МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

На тему «Исследование одновременной изменчивости количества осадков и характеристик космической погоды»

Исполнитель **Яковенко Алина Олеговна**

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Головина Елена Георгивна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Абанников Виктор Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«03» 06 2019 г.

Санкт–Петербург

2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 2
1. Влияние солнечной деятельности на нижнюю атмосферу 3
1.1. Солнечная активность и ее характеристики 3
1.2. Солнечная активность и космическая погода 6
1.3. Солнечная активность и параметры нижней атмосферы 10
2. Особенности циркуляции атмосферы в Северо-западном регионе 16
2.1. Физическая география Ленинградской области 16
2.2. Климатические характеристики окрестностей Санкт-Петербурга 20
2.3. Циркуляция атмосферы в Ленинградской области 22
3. Анализ результатов исследования одновременной изменчивости количества осадков и характеристик космической погоды 27
3.1. Отбор и обработка необходимых для исследования данных 27
3.2. Описание пунктов наблюдения за осадками 29
3.3. Изменчивость осадков в наблюдаемых пунктах 35
3.4. Осадки и параметр солнечной активности – число Вольфа 46
Заключение 54
Список используемых источников 56

Введение

О современном изменении климата и вероятности влияния на климат солнечной активности свидетельствуют результаты многочисленных исследований ученых. Атмосферные осадки являются одной из важных атмосферных явлений, имеющих большое значение в различных отраслях хозяйственной деятельности человека. Ранее различными авторами отмечалось цикличность атмосферных осадков, возможно связанная с цикличностью различных параметров солнечной активности. Поэтому представляет интерес исследование возможной связи параметра активности Солнца с количеством и интенсивностью осадков в конкретном регионе России.

Целью работы является исследование одновременной изменчивости активности Солнца, оцениваемую по числам Вольфа, и характеристик осадков в Санкт-Петербурге и его окрестностях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить *следующие задачи*:

— создать базу метеорологических данных для станций Санкт-Петербург и Ленинградской области за период 2010-2018 гг.;

— провести анализ показателей, оценивающих изменчивость атмосферных осадков;

—сравнить полученные результаты между станциями, находящимися в разных сторонах света Ленинградской области;

— проанализировать изменчивость параметра активности Солнца за исследуемый период времени.

— определить связь между параметром активности Солнца и характером выпадения осадков;

1. Влияние солнечной деятельности на нижнюю атмосферу

1.1. Солнечная активность и ее характеристики

Солнечная активность – весь комплекс нестационарных процессов и явлений в атмосфере Солнца, связанных с изменениями солнечных магнитных полей. Солнечная активность наблюдается в тонком поверхностном слое - фотосфере в виде солнечных пятен и факелов, в хромосфере в форме флоккулов и вспышек, в разреженной плазменной короне - протуберанцев и выбросов корональной массы. Солнечная активность и ее проявления в космической погоде и динамике биосферы – это целый комплекс сложных и взаимосвязанных многофакторных явлений. В качестве действующих факторов космической погоды рассматриваются импульсные и спорадические изменения волнового и корпускулярного излучения Солнца в различных энергетических и частотных диапазонах, вариации магнитного поля солнца и числа его пятен, изменения параметров межпланетной среды, вариации галактических космических лучей. Земные проявления космической погоды отражаются во всех оболочках нашей планеты, от верхней атмосферы и ионосферы до биосферы и литосферы.

Солнце — основной источник энергии в Солнечной системе. Полная мощность его излучения составляет порядка $4 \cdot 1026$ Вт. Энергия, выделяемая в ходе ядерных реакций в центральной части Солнца, транспортируется к его поверхности сначала излучением, а во внешних слоях(более 0,7 радиуса) — конвективными течениями. Во внешнее пространство практически вся она испускается в виде электромагнитного излучения в тонком поверхностном слое — фотосфере. Солнечная переменность, ответственная за космическую погоду и солнечно-земные связи составляет доли процента общего потока энергии. Солнечное магнитное поле, определяющее эту переменность, генерируется в конвективной зоне потоками плазмы, модифицированными

дифференциальным вращением Солнца (так называемый динамо-эффект). Периодичность изменений глобального поля (смена полярности) составляет около 22 лет. Его половина — в среднем около 11 лет — формирует цикл солнечной активности.[8]

В минимуме активности крупномасштабное поле Солнца близко к дипольному со средней величиной на поверхности порядка 1 Гс. Максимум активности связан с переполюсовкой поля, во время которой его конфигурация усложняется, что может быть представлено как появление мультипольных гармоник. На спаде активности структура возвращается к дипольной с обратной полярностью поля. Вблизи максимума распределение магнитных полей сильно неоднородно: формируются жгуты силовых линий поля амплитудой до тысяч гаусс, которые из-за повышенной «магнитной плавучести» постепенно поднимаются к фотосфере, образуя на ней солнечные пятна — более темные (холодные) области, перенос тепла (конвекция в традиционном смысле), под которыми заторможен сильным магнитным полем. Рассмотрим более подробно параметры, характеризующие солнечную активность.

Основной мерой солнечной активности является число солнечных пятен, видимых на диске Солнца в каждый данный момент времени, - чем больше пятен, тем более активно Солнце. Солнечное пятно представляет собой сравнительно темную, резко ограниченную область на диске Солнца, в центре которой находится область тени с температурой примерно на 2000 К меньше эффективной температуры фотосферы, окруженная менее темной, но так же ограниченной полутенью. Средний диаметр пятна составляет около 37000 км, но поперечник исключительно больших пятен может достигать 245000 км. Хотя отдельные небольшие пятна появляются в виде одиночных образований, большинство солнечных пятен образует группы, состоящих из двух и более пятен. Магнитные поля пятен значительно выше магнитного

поля солнечного диска в целом, причем полярность ведущего пятна в биполярной группе противоположна полярности последующего пятна. Считается, что солнечные пятна были открыты Галиллеем в 1610 г., хотя в настоящее время известно, что большие солнечные пятна, видимые невооруженным глазом, отмечались в Китае еще 15 столетий тому назад.[7]

Говоря об изменчивости числа солнечных пятен, их циклическое развитие было обнаружено только в 1843 г., когда астроном-любитель Генри Швабе опубликовал небольшую работу о своих наблюдениях пятен на Солнце за 1826-1843гг. Швабе нашел, что продолжительность цикла составляла около 10 лет. Воодушевленный этим сообщением, Рудольф Вольф предложил определение относительного числа солнечных пятен и применил его ко всем бывшим в его распоряжении данным для того, чтобы проверить, наблюдались ли обнаруженные Швабе циклические вариации в прошлом. Вольф нашел, что такие циклы существовали в 1700-1848 гг., причем средняя продолжительность цикла равнялась 11,1 года. Начало каждого 11-летенего цикла отмечено появлением новых солнечных пятен и групп пятен на высоких гелиографических широтах. По мере развития цикла пятна появляются на все более низких широтах, и в конце 11-летнего цикла большая часть пятен появляется на расстояниях около 5° от солнечного экватора. Магнитная полярность новой высокоширотной группы противоположна полярности низкоширотных групп, принадлежащих к старому циклу. Начало нового цикла обычно возникает за год до конца старого цикла. Одно или два пятна старого цикла могут существовать вблизи экватора одновременно с новым высокоширотным пятном или группой пятен противоположной магнитной полярности, или же пятна, относящиеся к заканчивающемуся циклу, могут возникать вблизи экватора через несколько месяцев после начала нового цикла и существовать в течение одного или двух оборотов Солнца.[7]

На поверхности активного Солнца возникают такие кратковременные явления, как солнечные вспышки: всплески электромагнитной энергии в видимой, ультрафиолетовой и рентгеновской областях спектра. Солнечная вспышка может длиться от нескольких минут до нескольких часов и иногда сопровождается излучением в области радиочастот. Во время больших вспышек Солнце часто испускает релятивистские заряженные частицы: протоны, альфа-частицы и электроны, иногда называемые солнечными космическими лучами. Основную их часть составляют солнечные протоны. Косвенными показателями активности Солнца служат полярные сияния, геомагнитные бури и изменения интенсивности галактических космических лучей. Самые слабые вспышки наиболее многочисленны, а сильные вспышки составляют только около 2% всех наблюдавшихся вспышек. Яркость вспышки оценивается каждой обсерваторией на основе опыта наблюдателей и поэтому является только качественной оценкой. Частота появления малых вспышек положительно коррелированна с 11-летним циклом; хотя частота больших вспышек так же максимальна в максимуме солнечных пятен, они могут возникать в любое время. Рентгеновское и ультрафиолетовое излучение вспышек достигает Земли через 8 мин; известно, что это излучение порождает интенсивную ионизацию в верхних слоях атмосферы, вызывающую внезапные прекращение коротковолновой радиосвязи и поглощение космического радиоизлучения.[4]

1.2. Солнечная активность и космическая погода

Под термином «космическая погода» обычно понимается совокупность явлений на Солнце, в верхней атмосфере, околоземном космическом пространстве и межпланетной среде, оказывающих воздействие на процессы в околоземном космическом пространстве. Космическая погода может влиять на процессы в верхней и нижней атмосфере.

Совокупность факторов солнечного воздействия на планету Земля при изменении активности Солнца можно представить в виде трех групп:

- рентгеновское и ультрафиолетовое излучение;

- высокоэнергетичные электроны и протоны, включая космические лучи;

- солнечный ветер с вмороженным магнитным полем и формированием ударной волны.

Когда солнечные факторы этих трех групп приходят на орбиту и взаимодействуют с различными оболочками планеты, происходит изменение их состояния. Воздействие рентгеновского и ультрафиолетового излучения на верхнюю атмосферу Земли приводит к изменению концентрации и температуры ионосферной плазмы. Это взаимодействие наиболее эффективно происходит на высотах от 90 до 200 км (фотоионизация) и от 20 до 110 км (фотодиссоциация). Поверхность Земли и приземной атмосферы, где обитают живые организмы и человек, рентгеновское и ультрафиолетовое излучение не достигает. Но эти солнечные факторы оказывают определяющее воздействие на состояние ионосферной плазмы. Так как ионизация атмосферы может воздействовать на изменение химических и электрических свойств, то следует рассмотреть изменения ионизации воздуха, возникающие за счет солнечной активности. Рассмотрим скорость ионизации за счет галактических космических лучей. Основной и наиболее важной компонентой заряженных частиц в околоземном космическом пространстве являются протоны. Именно протоны определяют как основную долю фона первичного космического излучения, так и большую долю потоков вторичных излучений разных типов.[4]

Интервалы времени от начала вспышки до прихода солнечных протонов в околоземное космическое пространство, динамика и продолжительность пе-

риода повышения интенсивности протонного излучения на орбите Земли зависят от локализации вспышечной области на Солнце. Когда солнечные протоны входят в атмосферу, они постепенно теряют свою энергию, ионизируя атомы и молекулы атмосферы при соударениях, причем на образование одной пары ионов тратится энергия, равная примерно 35 эВ. Большая часть ионизации создается на той высоте, где протоны останавливаются. Эта высота является функцией плотности атмосферы и начальной энергии протонов.

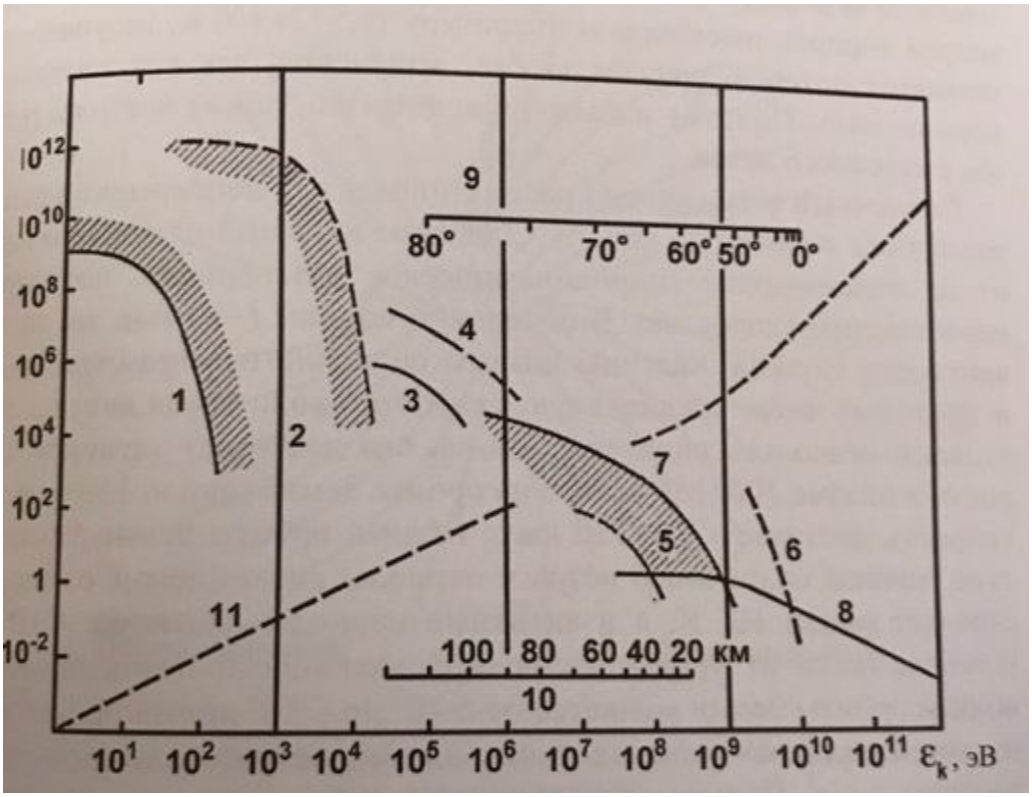


Рисунок 1. Интегральный энергетический спектр протонов на орбите Земли:

1-спокойный солнечный ветер; 2-возмущенный солнечный ветер; 3 и 4 - частицы полярных сияний; 5-7- солнечные космические лучи; 8-галактические космические лучи; 9- геомагнитная широта, на которую могут проникать извне протоны с энергией выше указанной; 11- условная граница

между плазмой и протонами, движущимися в геомагнитном поле по штормированным орбитам.

Солнечные электроны высоких энергий могут вызвать объёмную ионизацию верхней атмосферы. Вторжения солнечных протонов также вызывают ионизацию на высотах более 20 км, значительно превосходящую спокойную фоновую ионизацию, производимую галактическими космическими лучами как вовремя минимума, так и во время максимума солнечной активности. Обе эти кривые демонстрируют вариацию ионообразования за счет космических лучей в 11-летнем цикле на магнитной широте около 70°. Наблюдается широтная вариация интенсивности галактических космических лучей (и, следовательно, скорости ионообразования, имеющей максимум вблизи тропопаузы), причем интенсивность минимальна вблизи экватора и увеличивается примерно на два порядка вплоть до 60° геомагнитной широты, где появляется плато. Во время больших геомагнитных бурь возникают значительные падения интенсивности космических лучей, которые могут быть, хотя и не всегда, связаны с протонными вспышками. По данным наземных измерений, во время больших протонных вспышек нередко наблюдаются значительные уменьшения потока космических лучей. Скорость ионизации за счет электронов обычно превосходит скорость ионизации, вызванной космическими лучами, только на высотах, превышающих 60 км, но иногда она может быть значительна на высоте около 55км. На меньших высотах усиления ионизации могут быть вызваны тормозными рентгеновскими лучами, связанными с авроральными электронами или с высыпанием релятивистских электронов.[4]

Космические лучи, возникающие в Галактике, вблизи Земли распределены почти изотропно, причем их интенсивность меняется во времени за счет процессов модуляции, происходящих в области радиусом приблизительно 50 а.е. и с центром на Солнце. Наблюдается незначительная, но заметная су-

точная вариация интенсивности, обусловленная наличием слабой анизотропии в распределении космических лучей. Энергия этих частиц изменяется от десятков мегаэлектрон-вольт до сотен гигаэлектрон-вольт, что позволяет им проникать в земную атмосферу и вызывать вторичное излучение, достигающее земной поверхности. Геомагнитное поле и атмосфера Земли вызывают возмущения в их интенсивности. Поэтому интенсивность космических лучей изменяется в 11-летнем и более длительных солнечных циклах, зависит от высоты, на которой они измеряются, магнитной широты места, где производят измерения, и от энергии частиц, входящих в состав космических лучей. Наблюдаются также кратковременные изменения их интенсивности, связанные с солнечными вспышками и с изменениями структуры солнечных магнитных секторов. Вариации интенсивности галактических космических лучей изучались при помощи нейтронных мониторов, регистрирующих поток вторичных нейтронов, образованных первичными космическими лучами в атмосфере, ионизационных камер и посредством измерений скорости ионизации атмосферы, вызванной первичными и вторичными космическими лучами.[4]

1.3. Солнечная активность и параметры нижней атмосферы

Рассмотрим механизм воздействия колебаний солнечной активности на процессы в нижних слоях атмосферы Земли. Уже в начале 20-х годов текущего столетия Дорно предполагал, что рост солнечной активности вызывает понижение прозрачности атмосферы, ибо при этом росте усиливаются благодаря усилению корпускулярной и коротковолновой радиации Солнца химические превращения в земной атмосфере, что приводит к усилению конденсации (т. е. к увеличению поглощения водяными парами). Бержерон в ведении к«Трёхмерно связанному синоптическому анализу» говорит о том, что воздействие солнечной активности на процессы в тропосфере проявляется именно в усилении конденсационных процессов, связанных с усилени-

