



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
(бакалаврская работа)

На тему: «Анализ метеорологических условий для выращивания
льна-долгунца в Вологодской области»

Исполнитель Козарь Алёна Сергеевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Абанников Виктор Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И.О. заведующий кафедрой

(подпись)

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

Дробжева Яна Викторовна

(фамилия, имя, отчество)

«1» июня 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ФИЗИКО – ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И КЛИМАТООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	5
1.1 Местоположение, рельеф и почвы Вологодской области.....	5
1.2 Климатообразующие факторы.....	8
1.3 Значение производства льна-долгунца для сельского хозяйства вологодской области	16
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОИЗВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ	19
2.1 Оценка солнечного сияния и фотоактивная радиация	19
2.2 Температурный режим воздуха и почвы.....	23
2.3 Анализ режима увлажнения территории Вологодской области.....	27
ГЛАВА 3. ОЦЕНКА АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЛЬНА-ДОЛГУНЦА.....	36
3.1 Термические ресурсы Вологодской области	36
3.2 Оценка влагообеспеченности вегетационного периода.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	56

ВВЕДЕНИЕ

Сельское хозяйство играет значительную роль в экономике Вологодской области. Ключевым фактором, влияющим на урожайность сельскохозяйственных культур, являются агрометеорологические условия, включающие в себя температурные показатели воздуха и почвы, влажность, запасы влаги в почве и длительность вегетационного периода. Агрометеорология — это наука, изучающая взаимосвязь между атмосферными процессами и сельским хозяйством. Особое внимание уделяется льну-долгунцу, который используется в сельском хозяйстве региона. Агрометеорологические исследования играют важную роль, позволяя определить оптимальные условия для выращивания сельскохозяйственных культур, оптимизировать процессы выращивания и прогнозировать урожайность. Важность этой работы заключается в том, что лен-долгунец представляет собой важный ресурс для текстильной промышленности и используется для производства медицинских расходных материалов, таких как вата и бинты, а также для химической промышленности для создания химических волокон.

Исследуемый объект – территория Вологодской области.

Целью данной выпускной квалификационной работы является анализ метеорологических характеристик в Вологодской области для оценки агрометеорологических условий, влияющих на урожайность льна-долгунца.

Для достижения указанной цели поставлены задачи:

- Проанализировать физико-географические особенности Вологодской области
- Провести анализ урожайности льна-долгунца в Вологодской области за 12 лет
- Изучить климатические условия, влияющие на производство льна-долгунца в Вологодской области.

- Проанализировать, как метеорологические условия Вологодской области влияют на урожайность льна-долгунца

Выпускная работа включает в себя введение, три основные части, заключение и список использованных источников.

Для выполнения ВКР были использованы расчетные методы с последующей визуализацией полученных данных и корреляционный анализ.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ФИЗИКО – ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И КЛИМАТО- ОБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

1.1 Местоположение, рельеф и почвы Вологодской области

Территория Вологодской области расположена на севере европейской части России и находится в Северо-Западном округе Российской Федерации. (рисунок 1.1). Административный центр – г. Вологда. Муниципальное устройство (2019): 2 городских округа (города Вологда и Череповец), 26 муниципальных районов, в составе которых 21 городское поселение (13 городов, 8 посёлков городского типа) и 158 сельских поселений [1].



Рисунок 1.1 – Административно-территориальное устройство
Вологодской области [1]

Протяжённость области по направлению с севера на юг составляет 385

км, а по направлению с запада на восток – 650 км [3]. Это приводит к тому, что на восточной границе области Солнце восходит пораньше, чем на западе, на почти 50 минут, что создаёт разницу в местном времени между западными и восточными районами области [1]. По своим размерам область занимает 26-е место среди субъектов Российской Федерации.

Население Вологодской области на 97,3% населено русскими жителями по данным переписи в 2010 году. Большая доля населения проживает в крупных городах в южной и западной части области. На 1 января 2023 года численность постоянного населения Вологодской области составила 1129 тыс. человек, 73 процента из них — это городские жители.

Вологодская область граничит с восемью административными объектами: Архангельской областью, Кировской, Ярославской, Костромской, Тверской, Ленинградской областями и с Республикой Карелия.

Вологодская область расположена на севере Восточно-Европейской равнины. Весь регион характеризуется низменностями с большим количеством болот и озёр. Рельеф области может быть описан как холмистый. Западная часть отличается разнообразным моренно-озёрным рельефом от оледенения валдайского периода (Рисунок 1.2). В области выделяются различные территории, такие как Прионежская низменность, высокими моренными возвышенностями Вепсовской и Андомской, а также Мегорской грядой. Наибольшая высота достигается в Вепсовской (304 м). Молого-Шекснинская низменность является обширной заболоченной областью с озёрами и ледниковыми формами рельефа, где присутствует Андогская гряда. Белозерская низменность окружена Белозерской и Кирилловской конечно-моренными грядами. Центральная часть области имеет более плавный увалистый рельеф от оледенения московского периода. Здесь находятся Присухонская низина, Верхневажская возвышенность, северные участки Даниловской и Галичской возвышенностей, а также Харовская гряда. На востоке преобладает волнистая и увалистая равнина, а на юго-востоке – возвышенность Северные Увалы [1].

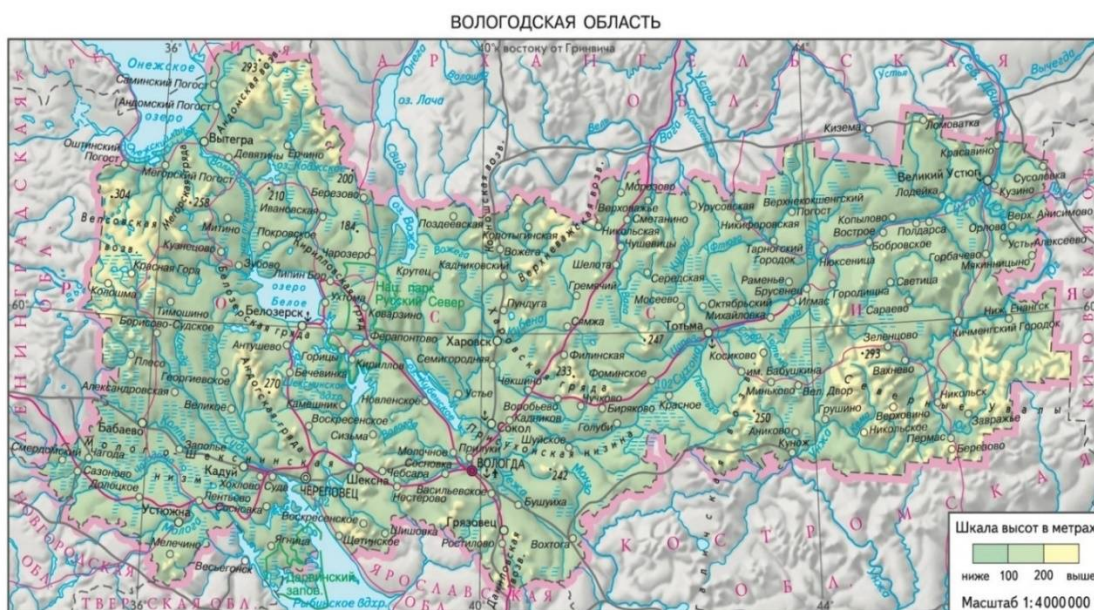


Рисунок 1.2 – Карта рельефа Вологодской области [1]

Регион находится в средней и южной тайге. В северной части этой территории преобладают подзолистые почвы, а в южной — дерново-подзолистые. Также здесь часто встречаются подзолисто-глеевые, дерново-карбонатные, болотные и аллювиальные дерновые почвы. Подзолистые почвы состоят из нескольких горизонтов. Верхний горизонт (лесная подстилка) состоит из органического вещества — разрушенной древесины, листьев и других растительных остатков. Ниже находится белёсый подзолистый горизонт, состоящий из мелкозернистой массы, в которой почти отсутствуют органические вещества. Ещё ниже расположен горизонт вымывания, в котором накапливаются вымытые из верхних слоёв вещества. Дерново-подзолистые почвы — это тип почв, который характеризуется более плодородным верхним слоем по сравнению с подзолистыми почвами. Они также требуют внесения удобрений.

Вологодская область выделяется богатством рек и озер среди других регионов России. Ее территория принадлежит к бассейнам трех важнейших морей: Белого, Каспийского и Балтийского.

Область обладает богатейшим водным фондом, который представлен 1287 реками, 4240 озерами площадью 294 тыс. км², 5 водохранилищами, Волго-Балтийским каналом и Северо-Двинской шлюзовой системой. На

территории области находятся: Белое озеро, Рыбинское водохранилище, на северо-западной границе берега Онежского озера, озеро Воже, озеро Кубенское и т.д.

Большое количество низменностей и режим осадков сформировали болотистую местность. Болота на территории Вологодской области занимают площадь 24 812,485 км², составляя 17,03% ее площади [3].

В Вологодской области — 19 923 реки, их общая протяжённость — 66 554 км. Плотность речной сети — 0,46 км/км². Большинство рек — это небольшие водоёмы и ручьи. Географическое положение региона обусловило сложную систему водных путей. Особенность этой системы в том, что большинство рек находятся в верховьях. Реки неевского бассейна, которые впадают в Онежское, протекают по долинам, где нет территорий, используемых человеком. У этих рек быстрое течение. Другие реки, напротив, равнинные. Они текут по широким долинам с большими поймами. К большим рекам относятся Северная Двина и Сухона. Другие крупные реки региона: Молога, Унжа и Шексна с Судой; в бассейне Северной Двины – Вага, Юг с притоком Лузой и Кубена.

1.2 Климатообразующие факторы

Климат Вологодской области, как и климат всех частей нашей планеты, формируется благодаря нескольким главным факторам: солнечной радиацией и местной циркуляцией и рядом других факторов. Одним из важнейших факторов формирования климата в теплое время года, в особенности для сельского хозяйства является солнечная радиация. На ее показатель влияет широта места, от которой зависит продолжительность дня (время восхода и захода Солнца) и высота Солнца.

На земную поверхность солнечная энергия приходит в виде прямой S и рассеянной D солнечной радиации.

Прямая радиация поступает на земную поверхность параллельным лучами Солнца в неизменном виде. Рассеянная радиация — это солнечная

радиация, прошедшая через рассеяние в атмосфере за счёт частиц пыли, водяного пара и капель воды. Значения прямой солнечной радиации рассчитываются на горизонтальную поверхность и для этого используется формула:

$$S' = S \cdot \sin(h) \quad 1.1$$

где S – это прямая солнечная радиация

h – высота солнца над горизонтом.

Сумма прямой и рассеянной солнечной радиацией называется суммарной радиацией Q . Её значение во многом зависит от высоты солнца, продолжительности дня и условий атмосферы (облачность, прозрачность и отражательной способности поверхности). Формула, по которой рассчитывается сумма солнечной радиации:

$$Q = S' + D \quad 1.2$$

где S' – интенсивность прямой солнечной радиации;

D – интенсивность рассеянной солнечной радиации.

Радиационный баланс отражает разницу между приходящими и уходящими потоками излучаемой энергии Солнца. Уравнение радиационного баланса:

$$B = S' + D - R_k - E_{\text{эф}} \quad 1.3$$

где B – радиационный баланс

R_k – отраженная радиация

$E_{\text{эф}}$ – эффективное излучение.

Радиационный баланс земной поверхности влияет на распределение температуры в почве, приземном слое атмосферы, испарение и таяние снега, образование туманов и т.д. [9].

Ниже в таблице 1.1 представлены данные солнечной радиации на территории Вологодской области по месяцам, данные которой взяты из Научно – прикладного справочника по климату СССР [7].

Максимальное значение суммарной солнечной радиации достигает в летний сезон и составляет 634 МДж/м² по данным в июне. В зимний период сумма солнечной радиации становится минимальной в декабре – 18 МДж/м². Суммарная радиация в год в Вологодской области составляет 3415 МДж/м².

Таблица 1.1 – Суммы суммарной солнечной радиации (МДж/м²), прямой солнечной радиации (МДж/м²), рассеянной солнечной радиации (МДж/м²) по месяцам и за год в Вологодской области

Месяц	Суммарная солнечная радиация	Прямая солнечная радиация	Рассеянная солнечная радиация
I	38	9	29
II	94	29	65
III	260	110	150
IV	375	181	194
V	590	342	248
VI	634	384	250
VII	596	338	258
VIII	433	223	210
IX	237	102	135
X	104	40	64
XI	36	9	27
XII	18	1	17
Год	3415	1768	1647

На основе таблицы был построен график годового хода прямой солнечной радиации, рассеянной радиации и суммарной солнечной радиации (рис. 1.3).

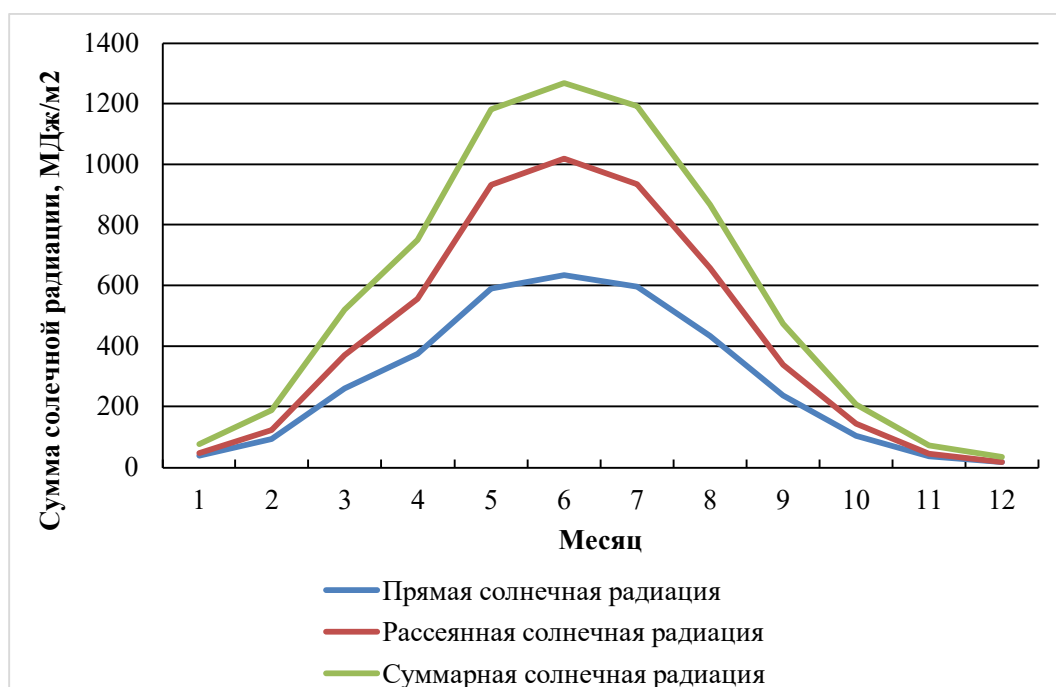


Рисунок 1.3 – Сумма солнечной радиации за год в Вологде

Годовой график имеет выраженный ход. В зимние месяцы (декабрь-февраль) сумма солнечной радиации минимальна, как говорилось выше в декабре суммарная радиация 18 МДж/м².

