,69	7,12
февраль	-26,20	-27,78	-24,61	-31,66	-6,14	6,01
март	-11,91	-13,57	-10,24	-23,45	0,80	6,62
апрель	-11,79	-12,57	-11,01	-17,39	-4,87	3,06

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
май	-4,04	-5,22	-2,86	-14,84	2,26	4,69
июнь	0,62	0,29	0,94	-3,39	5,83	1,26
июль	6,40	5,76	7,03	0,78	12,05	2,53
август	7,04	6,60	7,48	3,81	11,07	1,76
сентябрь	2,74	2,36	3,11	-0,07	6,04	1,45
1998-1999						
октябрь	-2,88	-3,79	-1,97	-10,57	3,32	3,62
ноябрь	-13,50	-15,21	-11,79	-26,63	-0,73	6,69
декабрь	-12,67	-14,78	-10,55	-26,35	1,19	8,43
январь	-21,26	-23,11	-19,40	-31,88	-3,24	7,38
февраль	-13,71	-16,18	-11,24	-28,94	-1,24	9,36
март	-12,60	-14,00	-11,19	-25,84	-1,57	5,59
апрель	-10,08	-11,31	-8,85	-17,65	1,50	4,84
май	-5,08	-5,96	-4,20	-12,69	-0,18	3,50
июнь	1,19	0,70	1,67	-2,31	6,17	1,90
июль	5,04	4,61	5,47	2,64	9,63	1,70
август	5,64	5,24	6,04	3,35	10,78	1,61
сентябрь	4,60	4,27	4,93	1,39	7,55	1,30
1999-2000						
октябрь	1,57	0,98	2,16	-2,65	6,30	2,35
ноябрь	-2,77	-3,44	-2,10	-8,71	1,85	2,63
декабрь	-3,09	-3,71	-2,47	-8,55	0,54	2,47
январь	-13,33	-14,49	-12,18	-22,09	-3,30	4,60
февраль	-9,27	-11,17	-7,38	-29,30	-1,33	7,18
март	-8,50	-9,83	-7,18	-28,74	-1,97	5,28
апрель	-3,73	-4,75	-2,71	-18,17	1,32	4,01

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
май	-0,49	-1,11	0,13	-8,12	5,25	2,47
июнь	2,98	2,50	3,46	-0,49	7,63	1,88
июль	8,24	7,61	8,87	3,66	11,93	2,50
август	8,61	8,30	8,92	5,93	11,44	1,22
сентябрь	5,66	5,12	6,19	1,57	10,86	2,10
2000-2001						
октябрь	3,58	2,82	4,33	-2,77	7,14	3,00
ноябрь	-0,65	-1,41	0,12	-7,39	4,19	3,00
декабрь	-5,99	-7,32	-4,66	-15,48	1,94	5,31
январь	-7,42	-8,66	-6,18	-16,54	0,84	4,94
февраль	-17,03	-18,67	-15,40	-26,47	-4,55	6,20
март	-14,45	-15,70	-13,20	-24,86	-2,66	4,98
апрель	-5,47	-6,56	-4,38	-16,93	0,96	4,26
май	-1,64	-2,14	-1,14	-5,83	2,23	2,00
июнь	2,04	1,60	2,48	-1,80	4,94	1,71
июль	4,61	4,26	4,96	0,53	8,63	1,39
август	5,79	5,50	6,08	2,16	9,05	1,16
сентябрь	6,58	6,06	7,09	2,54	10,89	2,00
2001-2002						
октябрь	1,27	0,79	1,74	-3,09	4,97	1,88
ноябрь	-1,96	-2,41	-1,52	-5,42	1,36	1,75
декабрь	-3,88	-4,94	-2,82	-13,14	3,04	4,23
январь	-13,15	-14,21	-12,09	-20,10	-2,42	4,22
февраль	-13,46	-14,96	-11,96	-24,76	-2,29	5,66
март	-10,87	-12,12	-9,61	-19,92	-2,23	5,00
апрель	-4,96	-6,28	-3,65	-18,04	3,17	5,14

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
май	-2,73	-3,34	-2,12	-7,27	2,32	2,42
июнь	0,30	-0,08	0,67	-3,47	4,43	1,47
июль	3,49	3,00	3,99	0,10	9,20	1,97
август	3,55	3,35	3,75	1,68	6,20	0,80
сентябрь	1,69	1,36	2,01	-1,58	4,04	1,29
2002-2003						
октябрь	0,65	0,34	0,95	-2,38	3,15	1,22
ноябрь	-3,27	-4,07	-2,47	-11,61	1,50	3,14
декабрь	-6,39	-7,61	-5,18	-17,52	0,26	4,84
январь	-16,23	-17,66	-14,79	-25,46	-3,23	5,72
февраль	-12,33	-14,10	-10,55	-23,54	0,69	6,72
март	-11,16	-12,59	-9,73	-21,13	0,13	5,70
апрель	-5,19	-6,06	-4,32	-18,06	1,02	3,41
май	-1,24	-1,83	-0,66	-7,06	6,32	2,33
июнь	0,23	-0,16	0,61	-2,27	3,91	1,52
июль	6,29	5,85	6,74	2,25	10,79	1,76
август	9,62	9,33	9,92	5,97	11,77	1,17
сентябрь	5,94	5,54	6,34	2,19	9,85	1,58
2003-2004						
октябрь	2,22	1,39	3,05	-3,15	7,95	3,31
ноябрь	-1,37	-2,01	-0,72	-7,91	2,41	2,53
декабрь	-4,56	-5,43	-3,69	-11,12	1,18	3,46
январь	-5,38	-6,07	-4,69	-13,37	-0,72	2,77
февраль	-9,35	-10,97	-7,73	-23,83	-1,08	6,23
март	-10,87	-12,32	-9,42	-19,37	-0,90	5,79
апрель	-8,13	-9,57	-6,69	-21,29	0,51	5,65

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
май	-2,35	-3,07	-1,63	-8,18	3,26	2,87
июнь	0,67	0,13	1,21	-2,91	6,42	2,12
июль	8,46	7,84	9,09	2,05	14,31	2,47
август	7,18	6,88	7,49	4,26	11,04	1,21
сентябрь	6,01	5,68	6,34	3,31	8,10	1,29
2004-2005						
октябрь	1,54	0,97	2,11	-2,07	5,88	2,27
ноябрь	-1,79	-2,44	-1,14	-6,56	3,28	2,54
декабрь	-4,80	-5,62	-3,97	-9,94	0,65	3,29
январь	-4,81	-5,40	-4,23	-9,42	-0,10	2,33
февраль	-5,35	-6,12	-4,58	-13,75	-0,11	2,91
март	-11,80	-12,75	-10,84	-19,83	-3,80	3,79
апрель	-7,75	-8,75	-6,75	-16,19	-0,20	3,92
май	-1,08	-1,95	-0,22	-8,46	5,78	3,45
июнь	0,82	0,41	1,24	-2,62	4,88	1,62
июль	4,88	4,19	5,58	0,54	10,85	2,76
август	7,58	7,14	8,02	4,51	11,52	1,75
сентябрь	6,62	6,23	7,01	2,67	10,11	1,53
2005-2006						
октябрь	2,78	2,05	3,51	-2,77	7,49	2,90
ноябрь	0,40	-0,18	0,98	-5,09	4,08	2,27
декабрь	-2,93	-3,44	-2,42	-7,14	0,94	2,03
январь	-9,68	-10,92	-8,44	-18,24	-0,15	4,94
февраль	-8,25	-9,45	-7,04	-18,34	-1,18	4,55
март	-6,62	-7,40	-5,85	-12,05	0,70	3,08
апрель	-7,70	-8,60	-6,81	-15,23	0,90	3,51

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
май	-0,93	-1,26	-0,59	-3,57	2,63	1,33
июнь	2,58	2,00	3,16	-1,66	8,09	2,28
июль	4,73	4,29	5,16	1,36	10,16	1,75
август	5,46	5,12	5,80	2,62	8,24	1,35
сентябрь	5,02	4,59	5,45	1,59	8,45	1,69
2006-2007						
октябрь	0,36	-0,40	1,11	-6,11	5,16	3,00
ноябрь	-3,75	-4,37	-3,13	-7,76	0,35	2,44
декабрь	-4,67	-5,68	-3,67	-11,51	1,16	4,01
январь	-4,46	-5,37	-3,55	-12,92	-0,46	3,61
февраль	-14,52	-15,51	-13,52	-22,64	-4,82	3,77
март	-4,33	-5,45	-3,21	-21,95	1,10	4,45
апрель	-2,42	-2,94	-1,91	-6,58	2,08	2,03
май	-2,63	-3,20	-2,06	-6,54	2,79	2,28
июнь	1,32	0,61	2,03	-1,79	8,63	2,78
июль	7,29	6,94	7,64	4,52	11,09	1,40
август	8,06	7,66	8,46	4,11	12,60	1,61
сентябрь	6,96	6,55	7,36	2,83	10,17	1,60

Согласно вышеприведенным данным, самая низкая температура воздуха была зафиксирована в январе 1999г и составила $-31,88^{\circ}\text{C}$, а самая высокая в июле 2004г и составила $14,31^{\circ}\text{C}$. Необходимо отметить, что за 10-летний период в Точке 2 самые низкие температуры отмечались чаще всего в феврале (70% случаев), а самые высокие температуры в июле (60% случаев). Самая низкая среднегодовая температура наблюдалась в 1998-1999г и составила $-6,28^{\circ}\text{C}$, а самая высокая в 1999-2000гг и составила $-1,07^{\circ}\text{C}$.

Представим графически минимальные, максимальные и средние значения температуры воздуха в Точке 2 и проведем линию тренда (рисунок 3.2 а, б, в).

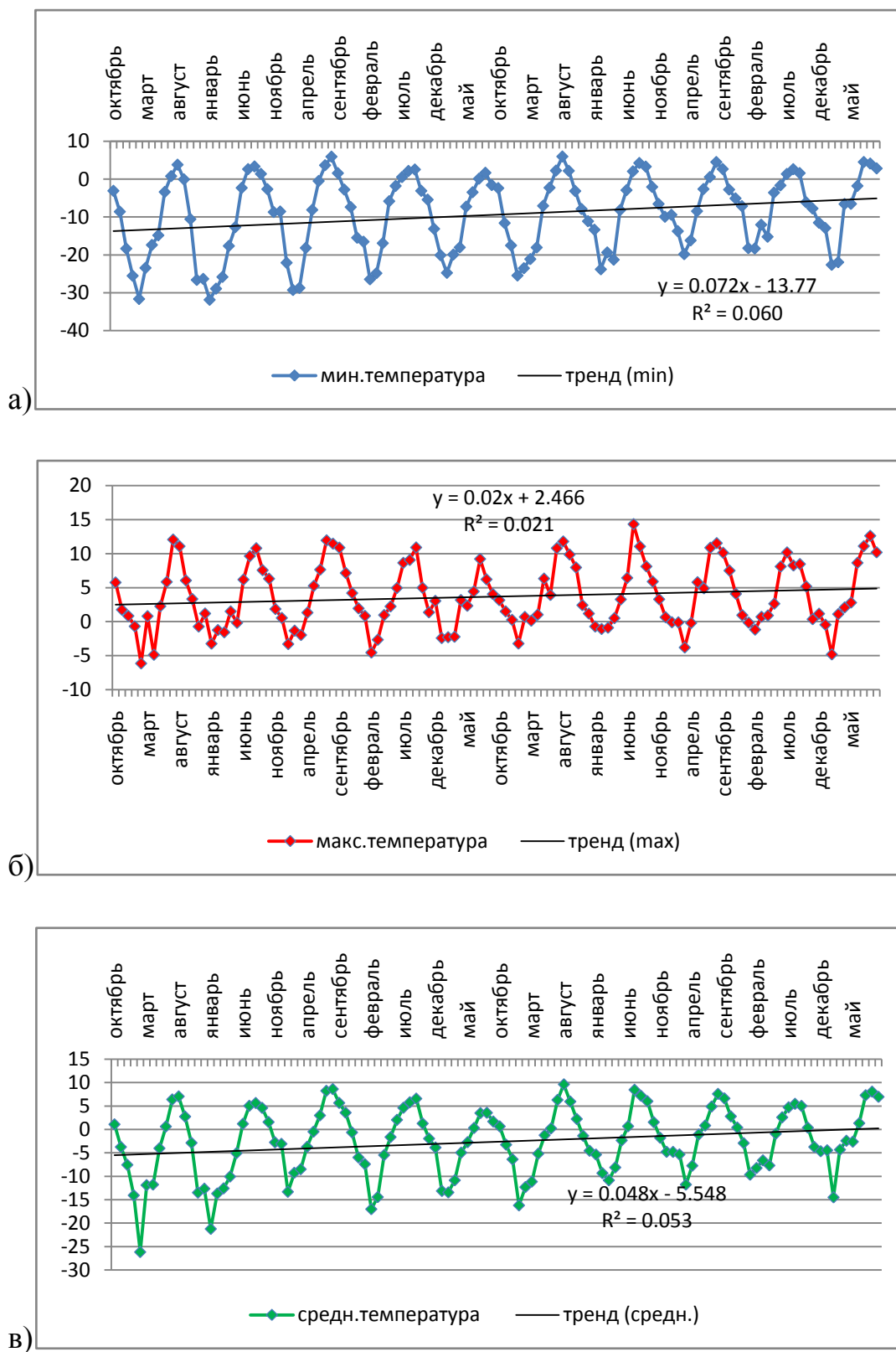


Рисунок 3.2 Минимальные, максимальные и средние значения температуры воздуха в Точке 2, °С

Проведя анализ полученных данных из рисунка 3.2 (а, б, в) можно сделать вывод, что во всех случаях угол наклона линии тренда – незначительный. Для минимальных температур он составляет $4,15^\circ$, для максимальных составляет $1,15^\circ$, а для средних он равен $2,76^\circ$. Что касается тренда, то в случае с минимальной и средней температурой он значим, а в случае с максимальной - не значим. В рассматриваемом случае критерий Стьюдента равен 1,98. Для минимальных температур рассчитанный критерий равен 2,87, для средних 2,67, а для максимальных 1,46. Таким образом, в случае с максимальными температурами тренд не вносит никакого вклада в формирование изменчивости исходного ряда, а в случаях с минимальными и средними температурами тренд вносит вклад в формирование изменчивости исходного ряда.

В таблице 3.3 представлены расчетные данные о средней температуре, границах среднего, минимальной и максимальной температуре, среднеквадратическом отклонении температуры за каждый месяц рассматриваемого периода в Точке 3.