ем ультрафиолетовой радиации Солнца. Нейбергер и Архенхольд, изучавшие связь солнечной активности с галосами, так же предполагали, что воздействие колебаний солнечной активности на тропосферу осуществляется именно через усиление процессов конденсации под влиянием активности Солнца.[8]

Наиболее обстоятельно качественная модель конденсационного механизма воздействий солнечной активности на процессы в тропосфере была рассмотрена П. П. Предтеченским. В озоносфере основными ингредиентами, кроме озона, являются молекулярный кислород и молекулярный азот, т. е. O2 и N2. Действие электрического разряда ли ультрафиолетовой радиации на смесь N2O2 приводит к возникновению NO2 в присутствии O2 обращается в N2O5. Интересно грубо оценить количесво N2O5 в озоносфере. Это было сделано Хетнером, Польманом и Шумахером. Приблизительный подсчет дает одну молекулу N2O5 на сто молекул O3. Таким образом, в озоносфере может образовываться N2O5. Если увеличение содержания этого газа происходит над районом, занятым циклоном, то в связи с опусканием над ним тропопаузы этот газ будет попадать в тропосферу. Молекулы N2O5 являются гигроскопичными и могут быть ядрами конденсации водяного пара. Кроме N2O5 в циклонических системах, в тропосферу может так же попадать озон. Гетц и Регенер считают, что проникновение озона в тропосферу в циклонических системах вполне реально. Правда, в тропосфере озон будет быстро разрушаться за счёт термической реакции 2Oз-3O2. Точку зрения Гетца и Регенера приводим лишь в качестве ещё одного аргумента в пользу того, что и озон может попадать в тропосферу. Наиболее гигроскопичным будет, однако, комплекс молекул H2O иN2O5. Такие комплексы особенно интенсивно образуются в том случае, если молекула водяного пара возбуждена; но это как раз имеет место при облучении земной атмосферы активными областями Солнца, ибо, как уже говорилось, водяной пар поглощает

радиацию 1215,6 А**.** Именно эта радиация весьма интенсивна в активных областях Солнца. Так или иначе, в виде ли просто молекул N2O5 или же в виде водного раствора N2O5, т. е. N2O5+ H_2O, число ядер конденсации в тропосфере будет расти, если тропосфера подвергается воздействиям солнечной активности. Это должно привести к образованию облаков (главным образом, верхних ярусов), усилению выпадения осадков и в конечном счете к освобождению энергии влажнонеустойчивости, к переходу этой энергии в кинетическую и к оживлению циркуляции. Подсчитывая количество ядер конденсации и определяя количество воды, сконденсировавшейся на них, можем определить количество кинетической энергии, выделившейся при этом в единице объема на разных высотах. Как известно, при переходе всей выделившейся в результате конденсации водяного пара тепловой энергии в кинетическую, образуется количество этой последней, равное

$$R = -\frac{Cp}{Ag}\int_{P_0}^{P_h}(T, e - T^1, e) * \square p \quad , (1)$$

где Ср=0,24кал/г*град- теплоемкость воздуха при постоянном давлении, А=2,39*10^{-8}кал/эрг – тепловой эквивалент, g=981 см/$сек^2$; P_h и Р0 – давления у основания столба и на высоте h; $T_{,\square}$ и $T^1{}_{,e}$ – эквивалентные температуры в начальной и конечной стадиях.[8]

Если произвести расчёт, пользуясь приведёнными формулами и основываясь на допустимых значениях исходных данных, то выясняется следующее. Энергия, освобождающаяся в циклонической системе под воздействием вышеприведённых механизмов, ничтожно мала по сравнению с энергией самого циклона. Основные запасы энергии, несомненно, находятся в самом циклоне и связаны с совершенно другими факторами, чем выделение свободной энергии в результате конденсации. Однако так как многие процессы в атмосфере разыгрываются на грани неустойчивости, то нельзя считать ис-

чезающе малыми даже и такие количества свободной энергии как подсчитываемое выше. Эта энергия играет роль своеобразного «детонатора», приводящего к специфическому взрыву.

Одним из существенных возражений против конденсационного механизма является то, что ядер конденсации в атмосфере достаточно и без вмешательства Солнца и что это последнее вряд ли может значительно увеличить их число. На это возражение можно ответить, что в нижних слоях атмосферы ядер конденсации земного происхождения действительно очень много, на несколько больших высотах, порядка 5—7 км число значительно убывает. Существенно то, что их убыль с высотой идет быстрее, чем убыль водяного пара, и поэтому на некоторой высоте ядер конденсации земного происхождения уже очень мало.

Явления в озоносфере, приводящие при изменении солнечной активности к изменению содержания озона, могут сказываться в одних широтах и быть незаметными в других. Наиболее существенным является то, что энергия, высвобождающаяся при конденсации и сублимации водяного пара, конечно, гораздо меньше всей энергии циклона и, разумеется, не может количественно идти ни в какое сравнение с энергией общей циркуляции равным образом нельзя считать, что приращение энергии циркуляции от эпохи низкой солнечной активности к эпохе максимума есть просто приращение энергии, связанное с усилением процессов конденсации водяного пара. Основным и решающим является изменение радиационного режима, связанное с появлением высокой облачности и даже ещё до этого —с помутнением. Актинометрические данные, например, Аббота и Клейтона, показывают, что ещё до образования высоких облаков наступает помутнение, оказывающее влияние на приток тепла, а также, весьма вероятно, и на излучение его Землёй в пространство. Эти помутнения, количественный учёт которых, особенно на первом этапе, т. е. непосредственно после их возникновения, чрез-

вычайно затруднителен, и влияют на оценки солнечной постоянной, производимые смитсонианскими наблюдателями. Они вряд ли могут быть полностью учтены и исключены и при других методах определения солнечной постоянной. Влияние этих помутнений (если они длятся достаточно долго) на режим погоды может быть большим только на больших интервалах времени, т. е. это будут не столько изменения в режиме погоды, сколько колебания климата. Это будет происходить по той причине, что небольшой дефицит солнечной энергии мало скажется на коротких интервалах, но сыграет существенную роль на больших интервалах времени. Несомненно, что, стоя на точке зрения конденсационного механизма, мы должны считать первым по порядку актом воздействия колебаний солнечной активности на процессы в тропосфере образование более низких облачных форм и даже выпадение осадков. Последнее будет иметь место в изолированных в циркуляционном отношении районах, где адвекция не может существенно изменить картину. Можно поэтому предполагать, что в таких районах проявление колебаний солнечной активности в тропосфере будет наиболее отчётливым, что и наблюдается в действительности.[8]

Связь осадков с солнечной активностью впервые исследовали Мельдрум и Зелкнек. Уокер в 1915 г. сопоставил количество осадков за год с числом солнечных пятен в том же году, использовав данные 150 станций. Выяснилось, что в ряде районов, как, например, в центральных и западных штатах США,северной и центральной Европе и т. д. коэффициент корреляции оказывается положительным, в то время как в других пунктах он был отрицательным. Уокер подчёркивает, что невысокое значение этих коэффициентов заставляет относиться с сомнением к реальности связи между 11-летним циклом и осадками. Однако в некоторых пунктах коэффициент корреляции оказывается несколько большим, и там связь представляется более реальной. В 1921 г. Брукс показал, что для Западной Европы имеет место в пределах

11-летнего солнечного цикла двойная волна осадков. Первый максимум осадков наблюдается через 1,5 года после минимума солнечной активности, второй — через столько же времени после её максимума.[12]

Итоги всех этих исследований, несомненно, представляют существенный интерес. Важно отметить, что исследования связи частоты встречаемости тех или иных облачных систем с интенсивностью солнечной активности останавливаются на высоких облачных системах Cirro-Stratusи на галосах, являющихся признаком наличия тех же облачных систем. Это происходит, очевидно, потому, что другие облачные системы не обнаруживают отчётливой связи с солнечной активностью. Их происхождение, хотя, быть может, в конечном счёте и связанное в значительной мере с усилением солнечной активности, всё же обусловлено в основном чисто внутритропосферными причинами. Для облаков верхних ярусов картина иная. Здесь имеется область, в которой водяного пара ещё более или менее достаточно, но куда ядра конденсации земного происхождения вряд ли попадают. Здесь сублимация, ядра которой, по современным воззрениям, мало отличаются генетически от ядер конденсации, может происходить на ядрах, представляющих комплекс из возбуждённой молекулы паров H2O и молекулы азотного ангидрида, т. е. на ядрах, увеличение числа которых связано с усилением *солнечной* активности. Не слишком большое приращение облаков даже этих систем при переходе от эпохи минимума *11-летнего* цикла к эпохе максимума связано, по-видимому, с тем, что эти облачные системы относятся весьма часто к системе тёплого фронта циклона, и в этом случае происхождение их адвективное, т. е. вызванное в значительной степени земными причинами. В циклонических системах ввиду наличия восходящих токов ядра конденсации земного происхождения могут быть заброшены на большую высоту, чем в невозмущённой тропосфере, и здесь образование высоких облаков не будет так уже отчетливо зависеть от усиления солнечной активности.

2. Особенности циркуляции атмосферы в Северо-западном регионе

2.1. Физическая география Ленинградской области

На северо-западе Восточно-Европейской равнины расположилась Ленинградская область. Омывается она Финским заливом, Ладожским и Онежским озерами, Балтийским морем. Протяженность территории с севера на юг 325 км (с.ш. 61.312452, в.д. 29.300537 - с.ш. 58.430482, в.д. 29.805908), с запада на восток - 446 км (с.ш. 60.489704;в.д. 27.817383 - с.ш. 61.133955;в.д. 35.675354) . Ленинградская область граничит на юге с Новгородской и Псковской областями, на западе - с Эстонией, на северо-западе - с Финляндией, на севере - с Республикой Карелия, на востоке - с Вологодской областью. Лиственные и хвойные леса занимают более 66% территории. В Ладожское озеро впадают 32 реки, вытекает только одна — Нева. Практически вся территория Ленинградской области, кроме Вепсовской возвышенности на востоке, относится к бассейну Балтийского моря.

Рисунок 2. Физическая карта Ленинградской области

Практически вся поверхность Ленинградской области - это равнина. Высота большей ее части над уровнем моря не превышает 100 м, но рельеф ее далеко не монотонный. Здесь выделяются возвышенности, которые поднимаются до 200 м. Одна из них располагается в центральной части Карельского перешейка, к югу от Финского залива находится Ижорская возвышенность, Южная окраина Олонецкой возвышенности расположена на Онежско-Ладожском перешейке и на востоке области - Тихвинская и Вепсовская возвышенности, входящие в состав Валдайской . Над окружающей местностью резко выделяются небольшие изолированные «горы»: в западной части области - Сойкинские (139 м), к югу от Санкт-Петербурга -Дудергофская (175 м), в юго-западном Прионежье - Щелейки (159 м) и т. д. Впадины занимают наиболее низкое гипсометрическое положение (ниже 30-50 м) , занятые Финским заливом, Ладожским и Онежским озерами, Приневская, Приволховская и Верхнеевирская низины. Характеризуется территория молодым разнообразным ледниковым рельефом, который возник в период от 50 до 10 тыс. лет назад во время таяния последнего (валдайского) ледника. Довалдайская поверхность представлялась как ступенчатая равнина, рассеченная сетью глубоких и узких долин. Неровности этой поверхности становились «порогами», у которых выгружался рыхлый материал, принесенный ледником. На Балтийском кристаллическом щите (север Карельского перешейка и юго-западного Прионежья) преобладал, преимущественно, ледниковый снос, на остальной территории (Русской плите) – была аккумуляция ледниковых наносов.

По всей территории Ленинградской области есть возвышенности. Они редко сочетаются с болотными и озерными впадинами. Северо-восточное продолжение Валдайской возвышенности - Вепсовская возвышенность. Она расположена на востоке области , служит водоразделом бассейнов реки Волги и Ладожского озера. Образующие возвышенность холмы, на севере,

близ истоков реки Оять, достигают наибольшей в области абсолютной высоты- 291 м (гряда Гапсельга), абсолютные высоты южнее снижаются до 200-150 м. Гряды и холмы чередуются с плоскими и сильно заболоченными равнинами, болотными и озерными впадинами. Над прилегающими к ним впадинами относительная высота холмов обычно не превышает 50 м. Для земледелия рельеф возвышенности малоблагоприятен . Самая большая высота возвышенности, расположенная в центральной части Карельского перешейка - 205 м. Она носит название - Лемболовские высоты . Здесь можно наблюдать многочисленные пологие моренные холмы , густую речную сеть и неглубокие, отчасти зарастающие озера. Вокруг возвышенности расположен холмистокамовый рельеф. Такой рельеф можно наблюдать вблизи Санкт - Петербурга (район Токсово и Кавголово). Рельеф очень разнообразный: многочисленные камы с крутыми склонами, покрытые сосной; их разделяют замкнутые котловины, поросшие лиственными и еловыми лесами; очень глубокие озера с песчаным дном; открытые, в основном распаханные, плато. К югу от Финского залива расположена Ижорская возвышенность. Вся ее поверхность плоская и наклонена к юго-востоку. Северная часть возвышенности самая высокая, там находится (вблизи поселка Можайского) Воронья гора (168 м). На севере возвышенность очень круто обрывается и образует уступ (он называется глинт).

В Ленинградской области атлантико-континентальный климат, с умеренно холодной зимой и влажным нежарким летом. Своеобразие его обусловливают циркуляционные процессы, которые происходят в атмосфере, приток солнечной радиации и характер подстилающей поверхности , зависящие от географической широты. С октября по февраль радиации поступает очень мало. Радиационный баланс земной поверхности - разность между приходом и расходом солнечной и длинноволновой радиации: положительный с марта по октябрь и отрицательный в остальные месяцы. К зоне избы-

точного увлажнения относится вся территория области, поэтому значительная часть полученного ею тепла идет на испарение. На прогревание почвы и воздуха расходуется лишь небольшая его доля. Центральным фактором в формировании климата Ленинградской области является атмосферная циркуляция. С циклонами и антициклонами (крупномасштабные вихри) поступают на территорию области воздушные массы, сформированные над различными регионами и поэтому имеющие разные свойства (температуру, влажность, тип облаков и осадков). В зоне встреч таких воздушных масс в системе циклонов, как правило наиболее сложные погодные условия: мощные и обширные облака, сильный ветер, обильные осадки, грозы и т. д. В области очень часто меняются континентальные воздушные и морские (атлантические) массы умеренных широт, арктического воздуха, активна циклоническая деятельность. Это создает условия для неустойчивого характера погоды во все сезоны, ее большую изменчивость изо дня в день, из года в год.

По территории области несут свои воды крупные реки: Нева, Свирь, Вуокса и Волхов. Имеют реки небольшие уклоны (до 20-40 см/км) и спокойное течение. Лишь только при пересечении кристаллических пород, моренных возвышенностей и гряд на перекатах и порогах (Кингисеппских на р.Луге, Ивановских на р. Неве) возрастает их скорость. Воды рек в области редко прогреваются выше +22° С. Средняя месячная температура речных вод летом не поднимается выше + 18-19° С. Наиболее прогреваются воды Нарвы, Плюссы, Луги, Волхова, Меты и Ловати. В зимний период на реках устанавливается ледостав. Главная областная артерия - Нева, вытекает из Ладожского озера в Финский залив. Река Нева - одна из наиболее своеобразных рек Русской равнины - короткая (74 км), но очень полноводная (годовой сток 82 км3). Имеет важное транспортное значение: она и её бассейн связаны с Бе-

ломорско-Балтийским каналом, Волго-Балтийским водным путём, Тихвинской и Вышневолоцкой водными системами.

2.2. Климатические характеристики окрестностей Санкт-Петербурга

На климатические условия Ленинградской области, как и всей другой территории, влияет, прежде всего ее географическое положение, от которого зависят угол наклона солнечных лучей к поверхности и продолжительность дня, а следовательно, приход и расход солнечного тепла. В целом за год в наших широтах разница между поступлениями солнечного тепла и его расходом (на нагревание земной поверхности и воздуха, на испарение воды и таяние снега)- положительная. Однако поступление солнечного тепла на протяжении года неравномерное, что обусловлено большими изменениями высоты стояния солнца над горизонтом (в полдень на 60 град.с.ш.- от 6.30' в декабре до 53 град. в июне) и продолжительности дня (от 5 часов 30 минут в декабре до 18 часов 30 минут в июне). С апреля по октябрь приход солнечного тепла в Ленинградской области превышает его расход, а с ноября по март расход тепла больше его прихода. С изменениями в соотношении прихода и расхода солнечного тепла в течении года связаны сезонные изменения температуры, воздействующие на все другие элементы климата.