Суммарное значение радиационного баланса за год в Вологодской области – 1293 МДж/м² (Таблица.1.2, рис. 1.4). С положительным значением радиационного баланса составляют результаты на протяжении 8 месяцев в году. Максимальное значение приходится на летний месяц июнь. Отрицательные значения радиационного баланса отмечаются с ноября до февраля. Максимальное отрицательное значение в январе – 45МДж/м².

Таблица 1.2 – Радиационный баланс (МДж/м2) в Вологодской области при средних условиях облачности

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сумма
В	-45	-26	13	161	313	326	308	215	86	21	-38	-41	1293

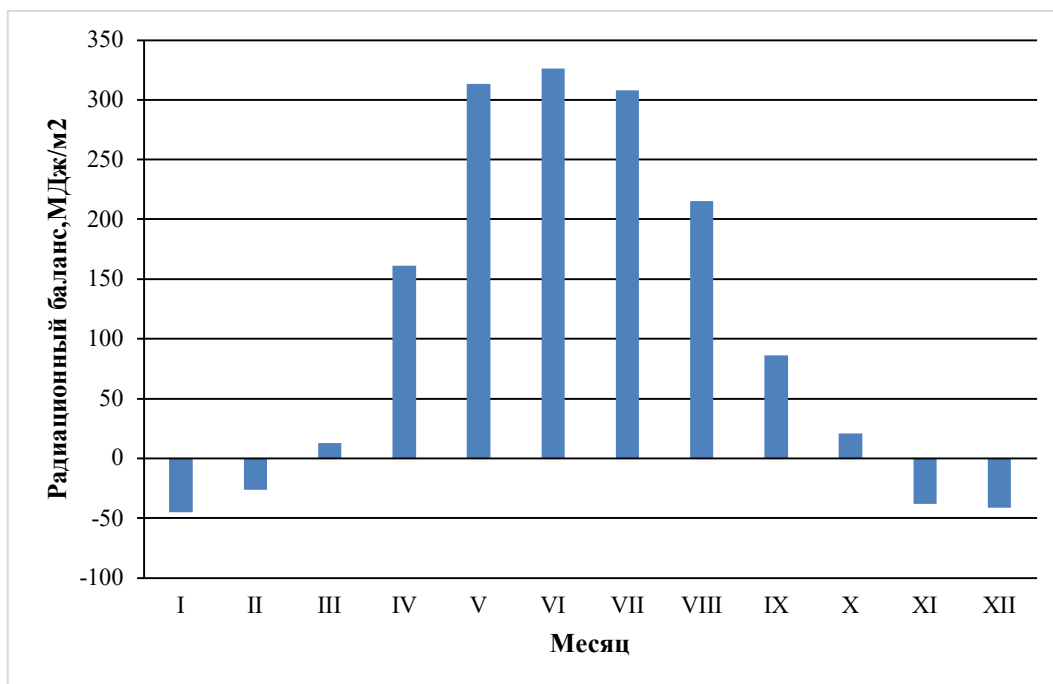


Рисунок 1.4 – Годовой ход радиационного баланса в Вологодской области

В Вологодской области радиационный баланс переходит от отрицательного значения к положительному с марта и положительное значение сохраняется до ноября (Рис.1.4), что обусловлено со снежной поверхностью и её альбедо. С апреля происходит резкий скачок в росте радиационного баланса из-за снижения альбедо у земной поверхности из-за быстрого схода снега. В ноябре радиационный баланс принимает отрицательное значение с появлением устойчивого снежного покрова.

В формировании климата ещё одну важную роль играет воздушная циркуляция, которая приносит за собой изменение погоды в следствии переноса воздушных масс, которые содержат в себе определенные погодные условия с региона их формирования. На территории Вологодской области климат умеренно континентальный. Погода переменчивая, зимой прослеживаются потепления, весной возможны похолодания при вторжении антициклонов с Арктического бассейна. Вынос теплого морского воздуха, связанный с прохождением циклонов из Атлантики, и частые вторжения арктического воздуха с Северного Ледовитого океана придают погоде большую неустойчивость в течение всего года. Воздушные массы, которые перемещаются с Карского моря и районов

Сибири приносят наиболее сильные морозы [1].

Таблица 1.3 – Средняя повторяемость (%) ветра и штиля на станции Вологда за год

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Повторяемость	10	6	7	13	16	19	7	12	13

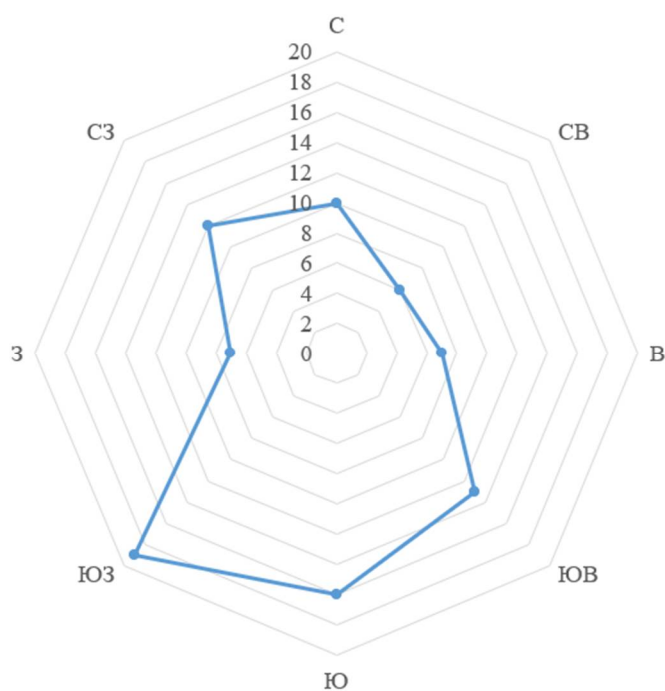


Рисунок 1.5 – Роза ветров на станции г. Вологда

В течение года на станции Вологда преимущественно дуют юго-западные ветры, южные ветры (рис. 1.5). По тому, какая циркуляция происходит посезонно мы можем сделать вывод из данных за январь, апрель, июль и октябрь (Таблица 1.4). В Вологодской области наблюдается частая смена воздушных масс, которые приходят с северо-западного направления летом, с южного – зимой и весной. Далее будут рассмотрены сезонные изменения направления ветра в Вологде.

Таблица 1.4 – Средняя повторяемость ветра за зимний, весенний, осенний, летний месяцы в г. Вологде

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
I	7	4	8	16	17	20	18	10	12
IV	12	6	10	15	15	16	14	12	9
VII	15	11	10	10	9	14	16	15	22
X	13	4	4	10	17	21	16	15	8

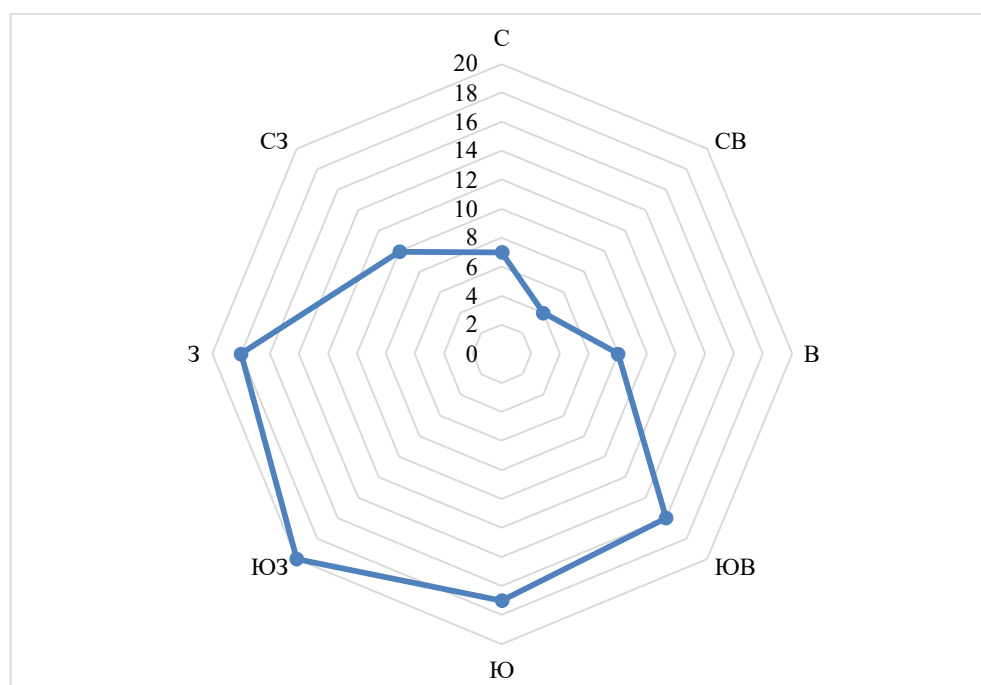


Рисунок 1.6 – Роза ветров по повторяемости направлений в январе

В январе преобладают юго-западные и западные ветры (Рисунок 1.6). Летом господствуют западные ветры, приносящие Атлантические циклоны с прохладную и влажную погоду. Весной направление сменяется с западного на юго-западное, южное и южно-восточное – это ветры, которые приносят теплые южные циклоны (Рисунок 1.7).

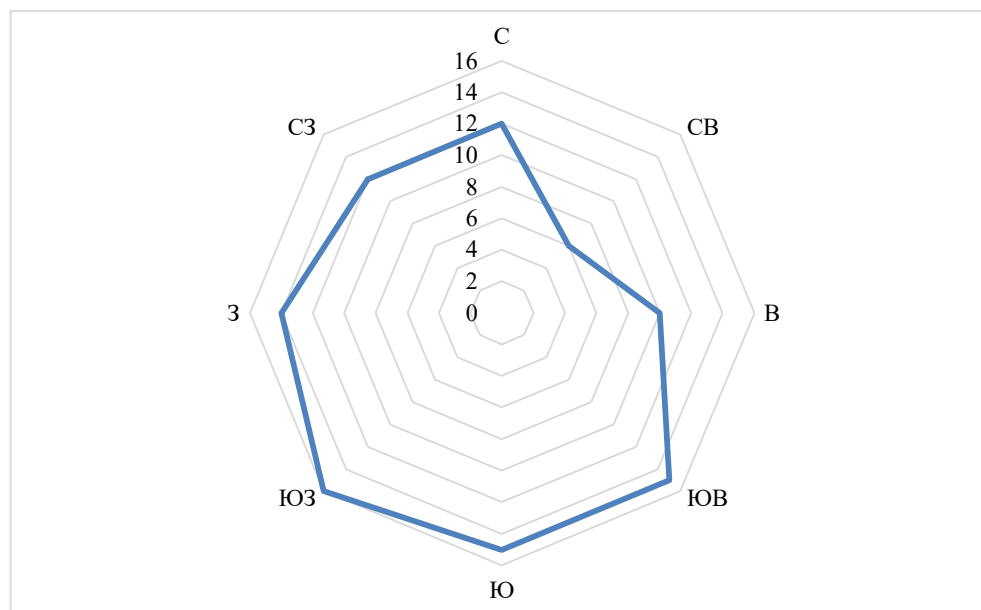


Рисунок 1.7 – Роза ветров по повторяемости направлений ветра в апреле

Весной большую часть дуют ветры южного направления, в большей части юго-западные ветры и могут приносить резкие похолодания при вторжении Атлантических антициклонов (рис.1.7).

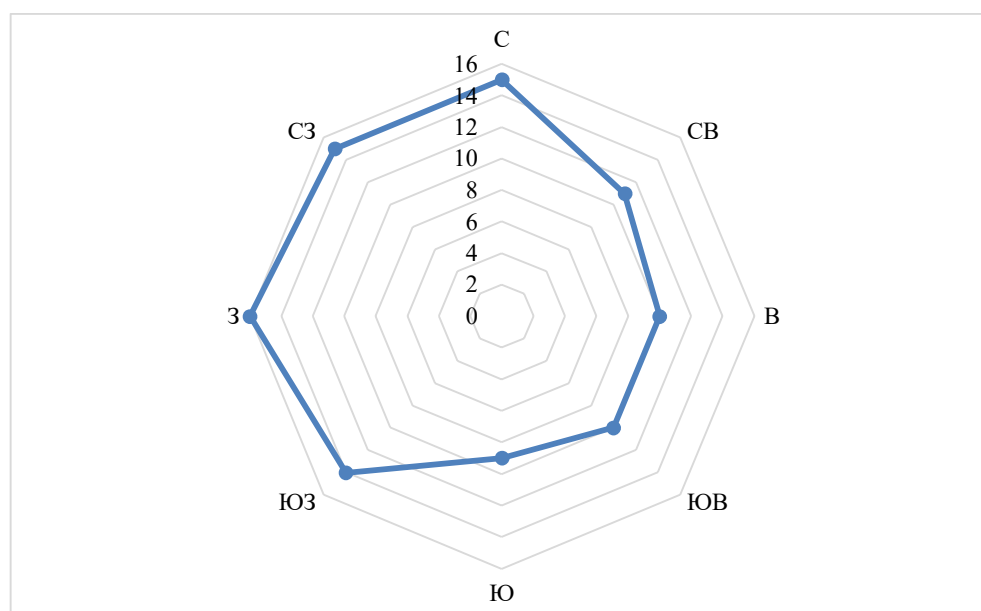


Рисунок 1.8 – Роза ветров по повторяемости направлений ветра в июле

Летом господствуют западные ветры, приносящие Атлантические циклоны с прохладную и влажную погоду и осадки (рис.1.8).