Таблица 3.3 Расчетные данные о температуре воздуха в Точке 3

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
1997-1998						
октябрь	1,03	0,38	1,68	-3,95	6,17	2,59
ноябрь	-5,27	-6,29	-4,25	-13,28	0,19	3,99
декабрь	-12,59	-14,36	-10,82	-26,64	0,07	7,05
январь	-16,16	-18,05	-14,27	-28,31	-1,85	7,53
февраль	-26,90	-28,48	-25,31	-33,08	-7,34	6,00
март	-11,81	-13,35	-10,26	-23,57	-0,33	6,15
апрель	-11,80	-12,54	-11,07	-17,60	-6,05	2,89

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
май	-4,00	-5,29	-2,72	-15,07	3,28	5,13
июнь	0,97	0,59	1,35	-2,57	6,25	1,48
июль	6,07	5,39	6,75	0,35	11,39	2,70
август	6,71	6,18	7,23	2,86	11,63	2,08
сентябрь	2,10	1,73	2,47	-0,71	5,56	1,45
1998-1999						
октябрь	-4,66	-5,78	-3,53	-12,68	2,00	4,49
ноябрь	-15,42	-17,25	-13,60	-29,54	-1,07	7,17
декабрь	-14,57	-16,71	-12,44	-28,23	0,97	8,50
январь	-22,00	-23,70	-20,29	-32,55	-4,71	6,81
февраль	-14,15	-16,48	-11,82	-29,28	-1,93	8,81
март	-13,90	-15,38	-12,43	-26,82	-0,48	5,87
апрель	-10,33	-11,57	-9,10	-18,25	-0,88	4,84
май	-5,00	-5,85	-4,15	-12,34	0,39	3,40
июнь	0,89	0,42	1,36	-3,29	6,73	1,85
июль	4,85	4,34	5,36	1,84	9,83	2,03
август	5,87	5,37	6,36	3,37	11,67	1,98
сентябрь	4,54	4,14	4,95	1,30	7,92	1,57
1999-2000						
октябрь	1,13	0,45	1,81	-3,44	6,64	2,71
ноябрь	-5,03	-5,82	-4,25	-11,32	1,06	3,08
декабрь	-6,02	-7,15	-4,89	-15,62	0,69	4,52
январь	-17,41	-18,96	-15,86	-28,89	-3,97	6,18
февраль	-10,44	-12,36	-8,53	-30,74	-1,19	7,23
март	-8,72	-10,21	-7,22	-31,12	0,30	5,95
апрель	-5,14	-6,26	-4,02	-18,26	1,63	4,37

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
май	-2,28	-3,14	-1,42	-11,93	4,42	3,42
июнь	2,69	2,15	3,23	-1,15	9,76	2,12
июль	8,08	7,45	8,72	3,06	13,39	2,53
август	8,52	8,12	8,91	4,85	12,27	1,59
сентябрь	5,50	4,91	6,09	1,30	11,28	2,30
2000-2001						
октябрь	2,71	1,91	3,52	-3,64	6,86	3,21
ноябрь	-2,45	-3,53	-1,37	-12,64	3,43	4,23
декабрь	-11,25	-13,11	-9,38	-23,98	-0,85	7,43
январь	-12,56	-14,01	-11,12	-22,22	-2,64	5,76
февраль	-18,72	-20,14	-17,31	-25,23	-5,39	5,35
март	-14,70	-15,98	-13,43	-24,85	-4,72	5,07
апрель	-6,12	-7,34	-4,89	-16,71	2,73	4,80
май	-1,77	-2,42	-1,12	-7,60	3,41	2,59
июнь	1,22	0,81	1,64	-2,37	4,37	1,63
июль	4,46	4,02	4,91	-0,78	9,88	1,78
август	6,95	6,57	7,32	3,49	10,89	1,50
сентябрь	6,93	6,33	7,53	2,42	11,58	2,35
2001-2002						
октябрь	0,73	0,19	1,26	-3,57	4,28	2,13
ноябрь	-3,70	-4,22	-3,19	-8,65	0,03	2,01
декабрь	-6,29	-7,53	-5,05	-17,20	2,11	4,95
январь	-18,08	-19,23	-16,93	-25,47	-5,42	4,60
февраль	-13,63	-15,30	-11,96	-26,86	-1,78	6,33
март	-10,73	-11,94	-9,51	-19,64	-1,88	4,84
апрель	-5,15	-6,46	-3,84	-16,65	2,66	5,13

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
май	-2,96	-3,67	-2,25	-8,99	3,53	2,84
июнь	0,54	0,12	0,97	-3,00	6,09	1,66
июль	2,95	2,33	3,58	-0,51	9,60	2,49
август	3,42	3,16	3,68	1,03	5,96	1,04
сентябрь	1,27	0,94	1,61	-1,25	4,10	1,31
2002-2003						
октябрь	0,05	-0,21	0,31	-3,41	2,49	1,04
ноябрь	-4,88	-5,80	-3,96	-12,90	0,60	3,61
декабрь	-10,62	-12,25	-8,98	-24,15	-0,47	6,51
январь	-17,25	-18,70	-15,80	-25,68	-3,80	5,79
февраль	-14,42	-16,15	-12,70	-24,93	0,26	6,53
март	-13,05	-14,66	-11,44	-23,39	-0,73	6,42
апрель	-6,81	-7,91	-5,72	-20,43	1,25	4,29
май	-1,11	-1,87	-0,34	-9,09	7,21	3,04
июнь	0,70	0,19	1,20	-3,56	6,16	1,99
июль	5,58	4,93	6,23	0,97	11,27	2,60
август	10,76	10,31	11,22	5,36	13,13	1,80
сентябрь	6,15	5,74	6,56	1,75	9,54	1,61
2003-2004						
октябрь	2,33	1,40	3,26	-4,11	9,50	3,70
ноябрь	-3,18	-3,90	-2,47	-9,70	0,86	2,80
декабрь	-6,34	-7,43	-5,26	-15,18	0,43	4,31
январь	-9,26	-10,38	-8,13	-21,19	-3,07	4,49
февраль	-12,46	-14,30	-10,63	-25,60	-2,90	7,07
март	-12,99	-14,45	-11,53	-20,32	-0,97	5,81
апрель	-9,31	-10,66	-7,95	-19,89	0,36	5,31

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
май	-2,17	-2,88	-1,46	-7,16	3,81	2,83
июнь	1,00	0,41	1,59	-2,69	6,74	2,30
июль	6,49	5,85	7,13	1,30	13,38	2,55
август	6,09	5,76	6,43	2,73	8,74	1,34
сентябрь	5,71	5,36	6,06	2,71	8,35	1,38
2004-2005						
октябрь	0,86	0,29	1,44	-3,33	5,25	2,30
ноябрь	-3,14	-3,89	-2,39	-9,11	1,56	2,94
декабрь	-9,18	-10,60	-7,76	-19,25	-0,21	5,65
январь	-8,02	-8,81	-7,23	-13,91	-1,33	3,14
февраль	-9,10	-9,99	-8,20	-17,61	-1,01	3,39
март	-15,05	-16,20	-13,90	-24,14	-5,22	4,58
апрель	-8,95	-10,12	-7,77	-17,35	-0,15	4,61
май	-0,93	-1,86	0,00	-9,69	5,27	3,70
июнь	0,96	0,49	1,43	-2,51	6,92	1,83
июль	5,38	4,36	6,39	0,18	14,33	4,03
август	8,53	8,01	9,04	4,36	12,40	2,05
сентябрь	7,10	6,64	7,56	2,60	11,12	1,80
2005-2006						
октябрь	2,93	2,18	3,67	-2,01	7,91	2,95
ноябрь	-0,36	-0,95	0,22	-6,61	3,54	2,29
декабрь	-5,26	-5,97	-4,54	-12,39	0,18	2,86
январь	-15,65	-17,25	-14,04	-26,15	-0,90	6,38
февраль	-12,31	-13,63	-10,99	-23,95	-4,17	5,00
март	-9,60	-10,51	-8,68	-16,48	-0,10	3,64
апрель	-8,49	-9,47	-7,51	-17,63	0,64	3,83

	Средн.	Границы среднего (-95%)	Границы среднего (+95%)	Min	Max	СКО
май	-0,96	-1,39	-0,52	-5,28	3,97	1,73
июнь	2,53	1,92	3,13	-1,75	8,86	2,36
июль	4,20	3,67	4,72	0,61	10,60	2,09
август	5,83	5,25	6,40	1,58	9,81	2,28
сентябрь	5,26	4,72	5,79	1,46	9,18	2,10
2006-2007						
октябрь	-0,68	-1,50	0,13	-7,20	3,47	3,26
ноябрь	-7,84	-8,82	-6,86	-13,97	-0,90	3,84
декабрь	-7,65	-9,15	-6,14	-17,99	1,42	6,00
январь	-7,32	-8,60	-6,05	-17,66	-1,52	5,07
февраль	-17,75	-18,54	-16,97	-24,63	-7,25	2,98
март	-5,35	-6,49	-4,20	-24,76	1,06	4,56
апрель	-4,02	-4,85	-3,19	-12,09	3,82	3,26
май	-3,64	-4,40	-2,88	-8,49	2,57	3,03
июнь	1,99	1,08	2,89	-2,11	10,89	3,55
июль	6,76	6,27	7,25	3,28	11,67	1,94
август	7,48	6,99	7,97	3,93	13,14	1,97
сентябрь	6,74	6,30	7,19	3,18	11,02	1,75

Согласно вышеприведенным данным, самая низкая температура воздуха была зафиксирована в феврале 1998г и составила $-33,08^{\circ}\text{C}$, а самая высокая в июле 2005г и составила $14,33^{\circ}\text{C}$. Необходимо отметить, что за 10-летний период в Точке 3 самые низкие температуры отмечались чаще всего в феврале и марте (40% и 30% случаев соответственно), а самые высокие температуры в июле и августе (50% и 40% случаев соответственно). Самая низкая среднегодовая температура наблюдалась в 1998-1999г и составила $-6,99^{\circ}\text{C}$, а самая высокая в 1999-2000гг и составила $-2,42^{\circ}\text{C}$.

Представим графически минимальные, максимальные и средние значения температуры воздуха в Точке 2 и проведем линию тренда (рисунок 3.3 а, б, в).

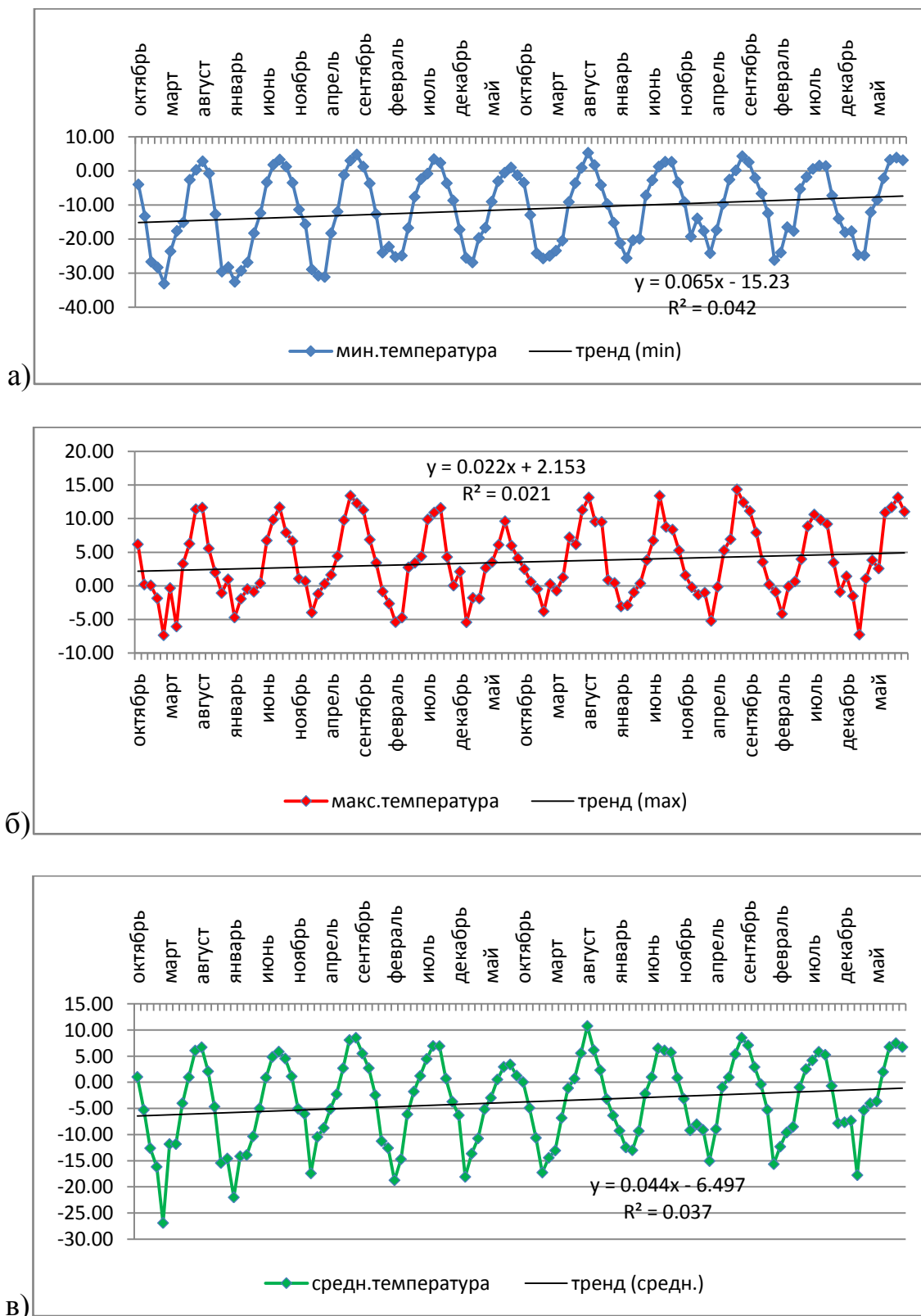


Рисунок 3.3 Минимальные, максимальные и средние значения температуры воздуха в Точке 3, °С

Проведя анализ полученных данных из рисунка 3.3 (а, б, в) можно сделать вывод, что во всех случаях угол наклона линии тренда – незначительный. Для минимальных температур он составляет $3,75^\circ$, для максимальных составляет $1,31^\circ$, а для средних он равен $2,56^\circ$. Что касается тренда, то в случае с минимальной и средней температурой он значим, а в случае с максимальной - не значим. В рассматриваемом случае критерий Стьюдента равен 1,98. Для минимальных температур рассчитанный критерий равен 2,35, для средних 2,19, а для максимальных 1,64. Таким образом, в случае с максимальными температурами тренд не вносит никакого вклада в формирование изменчивости исходного ряда, а в случаях с минимальными и средними температурами тренд вносит вклад в формирование изменчивости исходного ряда.

Рассмотрим полученные результаты изменчивости температуры в трех точках в период с 1997 по 2007гг. На рисунке 3.4 показано, как меняются среднемесячные температуры за весь изучаемый период в трех точках по месяцам. Если рассматривать 3 точки одновременно, то очевидно, что самые низкие температуры приходятся на февраль, а самые высокие на август. Наибольший разброс значений также приходится на февраль.