Огромное влияние на климат Ленинградской области оказывают также движение воздушных масс разного происхождения. Число дней в году с преобладанием морских и континентальных воздушных масс примерно одинаково, что характеризует климат области как переходный от континентального к морскому. С запада, со стороны Атлантического океана, на территорию области поступает влажный морской воздух умеренных широт. Зимой он теплый и восполняет недостаток солнечного тепла, вызывая оттепель, дождь и мокрый снег. Летом приход этого воздуха вызывает дождь и прохладную погоду. Континентальный воздух умеренных широт входит на тер-

риторию области чаще всего с востока, но иногда с юга и юго-востока. Он приносит сухую и ясную погоду: летом- теплую, зимой- очень холодную.[5]

С севера и северо-востока, главным образом со стороны Карского моря, приходит сухой и всегда холодный арктический воздух, формирующийся над льдом. Вторжения этого воздуха сопровождаются наступлением ясной погоды и резким снижением температуры.С северо-запада поступает морской арктический воздух. По сравнению с воздухом, поступающим с северо-востока, он менее холодный, но более влажный. Летом на территорию области изредка вторгаются массы тропического воздуха, влажного морского с юго-запада и очень сухого, запыленного- с юго-востока; они приносят жаркую погоду. Воздушные массы часто сменяются, что связано с частой циклонической деятельностью (в СПб примерно 40% всех дней года с циклонами). Следствием этого является характерная для Ленинградской области неустойчивая погода. Среднегодовая температура воздуха понижается в Ленинградской области с запада на северо-восток от +4,5С до +2,0С. Самых холодный месяц в области- январь или февраль. Средняя температура января на востоке области -10С, на западе -6С. В СПб средняя температура января -7,5С, февраля -7,9С.Самый теплый месяц области- июль. Среднесуточная температура июля в СПб +17,7С; отклонения от нее в пределах области невелики (+16С у побережья Ладожского озера, около +18С на юго-востоке).

Выпадение атмосферных осадков в Ленинградской области определяется главным образом интенсивностью циклонической деятельности. В течение года осадки выпадают неравномерно: большая их часть 70% приходится на теплый период и только 30% - на холодный. За год выпадает около 620 мм осадков, при этом более половины жидких. Максимум осадков в Ленинградской области обычно приходится на август, а минимум на – на март. Погодные условия в отдельные годы таковы, что два –три месяца подряд месячные суммы осадков могут значительно превышать норму или же быть намного

меньше. Осадки, отличаясь большой изменчивостью во времени и пространстве, крайне неравномерно выпадают и в течение месяца. Одной из основных характеристик осадков является их интенсивность. В холодный период года, когда в Ленинградской области преобладают продолжительные обложные осадки, интенсивность их невелика. В летние месяцы интенсивность возрастает за счет ливневых осадков. Интенсивность осадков - величина очень изменчива. В течение одного дождя независимо от его продолжительности она может меняться в широких пределах. Наибольший интерес представляют максимальные ее значения в различные интервалы времени.[6]

Внутри города существуют определенные различия в количестве осадков, связанные с ориентацией по отношению к влагонесущему потоку, количественно они достигают в основном 3-5% по отношению к центру города. Это микроклиматические различия, эффект которых противоположен аналогии города с возвышенностью, где именно на наветренной части увеличено количество осадков. Перераспределение осадков под влиянием химизма воздушной массы и частично прогрева проявляется в увеличении их с подветренной стороны от города, часто в нескольких десятках километров от него. В Ленинградской области меньше сказывается термическое происхождение облачности над городом, так как в значительной мере выпадают осадки адвективного характера.

2.3. Циркуляция атмосферы в Ленинградской области

На северо-западе нашей страны, где расположилась Ленинградская область, основной чертой циркуляционных процессов является возникновение, перемещение и эволюция крупномасштабных атмосферных вихрей - циклонов и антициклонов. В системе атмосферной циркуляции на Ленинградскую область перемещаются воздушные массы, сформировавшиеся над различными районами и имеющие разные метеорологические характеристики. В

зонах сходимости воздушных масс, которые носят название атмосферных фронтов, возникают и развиваются циклоны. В области атмосферных фронтов наблюдаются сложные погодные условия: сильные ветры, обширные поля облаков и осадков, грозы, шквалы. Антициклоны в большинстве случаев характеризуются хорошей погодой. В центральной части их ветры слабые и только на периферии скорость ветра возрастает. Условия погоды в циклонах и антициклонах могут отличаться от описанных выше, так как они зависят от характера воздушных масс, в которых сформировано это барическое образование, от стадии его развития, от особенностей подстилающей поверхности, сезона. Для Ленинградской области характерна большая повторяемость воздушных масс атлантического происхождения, что определяет морские черты его климата. В холодное время года циклонические процессы усиливаются, а в теплое - несколько ослабевают. Активная циклоническая деятельность и частая смена воздушных масс определяют неустойчивый режим погоды во все сезоны.[3]

Ленинградская область расположена вблизи «дорог циклонов», поэтому почти в течение всего года здесь наблюдается преобладание циклонической циркуляции. Только в мае и июле сумма антициклонических и малоградиентных барических полей имеет повторяемость, превышающую 50 %. Циклоны на район Ленинградской области перемещаются во все сезоны с запада, осенью и зимой также возникает повторяемость перемещения циклонов с северо-запада, а весной и летом нередки выходы юго-западных циклонов.

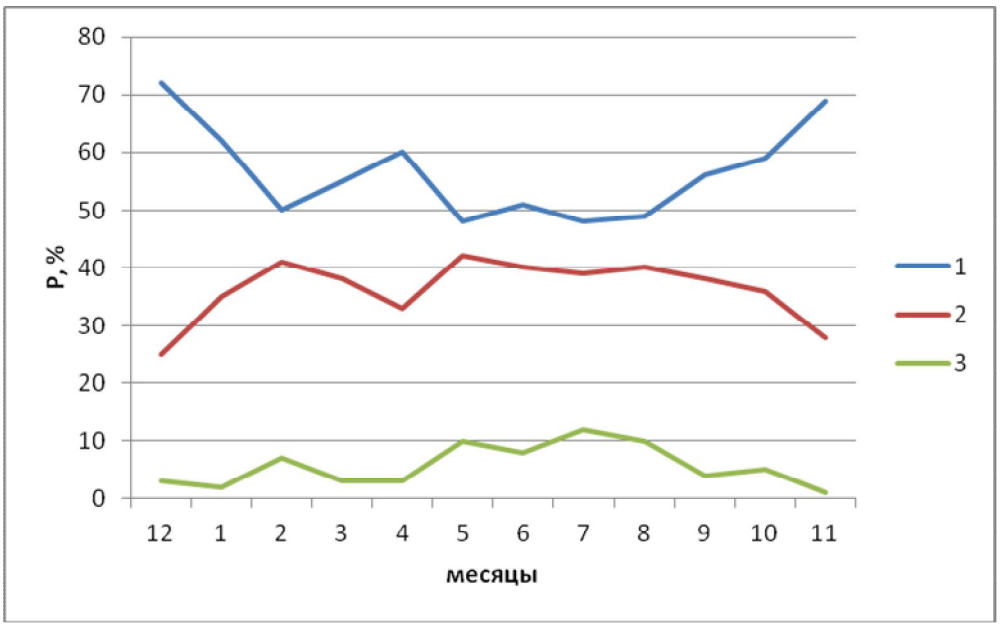


Рисунок 3. Повторяемость различных барических образований в районе Ленинградской области

1- циклоны, 2- антициклоны, 3- малоградиентные поля.

Антициклоны приходят в район Ленинградской области часто с запада и северо-запада, но возможны вторжения их и с других направлений.[5]

Зимой циклоническая деятельность усиливается, увеличивается повторяемость проходящих через Ленинградскую область атмосферных фронтов. В летний сезон число фронтов уменьшается, но в тыловой части циклонов отмечается большое количество вторичных холодных фронтов. Около 80% осадков в Ленинградской области имеет фронтальное происхождение, и только малая их часть выпадает вне зоны фронтов в однородных воздушных массах. Зимой на фронтах выпадают обложные осадки, летом фронтальные осадки часто имеют ливневой характер. Анализ повторяемости переносов воздушных масс на Ленинградскую область позволяет сделать вывод о том, что при преобладании переносов западных направлений часто сюда поступает воздух с других направлений. Отсюда видно, что в Ленинградской об-

ласти в течение всего года происходит смена воздушных масс морского, континентального и арктического происхождения.[5]

Непосредственное влияние на климат оказывают постоянные Центры действия атмосферы (ЦДА). Так, в число указанных выше ЦДА входят такие барические образования, как: Арктический максимум давления, Исландский минимум давления, Азорский максимум давления (в меньшей степени, скорее, опосредованно). По характеру преобладающих ветров в течение года над территорией города можно сделать вывод о преобладании зонального переноса (западно-восточный перенос). Меридиональный перенос (северо-южный), скорее, не является характерным типом циркуляции, возникает в связи с перемещением в отдельные сезоны года северо-западных («ныряющих» циклонов). Как показали исследования Главной геофизической обсерватории (п. Пулково, г. Санкт -Петербург), чрезвычайная изменчивость погоды в Петербурге обусловлена, как известно, прохождением атлантических циклонов, траектории которых, в свою очередь, определяются топографией изобарических поверхностей и, следовательно, характером общей циркуляции атмосферы, на которую влияют изменения солнечной и магнитной активности.

Почти все основные стационарные центры действия атмосферы на Земле приурочены к океаническим областям и именно их наличие характеризует основные особенности циркуляции атмосферы на нашей планете. Это хорошо известные Исландский минимум и Азорский максимум давления в Северной Атлантике, Алеутский минимум и Гонолульский максимум давления в северной части Тихого океана и их аналоги в Южном полушарии: в Южной Атлантике, Индийском океане и южной части Тихого океана. Кроме этих парных систем низкого и высокого давления над океанами, в Северном Ледовитом океане, а именно над восточной частью Арктического бассейна, в течение практически всего года существует область повышенного давления

– Арктический антициклон. По современным оценкам за период с 1937 по 1992 гг. повторяемость Арктического антициклона на среднемесячных картах атмосферного давления в течение 8 месяцев из 12 составляет более 50% времени, а в отдельные годы он хорошо выражен в течение всего года.

Наибольшее влияние на циркуляцию атмосферы Ленинградской области оказывает Арктический максимум. Исследование Арктического антициклона показало, что он является практически стационарным атмосферным образованием, как все океанические центры действия атмосферы. Как уже упоминалось выше, расположен антициклон в восточной части Арктического бассейна и его центр в течение года за период с 1945 по 1995 гг. располагался в зоне 76°-78° с.ш. и 140°-150° з.д., смещаясь к северу в период, когда он наиболее выражен и к югу в моменты наибольшего ослабления. В сезонных изменениях широты центра антициклона превалирует полугодовая составляющая выражена слабее. Движение центра антициклона в годовой и полугодовой волнах происходит по часовой стрелке. Закономерности полугодовых колебаний давления, широты и долготы в центре Арктического антициклона идентичен тем, что и у ближайших его соседей, циклонических центров действия атмосферы в Северной Атлантике и северной части Тихого океана.[2]

3. Анализ результатов исследования одновременной изменчивости количества осадков и характеристик космической погоды

3.1. Отбор и обработка необходимых для исследования данных

Для получения необходимой для исследования результатов метеорологических наблюдений в работе использована информация сайтов www.rp5.ru и www.meteo-dv.ru.

Для определения изменчивости атмосферных осадков Ленинградской области, было выбрано четыре метеорологические станции. Санкт-Петербург, на северо-западе от него станция п. Лесогорский №22806; на востоке - п. Воейково, №26002; на юге - п. Белогорка, №26069. Для отбора необходимых данных об осадках и облачности использован сайт www.rp5.ru , с помощью которого можно получить метеорологические данные за нужный период наблюдений (в моём случае 9 лет, с 2010 по 2018гг).

Порядок работы с сайтом:

1. На первой странице сайта в поисковой строке необходимо ввести название метеорологической станции (например, Лесогорский);

2. После нажатия кнопки поиска, выбрать пункт «Архив погоды на метеостанции»;

3. Из появившихся трех пунктов выбрать «Скачать архив погоды», «Диапазон дат» (с 01.01.10 по 31.12.18), «Для заданного диапазона» выбрать − все дни, «Формат» − «XLS (Excel)», «Выбрать в файл GZ(архив)», «Скачать».

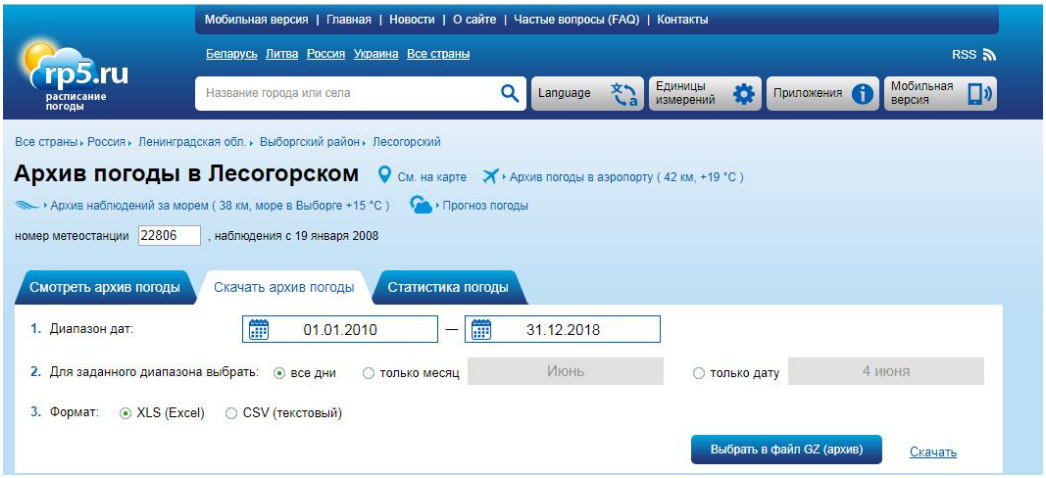


Рисунок 4. Пример работы с сайтом www.rp5.ru для выбора данных в Лесогорском

Необходимо разархивировать файл, открыть документ в программе Excel и удалить не интересующие данные.

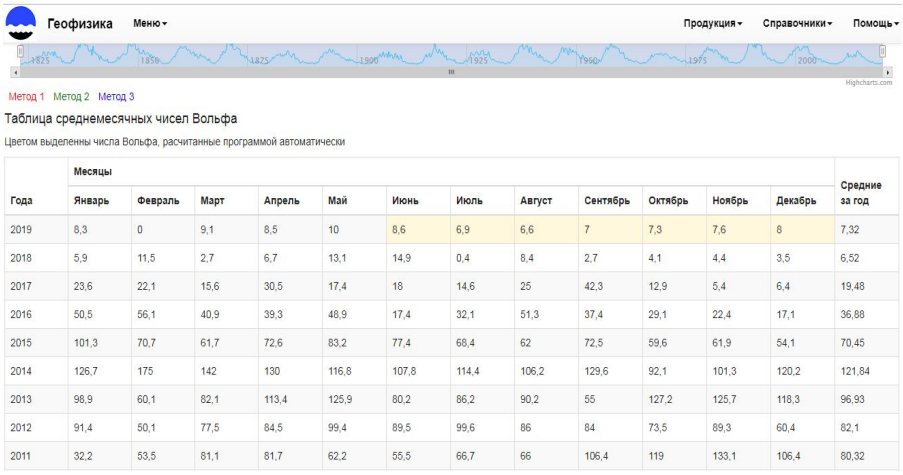
Для дальнейших расчетов необходимо отобрать статистические данные по всем трем станциям. Для этого на сайте www.rp5.ru открыть «Архив погоды» на необходимой станции, выбрать пункт «Статистика погоды», «Диапазон дат» (с 01.01.2010 по 31.01.2010) , «Для заданного диапазона» выбрать − все дни, «Параметры выборки» - RRR (атмосферные осадки), кликнуть «Выполнить расчет», в появившемся окне скопировать «Суммы осадков», «Максимальное значение», «Число дней с осадками». Данную операцию повторить за каждый месяц с 01.01.2010 по 31.12.2018.

Все данные были занесены в файл в программе Excel.

На основе составленной базы данных можно производить расчёт показателей, необходимых для оценки изменчивости осадков: интенсивность осадков, среднемесячная сумма осадков за каждый год, корреляция среднемесячных сумм количества и интенсивности осадков с параметром солнечной активности, средний вид осадков, средний вид облачности, степень конти-

нентальности климата, стандартное отклонение суммы и интенсивности осадков.

На сайте www.meteo-dv.ru. необходимо выбрать среднемесячные числа Вольфа за период с 01.01.2010 по 31.12.2018 гг. На сайте приведена таблица среднемесячных значений параметра солнечной активности (числа Вольфа), я выделила интересующий меня период (1997-2018гг), скопировала данные и занесла в файл в программе Excel для дальнейших расчетов.