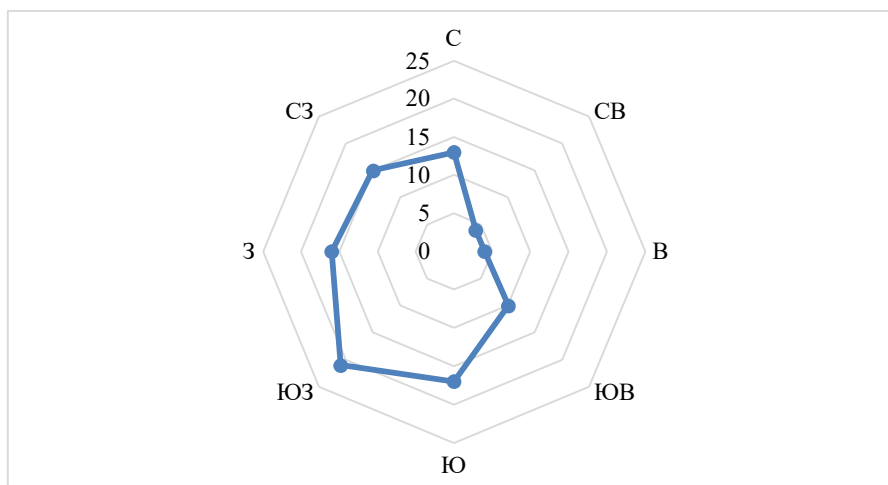


Рисунок 1.9 – Роза ветров в октябре в Вологодской области

Осенью в Вологодской области преобладают юго-западные ветры (рис.1.9). Они приносят тепло

1.3 Значение производства льна-долгунца для сельского хозяйства Вологодской области

Сельское хозяйство – важнейшая сфера экономики Вологодской области. Вологодская область занимает лидирующее положение как по объёму промышленного производства, так и по валовой продукции сельского хозяйства. В рейтинге регионов Северо-Западного федерального округа по производству продукции сельского хозяйства Вологодская область занимает 4 место с удельным весом 13% в общем объёме. В структуре производства доля продукции животноводства составляет 72,4%, растениеводства – 27,6%

В XIX–начале XX в. Россия являлась крупнейшим мировым производителем и экспортером льнопродукции. Она поставляла на внешний рынок до восьмидесяти процентов всего производимого в мире льна. А Вологодская губерния занимала одно из ведущих мест среди 27 льноводческих районов России.

Льноводство Вологодской области имеет давние традиции. Первые свидетельства о выращивании льна около Вологды встречаются в документах XIII века [5].

Вологодская область является историческим центром льноводства, где сохранены древние традиции этой отрасли и находится полный цикл предприятий, занимающихся переработкой льна, начиная от его выращивания и заканчивая производством товаров из льна. Лён-долгунец – старинная культура, а вологодские льноводы славятся производствами выращивания высококачественного волокна. Выращиванием технических прядильных культур в регионе занимаются 16 сельхозтоваропроизводителей по данным 2023 года Департамента сельского хозяйства Вологодской области. ОАО «Вологодский текстиль» – это единственное предприятие в России, вся продукция которого удостоена международного экологического сертификата ЭкоТекс-Стандарт 100 [6].

На данный момент в Вологодской области базируется 8 производств, одно из которых получило высокие оценки льняной ткани в Париже на выставке креативного текстиля «Primiere Vision» в 2011 году.

Ежегодно с 2011 года в Вологде проводится Международный фестиваль льна, а вологодское кружево, которое создавалось из льняных нитей в наше время представляет огромную историческую ценность и составляет важную часть мировой культуры.

На данный момент Вологодская область занимает шестое место в России по площади посевов льна-долгунца. С 2011 года с первого почетного места Вологодская область сдвинулась на шестое место к 2023 году. Отсутствие кадров, нехватка рынков сбыта, современной техники – всё это является причиной деградации данной отрасли.

Правительством региона оказывается господдержка льняной отрасли: предоставляются субсидии на производство технических культур, а также на приобретение сельскохозяйственной техники и оборудования для выращивания, но, к сожалению, мы наблюдаем упадок в площади посевов, так и в урожайности несмотря на то, что Вологодская область обладает хорошими климатическими условиями для развития льноводства.

В 2010 году Вологодская область занимала 5 место в России по валовому

сбору льноволокна. Несмотря на относительно высокую урожайность в 2015 году, регион занял 4 место по стране. Однако по итогам 2022 года Вологодская область стала занимать последнее место в десятке регионов по валовому сбору льна-долгунца.

Ниже представлена таблица 1.5 с данными по урожайности льна-долгунца в Вологодской области за 12 лет. Самая высокая урожайность отмечалась в 2015 году 8,8 ц/га. Наименьшая урожайность за 12 лет была в 2021 году и составила всего 3,5 ц/га.

Таблица 1.5 – Урожайность льна-долгунца на территории Вологодской области по данным Росстата

Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Урожайность, ц/га	4,5	5,7	6,5	5,3	7,4	8,8	7,1	5,6	6,5	4	6	3,5	4,3

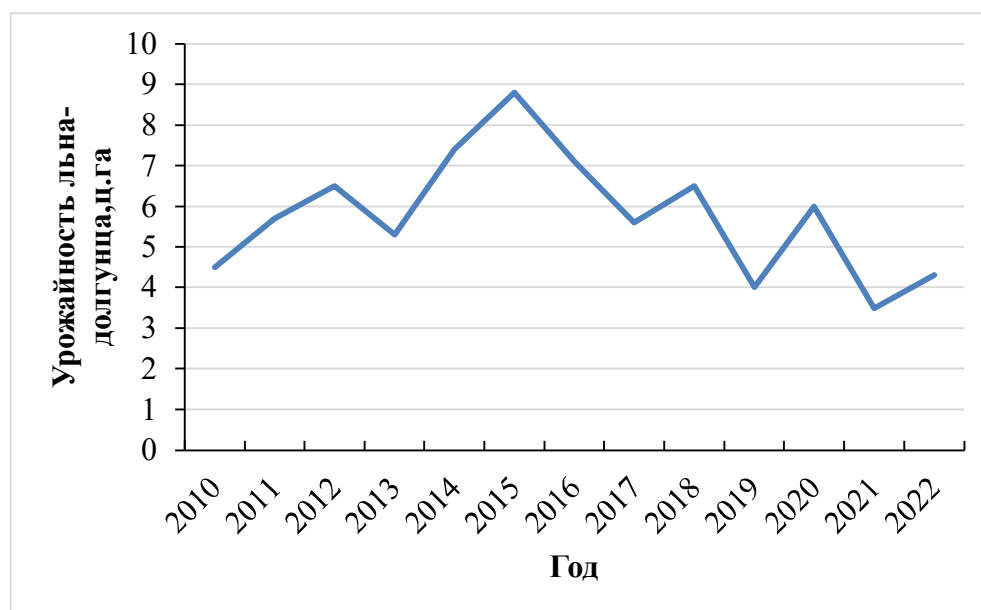


Рисунок 1.11 – Урожайность льна-долгунца на территории Вологодской области по данным Росстата с 2010 по 2022 год

Согласно графику на рисунке 1.11 за 12 лет максимальная урожайность была в 2015 году. Минимальный по урожайности год стал 2021. Динамика показателей свидетельствует о том, что урожайность льна-долгунца в Вологодской области постепенно снижалась.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЛИ- ЯЮЩИХ НА ПРОИЗВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

2.1 Оценка солнечного сияния и фотоактивная радиация

Солнечное сияние – важная характеристика для сельского хозяйства. Ее величина зависит от географической широты, от состояния атмосферы и облачности, и прозрачности атмосферы. Продолжительность освещенности стимулирует производительность культур. Для растения важно как светлое время суток, так и сумерки, т. к. это напрямую связано с фотосинтезом и играет роль в получении качественного урожая. Помимо этого, большое количество солнечного сияния может вызывать рост патогенов и болезней у растений, например условия для развития желтой ржавчины возникают от освещенности больше, чем 12 часов в день [11].

Продолжительность солнечного сияния оказывает влияние на скорость поглощение корнями растений важных питательных элементов. Чем меньше освещенность, тем медленнее происходит процесс.

Солнечная радиация сказывается на химическом составе плодов культур растений, например влияет на количество масла в семенах льна.

Самые продолжительные в Вологодской области по солнечному сиянию месяцы апрель - август (Таблица 2.1). Максимальная продолжительность солнечного сияния в июне - 287 час. В зимний период количество солнечных часов значительно меньше с изменением высоты солнца и в результате циклонической деятельности с усилением облачности. Минимальное количество часов в зимний период (ноябрь – январь), в декабре достигается минимум - всего 11 часов в месяц.

Таблица 2.1 – Среднемесячные значения продолжительности солнечного сияния в Вологодской области

Месяц	Продолжительность, ч	Число дней без солнца
I	30	21
II	63	13
III	123	10
IV	179	5
V	253	3
VI	287	2
VII	280	2
VIII	216	2
IX	119	5
X	52	15
XI	25	21
XII	11	26
Год	1638	125

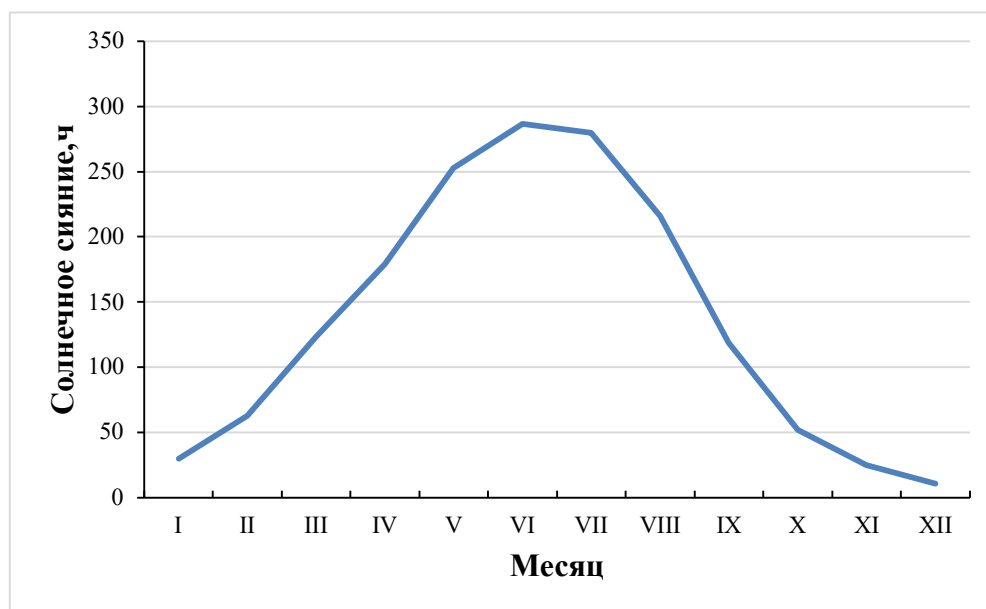


Рисунок 2.1 – Годовой ход солнечного сияния в Вологде

Рисунок 2.1 демонстрирует, как в течение года изменяется продолжительность солнечного сияния в Вологде. Самое продолжительное солнечное сияние в летнем месяце июне (287 ч), что связано с наступлением летнего

Солнцестояния (21 июня), когда дни становятся длиннее за счет максимального склонения Солнца к Земле. К концу года солнечных часов становится с каждым месяцем меньше.

Фотосинтетически активная радиация – еще один фактор, влияющий на рост, производительность сельскохозяйственных культур. У ФАР есть определенный диапазон волн: 0,38-0,71 мкм. Различными растениями используется разная часть диапазона волн. Хлорофиллом, участвующий в фотосинтезе, поглощается синий (430-470 мкм) и красный цвет (630-724 мкм). Красный цвет воздействует на процесс роста, цветения, он эффективней используется растениями и играет основную роль в их развитии. Синий цвет замедляет рост стебля, но стимулирует удлинение листьев, оказывает влияние на корневую систему. Коэффициент ФАР используется для оценки обеспеченности теплом для роста и созревания культур, его также используют для расчёта урожайности.

Значение ФАР рассчитывается по формуле Росса и Тооминга по суммам прямой и рассеянной радиации:

$$\Sigma Q_{\text{фар}} = 0,43 \Sigma S' + 0,57 \Sigma D \quad 2.1$$

где $Q_{\text{фар}}$ – суммарная фотосинтетически активная радиация

S' – прямая солнечная радиация

D - рассеянная солнечная радиация

По современным данным количество ФАР ($Q_{\text{фар}}$) приближено составляет 52% приходящей суммарной радиации Q [8]:

$$Q_{\text{фар}} = 0,52Q \quad 2.2$$

где Q – суммарная солнечная радиация

Сумма фотосинтетически активной радиации представлена в Таблице 2.2. Результаты получены из расчета по формуле 2.2 с использованием данных

суммарной солнечной радиации в первой главе данной работы (Таблица 1.1). Максимальное значение ФАР в июне, когда максимальна суммарная солнечная радиация – 330 МДж/м². Минимальное значение в октябре – 54 МДж/м². Сумма ФАР в год составляет 1679 МДж/м².

Таблица 2.2 – ФАР в Вологодской области в период вегетации (МДж/м²)

Месяц	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Сумма
ФАР	135	195	307	330	310	225	123	54	1679

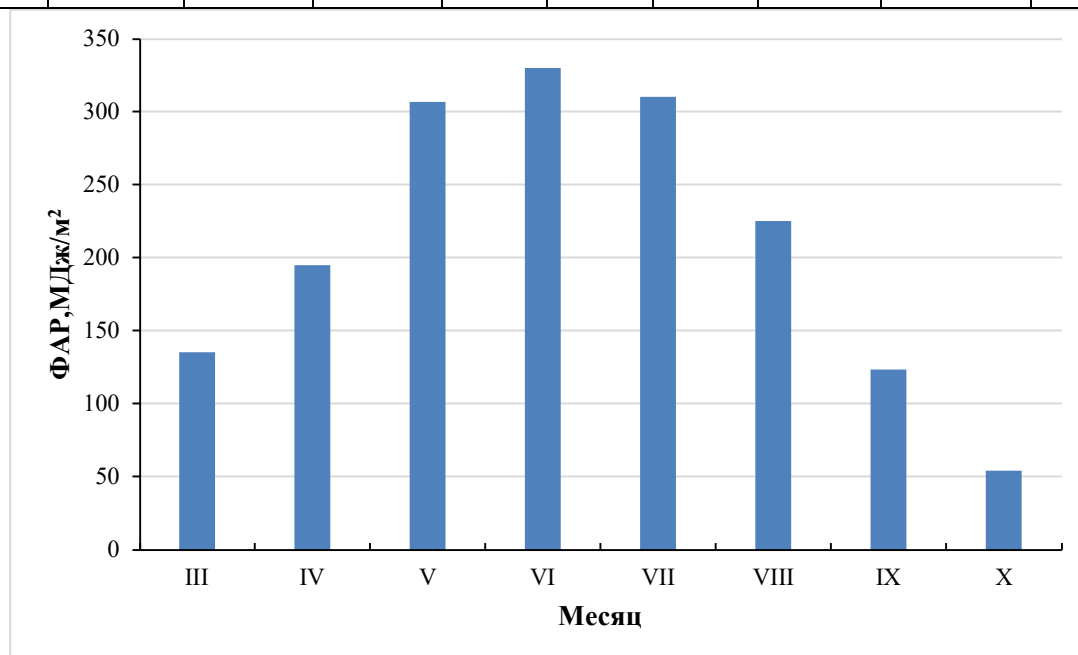


Рисунок 2.2 – Фотосинтетически активная радиация в период вегетации в Вологде

За период вегетации ФАР достигает максимума в июне, в момент максимальной суммарной солнечной радиации. Годовой ход ФАР соответствует годовому ходу солнечной радиации. Минимальное количество фотоактивной радиации поступает к растениям в октябре к концу вегетационного периода. В течение трёх месяцев май-июль количество ФАР находится в пределах значений 307-330 МДж/м², что способствует активному росту именно в этот период.