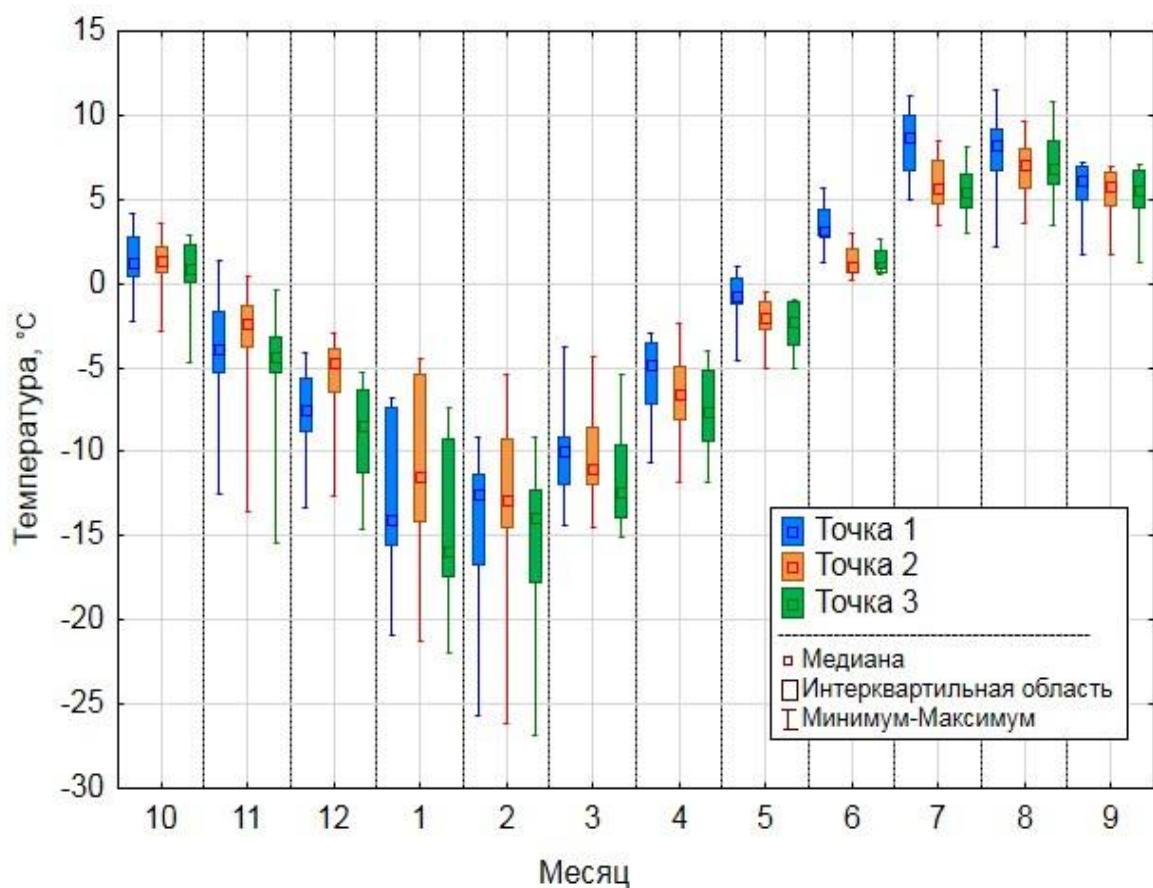


Рисунок 3.4 Изменчивость среднемесячных значений температуры по месяцам в точках 1–3 за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года

Следует отметить, что температуры очень близки по значениям во всех точках, что подтверждается расчетом коэффициента корреляции, который между Точкой 1 и Точкой 2 равен 0,98, между Точкой 1 и Точкой 3 – 0,99 и между Точкой 2 и Точкой 3 – 0,98. Таким образом, можно говорить о том, что существует прямая линейная зависимость между всеми тремя точками.

Распределение среднемесячных значений температуры представлено на рисунке 3.5 (а, б, в).

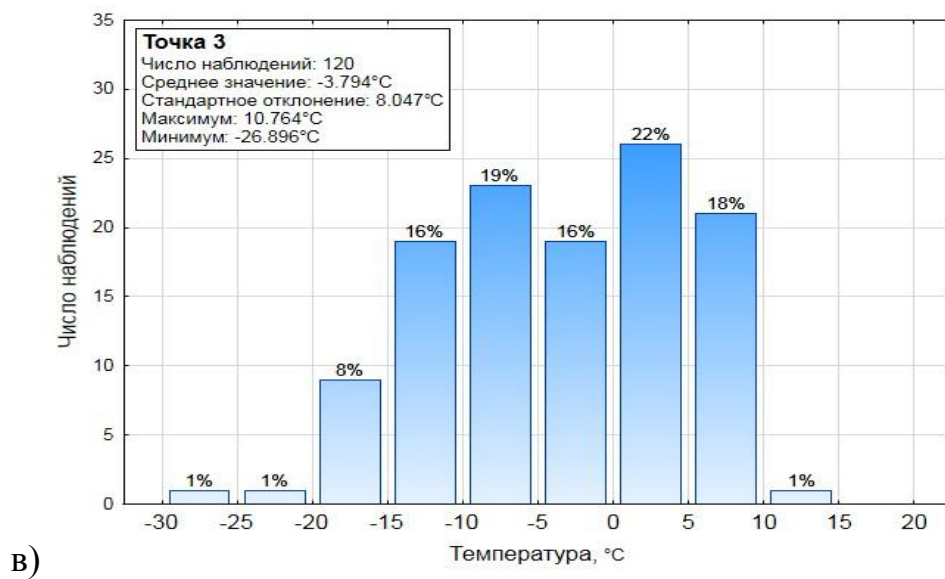
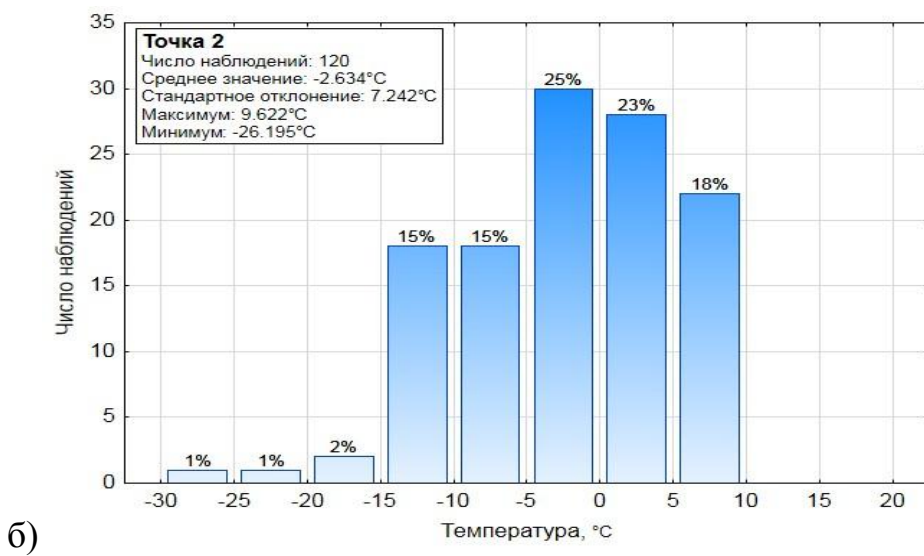
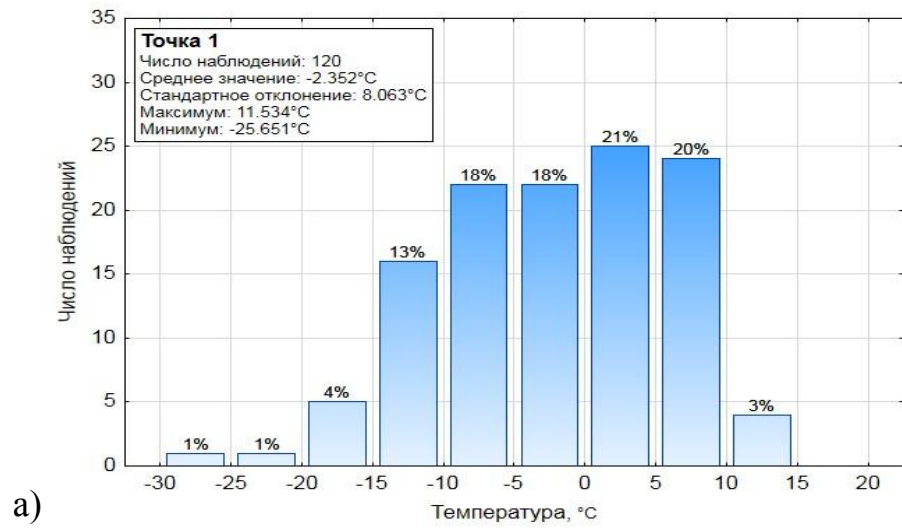


Рисунок 3.5 Распределение среднемесячных значений температуры в точках 1–3 за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года

Из приведенных рисунков, видно, что наибольшее количество среднемесячных значений температуры попадает в диапазон от 0° до 5° в Точке 1 и Точке 3 (21% и 22% значений соответственно), а в Точке 2 в диапазон от -5° до 0° (25%). В целом, основная масса среднемесячных значений на всех трех точках попадает в диапазон от -15° до $+10^{\circ}$.

Анализ значений среднемесячной температуры для каждой из трех точек не позволил выявить какую-либо периодичность в данных, кроме годовой (см. рисунок 3.6 – спектральные плотности для температуры для каждой из трех точек). Разложение временных рядов среднемесячных значений температуры показано на рисунках 3.7- 3.9.

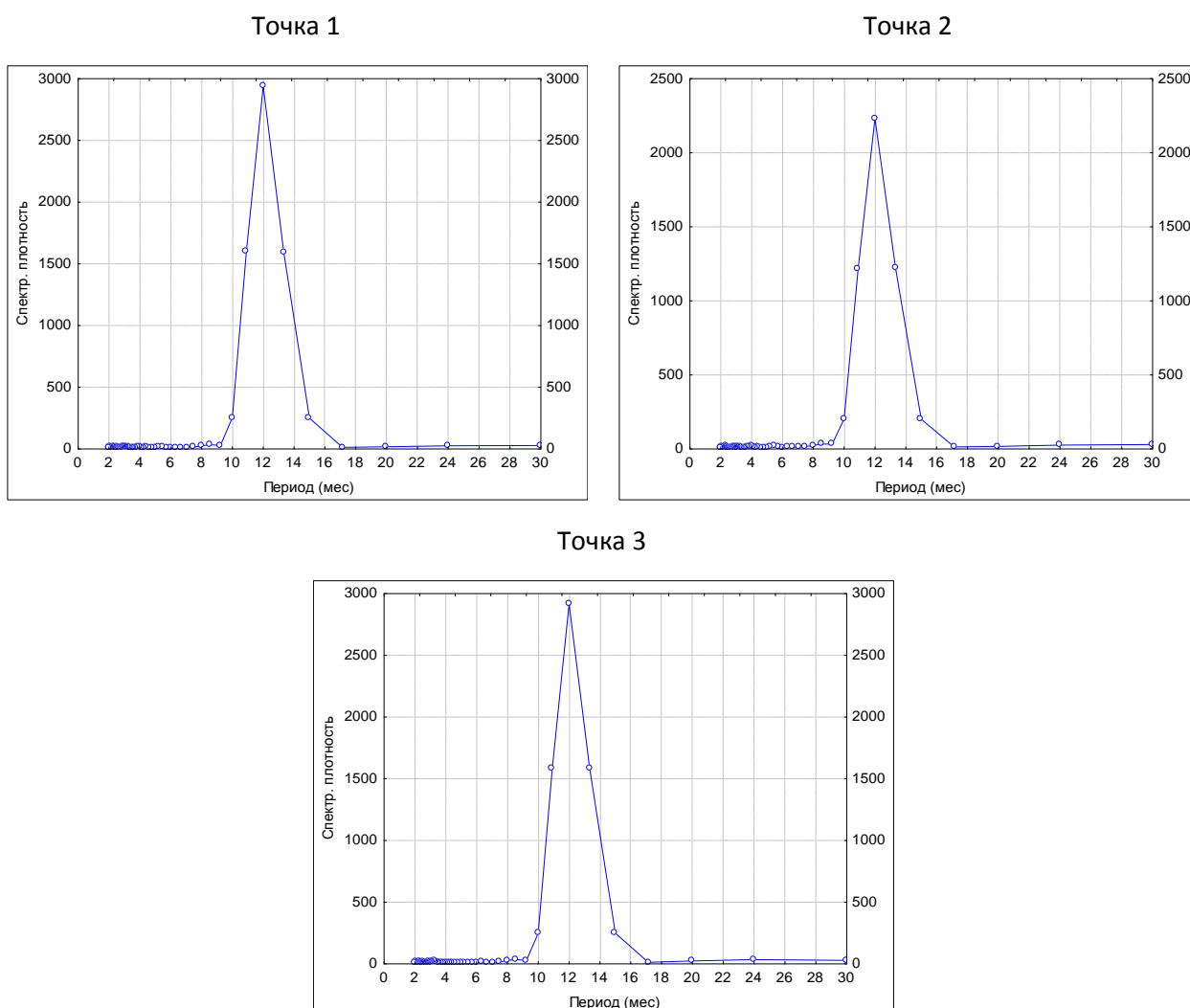


Рисунок 3.6 Спектральная плотность среднемесячных значений температуры в точках 1–3 по данным за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года

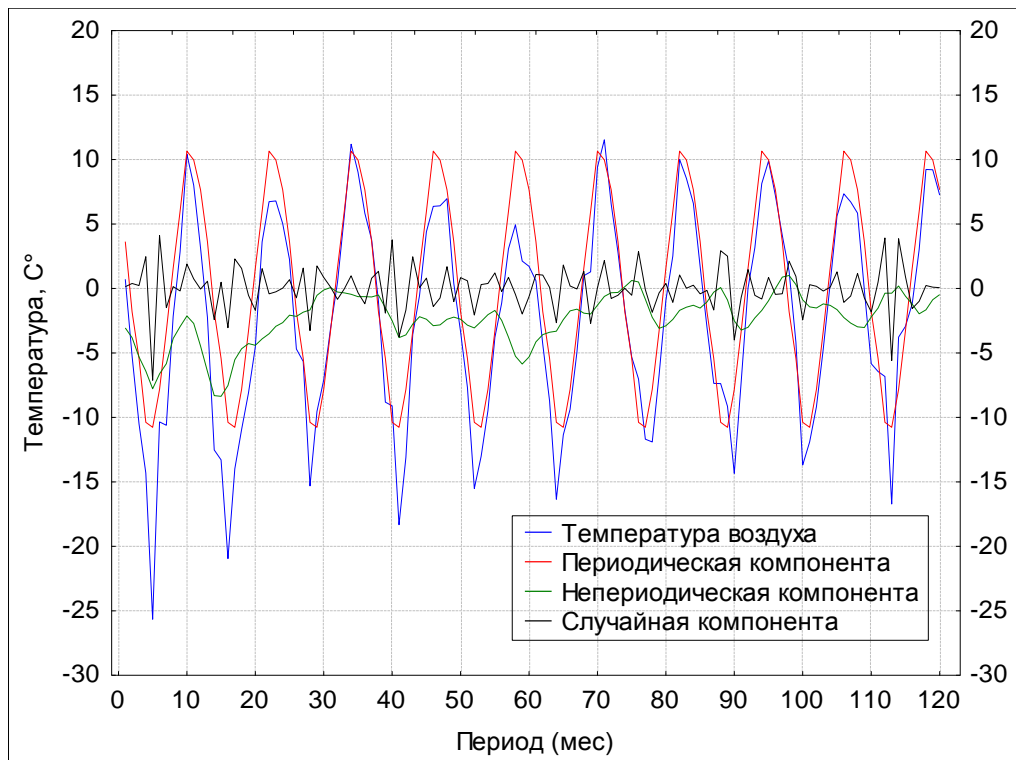


Рисунок 3.7 Разложение исходного временного ряда среднемесячных значений температуры в точке 1 на составляющие (по данным за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года)