Года	Месяцы												Средние за год
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
2019	8,3	0	9,1	8,5	10	8,6	6,9	6,6	7	7,3	7,6	8	7,32
2018	5,9	11,5	2,7	6,7	13,1	14,9	0,4	8,4	2,7	4,1	4,4	3,5	6,52
2017	23,6	22,1	15,6	30,5	17,4	18	14,6	25	42,3	12,9	5,4	6,4	19,48
2016	50,5	56,1	40,9	39,3	48,9	17,4	32,1	51,3	37,4	29,1	22,4	17,1	36,88
2015	101,3	70,7	61,7	72,6	83,2	77,4	68,4	62	72,5	59,6	61,9	54,1	70,45
2014	126,7	175	142	130	116,8	107,8	114,4	106,2	129,6	92,1	101,3	120,2	121,84
2013	98,9	60,1	82,1	113,4	125,9	80,2	86,2	90,2	55	127,2	125,7	118,3	96,93
2012	91,4	50,1	77,5	84,5	99,4	89,5	99,6	86	84	73,5	89,3	60,4	82,1
2011	32,2	53,5	81,1	81,7	62,2	55,5	66,7	66	106,4	119	133,1	106,4	80,32

Рисунок 5. Пример работы с сайтом www.meteo-dv.rudля отбора нужных среднемесячных значений чисел Вольфа

3.2. Описание пунктов наблюдения за осадками

Для того, чтобы как можно точнее описать атмосферные осадки Ленинградской области, необходимо выбрать несколько станций: г. Санкт-Петербург, на северо-западе от него станция п. Лесогорский; на востоке - п. Воейково; на юге - п. Белогорка. Для дальнейшего анализа нужны сведения о географическом положении и климате по каждой станции:

- Санкт-Петербург

Номер станции: 26063

Широта: 59°97’

Долгота 30°30’

Высота над уровнем моря: 6.0

Город расположен на северо-западе России, в пределах Приневской низменности, на прилегающем к устью реки Невы побережье Невской губы Финского залива и на многочисленных островах Невской дельты. Климат Петербурга умеренный, переходный от умеренно-континентального к умеренно-морскому. Такой тип климата объясняется географическим положением и атмосферной циркуляцией характерной для Ленинградской области. Для города характерна частая смена воздушных масс, обусловленная в значительной степени циклонической деятельностью. Летом преобладают западные и северо-западные ветры, зимой западные и юго-западные. Годовая амплитуда сумм прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе от 25 МДж/м² в декабре до 686 МДж/м² в июне. Максимальная температура, отмеченная в Санкт-Петербурге за весь период наблюдений, +37,1 °C, а самая низкая −35,9 °C.

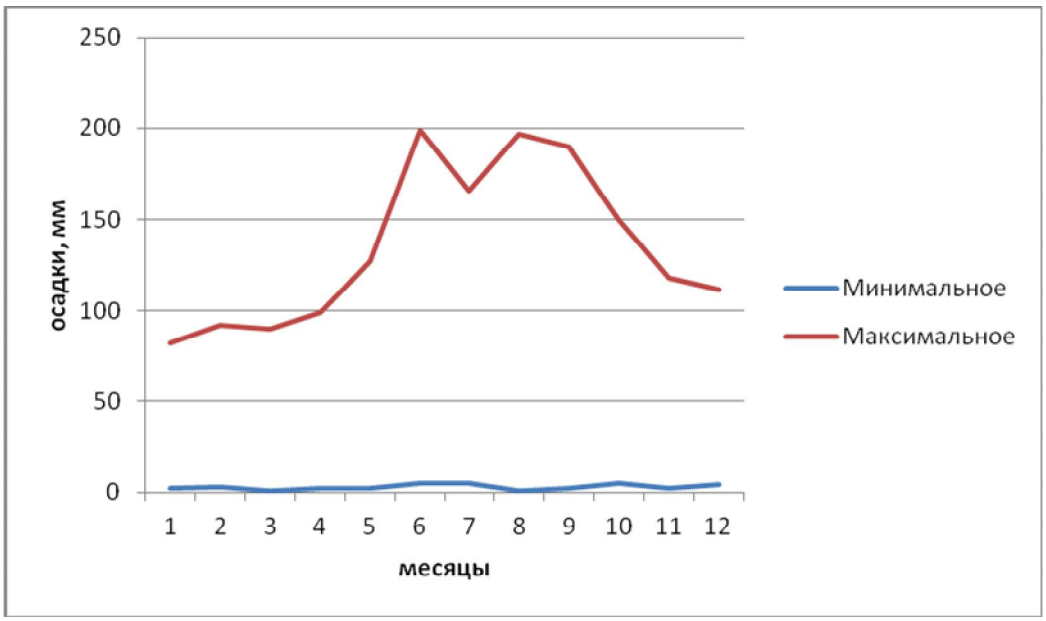


Рисунок 6. Среднегодовой ход атмосферных осадков в Санкт-Петербурге за период с 1836 по 2016 гг.

Масимальное значение 199 мм наблюдалось в июне, минимальное – 1мм за период март-август. По суммам осадков можно определить степень континентальности климата.

Для города Санкт-Петербурга тип климата – полуконтинентальный. Этот показатель говорит о равенстве сумм за за периоды март-август и сентябрь-февраль, либо о небольшом преобладании осадков в весенне-летний период.

- Лесогорский

Номер станции: 22806

Широта: 61°02′

Долгота 28°55′

Высота над уровнем моря: 40.0

Расположен на реке Вуокса, вблизи озера Лесогорское, в 185 км к северо-западу от Санкт-Петербурга. Средняя температура января −8… −11 °C, июля +16…+18 °C. Абсолютный максимум температуры +37,8 °C, абсолютный минимум −52 °C. Самый сухой месяц-февраль. Выпадает около 34 мм осадков в феврале. В Августе количество осадков достигает своего пика, в среднем 83 мм.

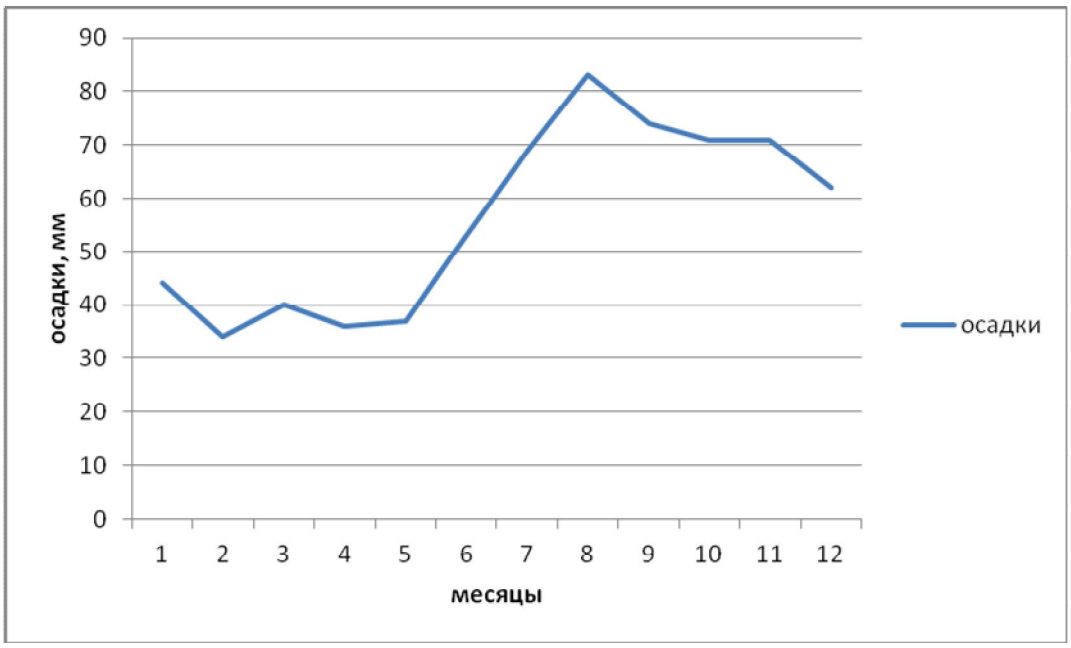


Рисунок 7. Среднегодовой ход атмосферных осадков в Лесогорском

Расчет показал, что степень континентальности в Лесогорском соответствует типу климата - неконтинентальный. Это говорит о преобладании осадков в осеннее-зимний период

- Воейково

Номер станции: 26002

Широта: 59°57′

Долгота: 30°42′

Высота над уровнем моря: 75.0

К востоку Колтушской возвышенности, расположился поселок Воейково. Колтушская возвышенность входит в список всемирного наследия ЮНЕСКО. Наибольшее количество осадков выпадает в Август около 79 мм. Воейково имеет значительное количество осадков в течение года. Температура здесь в среднем 4.2 ° C. В год выпадает около 638 мм осадков.

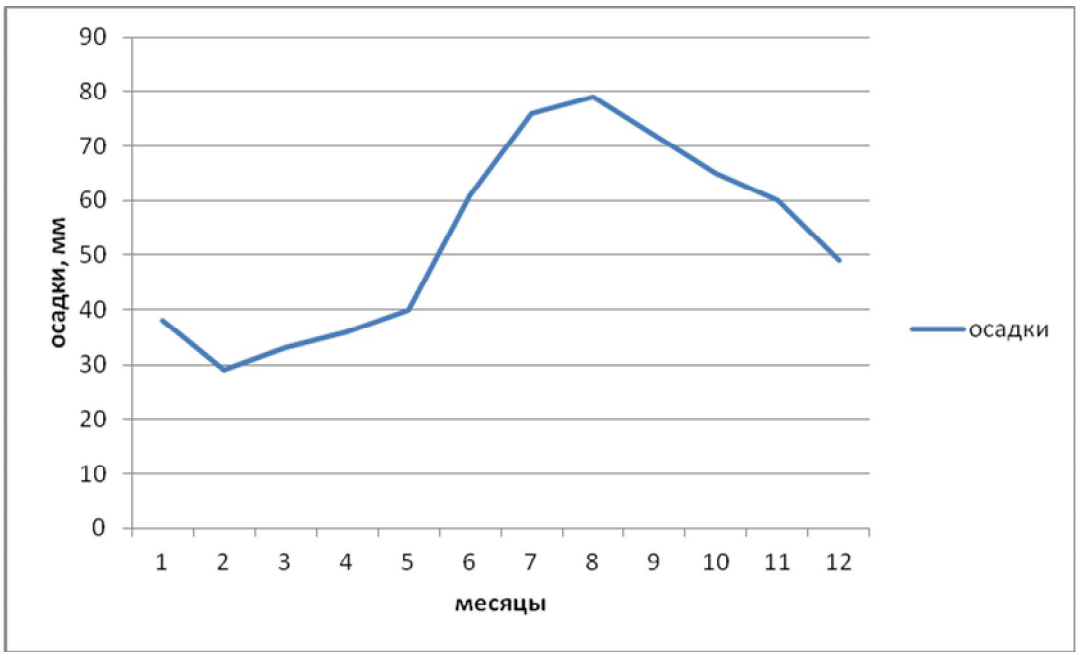


Рисунок 8. Среднегодовой ход атмосферных осадков в Воейково

Степень континентальности, рассчитанная в данной работе, соответсвует типу климата-полуконтинентальный. Этот показатель говорит о равенстве сумм за за весеннее-летний и осеннее-зимний периоды, либо о небольшом преобладании осадков в период март-август.

- Белогорка

Номер станции: 22806

Широта: 59°20′

Долгота:30°07′

Высота над уровнем моря: 90.0

Метеорологическая станция расположена в юго-западной части Ленинградской области. Расстояние до административного центра поселения — посёлка городского типа Сиверский - 4 км.

Метеорологическая станция находится на правом берегу реки Оредеж, к востоку от станции Сиверская железной дороги Санкт-Петербург-Луга. В пункте Белогорка климат холодно умеренный. Средняя температура воздуха составляет 4.4 ° С. В год выпадает около 652 мм осадков.

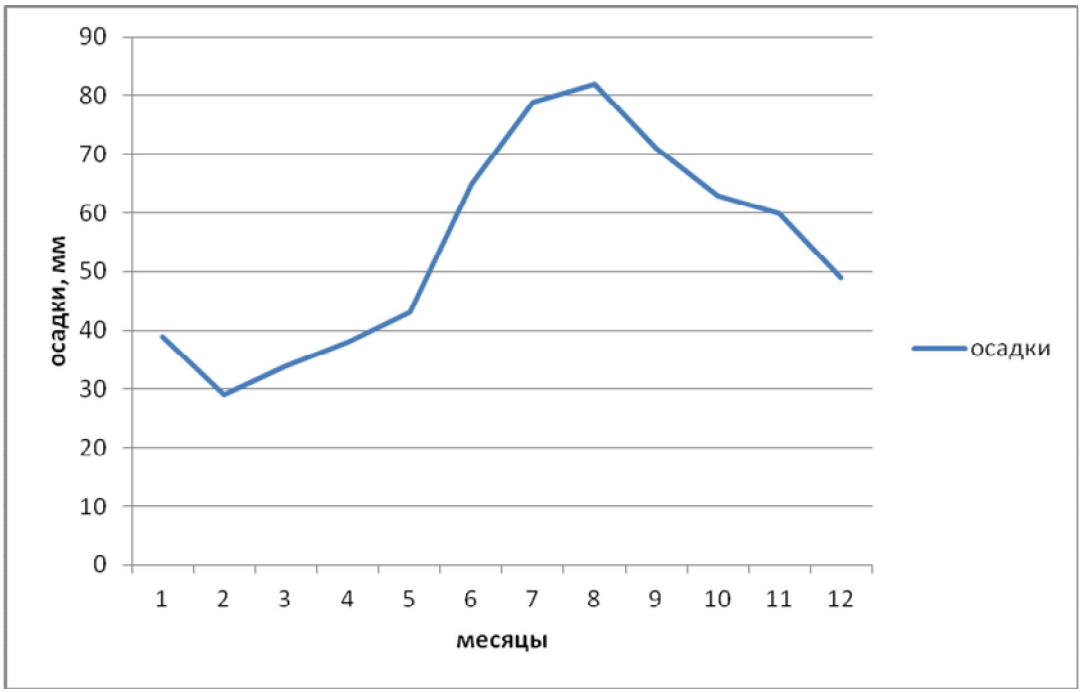
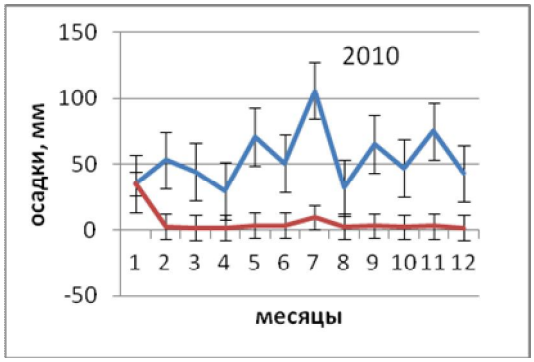


Рисунок 9. Среднегодовой ход атмосферных осадков в Белогорке

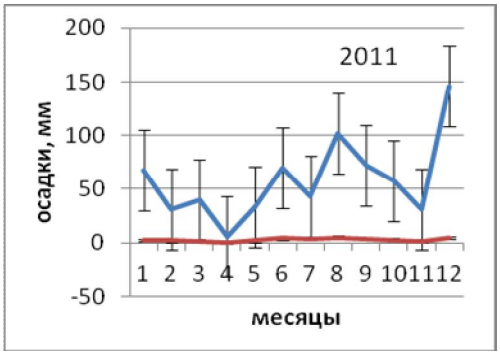
Степень континентальности климата соответствует типу- полуконтинентальный. Этот показатель говорит о равенстве сумм за за периоды март-август и сентябрь-февраль, либо о небольшом преобладании осадков в весенне-летний период.

3.3. Изменчивость осадков в наблюдаемых пунктах

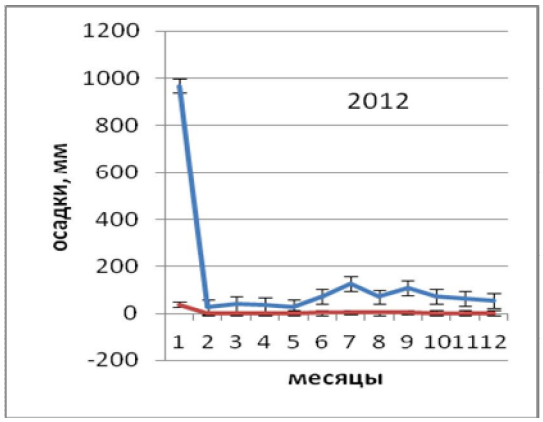
Для оценки изменчивости осадков в указанных пунктах Ленинградской области за период с 2010 по 2018 гг, мной были произведены расчеты среднемесячных сумм и интенсивности осадков. Наглядно можно рассмотреть, как изменялись суммы осадков и интенсивность за каждый год в указанный период.