2.2 Температурный режим воздуха и почвы

Температура воздуха и почвы необходимый показатель, используемый для сельского хозяйства для роста растений. Фотосинтез, дыхание растений, усвоение питательных веществ из почвы происходят при определенных температурах [11]. Необходимо учитывать температуру при посеве и в течение всего сезона до сбора урожая, поскольку на нее влияет развитие корневой системы и другие важные процессы. Низкие температуры замедляют развитие, а слишком высокие приведут к увяданию стеблей, поэтому для разных видов культур учитываются оптимальные значения температуры.

Лен-долгунец начинают высаживать при температуре почвы $+5^{\circ}\text{C}$ – $+7^{\circ}\text{C}$. Оптимальная температура воздуха для высадки семян $+15^{\circ}\text{C}$ – $+20^{\circ}\text{C}$. Жаркая погода и прямые солнечные лучи негативно сказываются на данной культуре растений, и при температуре больше $+22^{\circ}\text{C}$ начинается угнетение стебля, что приводит к снижению урожайности. Также важно не подвергать резким перепадам температур.

В таблице 2.3 данные по температуре воздуха за многолетний период 1881-1980 и с 1981 по 2022 года.

Таблица 2.3 – Среднемесячные температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в Вологде за период с 1881 по 1980 и с 2010 по 2022 года

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее
1881- 1980	-12,6	-11,6	-5,9	2,3	9,6	14,9	16,8	15	9,1	2,5	-3,5	-8,9	2,3
1981- 2022	-10,4	-9,4	-4,1	3,5	10,9	15,3	17,7	15,1	9,5	3,5	-3,2	-7,7	3,4

Минимальная температура $-10,4^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура воздуха

+17,7 °С. Исходя из представленных данным можем сделать вывод, что климат Вологодской области благоприятен для выращивания льна-долгунца. По сравнению с данными в период с 1880 по 1980 года заметно потепление климата. Среднегодовая температура воздуха в первый период была 2,3 °С, а в период с 1981 по 2022 году стала 3,4 °С. Среднегодовая температура увеличилась на 0,9 °С.

На рисунке 2.3 можно увидеть, как изменились среднемесячные значения температуры воздуха за два периода в Вологде. В период 1880-1980 гг. минимальные значения температуры наблюдались в январе, максимальная температур в июле.

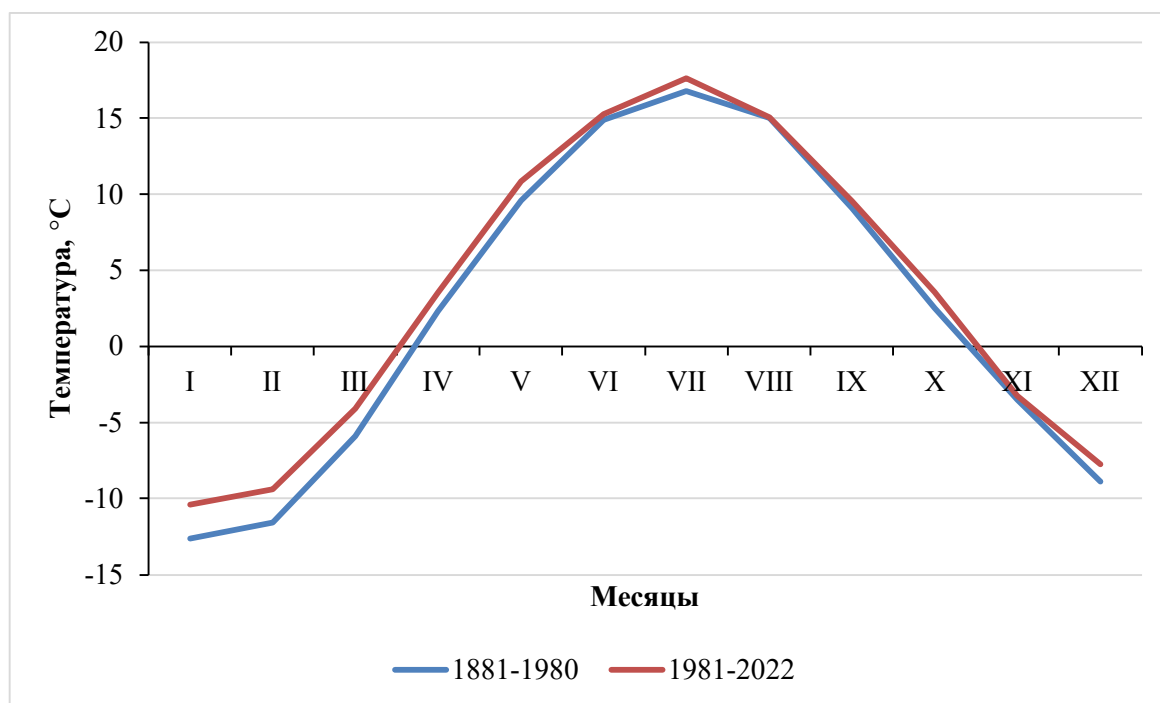


Рисунок 2.3 – Годовой ход температуры воздуха в Вологде(°С)

Отрицательные значения температуры начинались в конце октября. А момент, когда температура воздуха переходила 0 °С начинался в начале апреля. В период с 1980-2022 гг. минимальная температура воздуха отмечалась в январе, максимальные значения достигались в июле месяце. Сравнивая эти два периода, следует выделить, что на графике ярко выражено, как значительно повысилась температура воздуха в январе (2,2 °С) и менее заметно в декабре (1,2 °С). В период 1980-2022 гг. положительные температуры уже наступают в конце марта, а

появление отрицательных температур в начале ноября. Мы можем наблюдать тенденцию на потепление климата, значительные изменения произошли в зимний период.

Такие изменения произошли на территории Вологодской области не только в Вологде, но и в Бабаево. Ниже представлены среднемесячные значения за два периода 1927-1980 года и с 1981 по 2022 года (таблица 2.4). Среднегодовая температура увеличилась на 1,2 °С. С января по декабрь температура воздуха повысилась от 0,2 °С до 2,4 °С. Также как и в Вологде основные изменения произошли зимой. Ниже представлен график, на котором наглядно прослеживается разница температур и потепление климата (рис.2.4).

Таблица 2.4 – Среднемесячные значения температуры воздуха в Бабаево (°С)

Года	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Среднее
1927-1980	-11,4	-10,6	-5,5	2,4	9,6	14,7	16,9	15,0	9,1	3,0	-2,7	-7,8	2,7
1981-2022	-9,0	-8,4	-3,3	3,6	10,7	15,2	17,6	15,2	9,7	4,0	-2,4	-6,7	3,9

На рисунке 2.4 можно проследить годовой ход температуры воздуха на станции Бабаево и то, насколько изменился климат за два промежутка времени. В какие месяцы произошли наибольшие изменения и можно ли говорить о потеплении климата за последние 40 лет.

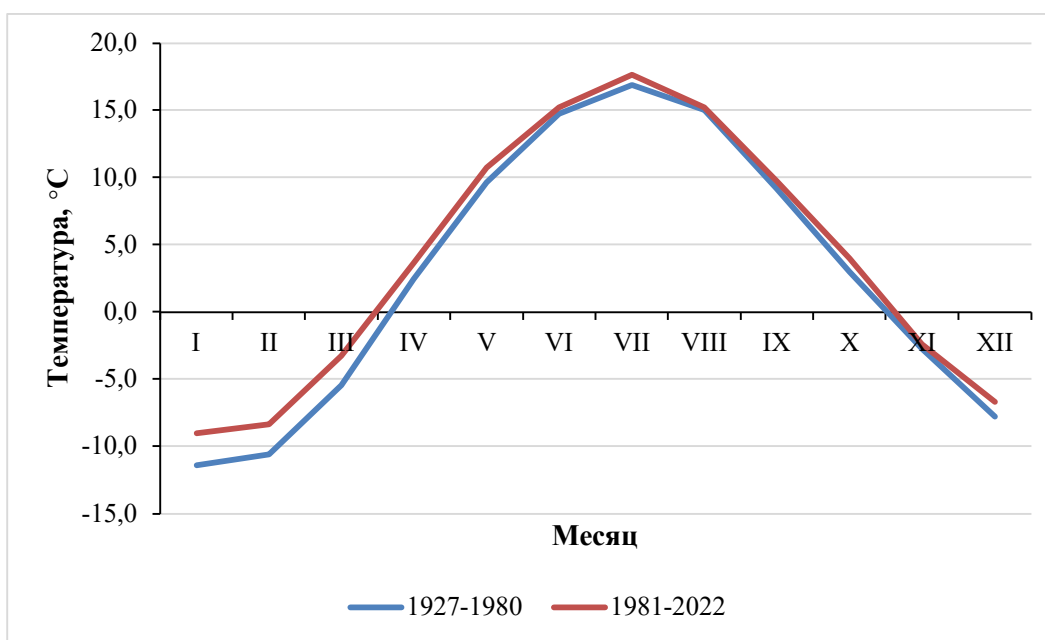


Рисунок 2.4 – Годовой ход температуры в Бабаево в период 1927 по 2022 год (°C)

Максимальные изменения произошли в январе месяце. Произошло повышение средней температуры месяца на 2,4 °C. Меньше всего изменения заметны в августе (разница температур 0,2 °C). В целом произошли подобные изменения и в Вологде: отрицательные температуры переходят к положительным уже в конце марта. Проведя анализ по двум станциям, можно сделать заключение о том, что на территории Вологодской области произошли значительные изменения в особенности в зимний период.

Температура почвы оказывает влияние на прорастание семян, корневую систему и усвоение растениями важных микроэлементов из почвы. С повышением температуры все процессы развития растений запускаются, и при достижении оптимального значения ускоряются. Следовательно, от температуры почвы зависит скорость прорастания семени [11].

По осреднённым данным в Вологде (Таблица 2.4) максимальная температура почвы приходится на июль и составляет +20 градусов Цельсия, а благоприятным месяцем для выращивания сельскохозяйственных культур является конец апреля-начало мая при средних температурах +5 °C – +7 °C в зависимости от вида растений. Минимум температуры почвы -13 °C в январе.

Таблица 2.4 – Среднемесячные значения температуры поверхности почвы в Вологде (С)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Среднее
Темпера- тура	-13	-12	-7	2	12	18	20	17	9	2	-4	-9	3

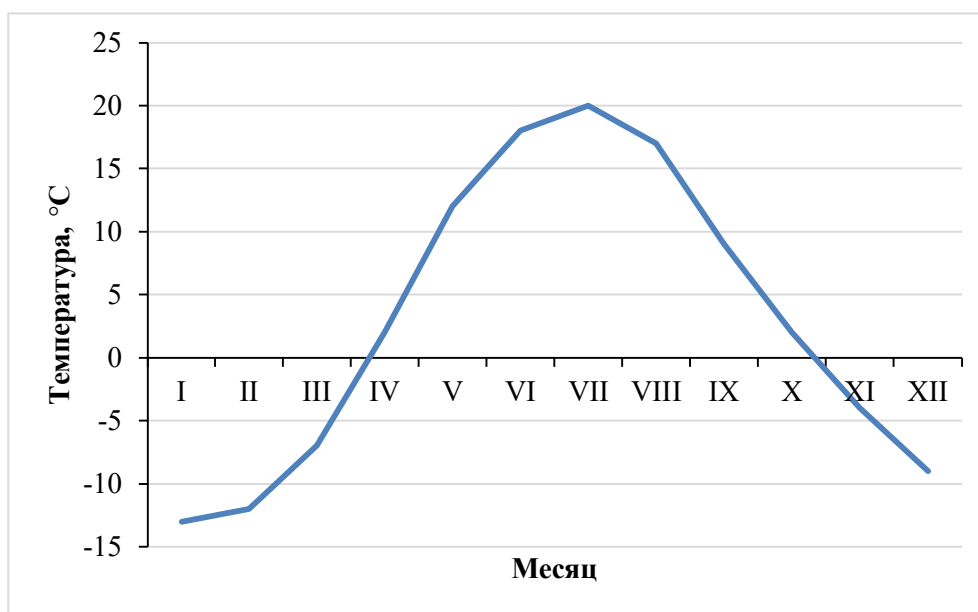


Рисунок 2.5 – Годовой ход температуры поверхности почвы (°C)

На рисунке 2.5 отражен годовой ход температуры поверхности почвы в данном регионе. Отрицательные значения температуры почвы длятся с января до начала января и промерзание почвы начинается с началом появления снежного покрова в конце октября до наступления весны. Максимальный прогрев температура почвы становится в летние месяцы июнь-августа и достигает абсолютного максимума в июле.

2.3 Анализ режима увлажнения территории Вологодской области

Влажность воздуха еще один немаловажный фактор, который необходимо учитывать в сельском хозяйстве. Процент влажности влияет на транспирацию растений – испарение воды из растения. Низкая влажность воздуха и

высокая температура приводят к увеличению транспирации и растение начинает увядать из-за нехватки воды.

Влажность воздуха также оказывает влияние на качество получаемого продукта, снижается урожайность, растения пересыхают. Урожай становится мелкоплодным и менее плодородным. В случае льноводства важно отметить, что недостаток влаги снижает качества волокна. Нити льноволокна получаются ломкими, хрупкими, т.е. приводит к разрушению.

Избыточная влажность тоже негативно сказывается, приводя к полеганию длинных стеблей, ухудшая сбор урожая и его первую обработку (требуется дополнительная просушка). Помимо этого, длительное повышение влаги может приводить к росту грибковых заболеваний, что несомненно приводит к снижению урожайности и требует дополнительных усилий для решения данной проблемы [11].

Лен-долгунец влаголюбивое растение. Для благоприятного роста льна-долгунца требуется умеренная влажность со средним значение 70%.

В таблице 2.5 данные по относительной влажности воздуха в Вологде. Среднегодовое значение за период с 1880 по 1980 года составляет 80%. Максимальное значение относительной влажности отмечается в ноябре (87%). Меньше всего влаги в воздухе в мае – 67%.

Таблица 2.5 – Средняя месячная и годовая относительная влажность воздуха (%) на станции Вологда

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Относительная влажность, %	85	83	79	74	67	71	76	81	84	86	87	86	80

За период с 2010 по 2022 года ниже представлены данные по относительной влажности воздуха в Вологодской области (таблица 2.6, рис.2.6). Многолетнее значение по осредненным значениям за 12 лет – 78%.