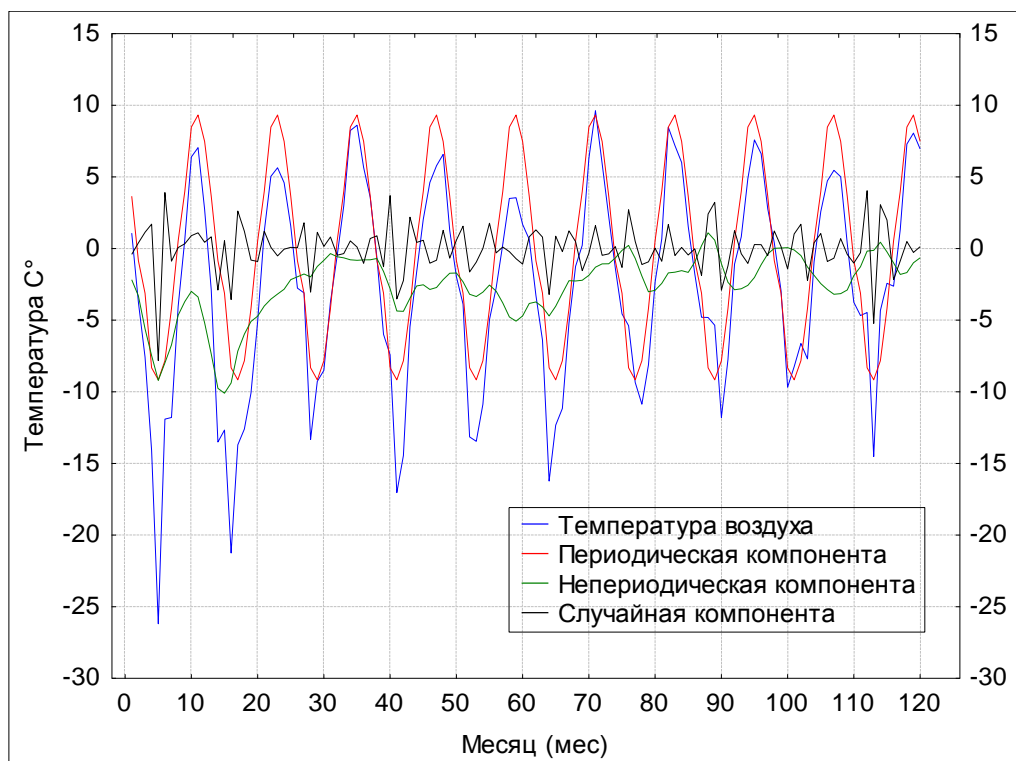


Рисунок 3.8 Разложение исходного временного ряда среднемесячных значений температуры в точке 2 на составляющие (по данным за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года)

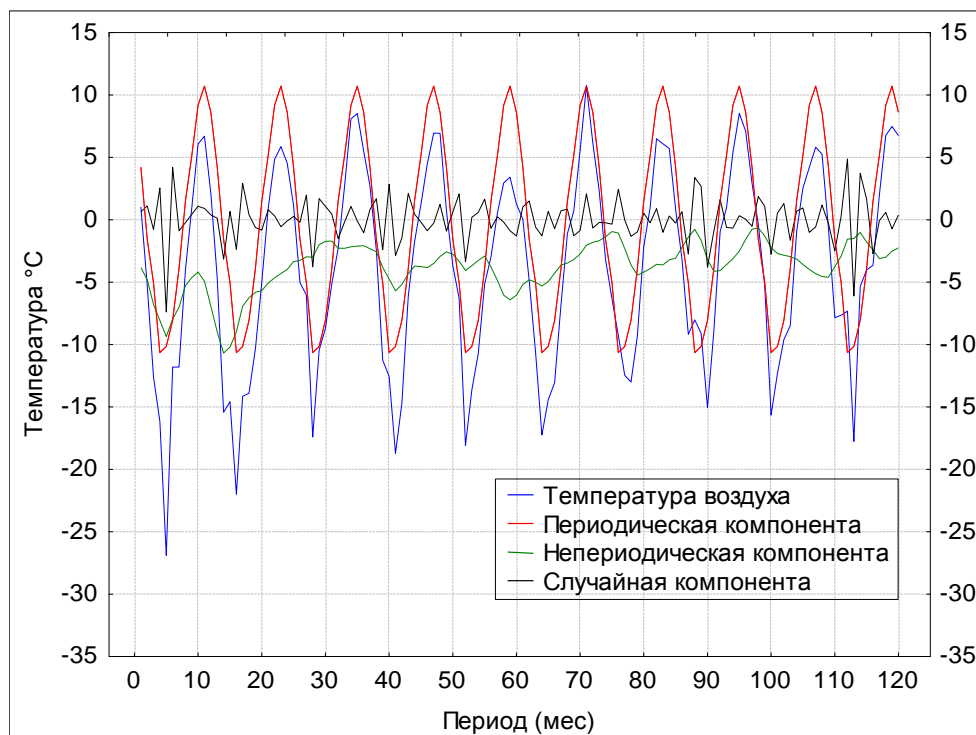


Рисунок 3.9 Разложение исходного временного ряда среднемесячных значений температуры в точке 3 на составляющие (по данным за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года)

3.1.2 Анализ ветра

Рассмотрим данные о скорости и направлении ветра в трех точках с октября 1997 по сентябрь 2007гг.

В таблице 3.4 представлена информация о максимальных скоростях ветра за каждый год в трех точках с октября 1997 по сентябрь 2007г.

Таблица 3.4 Максимальные скорости ветра в трех точках с 1997 по 2007 гг

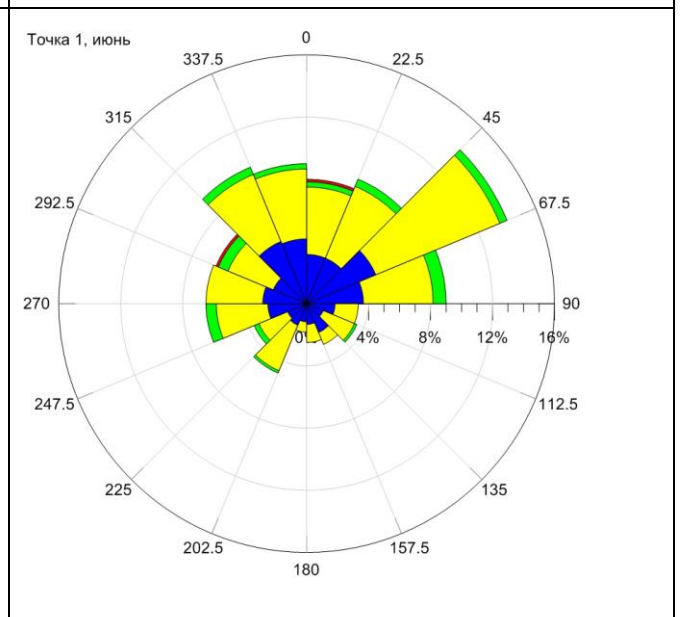
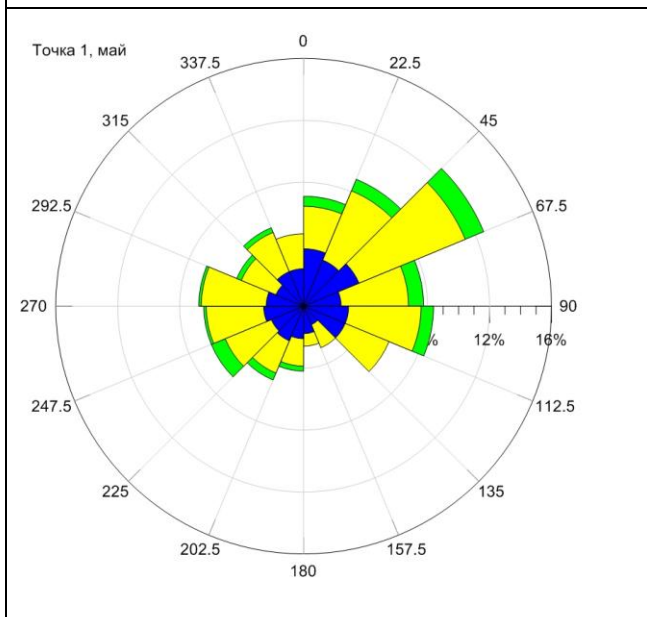
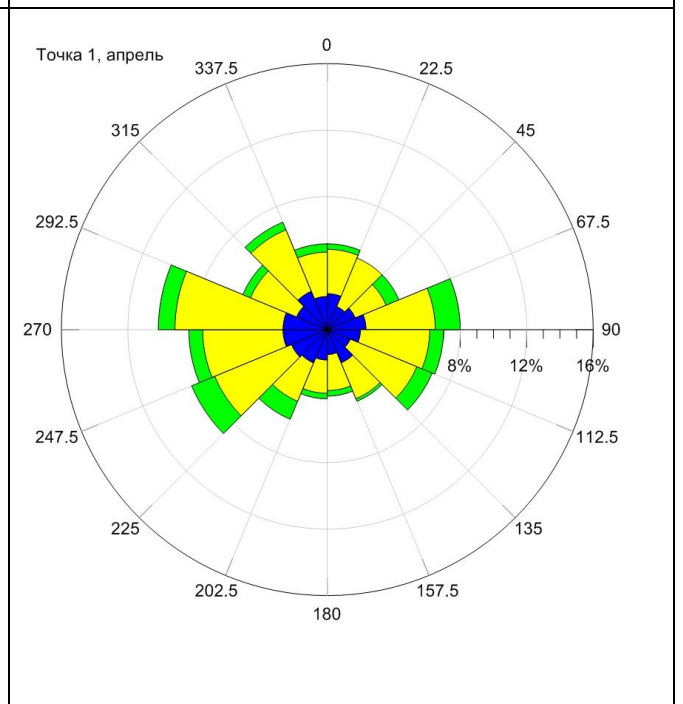
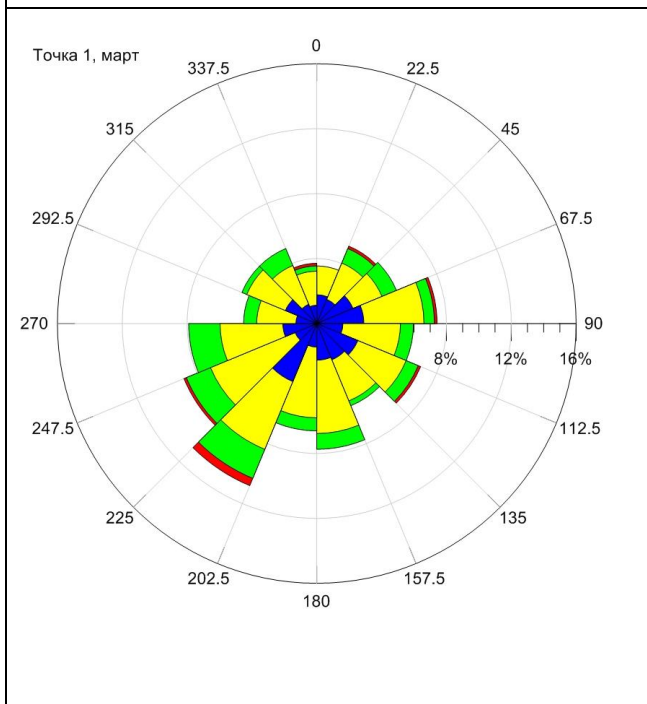
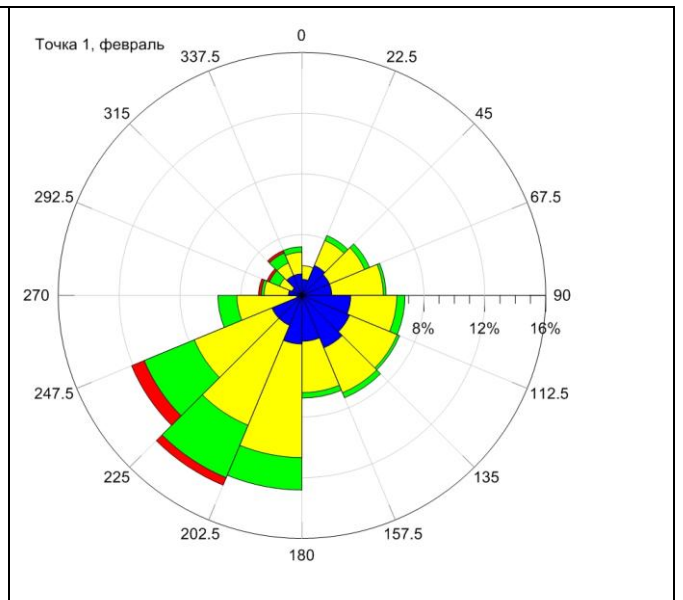
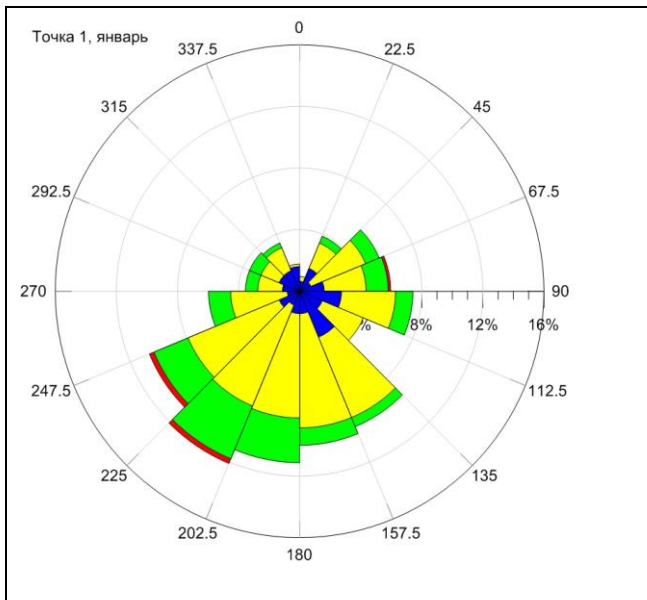
Период	Точка 1	Точка 2	Точка 3
1997-1998	17,02	18,16	18,37
1998-1999	15,97	15,83	18,03
1999-2000	14,48	16,27	17,37
2000-2001	15,29	18,49	16,88
2001-2002	15,59	17,46	18,37