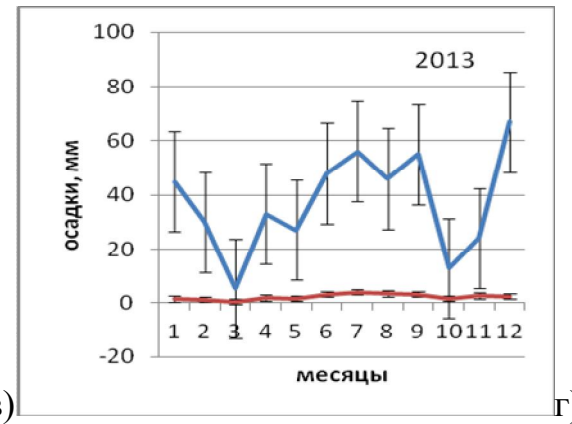
а)



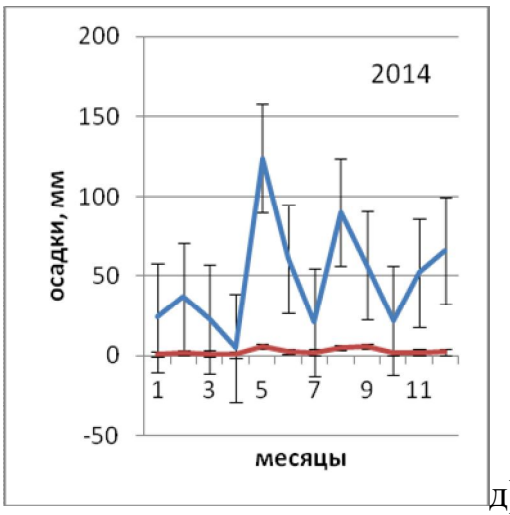
б)



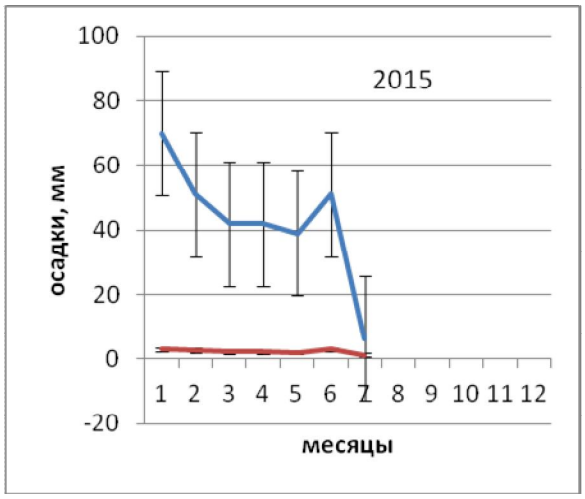
в)



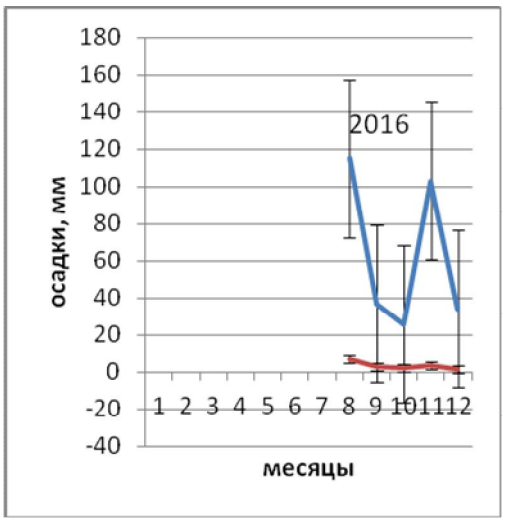
г)



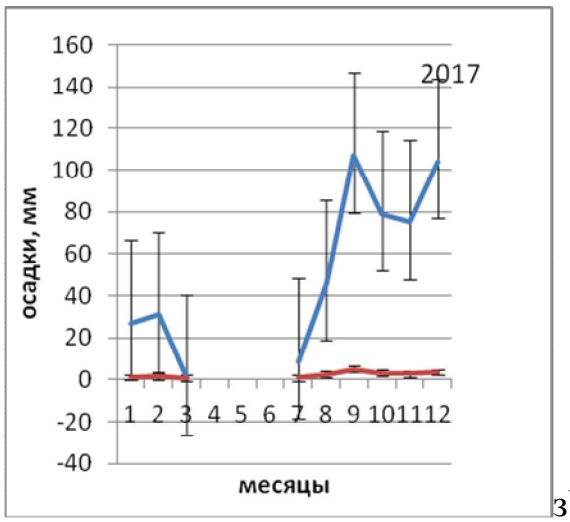
д)



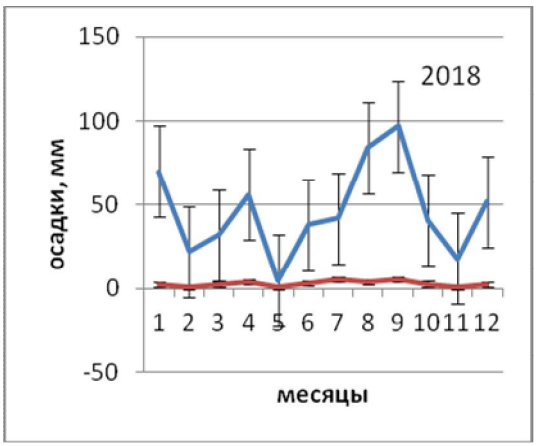
е)



ж)

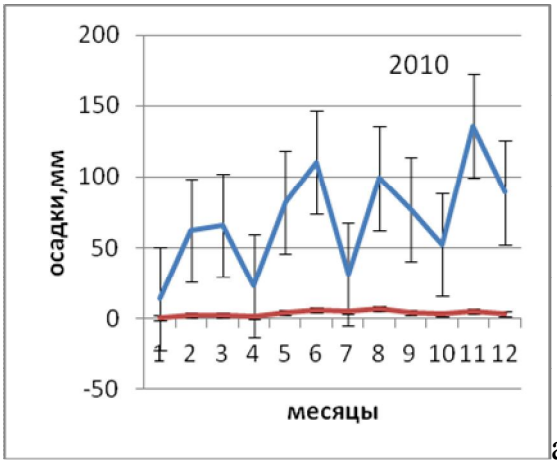


з)

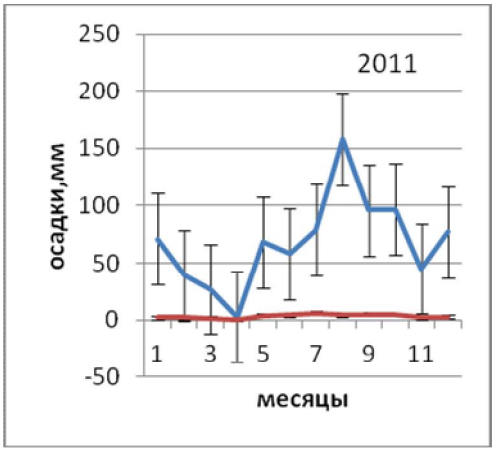


и)

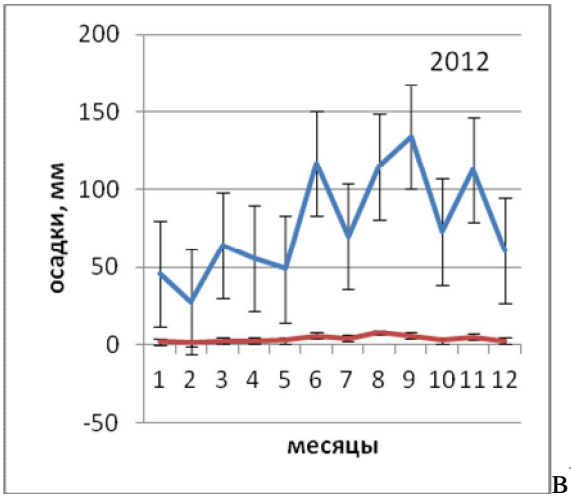
Рисунок 9. Годовой ход среднемесячных сумм (синяя кривая) и интенсивности осадков (красная кривая) в Лесогорском: а) 2010 год; б) 2011год; в) 2012 год; г)2013 год; д) 2014 год) е)2015 год; ж) 2016 год; з) 2017 год; и) 2018 год.


2010
осадки,мм
200
150
100
50
0
-50
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
месяцы

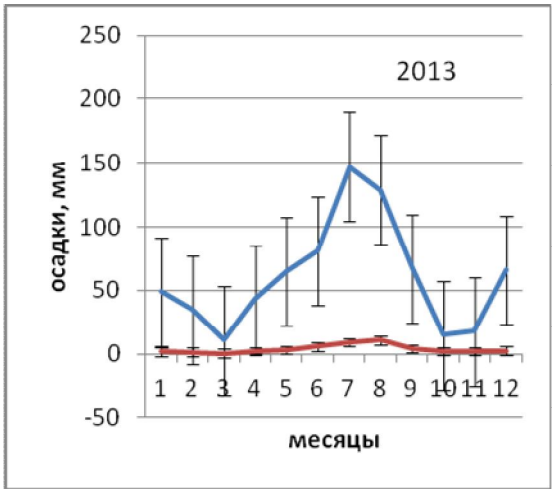
а)


2011
осадки,мм
250
200
150
100
50
0
-50
1 3 5 7 9 11
месяцы

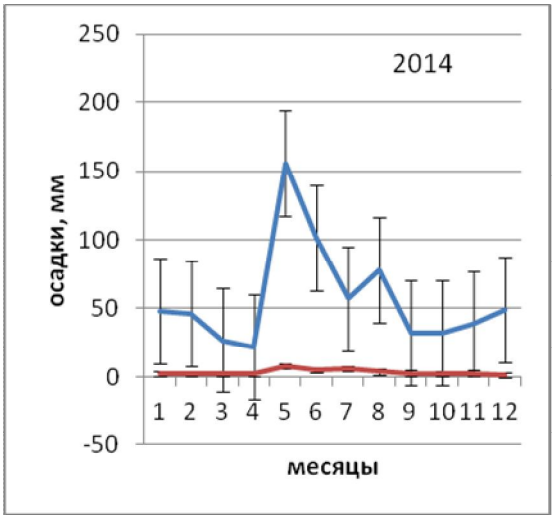
б)


2012
осадки, мм
200
150
100
50
0
-50
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
месяцы

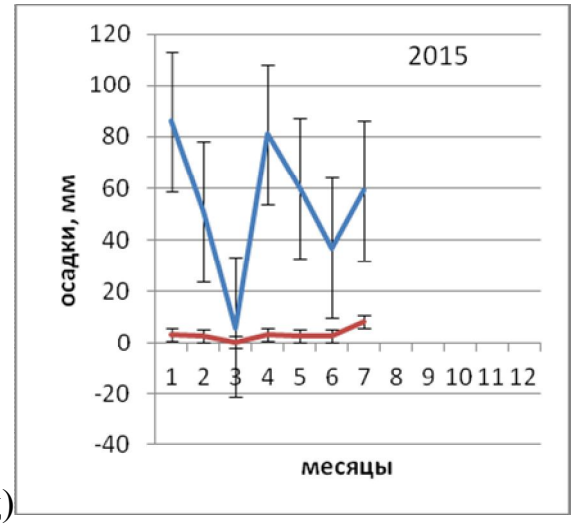
в)


2013
осадки, мм
250
200
150
100
50
0
-50
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
месяцы

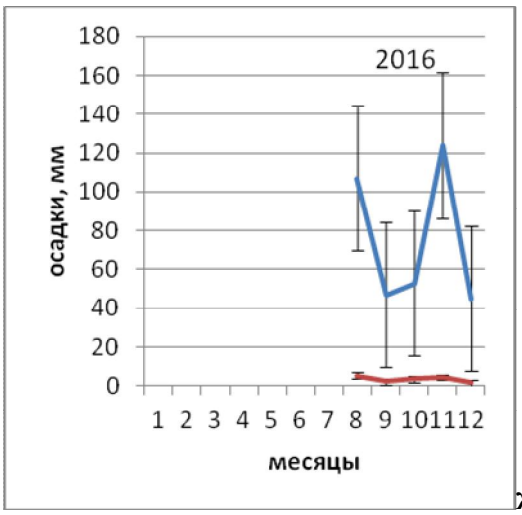
г)


2014
осадки, мм
250
200
150
100
50
0
-50
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
месяцы

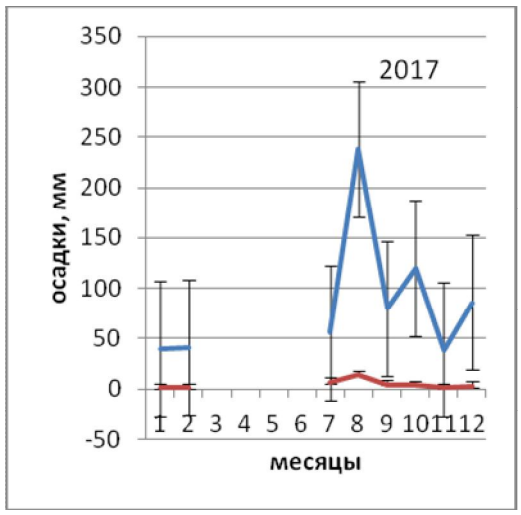
д)


2015
осадки, мм
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
месяцы

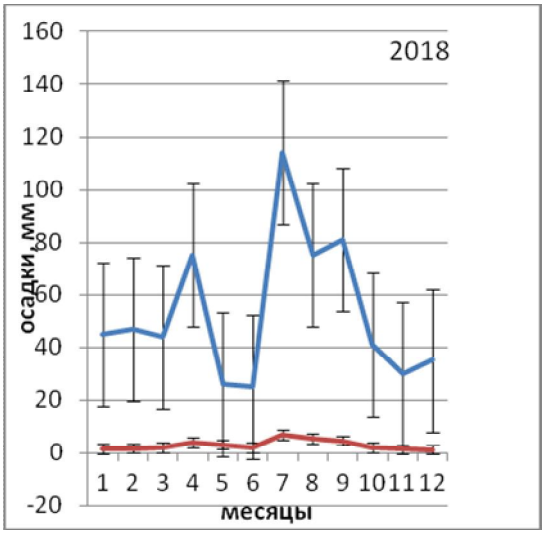
е)



ж)

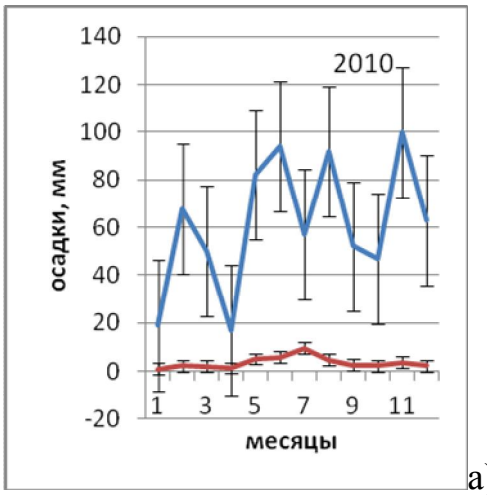


з)

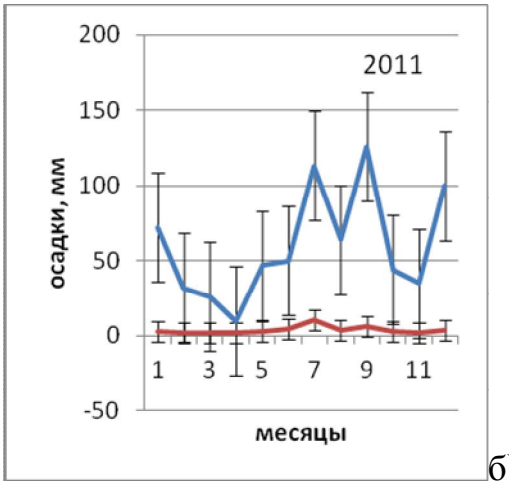


и)

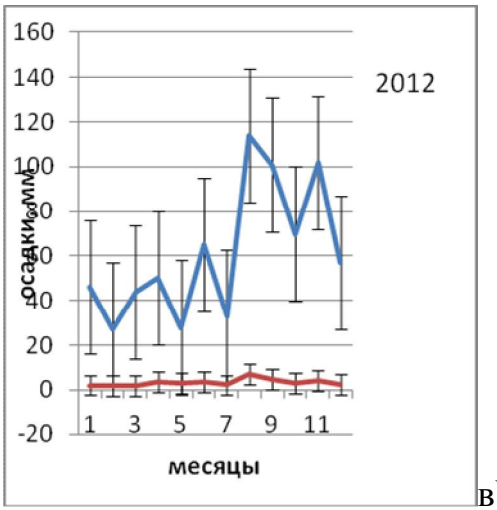
Рисунок 10. Годовой ход среднемесячных сумм (синяя кривая) и интенсивности осадков(красная кривая) в Воейково: а) 2010 год; б) 2011 год; в) 2012 год; г)2013 год; д) 2014 год) е)2015 год; ж) 2016 год; з) 2017 год; и) 2018 год.