Таблица 2.6 – Среднемесячные значения относительной влажности воздуха в Вологодской области (%)

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Среднее
2010	86	77	82	71	67	74	69	76	83	84	88	84	78
2011	84	75	77	71	62	73	73	79	90	88	89	88	79
2012	82	75	76	73	65	75	75	79	85	90	89	85	79
2013	88	90	74	68	62	69	76	79	85	87	90	90	80
2014	87	87	75	59	61	71	71	76	81	82	90	90	78
2015	89	83	71	69	64	68	78	76	83	83	89	90	79
2016	84	84	74	66	58	66	71	77	83	84	86	87	77
2017	82	82	79	70	60	71	79	75	84	88	91	89	79
2018	85	80	65	61	62	65	76	75	82	82	83	84	75
2019	84	82	77	59	59	61	76	79	80	86	87	87	76
2020	85	81	71	64	68	63	76	78	75	79	82	82	75
2021	83	74	72	60	59	61	69	84	88	87	92	88	76
2022	89	87	74	69	67	70	76	72	87	88	90	87	80
Среднее	85	81	74	66	63	68	74	77	84	85	88	87	78

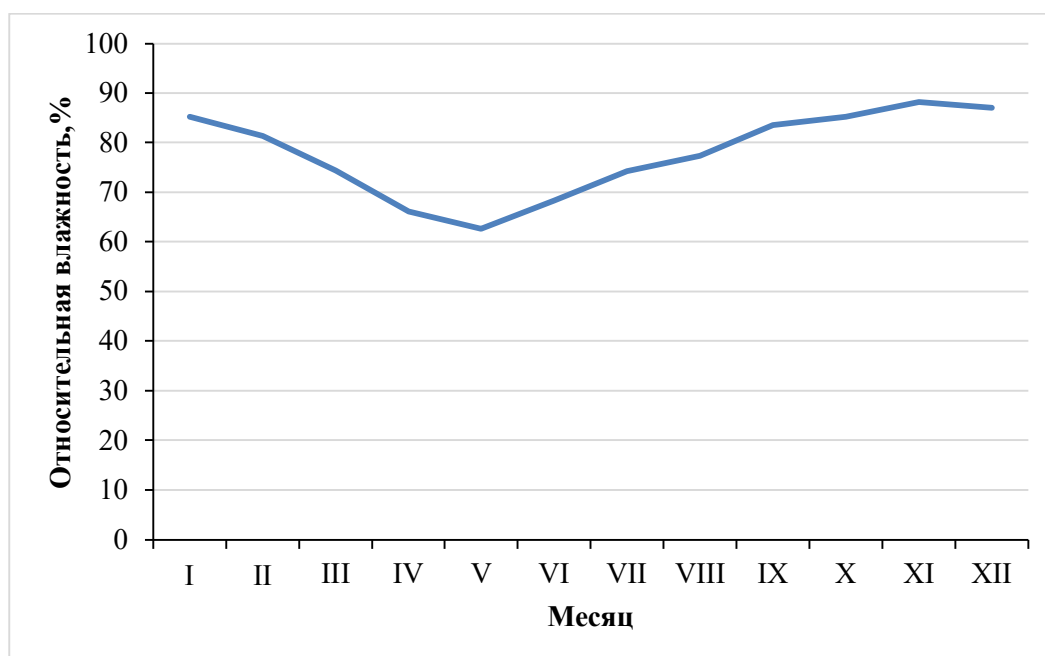


Рисунок 2.6 – Среднегодовые значения относительной влажности воздуха в Вологодской области в период 2010-2022 гг. (%)

Исходя из представленного графика (рис 2.6), влажность воздуха на протяжении года уменьшается в течение весны и увеличивается с середины мая. Максимальная влажность воздуха по графику заметна в ноябре. Значительные изменения во влажности воздуха происходят в мае месяце. Относительная влажность уменьшается по средним значениям до 63%, что теоретически может быть связано с резким повышением температуры в апреле и мае. В зимний период в Вологодской области высокая влажность воздуха, весной уменьшается до привычной влажности, летом и осенью умеренная влажность.

Снежный покров весной обеспечивает почву влагозапасами талой воды. Зная влагозапас воды на начало вегетации, можно рассчитать влагообеспеченность почвы, что важно для правильного развития растений и увлажнения почвы. По значениям плотности снега и высоты снежного покрова рассчитывается запас воды в снеге Z (мм). Запас воды в снеге определяется произведением плотности и высоты снега. Обычно этот показатель выражают в кубических метрах:

$$W=10 \cdot Z=100d \cdot h \quad 2.3$$

где d – плотность снега, г/см³;

h – высота снежного покрова, мм.

Кроме того, снежный покров играет важную роль для озимых культур, которым требуется перезимовка. В таблице 2.7 представлены многолетние значения высоты снега в течение года.

Таблица 2.7 – Среднемесячные значения (см) высоты снежного покрова в Вологодской области

Год	1	2	3	4	5	6	8	8	9	10	11	12	Среднее
2010	24,5	30,1	43,5	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	21,6	10,4
2011	32,2	43,9	42,1	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	7,2	11,2
2012	17,3	20,5	31,2	16,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,8	16,5	8,7
2013	33,3	43,2	46,7	21,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	6,2	12,6
2014	5,1	17,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	1,1	11,7	3,7
2015	38,6	43,2	22,3	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	7,0	6,9	10,1

2016	19,4	29,9	22,9	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	11,3	29,4	9,5
2017	31,8	45,3	30,1	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	6,0	12,2	10,7
2018	13,3	37,1	39,8	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,3	15,1	9,5
2019	27,1	38,0	33,8	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	2,0	1,9	8,8
2020	10,8	20,8	4,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	2,6	18,3	4,8
2021	35,2	41,4	45,7	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,1	23,1	12,8
2022	37,4	45,8	35,4	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	20,2	12,5
Среднее	25,1	35,1	31,2	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	3,5	14,6	9,6

Снежный покров появляется с конца октября и устойчиво держится до конца апреля. Наибольшая высота снега по среднегодовым значениям в феврале (35,1 см). Снег полностью отсутствует с начала мая и до конца октября.

Осадки играют главную роль в увлажнении почвы, необходимой для развития растения и являются основным источников влаги в почве. На рисунке 2.7 Показано многолетний режим осадков на станции Вологда

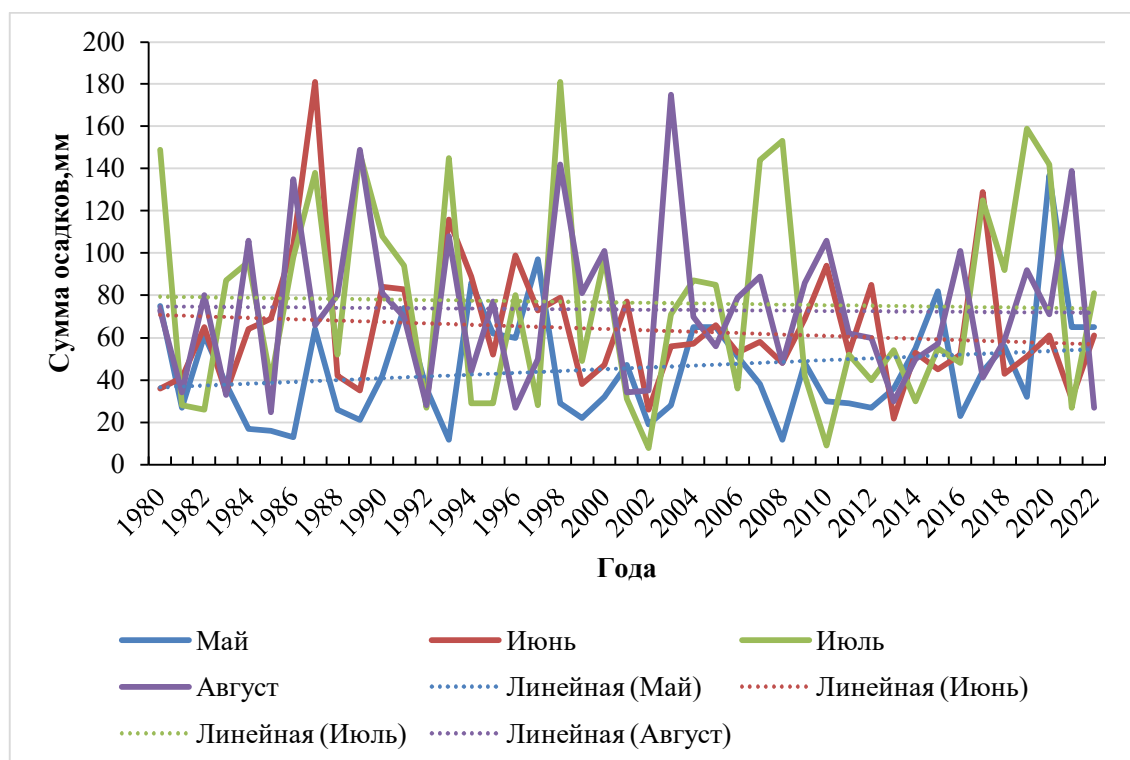


Рисунок 2.7 – Сумма осадков за теплый период (май-август) в период 1980-2022 гг. в Вологде

В теплый период растения активно развиваются и в период роста всем

растениям требуется достаточное количество влаги в почве и воздухе. Достаточная влага в почве и растениях влияют на их урожайность. Проанализировав данные по осадкам за период с 1980 по 2022 года, можно сделать вывод о том, какие изменения произошли в течение этого времени (рисунок 2.7).

На рисунке мы видим тренды за месяц май, июнь, июль, август. По тренду мы можем оценить, что в больше всего произошли изменения в мае и июне. В май с 1980 по 2022 года стало выпадать больше осадков. Максимальное количество осадков за май выпало в 2022 году. Еще одни изменения произошли в июне. На рисунке тренд на уменьшение количества осадков в июне в данный период. Максимальное количество осадков выпало за июнь в 1987 года и за последние 10 лет максимум отмечался в 2017 году. В заключение, за многолетний период с 1980 по 2022 году произошло изменения режима осадков в мае и июне. Режим осадков

Для того чтобы подробнее рассмотреть выбранный нами период урожайности льна-долгунца были проанализированы данные по осадкам с 2010 по 2022 год (таблица 2.8, рис.2.8).

Таблица 2.8 – Среднемесячные и среднегодовые суммы осадков в Вологодской области (мм)

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сумма
2010	12,7	24,7	59,3	39,8	29,5	94	8,8	105,5	46,1	39,2	78,5	36,1	574,2
2011	31	10,3	20,3	26,3	29,2	53,1	52,2	61,6	87,2	80,6	46,7	60,8	559,3
2012	25,6	15,7	35,7	48,7	27,1	85,3	40,3	59,6	104,2	85,9	63	40,3	631,4
2013	18,5	25,2	32,3	35,5	36,1	21,6	54,3	30,4	28,3	41,5	74,7	30,7	429,1
2014	23	34,8	24,9	6,9	55,2	52,5	30,2	50	32,7	44,6	46,4	46,9	448,1
2015	54	20,9	10,1	19,2	81,9	44,9	54,6	57,2	73	49,1	24,6	70	559,5
2016	49,8	24,9	11,1	25,6	23,3	51,6	47,8	101,4	56,7	32,2	50,7	45,8	520,9
2017	29,7	32,2	19,3	39	43,5	128,7	125,1	41,4	75,6	64,2	60,1	45,1	703,9
2018	45,5	23,9	8,9	47,8	56,1	42,9	89,9	60,4	82,7	68,3	25,1	24,6	576,1
2019	45,8	30,1	46,6	10,5	32,1	50,8	159,6	90,8	45,2	100	99,4	48,3	759,2
2020	53,6	44,3	44,5	32,6	142,2	46,3	140,7	70,4	56,4	53,5	42,3	36	762,8
2021	31,8	35,4	28,1	39	62,8	31,2	27	136,5	77,5	52,2	65,6	42,8	629,9
2022	33,1	32,8	12,8	30,5	63,7	60,6	80,9	27,3	67,1	72,4	48,8	50,7	580,7

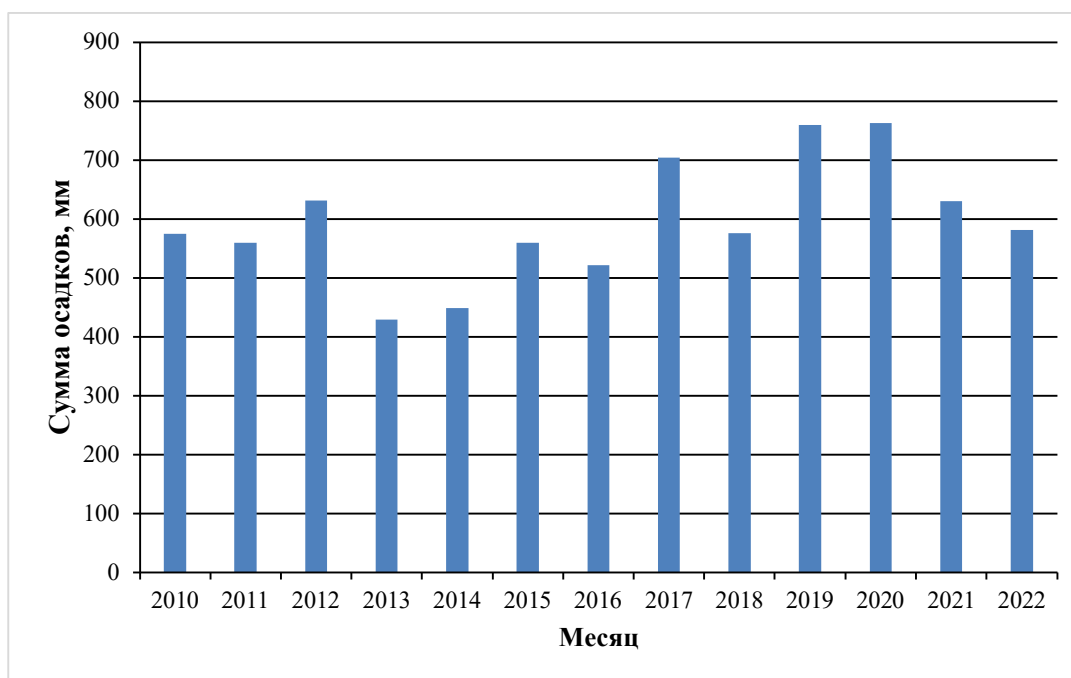


Рисунок 2.8 – Сумма годовых осадков в Вологде с 2010 по 2022 года (мм)

Максимальное количество осадков выпало в Вологде в 2020 году (762,8 мм) и в 2019 году (769,2 мм). На втором месте оказался 2017 год (703,9 мм). В течение данного периода было увеличение суммы осадков до 2020 года.

Растениям требуется большое количество увлажнения на первых этапах вегетации в период активного роста и до цветения. Для роста льна наилучшие условия влажности обеспечиваются при осадках не менее 100 мм во время периода от всходов до цветения. После цветения растениям требуется меньше влаги. Для разных сельскохозяйственных культур разные требования к влаге. Лен-долгунец требует достаточно большое количество воды в первой половине вегетации. Для того, чтобы проанализировать хватает ли для активного роста влаги льну были взяты данные за май-июнь (Таблица 2.9). В таблице данные в период с 1981 года по 2022 год. Для анализа многолетнего режима выбран такой период, а более подробное влияние осадков на растения будет рассмотрен период 2010-2022 год.