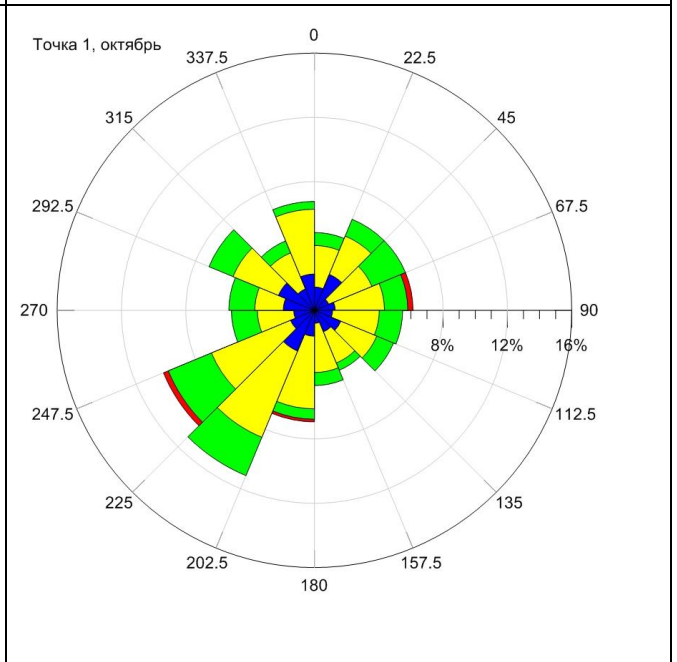
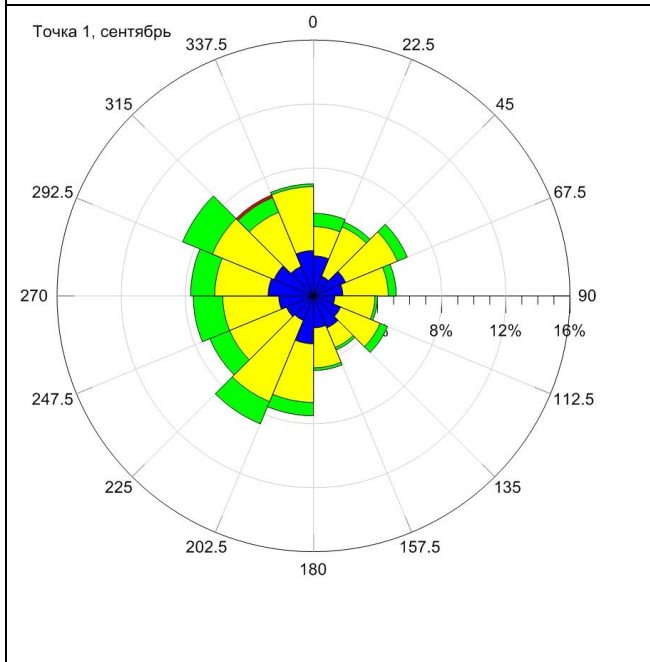
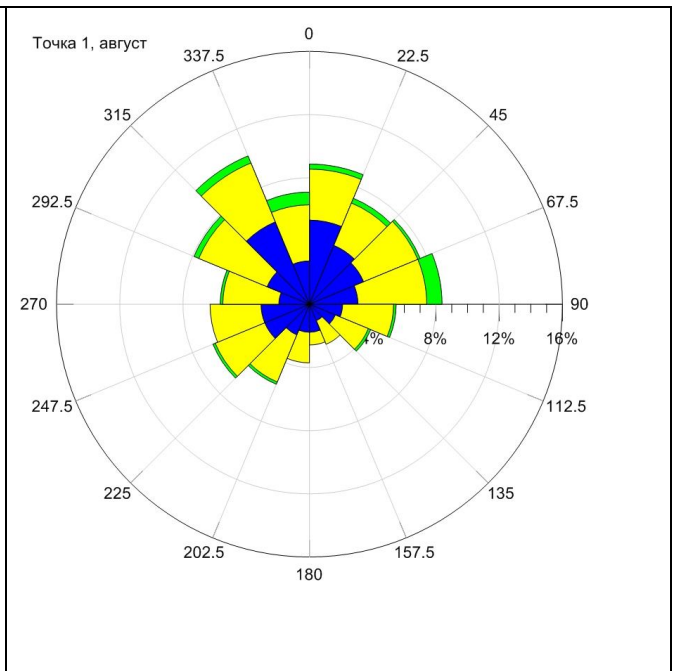
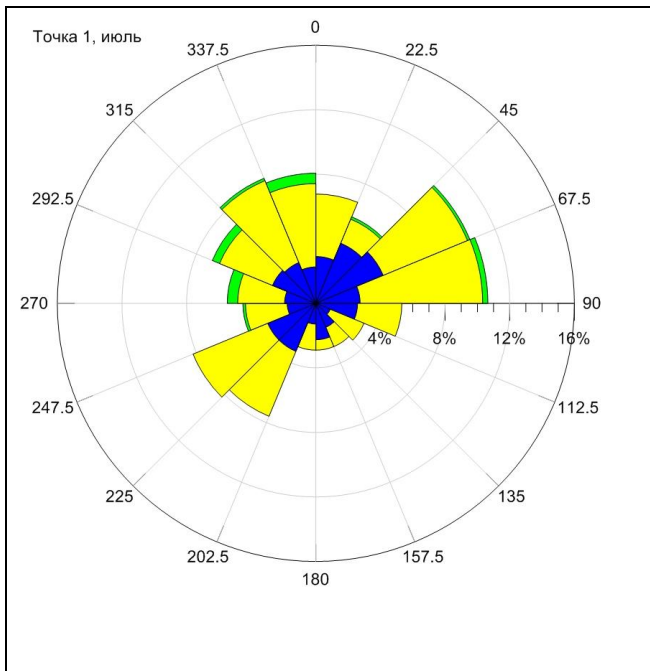
Период	Точка 1	Точка 2	Точка 3
2002-2003	18,13	20,43	20,34
2003-2004	17,49	18,09	20,00
2004-2005	19,07	17,16	19,86
2005-2006	15,93	20,21	19,49
2006-2007	17,29	17,63	20,85

Согласно вышеприведенным данным самая высокая скорость ветра в Точке 1 была зафиксирована в ноябре 2004г. и составила 19,07 м/с, в Точке 2 – в феврале 2003г. и составила 20,43 м/с, а в Точке 3 – в январе 2007г. и составила 20,85 м/с.

Расчитав коэффициент корреляции между точками были получены следующие результаты: между Точкой 1 и Точкой 2 коэффициент корреляции равен 0,69, между Точкой 1 и Точкой 3 равен 0,75 и между Точкой 2 и 3 – 0,83. Проверка значимости коэффициента корреляции показала, что он значим. Отсюда можно сделать вывод, что между Точками 1 и 3 и Точками 2 и 3 существует сильная положительная линейная связь, а между Точками 1 и 2 – умеренная положительная линейная связь.

На рисунке 3.10 показаны розы ветров, построенные по 16 румбам и демонстрирующие распределение направлений и скоростей ветра по месяцам в точке 1 за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года





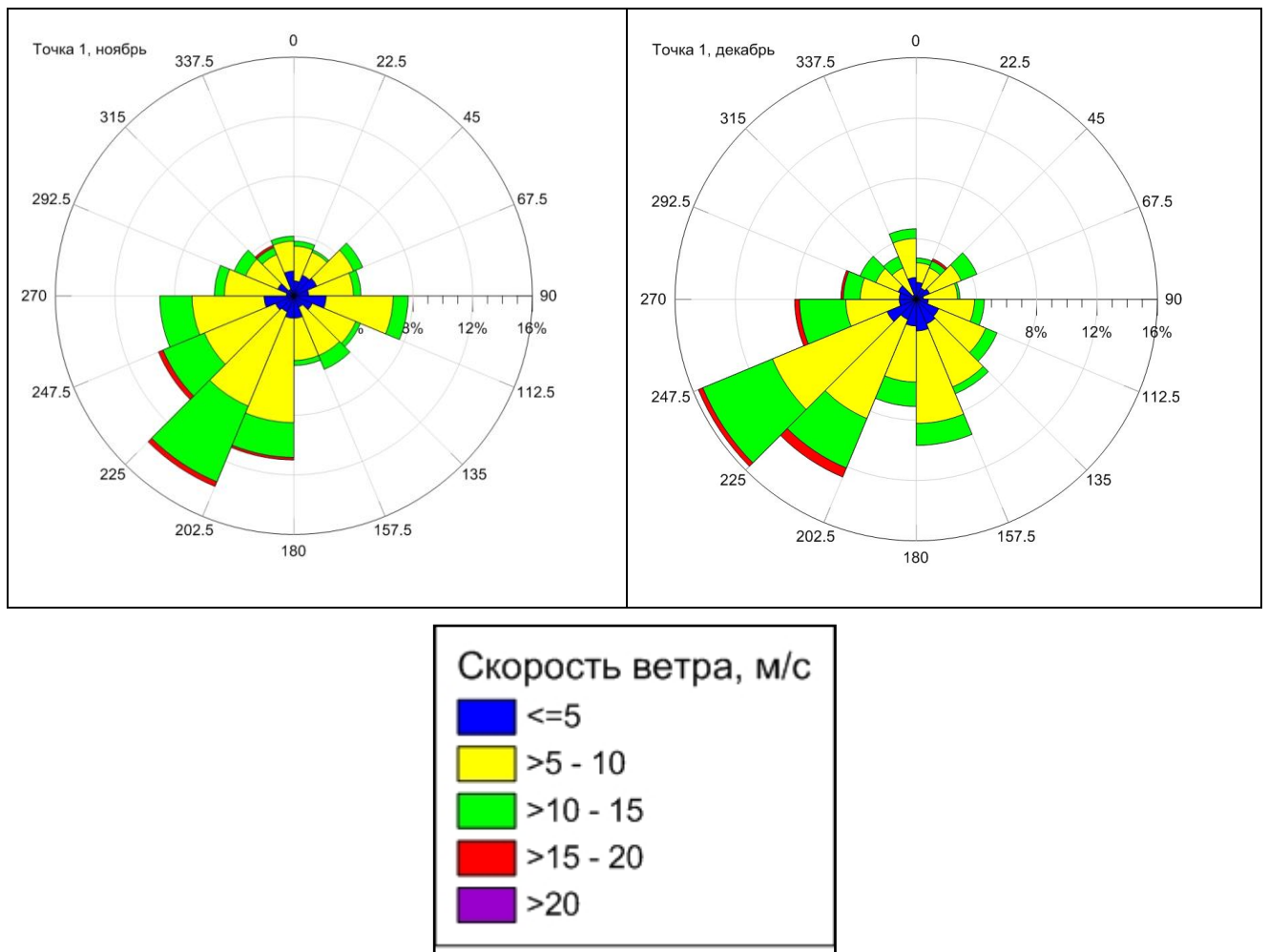
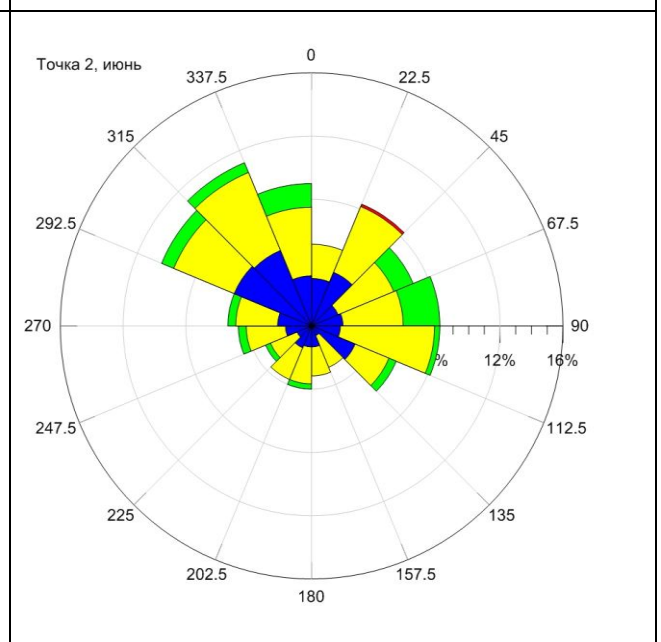
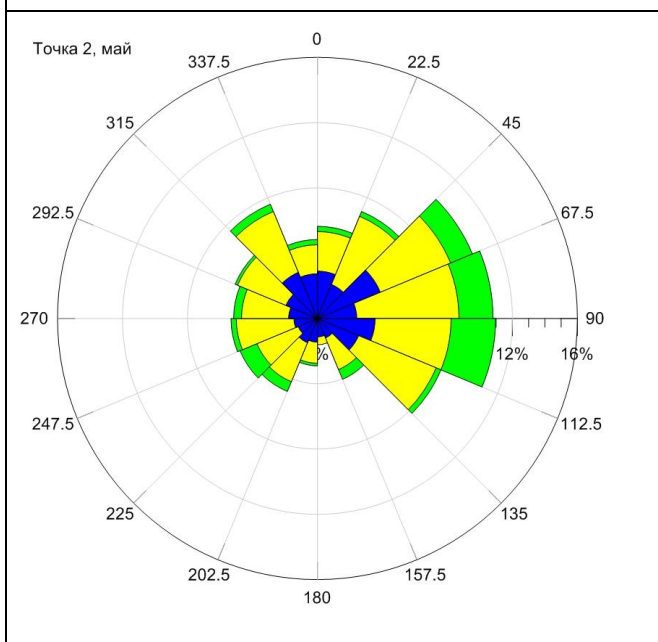
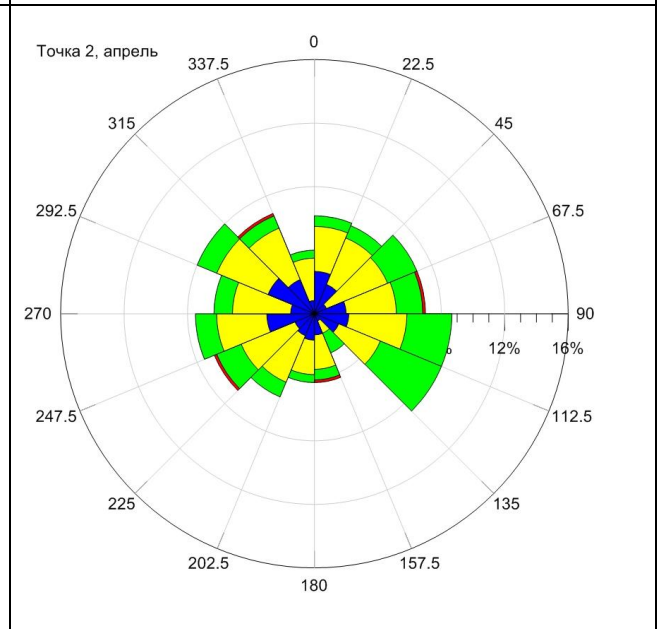
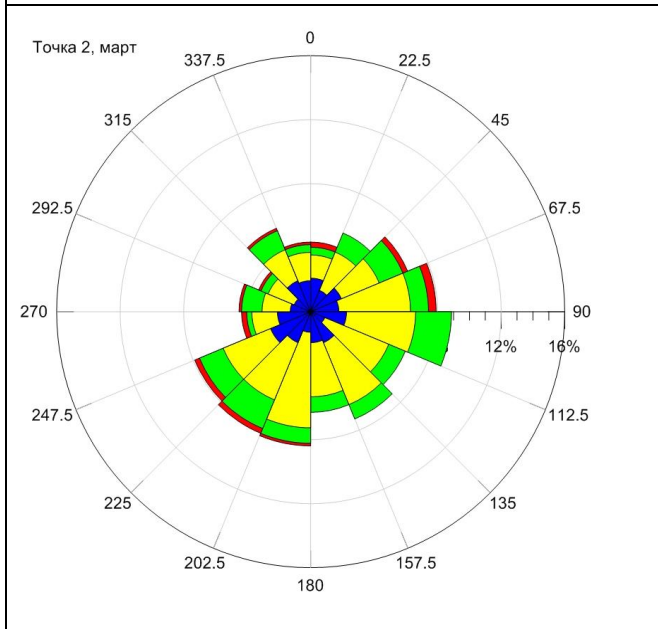
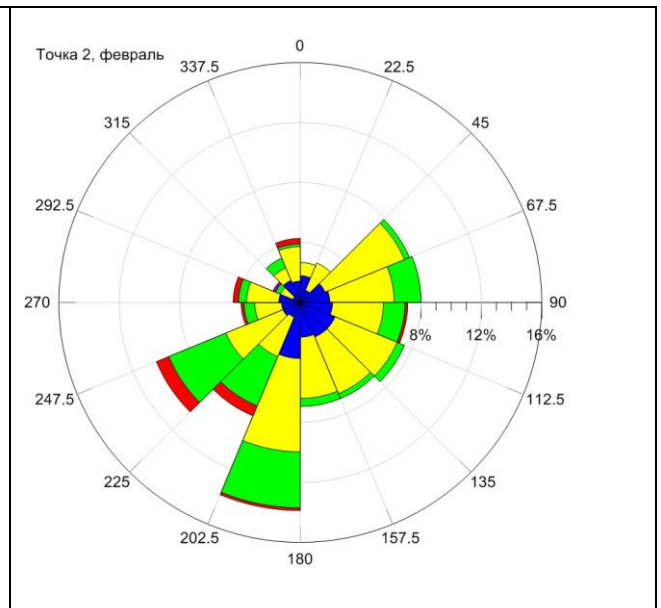
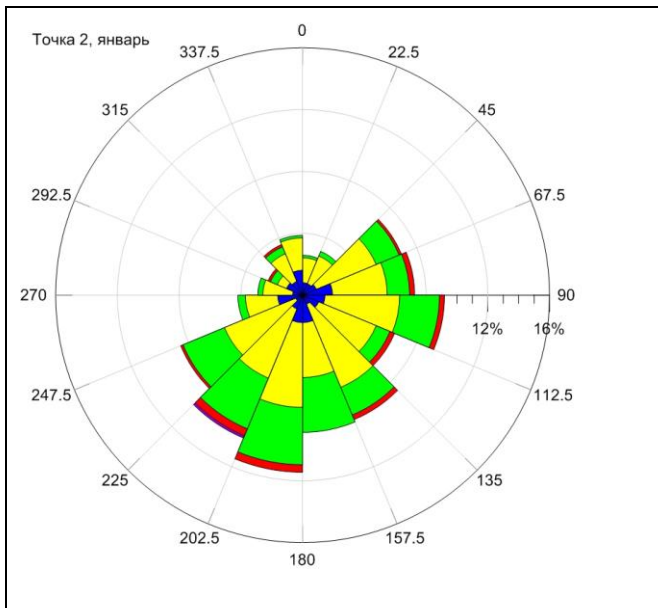