2010
осадки, мм
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
1 3 5 7 9 11
месяцы

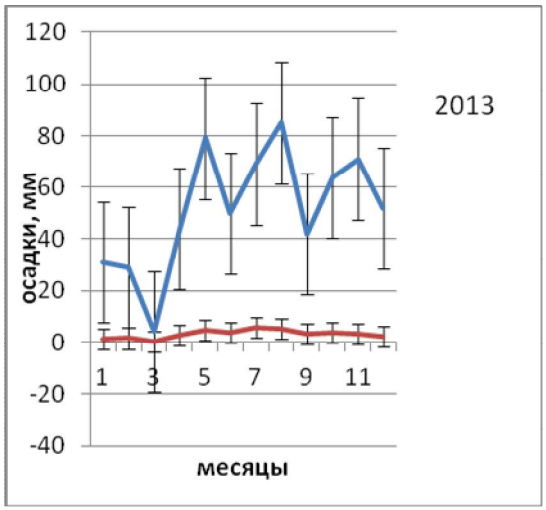
а)


2011
осадки, мм
200
150
100
50
0
-50
1 3 5 7 9 11
месяцы

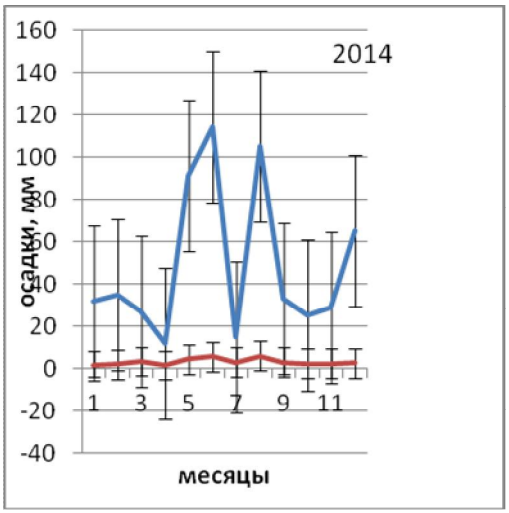
б)


2012
осадки, мм
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
1 3 5 7 9 11
месяцы

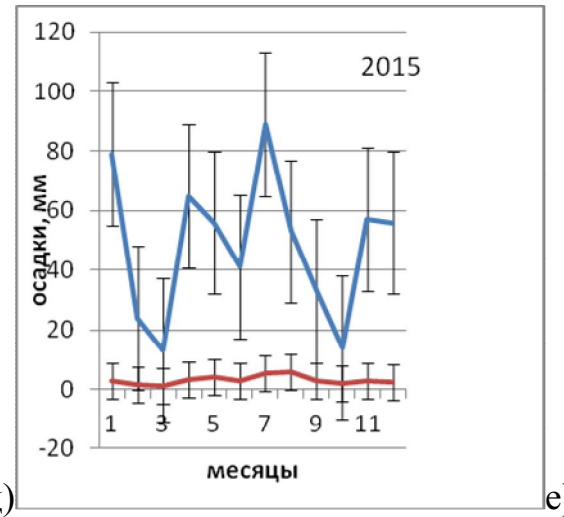
в)


2013
осадки, мм
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
1 3 5 7 9 11
месяцы

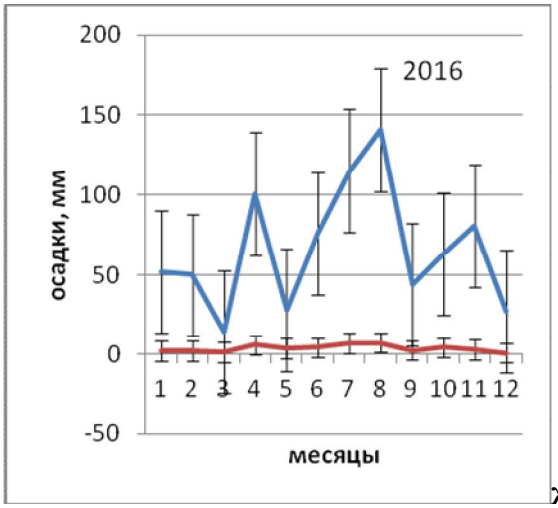
г)


2014
осадки, мм
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
1 3 5 7 9 11
месяцы

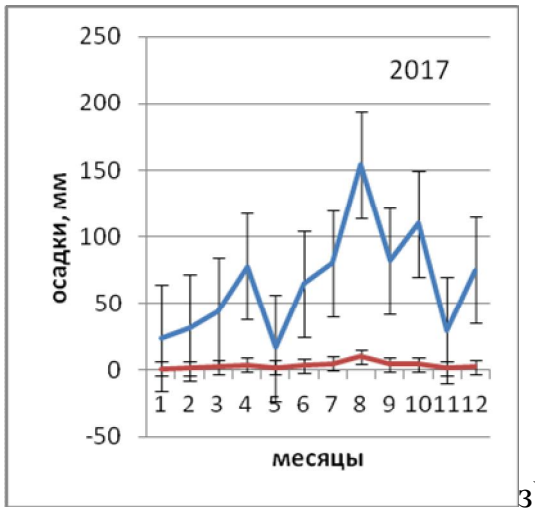
д)


2015
осадки, мм
120
100
80
60
40
20
0
-20
1 3 5 7 9 11
месяцы

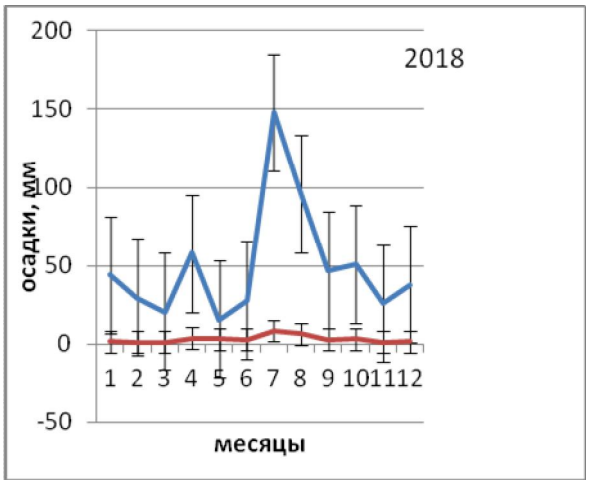
е)



ж)

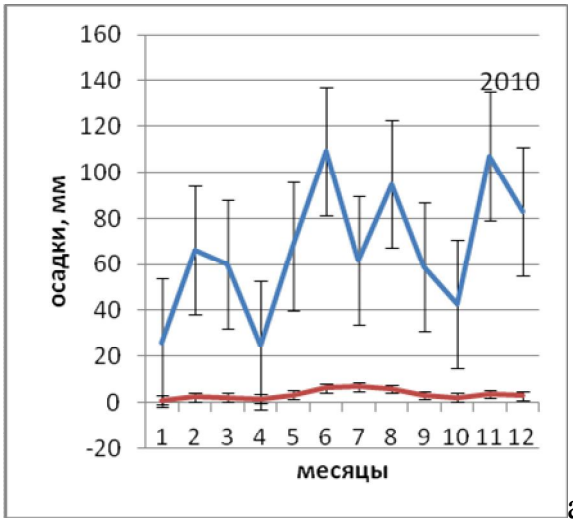


з)

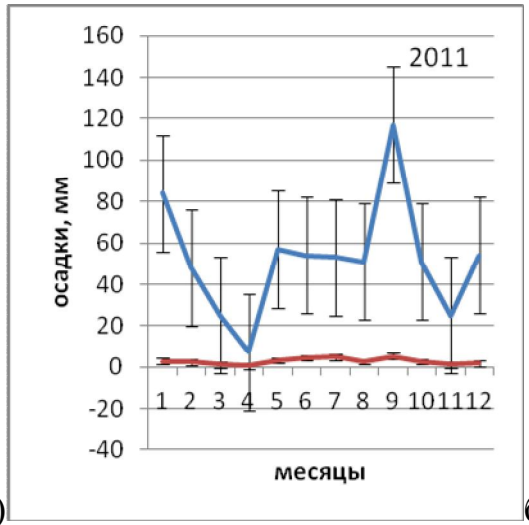


и)

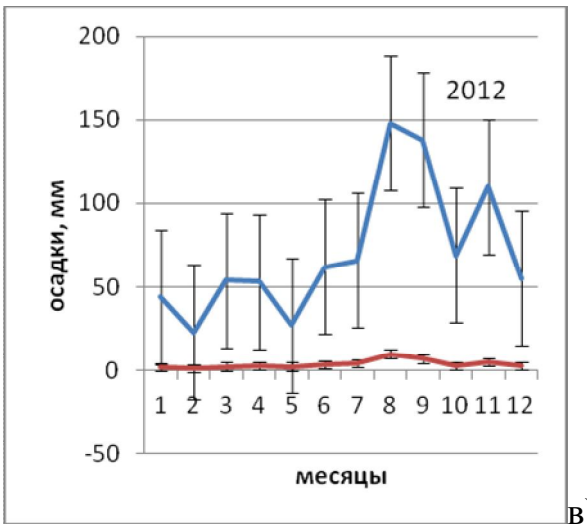
Рисунок 11. Годовой ход среднемесячных сумм (синяя кривая) и интенсивности осадков (красная кривая) в Белогорке: а) 2010 год; б) 2011 год; в) 2012 год; г)2013 год; д) 2014 год) е)2015 год; ж) 2016 год; з) 2017 год; и) 2018 год.



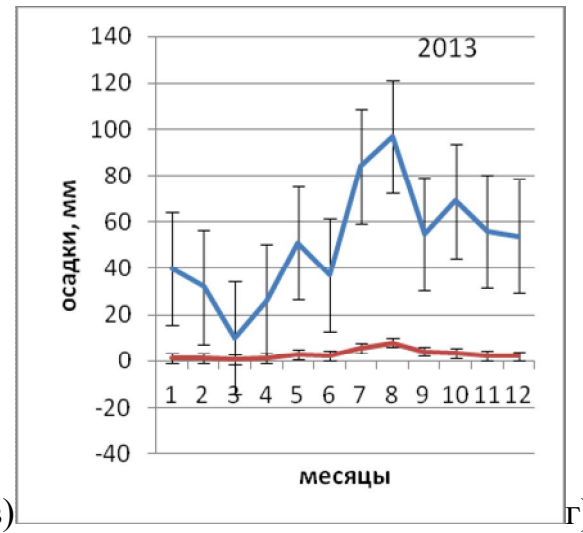
а)



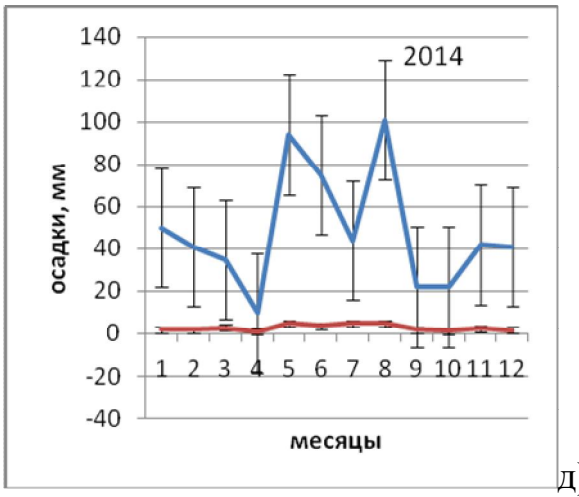
б)


2012
осадки, мм
200
150
100
50
0
-50
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
месяцы

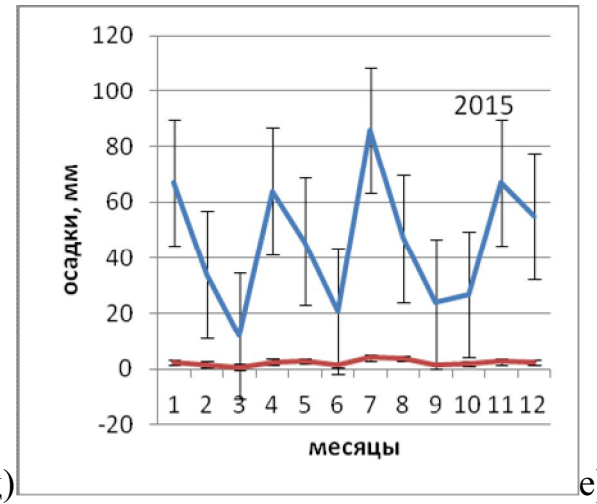
в)


2013
осадки, мм
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
месяцы

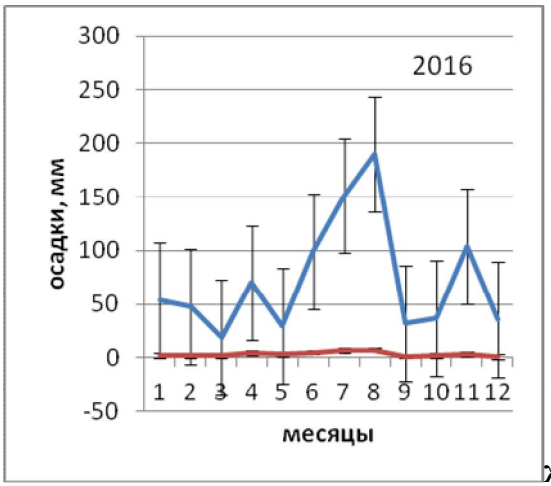
г)



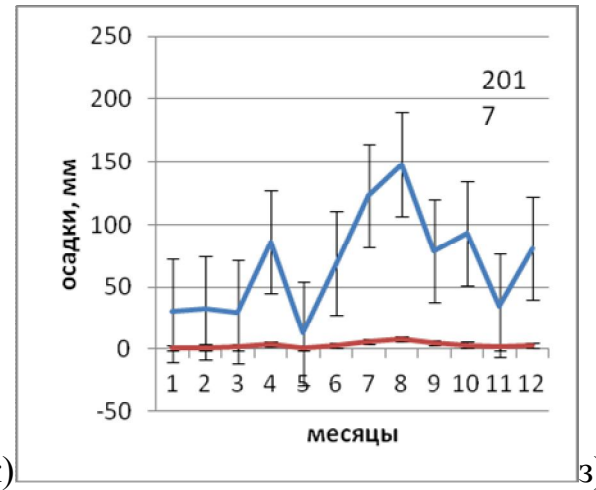
д)



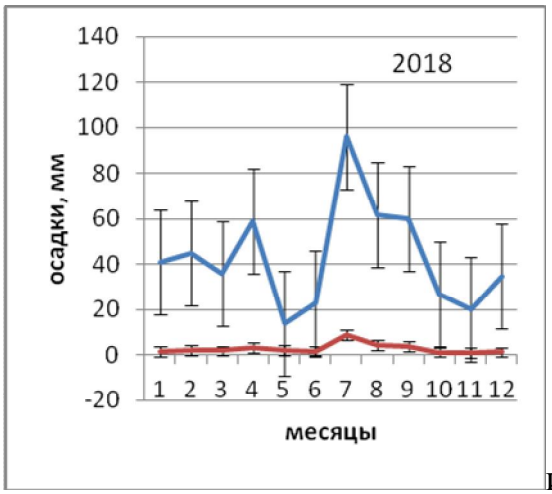
е)



ж)



з)



и)

Рисунок 12. Годовой ход среднемесячных сумм (синяя кривая) и интенсивности осадков (красная кривая) в Санкт-Петербурге: а) 2010 год; б) 2011 год; в) 2012 год; г)2013 год; д) 2014 год) е)2015 год; ж) 2016 год; з) 2017 год; и) 2018 год.

На рисунках 9-12 показаны изменения интенсивности и среднемесячных сумм осадков за каждый год в каждом, выбранном для исследования пункте наблюдения. Из рисунков следует, что цикличность осадков и их интенсивности в каждый год меняется. Так ,например, в 2015 году экстремальные значения суммы осадков повторялись каждые приблизительно 3 месяца, что значительно отличается от среднемесячного многолетнего годового хода сумм осадков. С такой же периодичностью в течение года изменялась и интенсивность осадков.

Рассмотрим на примере 2015 и 2013 гг годовой ход суммы и интенсивности осадков в Санкт-Петербурге и его окрестностях.

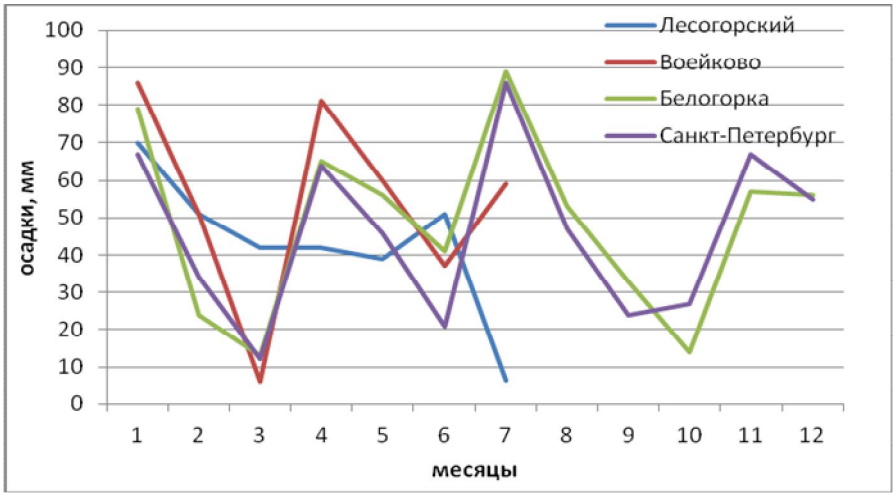


Рисунок 13. Годовой ход суммы осадков в Санкт-Петербурге и его окрестностях в 2015 году

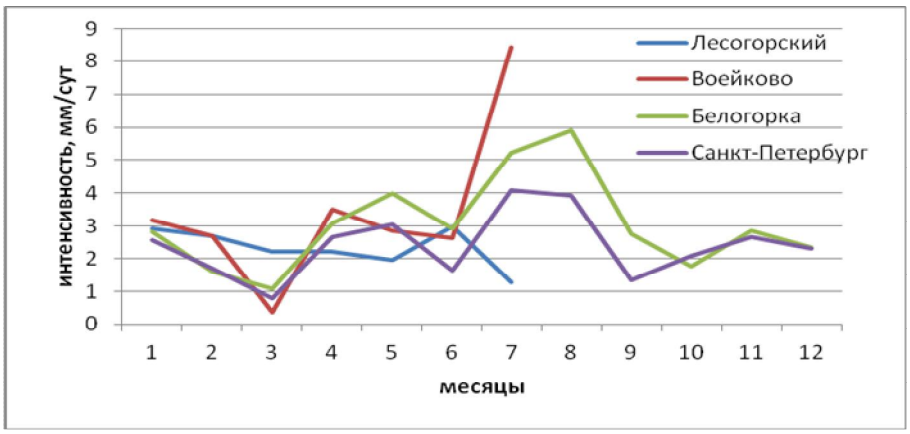


Рисунок 3.13 Годовой ход интенсивности осадков в Санкт-Петербурге и его окрестностях в 2015 году