Минимальное количество осадков в мае за последние 20 лет было в 2008 году (12 мм). В мае 2020 года выпало рекордное количество осадков за месяц с

1981 года. Значения находятся в пределах от 12 до 86 миллиметрах в мае. В июне количество осадков выпадает больше в пределах от 22 до 97 мм. Рекордное количество осадков выпало в июне 2017 года – 129 мм.

Таблица 2.9 – Сумма месячных осадков в период активного развития растений в май и июне (мм)

Год	Май	Июнь	Год	Май	Июнь
1981	27	41	2002	19	26
1982	61	65	2003	28	56
1983	38	34	2004	65	57
1984	17	64	2005	65	66
1985	16	69	2006	51	53
1986	13	104	2007	38	58
1987	64	181	2008	12	48
1988	26	42	2009	48	69
1989	21	35	2010	30	94
1990	42	84	2011	29	53
1991	74	83	2012	27	85
1992	36	29	2013	36	22
1993	12	116	2014	55	53
1994	86	89	2015	82	45
1995	62	52	2016	23	52
1996	60	99	2017	44	129
1997	97	73	2018	56	43
1998	29	79	2019	32	51
1999	22	38	2020	137	61
2000	32	47	2021	65	31
2001	47	77	2022	65	61

Для наглядности ниже на рисунке 2.9 показано количество осадков в этот период.

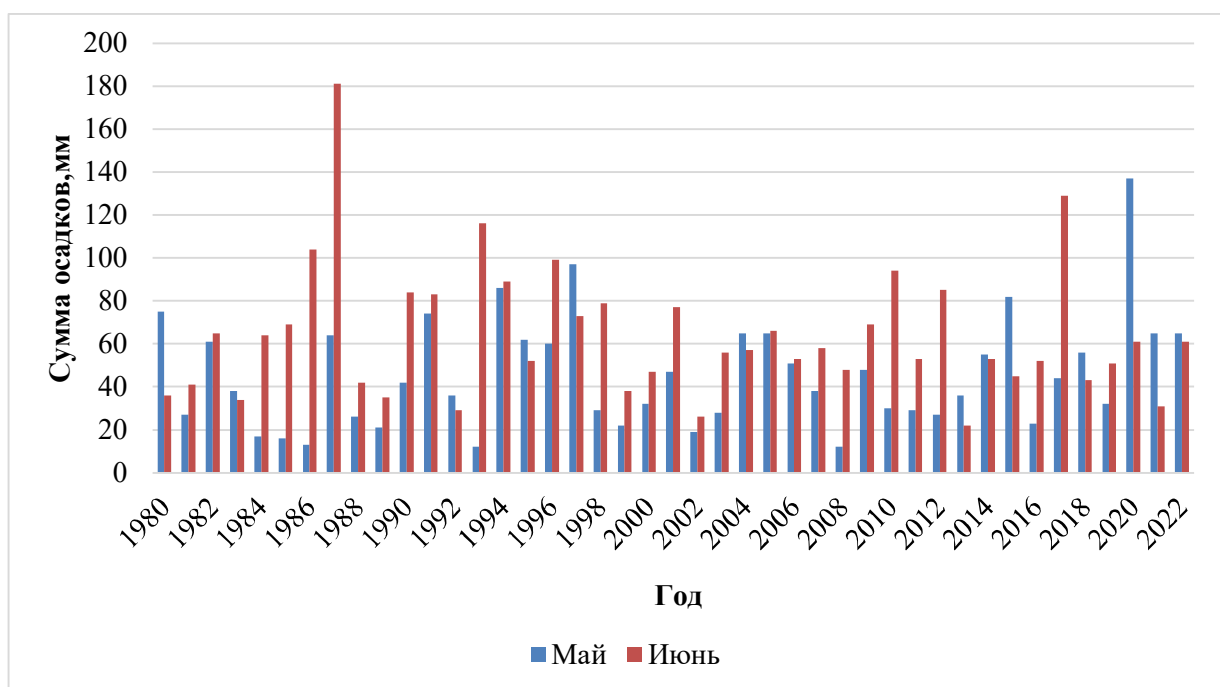


Рисунок 2.9 – Сумма месячных осадков за май-июнь в 1980-2022 гг.

В период май-июнь происходит активное развития стеблей и корневой системы, именно в этот период важно достаточное увлажнение. На гистограмме выше (рис.2.9) прослеживается различный режим осадков в эти месяцы. Май 2020 года имеет избыточное количество осадков за месяц, что могло негативно отразиться на ранних всходах. В мае 2008 год, наоборот, количество осадков было минимальным. В третьей главе будет оценено подобное влияние на урожайность льна-долгунца.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЛЬНА-ДОЛГУНЦА

3.1 Термические ресурсы Вологодской области

Вегетационный период – это промежуток года благоприятными температурами для роста и развития растений. Вегетационный период длится от восходов семян до созревания и делится на периоды и фазы. Началом вегетации считается день, когда температура Промежуток времени с переходом среднесуточной температуры воздуха $+5^{\circ}\text{C}$. У всех растений этот период отличается по продолжительности. Например, какие-то сорта овощей созревают быстрее за 60-75 дней, а какие-то дольше 120-135 дней. Вегетационный период у разных сортов льна длится от 70 до 100 дней.

С началом вегетационного периода начинается подготовка взращивания семян и подготовка их к высадке. В Вологодской области в Бабаево период вегетации начинается в мае, в редких случаях в третьей декаде апреля (2013 г., 2014 г., 2016 г.) (Таблица 3.1). Вегетационный период в Бабаево длится 135-169 дней – 5 месяцев. Заканчивается период вегетации до конца октября. Для того чтобы проанализировать зависимость урожайности от даты начала вегетации были рассчитаны дни до начала вегетации от начала года.

Таблица 3.1 – Вегетационный период в Вологодской области на ст. Бабаево

Бабаево					Вегетационный период	Дни до вегетации от 1 января
Год	Начало $+5^{\circ}\text{C}$	Начало $+10^{\circ}\text{C}$	Конец $+10^{\circ}\text{C}$	Конец $+5^{\circ}\text{C}$		
2010	01.май	27.май	14.сен	08.окт	160	121
2011	06.май	27.май	24.сен	19.окт	166	126

2012	04.май	04.июн	18.сен	16.окт	165	124
2013	30.апр	08.май	09.сен	19.окт	172	120
2014	16.апр	24.апр	13.сен	06.окт	173	106
2015	28.апр	21.май	18.сен	14.окт	169	118
2016	25.апр	15.май	16.сен	06.окт	164	115
2017	04.июн	14.июн	16.сен	14.окт	132	155
2018	02.май	11.май	25.сен	18.окт	169	122
2019	22.май	26.май	14.сен	13.окт	144	142
2020	22.май	26.май	26.сен	24.окт	155	142
2021	11.май	02.июн	02.сен	10.окт	152	131
2022	26.май	27.май	10.сен	08.окт	135	146

Ниже представлены даты начала перехода температуры +5 °С и +10 °С в Великом Устье, что в следствии означает начал вегетационного периода (табл.3.2). В Великом Устье период вегетации начинался с конца апреля в редких случаях и в течение мая. Активная вегетация начиналась с второй декады мая до первой декады июня. Вегетационный период в Великом Устье продолжался от 132 до 182 дней.

Таблица 3.2 – Вегетационный период в Великом Устье

Великий Устюг						
Год	Начало +5°С	Начало +10°С	Конец +10°С	Конец +5°С	Вегетационный период	Дни до начала вегетации от 1 января
2010	27.апр	10.май	12.сен	26.окт	182	130
2011	16.май	28.май	15.сен	09.окт	146	148
2012	06.май	16.май	17.сен	20.окт	167	136
2013	03.май	23.май	03.сен	11.окт	161	143
2014	09.май	28.май	07.сен	30.сен	144	148

2015	07.май	10.май	16.сен	05.окт	151	130
2016	25.апр	01.июн	09.сен	05.окт	163	152
2017	29.май	06.июн	08.сен	16.окт	140	157
2018	11.май	21.май	17.сен	10.окт	152	141
2019	25.май	26.май	14.сен	04.окт	132	146
2020	24.май	26.май	19.сен	14.окт	143	146
2021	11.май	02.июн	09.сен	17.окт	159	153
2022	25.май	26.май	15.сен	10.окт	138	146

Для оценки термических ресурсов районов используется показатель обеспеченности теплом за вегетационный период. Этим показателем является сумма активных температур – сумма температур со среднесуточными значениями выше 10 °С, при которых начинается активная вегетация культурных растений. Сумма активной температур является показателем теплообеспеченности за вегетационный период [8].

Сумма активных температур рассчитывалась графическим способом. По среднемесячным температурам воздуха необходимо построить график годового хода температуры. По графику необходимо найти дату начала и конце периода, когда температура воздуха начала превышать +10 °С. Для того чтобы найти сумму температур, рассчитываются суммы за полный и неполный месяц. Формула для подсчёта температуры за неполный месяц:

$$\sum t = \frac{t_{10} + t_n}{2} \cdot n \quad 3.1$$

где $\sum t$ – сумма температур за неполный месяц в начале вегетации;

t_{10} – температура воздуха на дату перехода температуры через +10 °С;

t_n – температура в конце месяца;

n – число дней месяца.

По формуле 3.1 рассчитывается начало и конец вегетации. Для годовой суммы активных температура за данный период суммируют остальные полные месяцы.

По среднесуточной температуре воздуха на двух станциях, Бабаево и Великий Устюг, были построены графики за каждый год с 2010 по 2022 года для графического метода расчета суммы активных температур (Таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Сумма активных температур за 12 лет на ст. Бабаево и ст. Великий Устюг (°C)

Бабаево		Великий Устюг	
Год	САТ	Год	САТ
2010	2300,7	2010	2117,7
2011	1969,4	2011	1866,3
2012	1891,5	2012	1823,8
2013	2031,1	2013	1921,8
2014	1954,8	2014	1874,0
2015	1874,1	2015	1889,4
2016	2065,1	2016	2084,1
2017	1516	2017	1490,6
2018	2163,5	2018	1851,6
2019	1750,7	2019	1574,5
2020	1911,2	2020	1880,9
2021	1941,1	2021	2069,1
2022	1867,7	2022	1891,8

Для того, чтобы оценить влияние САТ на урожайность, необходимо рассчитать коэффициент корреляции. Коэффициент корреляции рассчитаем по формуле (3.2)

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{n \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (3.2)$$

где x_i – метеорологические или агрометеорологические показатели, $\bar{x}$ – среднее арифметическое значение соответствующего показателя, y_i – урожайность винограда, $\bar{y}$ – среднее арифметическое значение многолетних величин урожайности винограда, n – продолжительность периода наблюдений, σ_x, σ_y – соответствующие значения среднего квадратического отклонения [13].

Показателем зависимости будем считать коэффициент корреляции больше 0,4. Расчеты коэффициентов корреляции представлены ниже в таблице 3.4. Коэффициент корреляции зависимости урожайности от САТ равен 0,035, что говорит о слабой зависимости. При расчетах зависимости урожайности от начала вегетации коэффициент корреляции в результате получается отрицательным, но его значение (-0,5) говорит о хорошей зависимости урожайности от даты начала активной вегетации. Следовательно, чем позднее начало вегетации, тем меньше урожайность. Также коэффициенты корреляции по периодам вегетации (0,6) говорят о хорошей зависимости урожайности от продолжительности вегетационного периода.

Таблица 3.4 – Коэффициенты корреляции на станции Бабаево

Год	Урожайность	Период вегетации	Период активной вегетации	САТ	Дни до вегетации от 1 января
2010	4,5	160	110	2300,7	121
2011	5,7	166	120	1969,4	126
2012	6,5	165	106	1891,5	124
2013	5,3	172	124	2031,1	120
2014	7,4	173	142	1954,8	106
2015	8,8	169	120	1874,1	118
2016	7,1	164	124	2065,1	115

2017	5,6	132	94	1516	155
2018	6,5	169	137	2163,5	122
2019	4	144	111	1750,7	142
2020	6	155	123	1911,2	142
2021	3,5	152	92	1941,1	131
2022	4,3	135	106	1867,7	146
Корреляция		0,6	0,6	0,035	-0,5

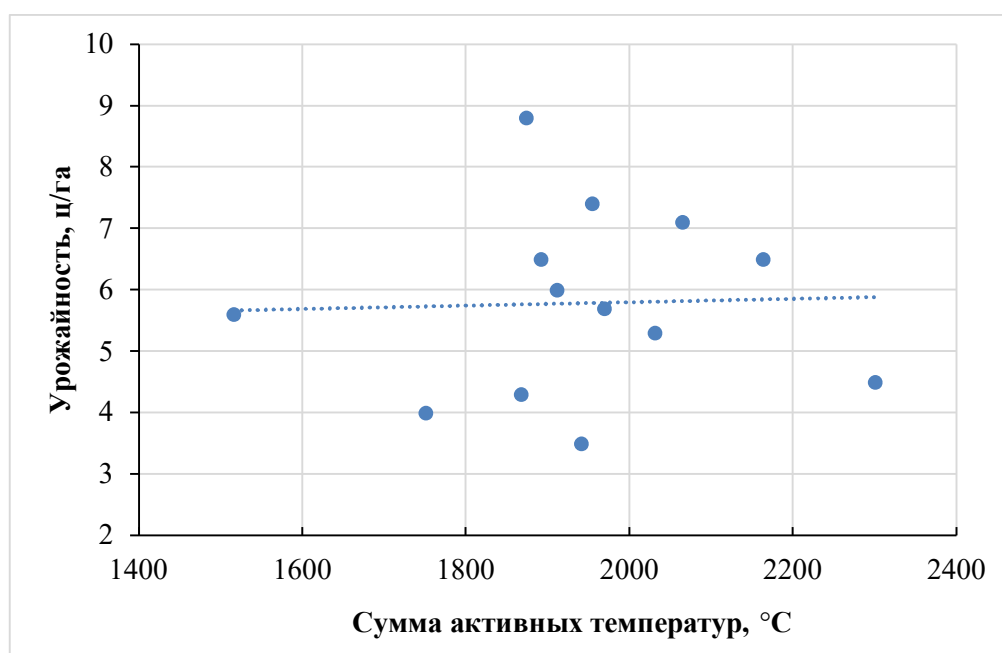


Рисунок 3.1 – Взаимосвязь урожайности от суммы активных температур в Бабаево

На точечном графике на рисунке 3.1 отсутствует зависимость урожайности от суммы активных температур, но можно отметить, что при значениях САТ в пределах 1800-2000 °C урожайность льна-долгунца была максимальной за весь период.