Рисунок 3.10 Распределение направлений и скоростей ветра по месяцам в точке 1 за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года

Как видно из вышеприведенных роз ветров за десять лет в Точке 1 в период с октября по март (включительно) преимущественно наблюдаются ветра юго-западной четверти и со скоростями, достигающими при данном направлении – 5-10 м/с. Наибольшее количество ветров юго-западного направления с преобладающей скоростью ветра 5-10 м/с было зафиксировано в декабре. В остальные месяцы ветер постоянно меняет свое направление, за исключением мая и июня, когда преобладает ветер северо-восточного направления со скоростью 5-10 м/с.

На рисунке 3.11 показаны розы ветров, построенные по 16 румбам и демонстрирующие распределение направлений и скоростей ветра по месяцам в точке 2 за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года



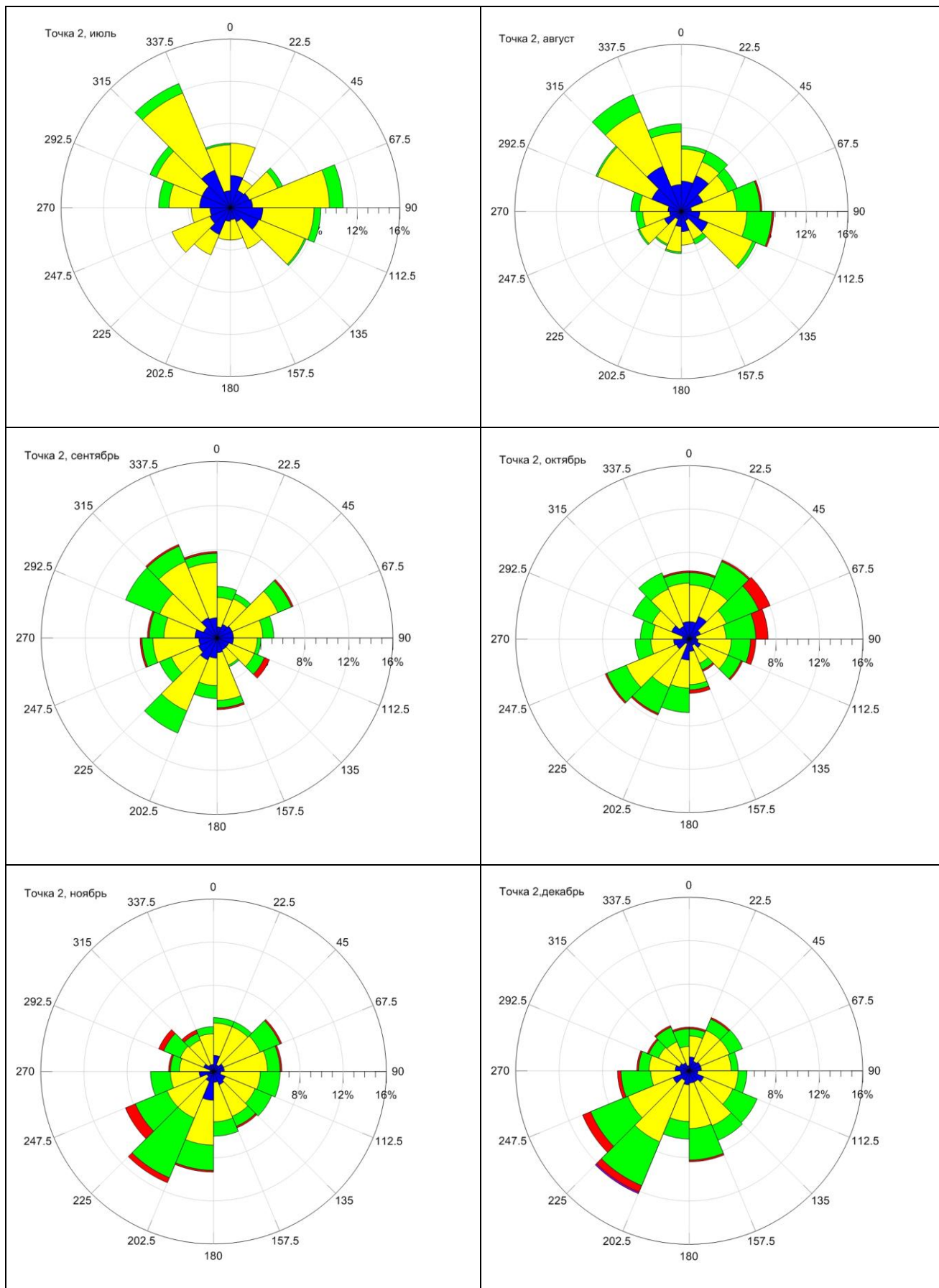
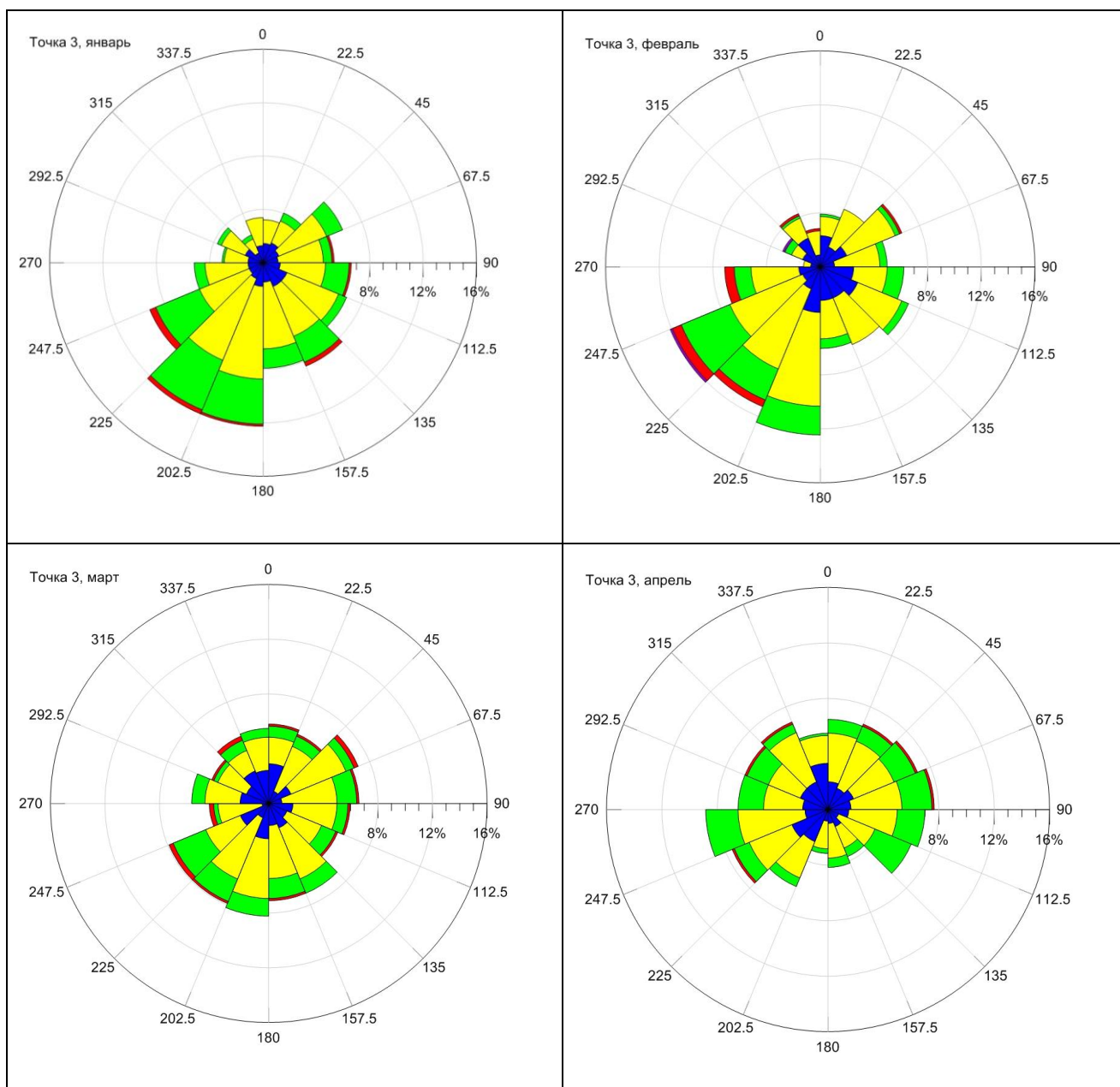
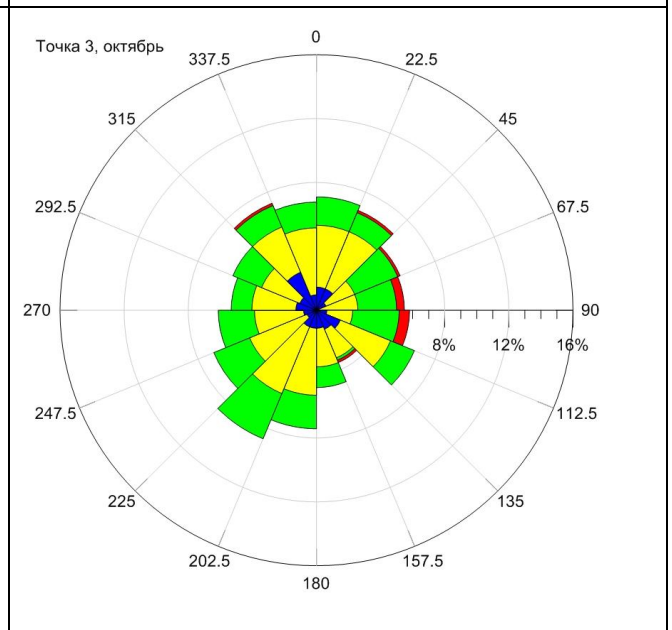
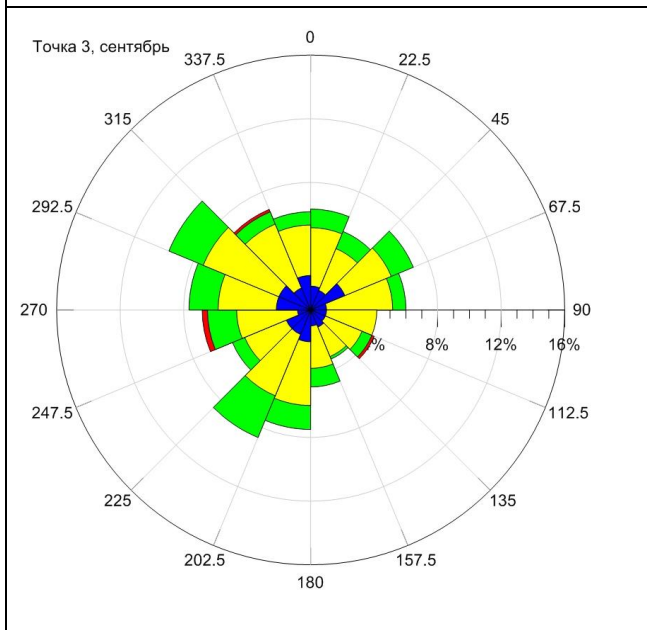
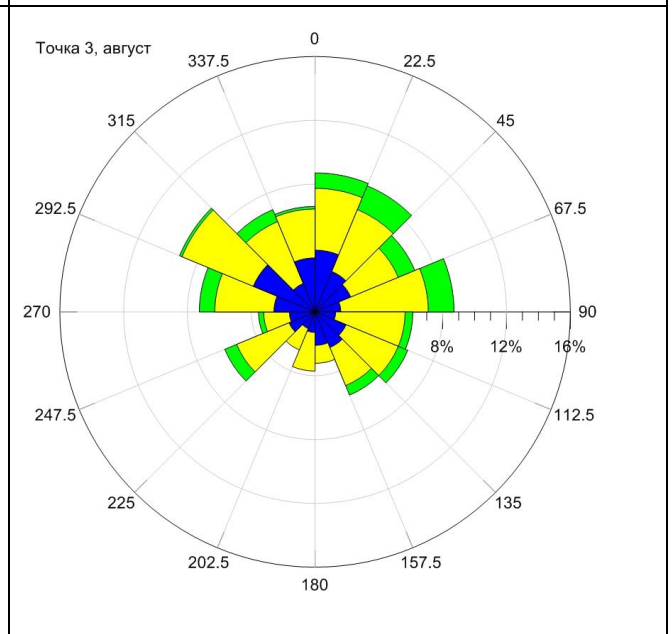
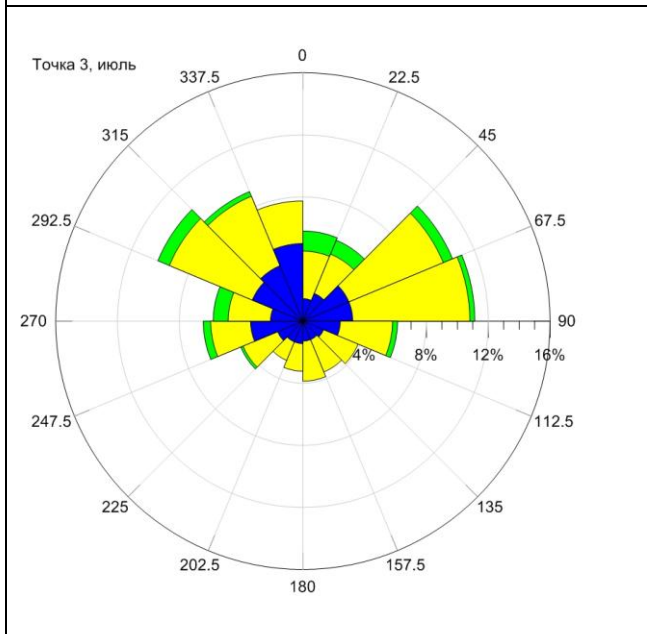
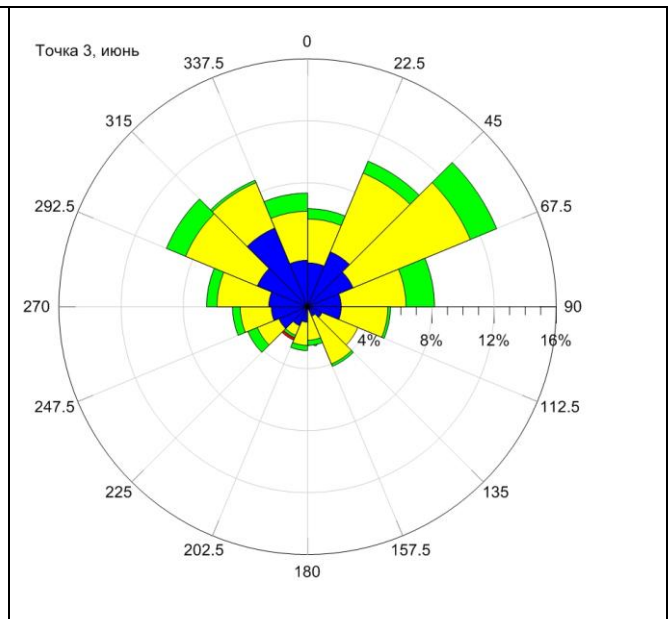
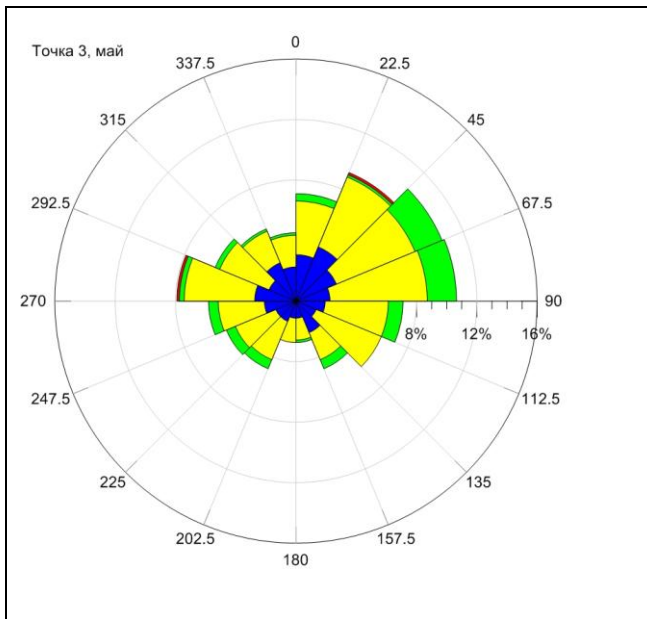