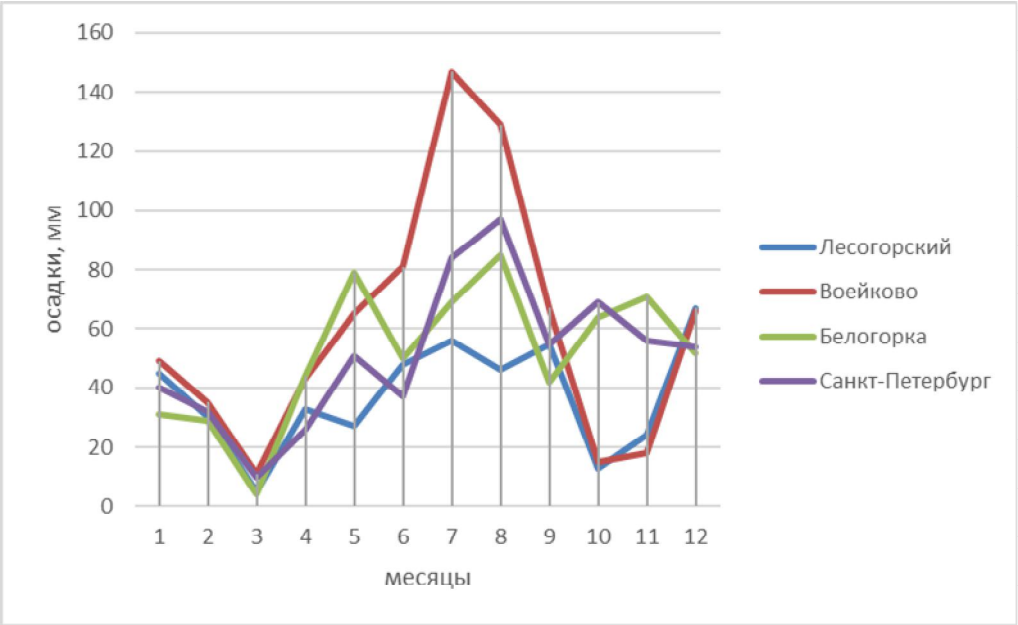


Рисунок 3.14 Годовой ход месячных сумм осадков в Санкт-Петербурге и его окрестностях за 2013 год

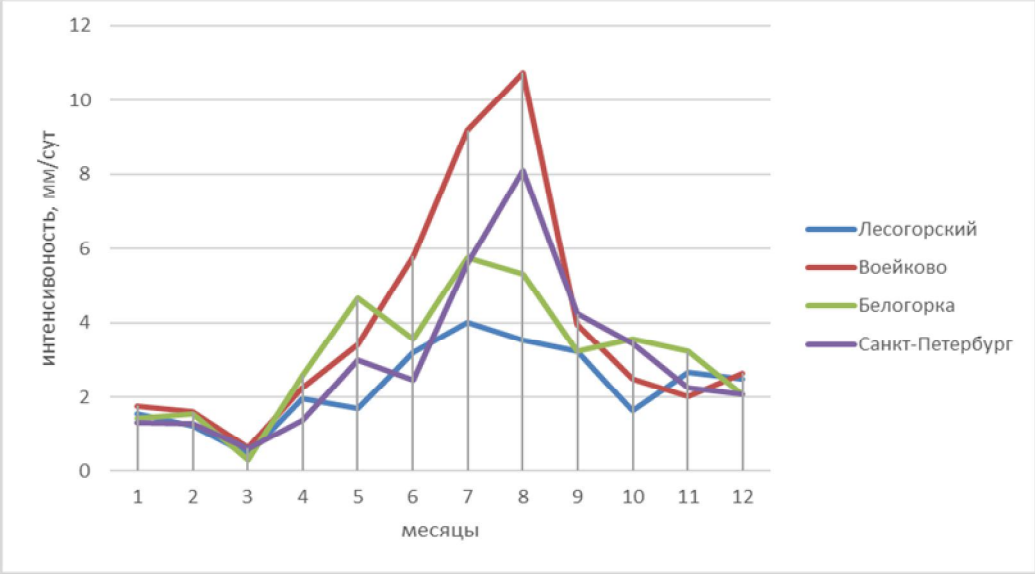


Рисунок 3.15Годовой ход интенсивности осадков в Санкт-Петербурге и его окрестностях в 2013 году

Годовой ход месячных сумм осадков на выбранных для исследования станциях Санкт-Петербурга и его окрестностей в 60 % случаев определялось периодичностью в 3-4 месяца , а в 40% случаев наблюдалось два минимума весной и осенью.

Анализ результатов показал, что наиболее интенсивные осадки наблюдаются в летние месяцы на северо-востоке от Санкт-Петербурга.

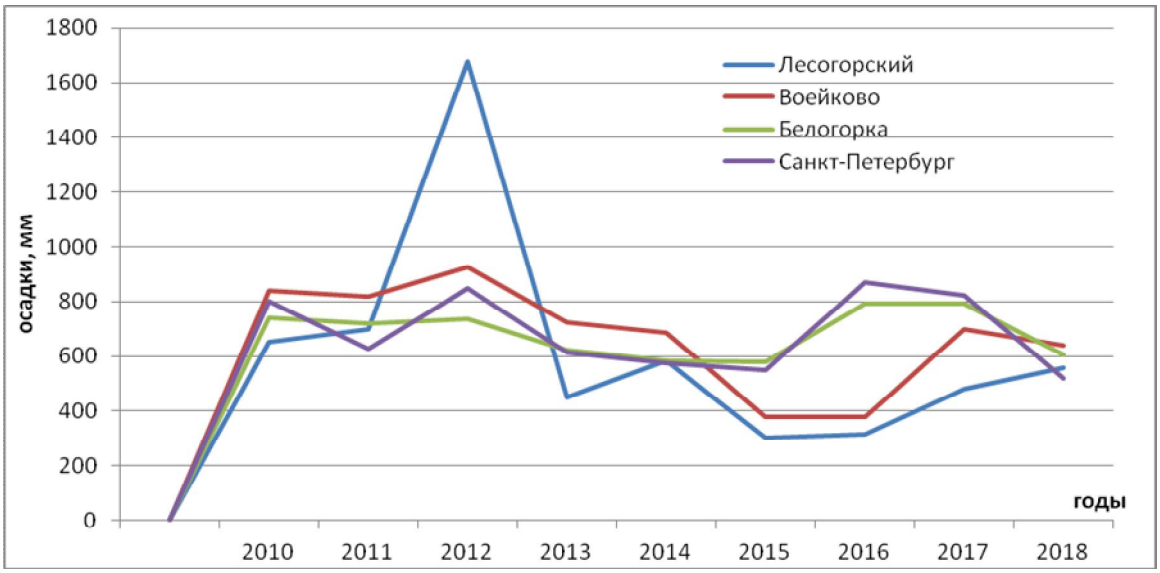


Рисунок 14. Временное изменение годовых сумм осадков за период с 2010 по 2018гг в Санкт-Петербурге и его окрестностях

Изменение годовых сумм осадков за период 2010-2018 гг в Санкт-Петербурге и его окрестностях показывает, что в разных отрезках времени максимум осадков может наблюдаться на территории Ленинградской области в разных направлениях относительно Санкт-Петербурга. В 2012 году отмечался максимум осадков в северном направлении от Санкт-Петербурга (Лесогорский), а в 2016-2017 гг- в Санкт-Петербурге и в южном направлении от него (Белогорка).

Таким образом, количество осадков в Санкт-Петербурге и Ленинградской области не всегда носит сезонный характер, что, очевидно, объясняется

разнообразием циклов формирования различных барических образований. над рассматриваемым регионом.

3.4. Осадки и параметр солнечной активности – число Вольфа

Как известно, продолжительность цикла солнечных пятен в среднем 11 лет. В первые четыре года цикла наблюдается заметный рост количества солнечных пятен. В последующие годы происходит уменьшение, и после 11 года цикл повторяется. В каждом цикле есть свои максимумы и минимумы. Особенности солнечной активности, оцениваемую по числам Вольфа, мы рассмотрели по среднегодовому ходу чисел Вольфа за период с 1997 по 2018 гг. Данный период был выбран для того, чтобы наглядно увидеть 11-летний цикл солнечных пятен. На рисунке 3.15 представлен график среднегодового хода чисел Вольфа за период с 1997 по 2018 гг.

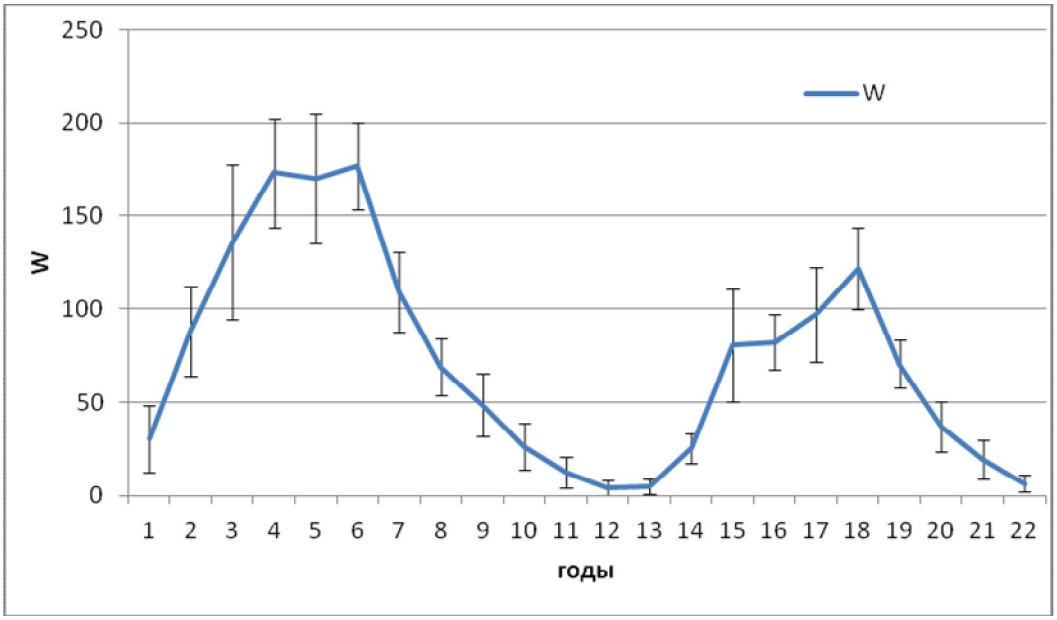


Рисунок 15. Среднегодовой ход чисел Вольфа(1997-2018 гг).

Таким образом, на рисунке 3.15 представлено изменение чисел Вольфа в 23 и 24 циклах солнечной активности. Отмечается некоторый всплеск активности Солнца в 2012 году, и максимум 24 цикла в 2014 году. Период ре-

гистрации характеристик осадков относится к 24 циклу солнечной активности.

Рассмотрим одновременное изменение чисел Вольфа и годовых сумм осадков в Санкт-Петербурге и его окрестностях.

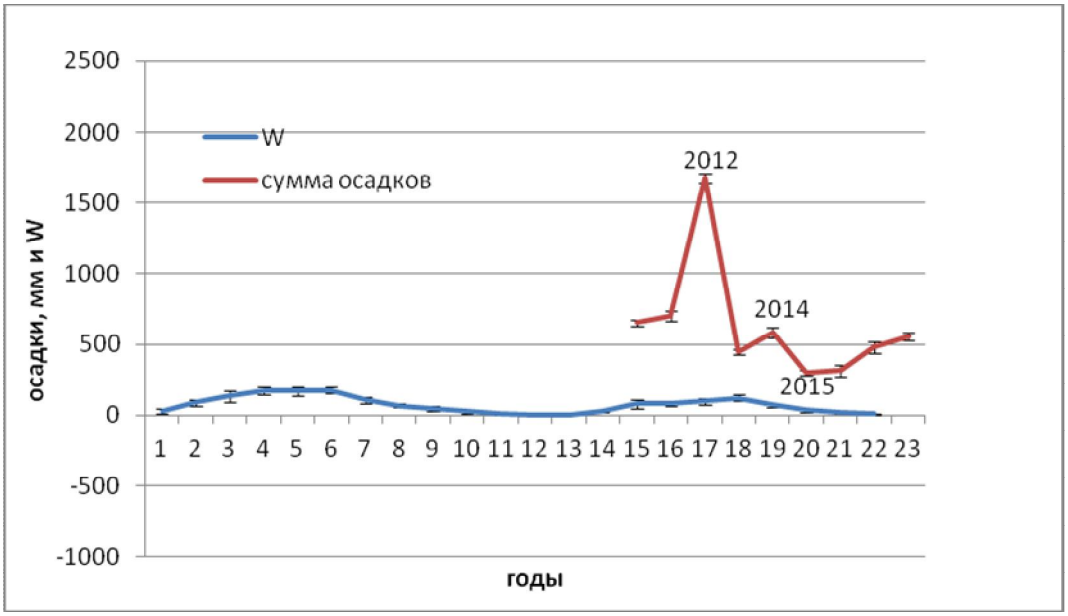


Рисунок 16. Среднегодовой ход чисел Вольфа (1997-2018гг) и суммы атмосферных осадков в Лесогорском (2010-2018гг)

На северо-западе (Лесогорский) от Санкт-Петербурга максимум осадков в 2012 году совпадает с некоторым понижением числа Вольфа после первого пика максимума 24 цикла солнечной активности. Дальнейший рост числа Вольфа сопровождается резким понижением суммы осадков на северо-западе от Санкт-Петербурга. Второй небольшой рост суммы осадков отмечается, в основном, в максимуме числа Вольфа.

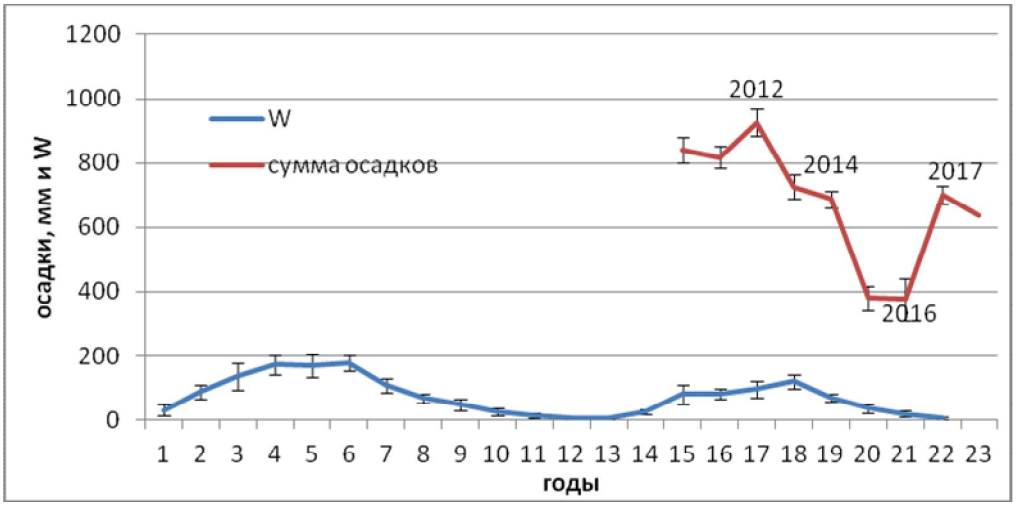


Рисунок 17. Среднегодовой ход чисел Вольфа (1997-2018гг) и суммы атмосферных осадков в Воейково (2010-2018гг)

На северо-востоке от Санкт-Петербурга в 2012 году понижение солнечной активности после первого пика максимума чисел Вольфа, также отмечается максимум суммы осадков. В дальнейшем при росте чисел Вольфа суммы осадков уменьшаются и в период максимума активности 24 цикла (2014 год) на северо-востоке Санкт-Петербурга наблюдается минимум суммы осадков. При падении активности Солнца количество осадков растет.

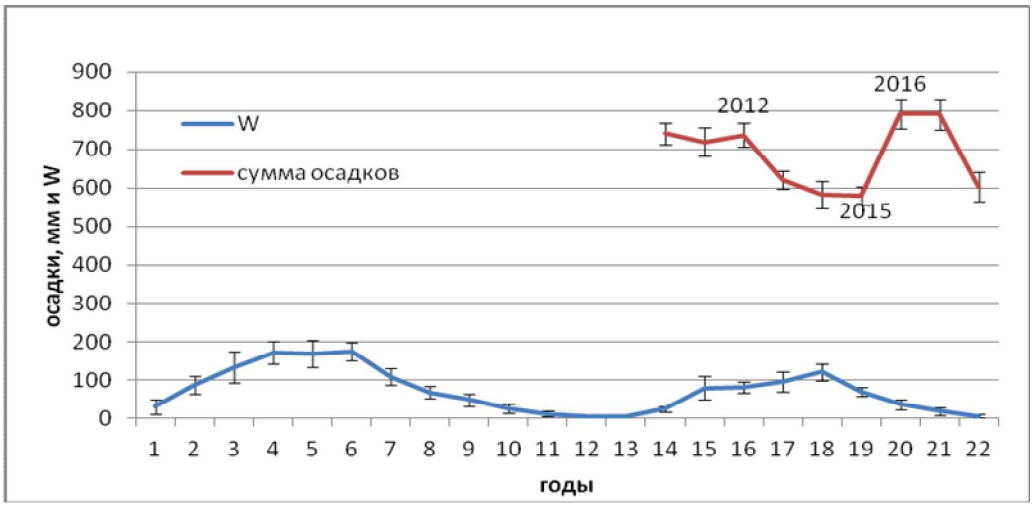


Рисунок 18. Среднегодовой ход чисел Вольфа (1997-2018гг) и суммы атмосферных осадков в Белогорке (2010-2018гг)

На юге от Санкт-Петербурга в 2012 году при уменьшении солнечной активности, отмечается небольшой максимум суммы осадков. В 2014 году наблюдается максимум 24 цикла активности Солнца, а суммы осадков в южном направлении от Санкт-Петербурга в этом же году уменьшатся до минимума в 2015 году. При спаде активности Солнца наблюдается рост сумм осадков.