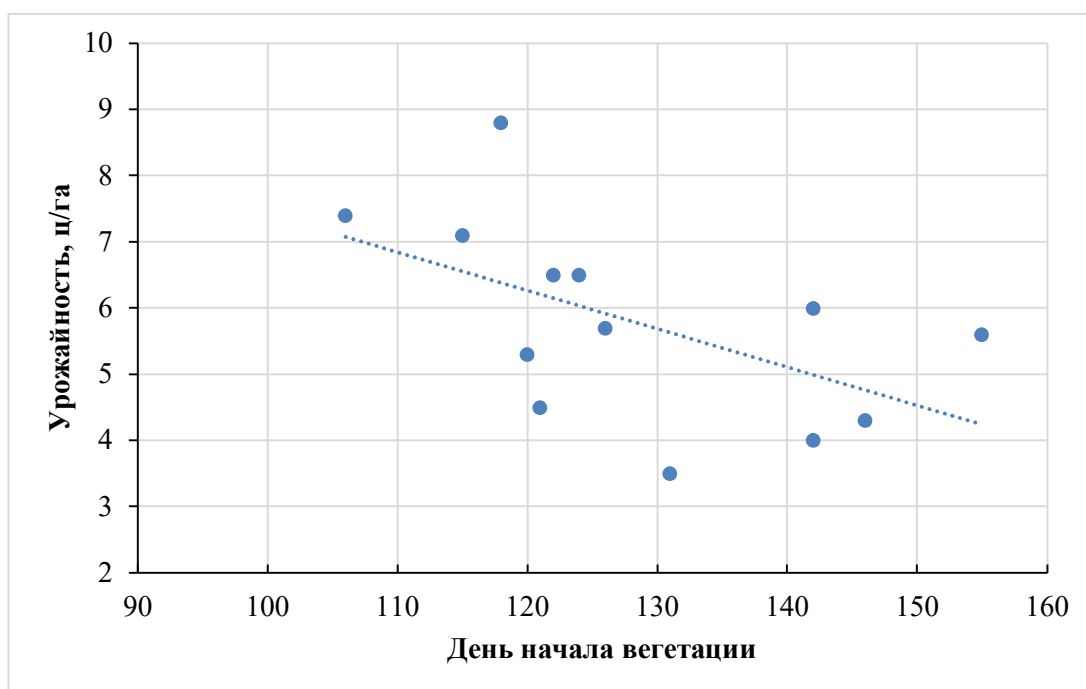


Рисунок 3.2 – Взаимосвязь урожайности от начала вегетации в Бабаево

Из графика выше можно сделать вывод о том, что чем позднее начиналась вегетация, тем меньше была производительность льна (рис.3.2).

Подобным образом проведен корреляционный анализ в Великом Устюге. Полученные значения представлены ниже в таблице 3.5. Исходя из полученных значений, следует, что зависимость урожайности очень слабая.

Таблица 3.5 – Агрометеорологические показатели и коэффициент корреляции по данным Великого Устюга

Год	Урожай- ность	Период ве- гетации	Период активной вегетации	САТ	Дни до веге- тации от 1 января
2010	4,5	182	125	2118	130
2011	5,7	146	110	1866	148
2012	6,5	167	124	1824	136
2013	5,3	161	103	1922	143
2014	7,4	144	102	1874	148
2015	8,8	151	129	1889	130

2016	7,1	163	100	2084	152
2017	5,6	140	94	1491	157
2018	6,5	152	119	1852	141
2019	4	132	111	1575	146
2020	6	143	116	1881	146
2021	3,5	159	99	2069	153
2022	4,3	138	112	1892	146
Корреляция		0,03	0,3	0,022	-0,3

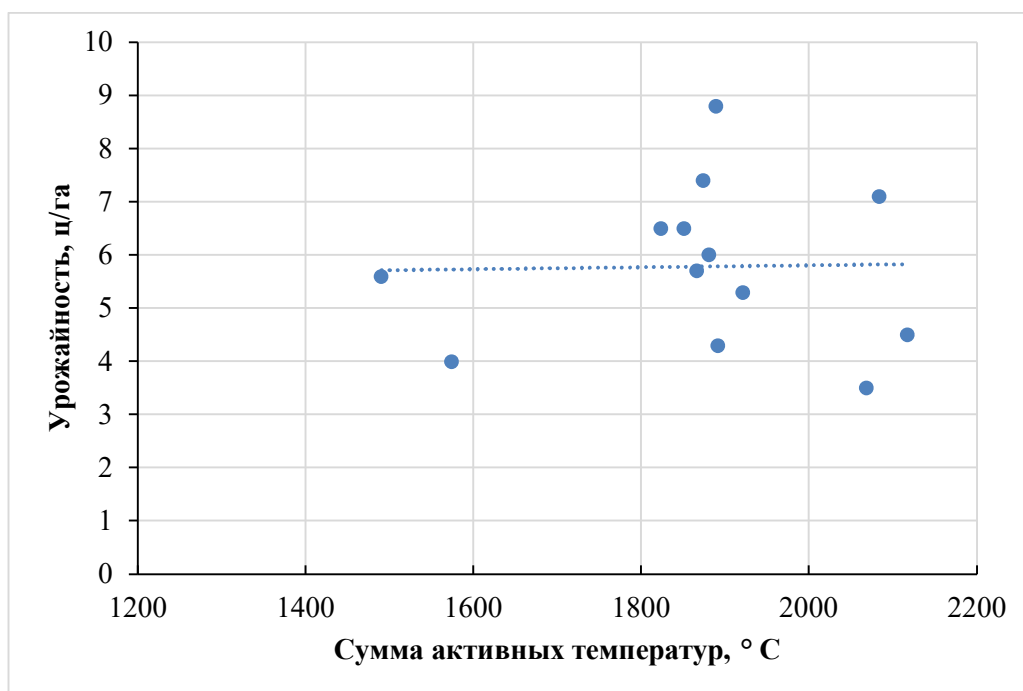


Рисунок 3.3 – Взаимосвязь урожайности от суммы активных температур в Великом Устюге

Как и на рисунке 3.1, прямая зависимость не отражается, но в пределах значения от 1800 до 2000 °C можно заметить, что урожайность выше (рис 3.3). По анализу данных с двух станций следует, что именно этот интервал суммы активных температур оптимален для хорошей производительности льна-долгунца.

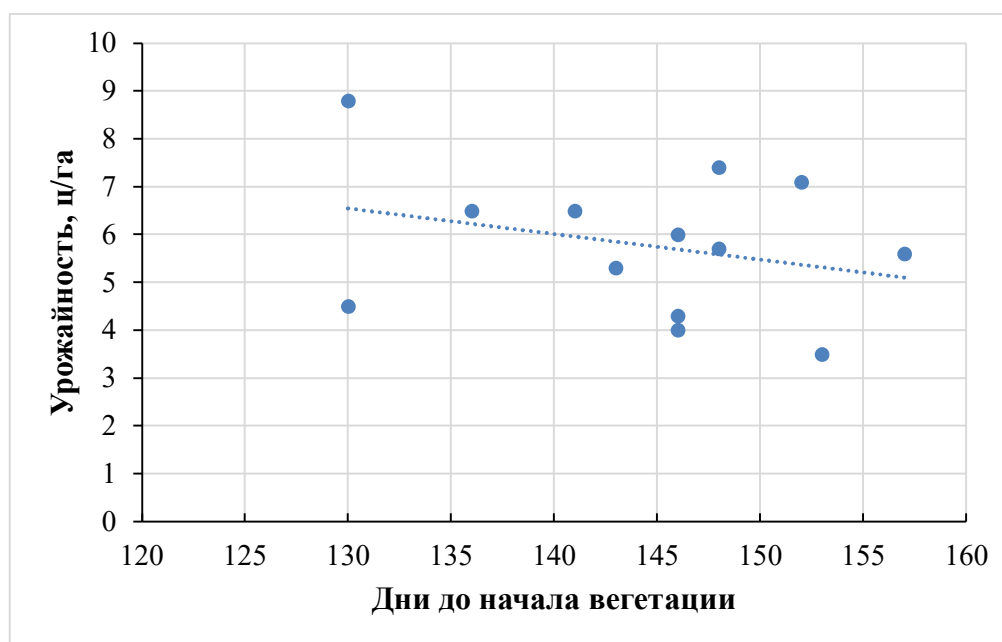


Рисунок 3.4 – Зависимость урожайности от начала вегетации в Великом Устюге

На рисунке 3.4 заметна слабая зависимость урожайности от начала вегетации. Также как и по результатам в Бабаево, чем раньше начинается вегетационный период, тем больше урожайность.

Для более детальной оценки влияния температур на развитие растений проанализирована зависимость урожайности от температуры воздуха в летние месяцы июнь-август за 12 лет (таблица 3.6). В июле и августе существует очень слабая отрицательная связь. Между температурой в июне и урожайностью есть средняя отрицательная зависимость ($-0,51$), следовательно, чем выше температура воздуха в июне, тем меньше была урожайность льна-долгунца в Вологодской области.

Таблица 3.6 – Коэффициент корреляции между летними температурами воздуха и урожайность за 12 лет

Год	Урожайность, ц/га	Температура в июне	Температура в июле	Температура в августе
2010	4,5	15,7	22,9	17,4
2011	5,7	16	21	15,4

2012	6,5	15,1	18,1	14,7
2013	5,3	18	17,8	16,1
2014	7,4	14,1	17,8	16,9
2015	8,8	15,6	15,3	14,6
2016	7,1	15,2	19,8	17,7
2017	5,6	12,3	16,2	16,5
2018	6,5	14,4	18,5	16,9
2019	4	16,6	14,6	12,9
2020	6	16	17,4	14,8
2021	3,5	19,9	19,8	16,3
2022	4,3	16	19,2	19,3
Коэффициент		-0,51	-0,29	-0,10

3.2 Оценка влагообеспеченности вегетационного периода

Вода играет ключевую роль в жизни растений, растворяя питательные вещества из почвы и транспортируя их в клетки растений. В клетках вода участвует в процессе образования углерода во время фотосинтеза, в процессе разложения превращаясь в молекулы кислорода и водорода. Кроме того, вода охлаждает растения, испаряясь из их внутренних частей и снижая их температуру. Для хорошего производства сельскохозяйственных культур важно достаточное количество влаги в почве. Основным источником влаги для растений — это осадки. Для измерения количества влаги используется количество выпавших осадков в миллиметрах. Влагообеспеченность – характеристика, отражающая степень обеспеченности влагой корневой системы во время вегетационного периода.

Для того, чтобы оценить влагообеспеченность вегетационного периода, необходимо учесть количество осадков и запасы влаги в почве за этот период. Обеспеченность растений влагой зависит и от испаряемости осадков, поэтому в агрометеорологии используется гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК):

$$ГТК = \frac{r}{0,1 \sum t_{>10}} \quad (3.3)$$

где r – это сумма осадков за период с температурой выше 10 С, мм;

$\sum t_{>10}$ – сумма активных температур за этот период.

По коэффициенту Селянинова можно судить о степени увлажнения территории, т.е. к какой зоне увлажнения относится данная территория. Если $ГТК > 1,6$, то зона избыточно увлажненная, 1,6-1,3 – влажная зона, 1,3-1,0 – слабо засушливая, 1,0-0,7 – засушливая зона, 0,7-0,4 – очень засушливая, $< 0,4$ – сухая зона увлажнения [8].

Для расчета показателя были взяты данные по количеству осадков за период активной вегетации по двум станциям в Бабаево и Великом Устюге (Таблица 3.7). По данным в 2017 году выпало максимальное количество осадков за весь период с 2010 по 2022 года (469 мм). Самым засушливым годом оказался 2011 год в Великом Устюге (183 мм). По осредненным данным в июле выпадает максимальное количество осадков за вегетационный период – 81 мм, минимум в мае – 52 мм (ст. Бабаево).

Таблица 3.7 – Сумма осадков (мм) в период активной вегетации в Бабаево и Великом Устюге

Бабаево						
Год	V	VI	VII	VIII	IX	Сумма
2010	83,6	85,4	18,2	29,8	45,6	262,6
2011	58,3	87,6	54,2	77	122,3	399,4
2012	34,5	123,9	63,9	63,9	93,1	379,3
2013	66	38,3	122,5	29,2	39	295
2014	63,4	81	61	56,2	58,3	319,9
2015	76,3	30,6	108,8	47,7	81,4	344,8
2016	14,3	80,4	101	129,6	63,7	389

2017	48	94,5	182,4	72,6	71,5	469
2018	21,8	66,1	47,3	90,3	83	308,5
2019	47,9	28	86,2	61,3	79,3	302,7
2020	87,5	71,9	93,2	43,7	80,2	376,5
2021	49,8	20,9	32	85,4	101,8	289,9
2022	35,2	66,2	83,2	36,2	86,1	306,9
Великий Устюг						
Год	V	VI	VII	VIII	IX	Сумма
2010	50	107	22	91	27	297
2011	38	49	3	27	66	183
2012	45	80	78	64	52	319
2013	69	35	78	19	40	241
2014	30	100	76	74	17	297
2015	55	52	95	83	34	319
2016	20	45	76	90	96	327
2017	45	100	117	61	111	434
2018	32	81	108	39	102	362
2019	40	55	107	74	30	306
2020	61	30	95	43	99	328
2021	88	21	55	109	58	331
2022	68	63	138	43	62	374

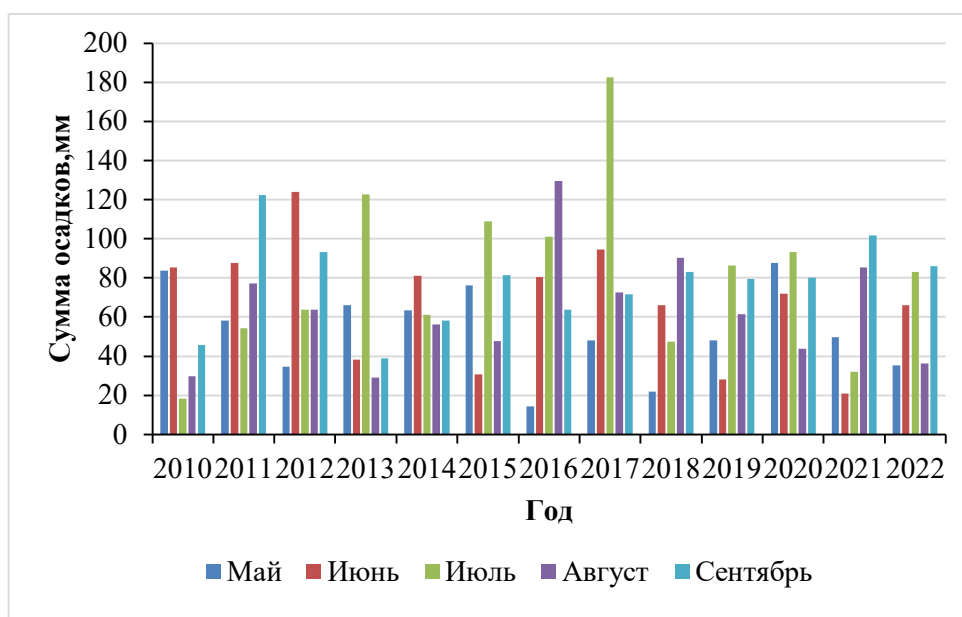


Рисунок 3.5 – Сумма осадков за вегетационный период по месяцам в период 2010-2022 гг. в Бабаево

Анализируя гистограмму, полученную по данным в Бабаево (Рисунок 3.5), можно заметить, что распределение осадков за данный период неравномерно. В 2011 году самым дождливым месяц сентябрь, в 2012 году наибольшее количество осадков выпало в июне, а в 2013 году в июле. Как уже упоминалось ранее, июль 2017 года стал рекордным по количеству осадков.