Рисунок 3.11. Распределение направлений и скоростей ветра по месяцам в точке 2 за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года

Как видно из вышеприведенных роз ветров за десять лет в Точке 2 в период с ноября по март (включительно) преимущественно наблюдаются ветра юго-западной четверти и со скоростями, достигающими при данном направлении – 5-15 м/с. С июня по август преобладали ветра северо-западного направления со скоростями 5-10 м/с. В остальные месяцы ветер постоянно менял свое направление.

На рисунке 3.12 показаны розы ветров, построенные по 16 румбам и демонстрирующие распределение направлений и скоростей ветра по месяцам в точке 3 за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года





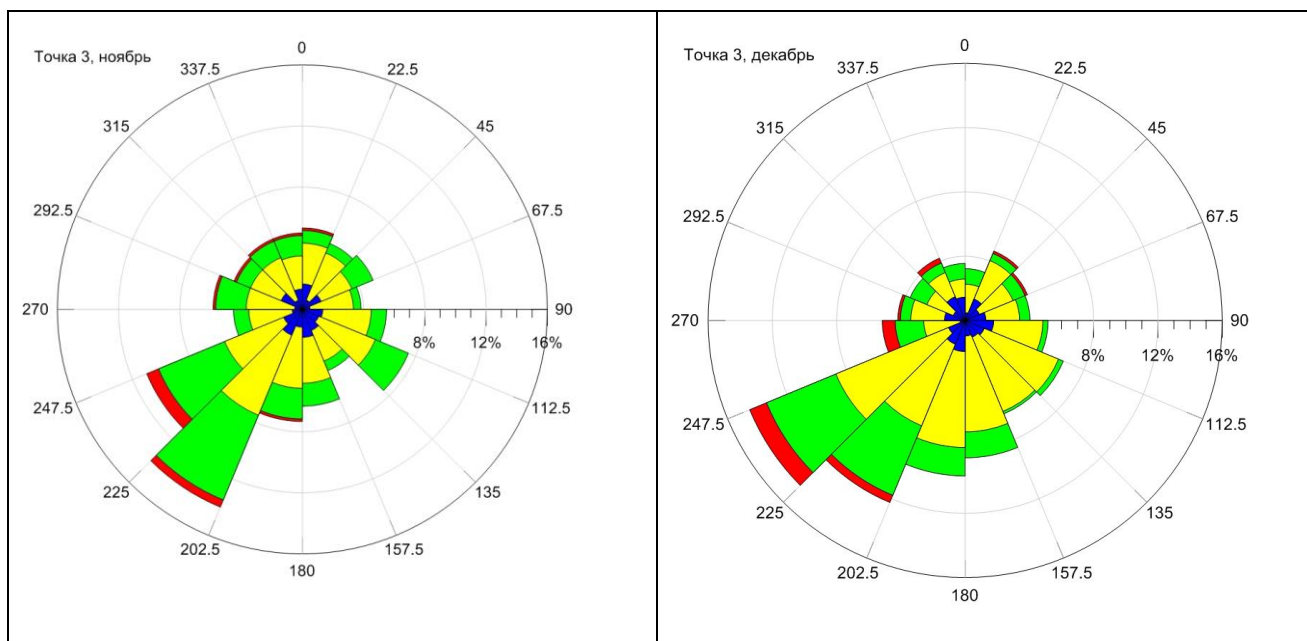


Рисунок 3.12. Распределение направлений и скоростей ветра по месяцам в точке 3 за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года

Как видно из вышеприведенных роз ветров за десять лет в Точке 3 в период с ноября по февраль (включительно) преимущественно наблюдаются ветра юго-западной четверти и со скоростями, достигающими при данном направлении – 5-10 м/с. Наибольшее количество ветров юго-западного направления с преобладающей скоростью ветра 5-10 м/с было зафиксировано в декабре. В остальные месяцы ветер постоянно меняет свое направление, за исключением июня, июля и августа когда равномерно преобладают ветра северо-восточного и северо-западного направления со скоростью 5-10 м/с.

Согласно полученным данным, можно сделать вывод, что в зимний период в трех точках преобладают ветра юго-западного направления с преобладающими скоростями равными 5-10 м/с. В остальные сезоны ветер меняет свое направление и невозможно выделить какое-то преобладающее. Что касается максимальных скоростей, то за 10 летний период они не превышали 21 м/с и наблюдались также только в зимний период.

3.1.3 Анализ изменения положения кромки льда и ледовитости исследуемого района

Рассмотрим, как менялось положение кромки льда в трех точках с октября 1997г по сентябрь 2007г. В таблице 3.5 представлены данные о максимальном смещении кромки на запад за год в Точке 1.

Таблица 3.5 Максимальное смещение кромки льда на запад в Точке 1

Год	Месяц	Смещение (км)
1998	Март	962,53
1999	Март	987,82
2000	Январь	838,60
2001	Март	1022,46
2002	Апрель	957,54
2003	Март	846,12
2004	Март	838,60
2005	Апрель	833,52
2006	Апрель	933,07
2007	Февраль	781,94

Из таблицы 3.5 видно, что в Точке 1 в каждый год нарастание кромки льда достигало своих максимальных значений в большинстве случаев в марте и апреле. Максимальное нарастания льда за десятилетний период было зафиксировано в марте 2001г., когда кромка льда достигла $39,722^{\circ}$ в.д., а минимальное в феврале 2007, когда кромка достигла $42,375^{\circ}$ в.д.. Процесс ледообразования обычно начинался в ноябре (в редких случаях в октябре или декабре) с положения $68,5^{\circ}$ с.ш., 51° в.д.. С апреля-мая обычно начинался

процесс таяния льда и к июню (в редких случаях июлю или августу) акватория полностью очищалась ото льда.

В таблице 3.6 представлены данные о максимальном смещении кромки на запад за год в Точке 2.

Таблица 3.6 Максимальное смещение кромки льда на запад в Точке 2

Год	Месяц	Смещение (км)
1998	Март	1901,46
1999	Февраль	2006,09
2000	Март	1736,86
2001	Март	1860,31
2002	Март	1683,78
2003	Март	1358,79
2004	Апрель	1624,62
2005	Апрель	1663,2
2006	Апрель	1654,56
2007	Февраль	1650,34

Из таблицы 3.6 видно, что в Точке 2 в каждый год нарастание кромки льда достигало своих максимальных значений в большинстве случаев в марте и апреле. Максимальное нарастания льда за десятилетний период было зафиксировано в феврале 1999г., когда кромка льда достигла $40,750^{\circ}$ в.д., а минимальное было зафиксировано в марте 2003г., когда кромка достигла $47,042^{\circ}$ в.д. Процесс ледообразования обычно начинался в ноябре (в редких случаях в октябре) с положения $69,5^{\circ}$ с.ш., $60,250^{\circ}$ в.д.. С апреля-мая обычно начинался процесс таяния льда и к августу (в редких случаях июню или июлю) акватория полностью очищалась ото льда.

В таблице 3.7 представлены данные о максимальном смещении кромки на запад за год в Точке 3.

Год	Месяц	Смещение (км)
1998	Март	1185,72
1999	Февраль	1244,91
2000	Март	906,85
2001	Март	1131,8
2002	Февраль	1031,07
2003	Март	705,937
2004	Апрель	937,359
2005	Апрель	908,045
2006	Апрель	888,994
2007	Март	782,07

Из таблицы 3.7 видно, что в Точке 3 в каждый год нарастание кромки льда достигало своих максимальных значений в большинстве случаев в марте и апреле. Максимальное нарастания льда за десятилетний период было зафиксировано в феврале 1999г., когда кромка льда достигла $40,958^{\circ}$ в.д., а минимальное в марте 2003 г, когда кромка была на $48,652^{\circ}$ в.д. Процесс ледообразования обычно начинался в ноябре (в редких случаях в октябре) с положения 70° с.ш., $60,250^{\circ}$ в.д.. С апреля-мая обычно начинался процесс таяния льда и к августу (в редких случаях июню или июлю) акватория полностью очищалась ото льда.