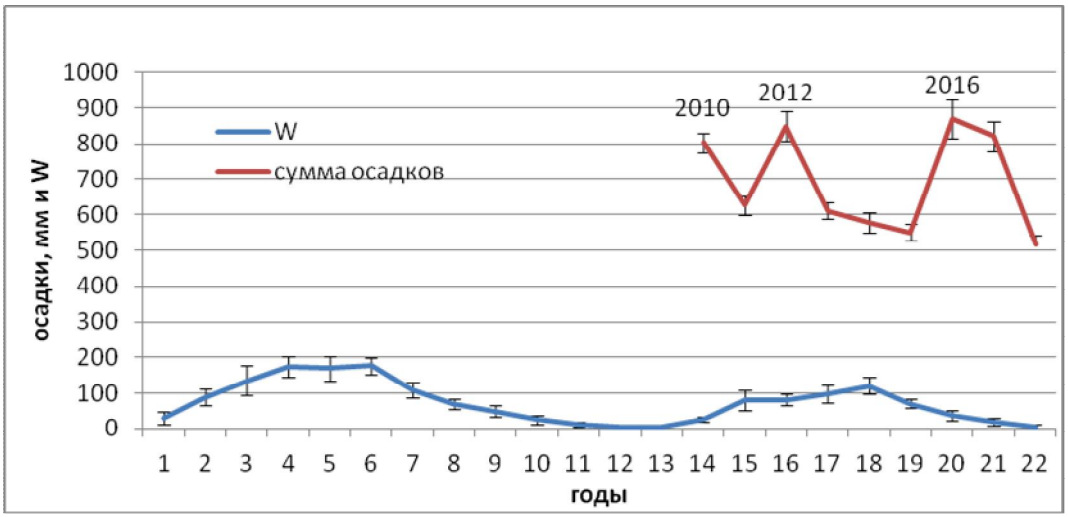


Рисунок 19. Среднегодовой ход чисел Вольфа (1997-2018гг) и суммы атмосферных осадков в Санкт-Петербурге (2010-2018гг)

Из рисунка 19 видно, что во время небольшого снижения (2012 год) после первого пика солнечной активности в 2011 году, наблюдается некоторый максимум суммы осадков в Санкт-Петербурге. При максимуме чисел Вольфа в 2014 году наблюдается снижение суммы осадков, принимающих минимальное значение в 2015 году. Однако, при дальнейшем спаде активности Солнца в 2016 и 2017 гг можно наблюдать рост годовых сумм осадков. В дальнейшем, в 2018 и начале 2019 гг количество осадков уменьшается.

Таким образом, количество осадков в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, в основном, минимально в период максимальных значений 24 цикла активности Солнца.

Рассмотрим одновременное изменение чисел Вольфа и среднемесячных значений сумм осадков за период 2010-2018 гг.

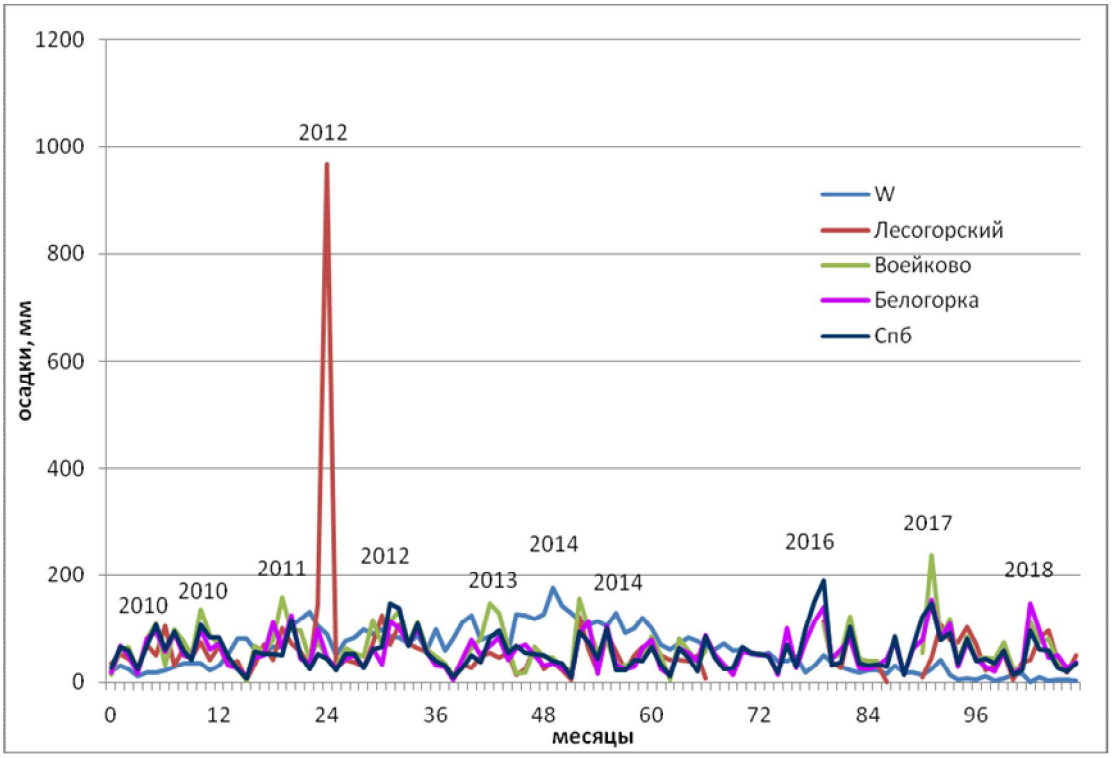


Рисунок 20. Изменение среднемесячных значений чисел Вольфа (с 2010 по 2018гг) и суммы осадков в Лесогорском, Воейково, Белогорке и Санкт-Петербурге за период 2010-2018 гг

Анализ результатов показывает, что среднемесячные суммы осадков в окрестностях города больше, чем в Санкт-Петербурге. На графике видно, что в марте 2011 года осадки во всех наблюдаемых пунктах принимают минимальные значения, в то время как параметр солнечной активности имеет первый пик максимума. В октябре 2011 года наблюдается рост числа Вольфа, а среднемесячные суммы осадков минимальны. В 2012 году в январе наблюдается аномально большое значение среднемесячной суммы осадков,

которое наблюдается через два месяца после всплеска солнечной активности. Рост числа Вольфа в мае 2013 года сопровождается небольшим ростом значений среднемесячной суммы осадков в Санкт-Петербурге и его окрестностях. Максимальноое значение 24 цикла активности Солнца, определяемое числом Вольфа, наблюдается в феврале 2014 года, в то же время осадки находятся в минимуме. По общему ходу среднемесячных значений чисел Вольфа, видна тенденция на спад. Начиная с апреля 2016 года происходит снижение солнечной активности, но осадки в этот период начинают расти, имея максимумы в июле, августе и ноябре 2016 года , августе 2017 года и июле 2018 года.

Рассмотрим одновременную изменчивость интенсивности осадков в Санкт-Петербурге и его оерестностях за период с 2010 по 2018 гг.

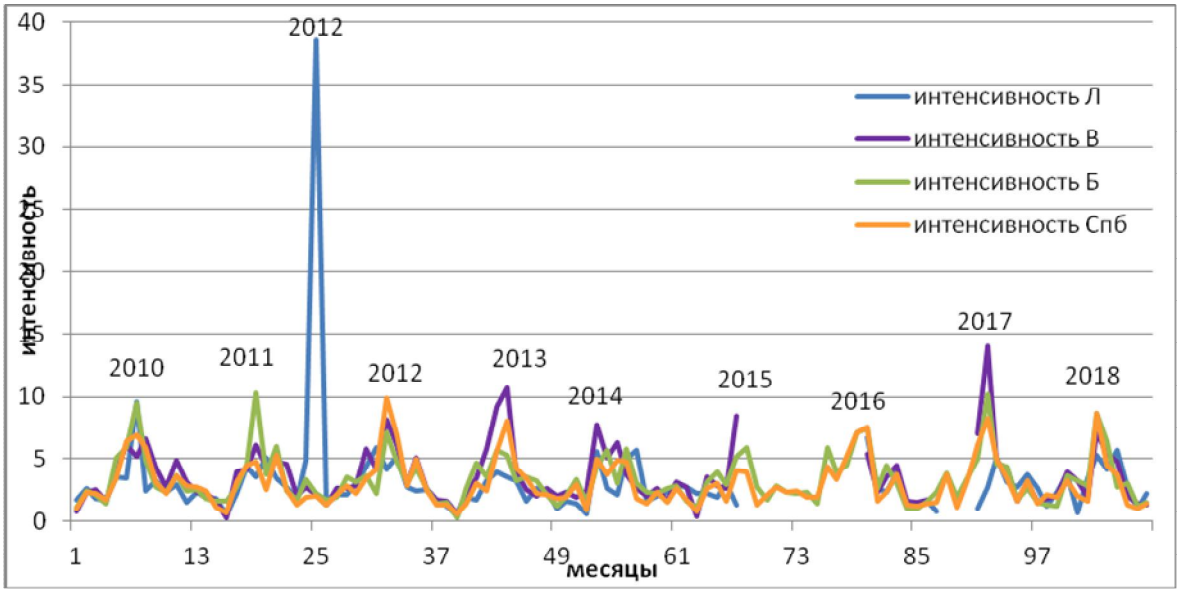


Рисунок 21. Изменение среднемесячной интенсивности осадков за период с 2010 по 2018 года (Л-Лесогорский, В-Воейково, Б-Белогорка, Спб-Санкт-Петербург).

Из рисунка 3.23 можем наблюдать аномальный максимум интенсивности осадков в январе 2012 года. Так же видно, что интенсивность осадков в боль-

шом городе в среднем меньше, чем в его окрестностях. Это доказывается и тем, что суммы осадков за те же периоды меньше в городе, чем в его окрестностях. (Временная изменчивость сумм осадков в различных точках Ленинградской области представлено на рисунке 3.20).

При высокой влажности воздуха повышенная конвективная неустойчивость и загрязненность воздушных масс над городом благоприятствуют образованию облачности. В процессе преобразования облаков из кучевых в мощные кучевые и кучево-дождевые происходит их смещение под влиянием преобладающего переноса воздушных масс. Здесь можно отметить, что под влиянием атмосферных фронтов, воздушные массы перемещаются в подветренные районы города и за его пределы, где и будут выпадать осадки. Но если влажность воздуха недостаточна для образования облаков, мощные конвективные потоки, образующиеся над центром города, являются препятствием для горизонтальных воздушных потоков, поступающих в наветренную часть города. Приходящие массы воздуха испытывают дополнительный вынужденный подъем, вследствие чего образуется облачность и выпадают осадки.

Рассмотрим количество атмосферных осадков в летний период в Санкт-Петербурге и его окрестностях.

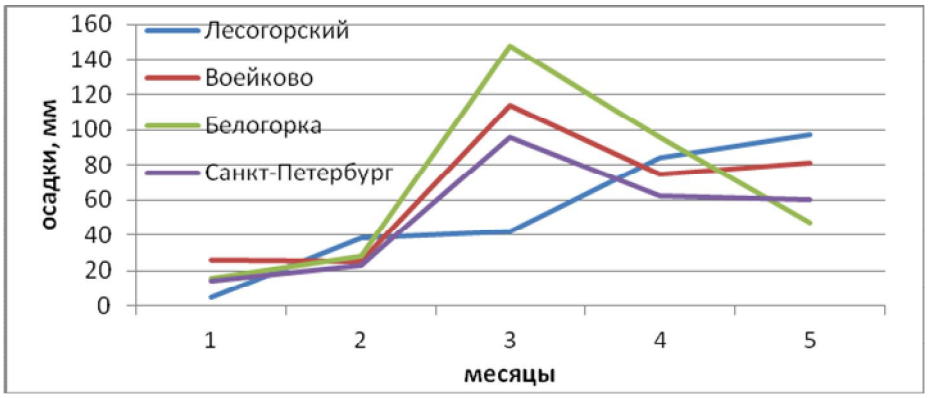


Рисунок 22. Изменение сумм осадков в летний период (май-сентябрь) 2018 года в Санкт-Петербурге и его окрестностях

Лесогорский находится на северо-западе от Санкт-Петербурга, откуда чаще приходят циклоны и количество осадков в летнее время может расти в южном направлении от города из-за усиления конденсационной способности городского аэрозольного воздуха.

Таким образом, из рисунка 22 ясно, что влияние города на осадки в летние месяцы сказывается меньше.

Для исследования одновременной изменчивости активности Солнца, оцениваемую по числам Вольфа, и характеристик осадков в Санкт-Петербурге и его окрестностях, мной была найдена корреляционная связь между активностью Солнца, выражаемую числами Вольфа и атмосферными осадками.

Таблица 1. Коэффициент корреляции годовых сумм и интенсивности осадков с параметром солнечной активности (числа Вольфа) за период с 2010 по 2018 гг. (Л-Лесогорский, В-Воейково, Б-Белогорка, Спб-Санкт-Петербург).

годы	Л суммы	Л инт	В суммы	В инт	Б суммы	Б инт	Спб суммы	Спб инт
2010	0,25	0,01	0,38	0,19	0,32	-0,07	0,25	-0,01
2011	0,09	-0,04	0,01	-0,01	0,05	-0,11	-0,15	-0,23
2012	0,24	0,28	0,34	0,41	0,11	0,28	0,22	0,30
2013	-0,25	-0,15	-0,25	-0,19	0,48	0,16	0,15	-0,11
2014	-0,23	-0,20	-0,22	-0,25	-0,27	-0,32	-0,24	-0,25
2015	0,62	0,45	0,67	-0,01	0,40	0,10	0,17	0,05
2016	0,45	0,81	0,25	0,60	0,02	0,09	-0,02	0,02
2017	0,08	0,33	0,17	0,24	0,21	0,30	0,16	0,31
2018	-0,34	-0,40	-0,52	-0,26	-0,43	-0,18	-0,48	-0,36

Из Таблицы 1 видно, отрицательная и довольно значительная корреляция наблюдается в 2018 гг. Значения коэффициента корреляции более 0,3 встречаются во всех пунктах наблюдения. Этот факт говорит о том, что изучение связи солнечной активности и характеристик осадков представляет значительный интерес.

Заключение

Анализ одновременной изменчивости параметра активности Солнца, выраженный числами Вольфа и атмосферных осадков Санкт-Петербурга и его окрестностей показал:

- Цикличность осадков и их интенсивности в каждый год меняется. Количество атмосферных осадков в Санкт-Петербурге и его окрестностях не всегда меняется сезонно, что объясняется разнообразием циклов различных барических образований.
- Среднемесячные суммы осадков в окрестностях города больше, чем в Санкт-Петербурге. Отсюда можно судить о влиянии большого города на атмосферные осадки. При рассмотрении отдельно выбранного года в Санкт-Петербурге и его окрестностях, следует вывод о том, что в летние месяцы влияние города на осадки сказывается меньше.
- Особенности солнечной активности, были мной рассмотрены на примере среднемесячных значений чисел Вольфа. Вариации числа Вольфа имеют два пика максимума значений: в 23 цикле солнечной активности 2000 и 2002 гг, в 24 цикле активности Солнца - 2012 и 2014 гг.
- Количество осадков в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, в основном, минимально в период максимальных значений 24 цикла активности Солнца. При снижении числа Вольфа количество осадков, чаще растет.
- Для оценки одновременной изменчивости чисел Вольфа м характеристик осадков была расчитана корреляционная связь между параметрами погоды и активности Солнца. Наличие корреляционной связи (от 0,3 до 0,6,7) говорит о том, что данный вопрос представляет значительный интерес для дальнейшего изучения.

Для выявления прямой или обратной связи между атмосферными осадками и характеристиками космической погоды, необходимо произвести дополнительные исследования с учетом других характеристик активности Солнца.

Список используемых источников

1. Швер Ц.А.: 1976. Атмосферные осадки на территории СССР. 302с.
2. Воробьев В.Н., Смирнов Н.П.: 2003. Арктический антициклон и динамика климата северной полярной области. 81 с.
3. Тудрий В.Д., Колобов Н.В.: 1984. Флуктуации циклонических процессов в Северном полушарии. 162 с.
4. Герман Дж.Р., Голдберг Р.А.: 1981. Солнце, погода и климат. 318 с.
5. Под редакцией Швер Ц.А., Алтыкиса Е.В., Евтеевой Л.С.: 1982. Климат Ленинграда. 251 с.
6. Под редакцией Мелешко В.П.: 2010. Климат Санкт-Петербурга. 254 с.
7. Сазонов Б.И.:1964. Высотные барические образования и солнечная активность. 129 с.
8. Эйгенсон М.С., Гневышев М.Н., Оль А.И., Рубашев Б.М.: 1948. Солнечная активность и ее земные связи. 314 с.
9. Мохов И.И., Петухов В.К.: 1988. Взаимодействие облачности и радиации в моделях общей циркуляции, прогноза погоды и климата. 254 с.
10. Кононова Н.К.: 2009. Классификация циркуляционных механизмов северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. 370 с.
11. Абдусаматов Х.И. Солнце диктует климат Земли, СПб: Изд-во “Logos“, 2009. 197 с.