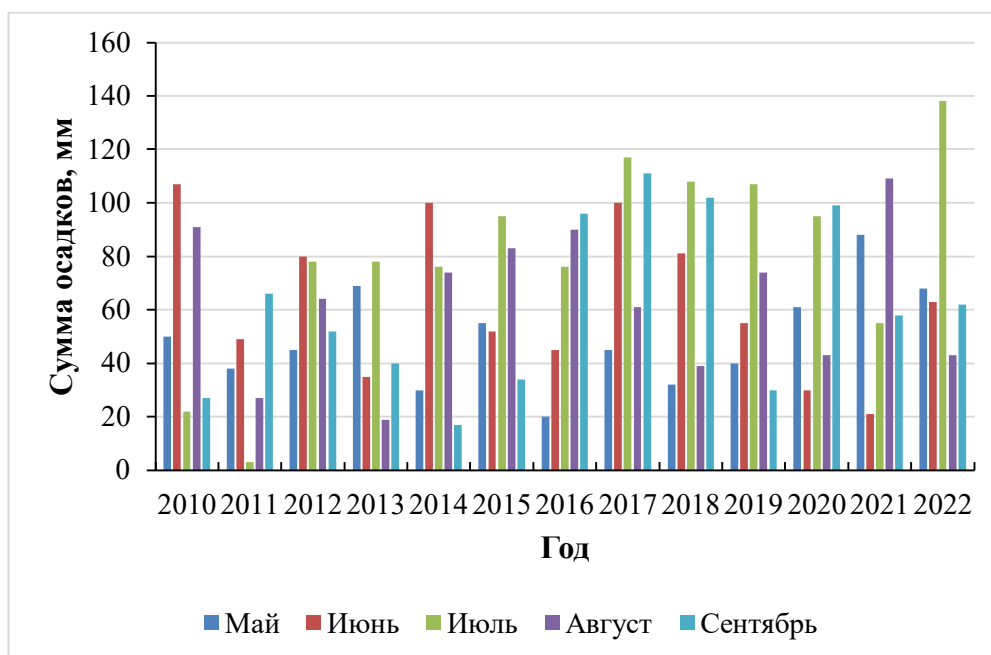


Рисунок 3.6 – Сумма осадков в Великом Устюге в период вегетации май-сентябрь с 2010-2022 гг.

Гистограмма, построенная по данным в Великом Устюге, отличается от гистограммы, созданной по осадкам в Бабаево (рис. 3.6). Годовой ход также неравномерный. Максимальное количество осадков выпало в июле 2022 года. В 2011 году июль стал самым засушливым.

Для расчетов ГТК были взяты данные суммы активных температур на станциях Бабаево и Великий Устюг из таблицы 3.3 и данные о количестве осадков на данных станциях из таблицы 3.7. По полученным коэффициентам мы можем оценить влагообеспеченность территории (таблица 3.8). Максимальное значение в Бабаево в 2017 ГТК=3,1, что соответствует зоне избыточного увлажнения и значительно превышает пороговое значение 1,6. Коэффициент Селянинова в Бабаево имеет значения в пределах от 1,1 до 3,1. В Великом Устюге этот коэффициент за период 2010 по 2022 года находится в пределах от 1,0 до 2,9. Самый засушливый год в Великом Устюге стал 2011 год, а в Бабаево 2010 год. Засушливая зона характеризуется значением 1,0 в Великом Устюге в 2011 году. Именно в этот год здесь выпало наименьшее количество осадков за 12-летний период.

Таблица 3.8 – Гидротермический коэффициент Селянинова на станциях Бабаево и Великий Устюг

Год	ГТК Бабаево	ГТК Великий Устюг
2010	1,1	1,4
2011	2,0	1,0
2012	2,0	1,7
2013	1,5	1,3
2014	1,6	1,6
2015	1,8	1,7
2016	1,9	1,6

2017	3,1	2,9
2018	1,4	2,0
2019	1,7	1,9
2020	2,0	1,7
2021	1,5	1,6
2022	1,6	2,0

Для оценки влияния осадков и коэффициента ГТК на производство льна-долгунца используется корреляционный анализ. Расчет коэффициента корреляции представлены ниже в таблице 3.9. По данным в Бабаево коэффициент корреляции отражает слабую зависимость урожайности от ГТК (0,2). В отличие от Бабаево, в Великом Устюге существует обратная зависимость урожайности от ГТК, но она крайне мала (-0,04). Несмотря на то, что в 2017 году коэффициент увлажнения характеризовал как зону избыточного увлажнения, за весь период это слабо отразилось на влиянии на урожайность. Для того чтобы подробнее рассмотреть влияние необходимо рассмотреть периоды первой половины вегетации, когда растениям особенно требуется увлажнение.

Таблица 3.9 – Коэффициент корреляции зависимости урожайности от ГТК

Год	ГТК Бабаево	ГТК Великий Устюг	Урожайность
2010	1,14	1,40	4,5
2011	2,03	0,98	5,7
2012	2,01	1,75	6,5
2013	1,45	1,25	5,3
2014	1,64	1,58	7,4
2015	1,84	1,69	8,8
2016	1,88	1,57	7,1
2017	3,09	2,91	5,6
2018	1,43	1,96	6,5

2019	1,73	1,94	4
2020	1,97	1,74	6
2021	1,49	1,60	3,5
2022	1,64	1,98	4,3
Корреляция	0,2	-0,04	

Как уже было сказано выше, лён-долгунец остро нуждается в большом количестве увлажнения в первой половине вегетации. Для более детального анализа влияния осадков на лён ниже будут представлены значения ГТК в мае и июне месяце (Таблица 3.10). По полученным корреляционным коэффициентам можно сделать вывод о том, что наибольшее влияние влаги на урожайность сказывалось в Великом Устюге в мае (-0,39). Связь в результате отрицательная, что говорит о том, что чем больше показатель ГТК, тем отрицательней это отражается на урожайности, но так как связь слабая, то урожайность мало зависела от коэффициента Селянинова в эти месяцы за многолетний период. В данном в Бабаево коэффициенты корреляции в мае и июне в результате расчетов равны -0,12 и 0,27 соответственно, следовательно зависимость очень слабая. Несмотря на то, что коэффициент Селянинова в Бабаево в мае в 2020 году составил 5,9 это мало отразилось на урожайности. Максимальный коэффициент увлажнения мы видим в мае 2022 года в Великом Устюге (8,9), несмотря на такое избыточное увлажнение это слабо повлияло на урожайность.

Таблица 3.10 – ГТК в мае и в июне на станциях Бабаево и Великий Устюг

Бабаево			Великий Устюг		
Год	ГТК в мае	ГТК в июне	Год	ГТК в мае	ГТК в июне
2010	2,4	1,8	2010	1,4	2,4
2011	3,0	1,8	2011	2,0	1,0
2012	1,3	2,8	2012	2,2	1,7
2013	1,9	0,7	2013	3,6	0,7

2014	2,2	1,9	2014	1,1	2,4
2015	2,8	0,7	2015	1,6	1,1
2016	0,4	1,7	2016	0,6	1,0
2017	-	2,6	2017	1,3	2,7
2018	0,7	1,5	2018	1,8	2,0
2019	2,1	0,6	2019	1,5	1,2
2020	5,9	1,4	2020	3,4	0,7
2021	2,3	0,4	2021	2,6	0,4
2022	3,1	1,4	2022	8,9	1,3
Корреляция	-0,1	0,3	Корреляция	-0,4	0,2

Еще один метеорологический показатель, который стоит рассмотреть на влияние урожайности – влажность воздуха. Лен-долгунец по данным источников благоприятно развивается при влажности не больше 70 %. В таблице 3.11 представлена влажность за 12 лет в период вегетации в Великом Устюге.

Таблица 3.11 – Относительная влажность воздуха (%) в Великом Устюге

Год	Май	Июнь	Июль	Август
2010	64	70	68	74
2011	65	70	67	73
2012	65	76	78	79
2013	60	65	70	79
2014	61	73	71	82
2015	61	71	78	81
2016	57	69	75	83
2017	61	76	80	81
2018	59	69	76	78
2019	64	66	81	83
2020	73	62	76	76
2021	68	61	67	77
2022	72	67	75	73
Корреляция	-0,50	0,54	0,20	0,37

Коэффициент корреляции по влажности воздуха в Бабаево не выявил

зависимости влажности на урожайность в отличие от расчетов в Великом Устюге. Коэффициент корреляции равный $-0,54$ говорит об отрицательной связи между двумя значениями из этого следует, что чем выше влажность воздуха в мае, тем хуже это сказывалось на урожайности. Среднегодовая влажность воздуха за этот период – 64 %. Вероятней всего, влажность воздуха в мае оптимально не должна превышать 60 %. В июне мы видимо обратную связь. Коэффициент корреляции между влажностью в июне и урожайность – $0,54$. Существует хорошая зависимость в этом месяце. В этот период вегетации ситуация меняется и лен уже становится требователен к влажности и чем больше влажность, тем лучше это отражалось на урожайности. В июле и августе уже отсутствует подобное влияние.

В целом надо отметить, что выявленные зависимости урожайности льна-долгунца от метеорологических и агрометеорологических условий не дает выбрать фактор, по которому можно было бы разработать методику прогнозирования будущего урожая, что следовательно побуждает к продолжению исследований по выявлению факторов влияющих на урожайность льна-долгунца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выращивание сельскохозяйственных культур требует учета многих метеорологических условий, климатических факторов, которые влияют на рост растений и их урожайность. Разные культуры растений требуют разных условий для выращивания. В этой работе был проведен анализ метеорологических параметров, которые влияют на урожайность льна-долгунца на территории Вологодской области. В первой главе было выяснено какую роль играет льноводство для этого региона. Вологодская область славится своей исторической ценностью благодаря производству льна. Несмотря на то, что по валовому сбору льна-долгунца по всей России Вологодская область в наше время входит лишь в десятку первых мест, хотя климат позволяет получать высокую урожайность и занимать место в первой пятерке по стране, как это было в 2015 году, это говорит о том, что данная территория имеет климатический потенциал.

Климат Вологодской области умеренный и влажный. Преобладает циклоническая деятельность в течение года. Лето теплое и непродолжительное с резкими похолоданиями, а зима холодная с возможными потеплениями из-за циклонической деятельности, приходящей с Атлантического океана. Климат Вологодской области благоприятен для выращивания льна-долгунца. Вывод об этом был сделан про проведенным расчётам влияния метеорологических характеристик на урожайность.

Выводы, которые также были сделаны в результате выполненной работы:

1. Проанализировав многолетние данные температуры воздуха, было сделано заключение о том, что Вологодская область подвергается потеплению климата. Среднегодовая температура воздуха за последние 50 лет увеличилась на 1,2 °С в основном за счёт потепления в зимние месяцы.
2. По корреляционному анализу было выяснено, что при более раннем наступлении вегетации урожайность льна-долгунца была больше.

3. Урожайность льна-долгунца мало зависит от суммы активных температур за весь вегетационный период.
4. Лен чувствителен к высокими температурам, исходя из этого была найдена зависимость урожайности от температуры воздуха в июне при коэффициенте корреляции -0,51. Высокая температура воздуха при недостаточном количестве влаги ($ГТК=0,4$, 2021 год) приводили к угнетению.
5. Коэффициент Селянинова показал слабое влияние на урожайность, но стоит отметить, что существует такая зависимость в мае в Великом Устюге (коэффициент корреляции 0,4). Большое влияние оказал ГТК равный 8,9 в 2022 году.
6. Лен-долгунец требователен к влажности воздуха и была определена зависимость урожайности от относительной влажности в мае и июне. Коэффициенты корреляции -0,50 и 0,54 соответственно.

В ходе работы были выполнены поставленные задачи:

1. Проанализированы физико-географические особенности Вологодской области;
2. Был проведен анализ урожайности льна-долгунца в Вологодской области за 12 лет;
3. Изучены климатические условия, влияющие на производство льна-долгунца в Вологодской области;
4. Произведена оценка того, как метеорологические условия Вологодской области влияют на урожайность льна-долгунца.

Выполненная работы имеет практическое значения для Вологодской области с точки зрения установления благоприятных метеорологических и агрометеорологических условий, влияющих на урожай исследуемой сельскохозяйственной культуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большая Российская энциклопедия [Текст]: [в 30 т.] / научно-редакционный совет: председатель - Ю. С. Осипов и др. - Москва: Большая Российская энциклопедия, 2004-. - 30 см.; ISBN 5-85270-320-6, Чибилёв А.А., 1995.
2. Вологодская энциклопедия. / Главный редактор - Г. В. Судаков. — 1-е. — Вологда: ВГПУ, изд-во «Русь», 2006. — 608 с. — 7000 экз. — ISBN 5-87822-305-8. Архивировано 17 февраля 2020 года.
3. Оценка площади болот Вологодской области [Текст] / Филоненко И. В., Филиппов Д. А. // Труды Инсторфа. — 2013. — № № 7 (60). — С. 3.
4. Ильинский Н.В. Реки и озера / Н.В. Ильинский // Вологодский край. Ч. 1. Естественно-производительные силы. — Вологда, 1928. — С. 49-58.
5. Баранов С. Ю. Лен и его история // Культура Вологодского края: рукоделия и ремесла: (учебное пособие к факультативу. курсу для учащихся 9-10 кл.). — Вологда, 2004. — С. 5 – 7.
6. Льняной кластер Вологодской области // "Стратегия и тактика реализации социально-экономических реформ: региональный аспект", международная научно-практическая конференция. Материалы VI Международной научно-практической конференции (г. Вологда, 6-8 октября 2011 г.). В 3 ч.: [сборник докладов]. Ч. 1. / [редкол.: В. А. Ильин (рук.) и др.]. — Вологда, - С. 151 – 156
7. Научно – прикладной справочник по климату СССР, серия 3, выпуск 12, Гидрометеиздат, 1989.
8. Лосев А. П. Сборник задач и вопросов по агрометеорологии: учебное

пособие //М.: Инфора-М. – 2018.

9. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – 1984.
10. Агрометеорология: учебник / Л.Л. Журина. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2018. — 350 с.
11. Основы агрометеорологии: учебное пособие [Электронный ресурс] / Л. И. Виноградова; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2020. – 160 с.
12. И. Г. Грингоф, А. Д. Пасечнюк Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения: учеб. для гидрометеорол. сред. спец. учеб. заведений Росгидромета Санкт-Петербург 2005.
13. Учебно-методическое пособие по выполнению практических и расчётно-графических работ по дисциплине «Прикладная климатология» / Сост.: В.Н. Абанников, И.Н. Ааед Мханна, Э.В. Подгайский. – Санкт-Петербург: Изд-во «Ниц Арт», 2022. – 80 с.