На рисунке 3.13 изображено графически, как менялось расстояние, на которое происходило нарастание льда

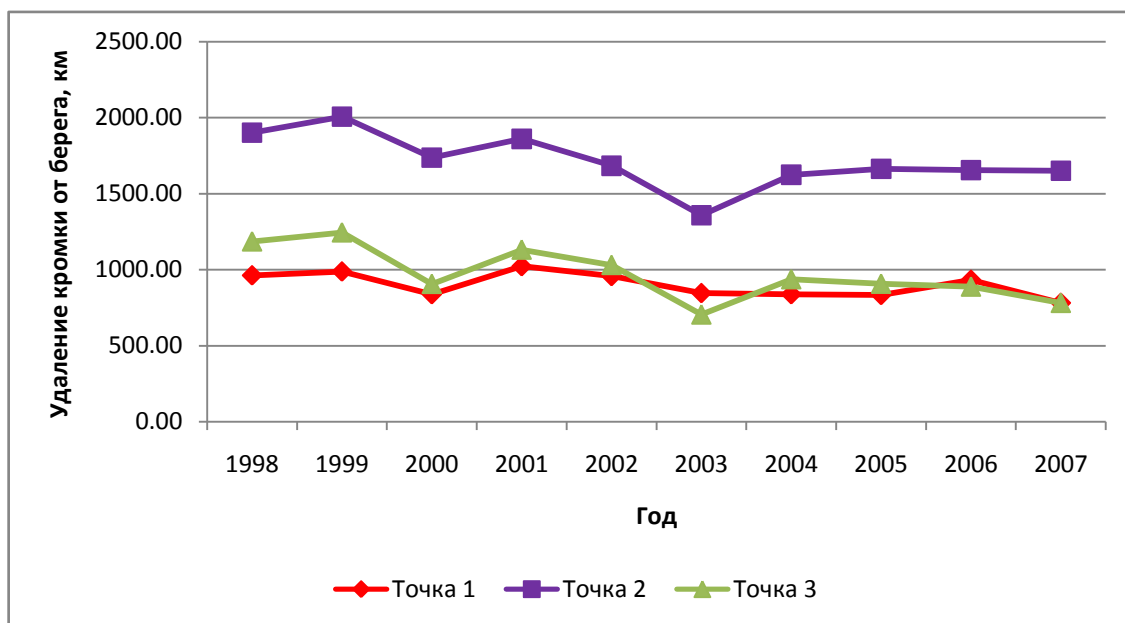


Рисунок 3.13 Максимальное нарастание кромки льда в трех точках с 1997 по 2007

Рассчитав коэффициенты корреляции между точками были получены следующие значения: между Точкой 1 и Точкой 2 коэффициент корреляции равен 0,93, между Точкой 1 и Точкой 3 он равен 0,85 и между Точкой 2 и Точкой 3 – 0,95. Таким образом, между точками существует сильная положительная линейная связь.

В целом можно сделать вывод, что ситуация в трех точках примерно одинакова. Процесс нарастания активно начинается в конце осеннего периода, зимой происходит интенсивное ледообразование и весной происходит таяние льда. В летний период и в начале осени в большинстве случаев акватория полностью очищена ото льда.

Что касается ледовитости, то наибольших значений она достигает в марте (процент ледовитости в этом месяце варьируется от 53% до 93%). Наименьших значений ледовитость достигает в летние месяцы, когда она равняется 0% (рисунок 3.14)

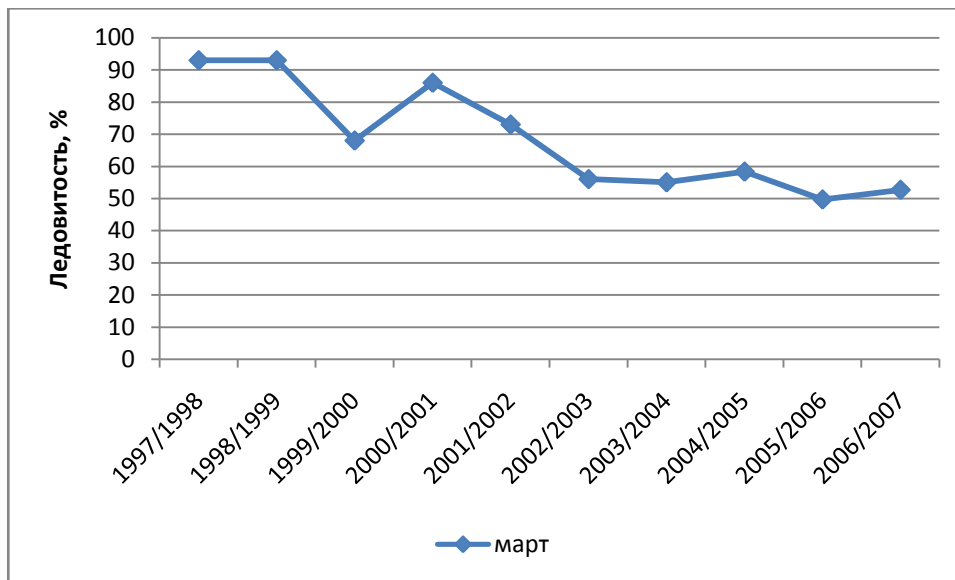


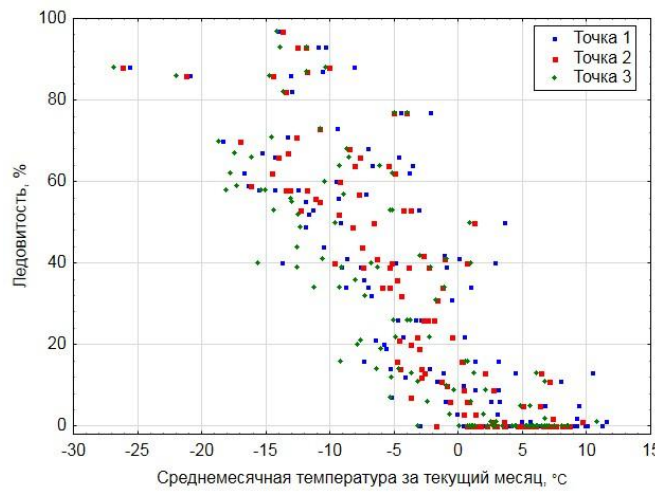
Рисунок 3.14 Межгодовое изменение ледовитости в марте (%)

Из рисунка 3.14 видно, что за десятилетний период (с 1997 по 2007г) ледовитость юго-восточной части Баренцева моря значительно уменьшается из года в год. Та же самая ситуация происходит и в оставшиеся месяцы, при этом январь продолжает оставаться самым ледовитым месяцем.

3.1.4 Анализ зависимости значений ледовитости и удаления кромки льда от берега от метеорологических параметров

Для исследования зависимости значений ледовитости и удаления кромки от берега от температуры были оценены коэффициенты корреляции между этими величинами. Полученные оценки показали, что значения довольно высоки, однако прямой линейной зависимости между указанными величинами нет (рисунок 3.15, таблица 3.8). Степень линейной зависимости значений ледовитости и удаления кромки от берега выше, если рассматривать температуру воздуха за предыдущий месяц.

а)



б)

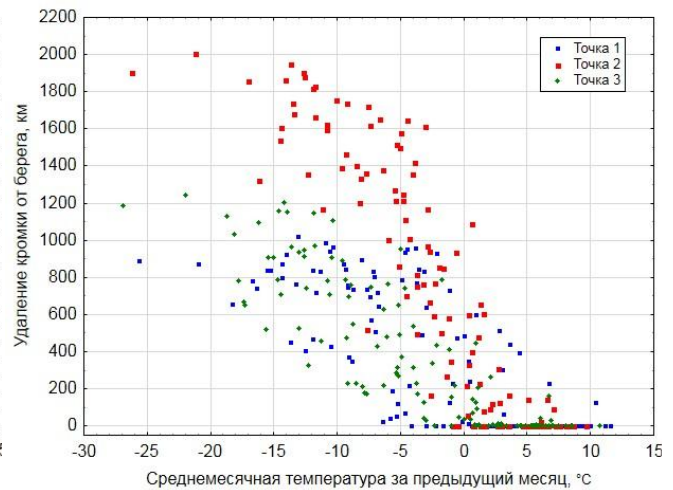
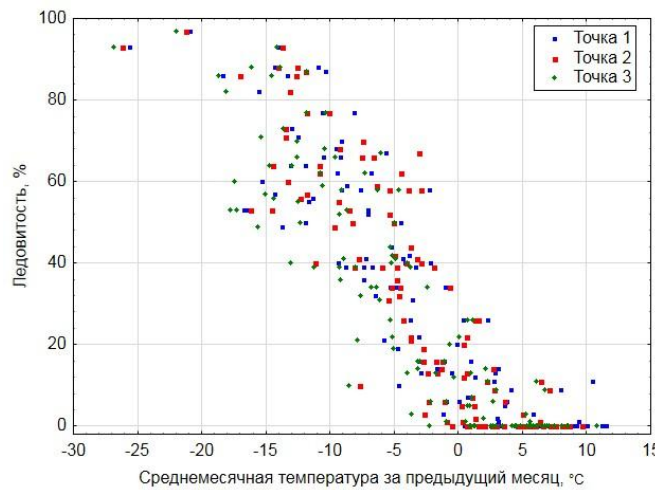
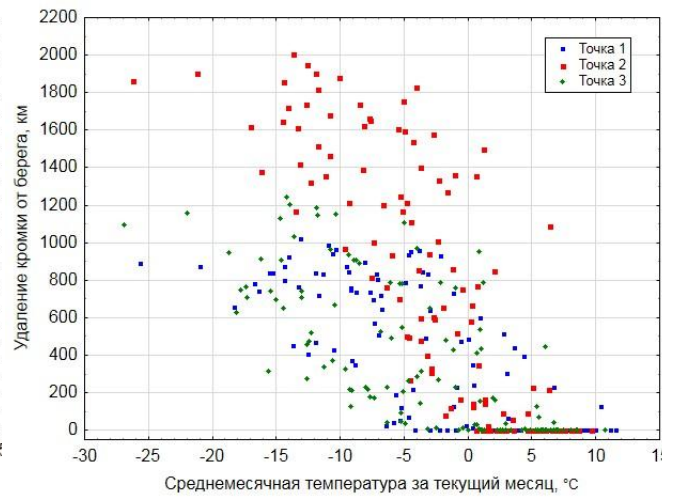


Рисунок 3.15 Разброс значений ледовитости юго-восточной части Баренцева моря (а) и удаления кромки льда от берега по широте (б) от среднемесячной температуры воздуха в точках 1–3 по данным за период с октября 1997 года по сентябрь 2007 года

Таблица 3.8 Значения коэффициентов корреляции между ледовитостью юго-восточной части Баренцева моря и удалением кромки льда от берега

	Ледовитость юго-восточной части Баренцева моря, %	Удаление кромки льда от берега по широте, км		
		в точке 1	в точке 2	в точке 3
Среднемес. темп. в точке 1	-0.81	-0.76		
Среднемес. темп. в точке 2	-0.87		-0.83	
Среднемес. темп. в точке 3	-0.83			-0.72
Среднемес. темп. в точке 1 за предыдущий месяц	-0.90	-0.88		
Среднемес. темп. в точке 2 за предыдущий месяц	-0.89		-0.89	
Среднемес. темп. в точке 3 за предыдущий месяц	-0.89			-0.86

Заключение

В процессе работы был выполнен расчет исходных данных и произведен анализ гидрометеорологических и ледовых характеристик в юго-восточной части Баренцева моря.

Согласно выполненным расчетам и анализу были сделаны следующие выводы:

- самые низкие температуры приходятся на февраль, а самые высокие на август;
- основное количество среднемесячных значений температуры на всех трех точках попадает в диапазон от -15° до $+10^{\circ}$;
- в зимний период в трех точках преобладают ветра юго-западного направления с преобладающими скоростями равными 5-10 м/с;
- порывы ветра за десятилетний период достигают максимум 21 м/с;
- при изучении температурных и ветровых характеристик было определено, что между точками существует прямая линейная зависимость;
- удаление кромки льда от берега во всех трех точках происходит в марте-апреле;
- в летний период и в начале осени в большинстве случаев акватория полностью очищена ото льда;
- ледовитость достигает своих максимальных значений в марте и варьируется от 53 до 93%;
- на удаление кромки льда от берега оказывают большее влияние термические характеристики предыдущего месяца, нежели текущего;
- связи между направлением и скоростью ветра и нарастанием или таянием льда не обнаружено.

В целом можно говорить о том, что однозначной зависимости значений ледовитости от каких-либо метеорологических характеристик нет. Это может

быть связано с длиной ряда исходных данных и недостаточным изучением других характеристик. Для дальнейшей работы целесообразно увеличить длину ряда и использовать дополнительные гидрометеорологические характеристики.

В конце хотелось бы выразить благодарность всем сотрудникам лаборатории «Арктик-шельф» ФГБУ «ААНИИ» и персонально научному сотруднику Скутиной Е.А. и старшему научному сотруднику Наумову А.К.

Список источников

1. Проект «Моря СССР» [Текст] : гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1 : Баренцево море. Вып. 1 : Гидрометеорологические условия./ под ред. Ф. С. Терзиева и др.- Ленинград : Гидрометеиздат, 1990.-280с.
2. Печорское море [Текст] : системные исследования. / под ред. Е.А. Романкевича и др. – Москва : Море, 2003.- 502 с.
3. Бузин, И. В. Сезонная изменчивость региональной климатической системы (РКС) Баренцева моря Текст : ст./ И. В. Бузин, Г. К. Зубакин // Комплексные исследования и изыскания ледовых и гидрометеорологических явлений и процессов в Баренцовом море [Текст] : сб. ст. / Гос. Науч. центр РФ ААНИИ ; под ред. Г. К. Зубакина, А. А.Дементьева - Санкт-Петербург, 2009.- (Труды ААНИИ ; Т. 450) с.41-58
4. Дементьев, А. А. Районирование Баренцева моря по метеорологическим характеристикам [Текст] : ст./ А. А. Дементьев, Н. Н. Брызгин // Комплексные исследования и изыскания ледовых и гидрометеорологических явлений и процессов в Баренцовом море [Текст] : сб. ст. / Гос. Науч. центр РФ ААНИИ ; под ред. Г. К. Зубакина, А. А.Дементьева - Санкт-Петербург, 2009.- (Труды ААНИИ ; Т. 450) с.197-204
5. Зубакин, Г. К. Оценка ледовых условий в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения [Текст] : ст./ Г. К. Зубакин, И. В. Бузин, А. А. Скутин// Комплексные исследования и изыскания ледовых и гидрометеорологических явлений и процессов на арктическом шельфе [Текст] : сб. ст. / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гос. науч. центр РФ ААНИИ ; под ред. Г. К. Зубакина – Санкт-Петербург, 2004.- (Труды ААНИИ ; Т. 449).- с. 124-139
6. Внутрисуточная изменчивость ветра, дрейфа льда и течений в Печорском море [Текст] : ст./ Е.Н.Дмитриев и др. // Комплексные исследования и изыскания ледовых и гидрометеорологических явлений и процессов на арктическом шельфе [Текст] : сб. ст. / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гос. науч. центр РФ

ААНИИ ; под ред. Г. К. Зубакина – Санкт-Петербург, 2004.- (Труды ААНИИ ; Т. 449).-стр.24-42

7. *Вайновский, П. А.* Методы обработки и анализа океанологической информации [Текст] / *П. А. Вайновский, В. Н. Малинин. Ч.1: Одномерный анализ.*– Ленинград : ЛГМИ, 1991.-136 с.

8. *Кобзарь, А. И.* Прикладная математическая статистика [Текст] / *А. И. Кобзарь.*- Москва : Физматлит, 2006.- 816 с.

9. *Бронштейн, И. Н.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов [текст] / *И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев.*- 13-е изд., испр.– Москва : Наука, 1986.– 544 с.