

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИГ РАН)

на правах рукописи

Кузнецова Вероника Викторовна

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ
В ПОВОЛЖЬЕ ПО ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

Специальность:

25.00.25 – «Геоморфология и эволюционная география»

диссертация на соискание ученой степени

кандидата географических наук

Научный руководитель:

член-корреспондент РАН,

доктор географических наук

Соломина Ольга Николаевна

Москва 2020

Содержание

Введение	4
Глава 1 Палеоклиматические и палеогидрологические реконструкции по дендрохронологическим данным (состояние вопроса)	10
1.1 Принципы дендрохронологии	10
1.2 Развитие дендроклиматологии в России и за рубежом	12
1.3 Реконструкции засух и речного стока по дендрохронологическим данным.....	15
1.4 Дендрохронологические работы на территории Русской равнины, в Поволжье...	18
Глава 2 Район исследований, материалы и методы	22
2.1 Район исследований	22
2.1.1 Рельеф и географическое положение	22
2.1.2 Климат	23
2.1.3 Растительность.....	31
2.1.4 Почвы и ландшафты.....	33
2.2 Древесно-кольцевые данные	37
2.2.1 Сбор и обработка древесно-кольцевых данных	37
2.2.2 Построение древесно-кольцевых хронологий по радиальному приросту.....	38
2.2.3 Данные о линейном приросте сосны	39
2.2.4 Климатический сигнал в хронологиях и дендроклиматические реконструкции	41
2.2.5 Реперные годы	42
2.2.6 Построение плавающих дендрошкал и их перекрестное датирование.....	43
2.2.7 Эксперимент по выявлению индивидуальных особенностей прироста сосны в глубине и на опушке леса (Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник)	44
2.3 Гидрометеорологические данные, использованные в работе	45
2.3.1 Климатические данные	45
2.3.2 Данные о речном стоке	47
2.3.3 Комплексные климатические показатели	51
Глава 3 Новые древесно-кольцевые хронологии Поволжья	58
3.1 Хронологии по живой древесине	58
3.2 Региональные мастер-хронологии РГ1, РГ2, РГ3	74
3.3 Региональная хронология MasterTY	78
3.4 Хронологии по архитектурной древесине	79
Глава 4 Климатический сигнал в древесно-кольцевых хронологиях.....	101
4.1 Связь радиального прироста сосны в Поволжье с основными гидрометеорологическими параметрами	101
4.1.1 Связь хронологий по ширине годичных колец с температурой	102
4.1.2 Связь хронологий по ширине годичных колец с осадками.....	105
4.2 Связь радиального прироста сосны с индексом scPDSI и речным стоком.....	110
4.2.1 Связь хронологий по ширине годичных колец с индексом суровости засухи Палмера (scPDSI).....	110
4.2.2 Связь хронологий по ширине годичных колец с речным стоком	113
4.3 Связь прироста сосны с осадками разного генезиса	116

4.4 Связь линейного и радиального прироста сосны обыкновенной в биотопах разного типа с осадками разного генезиса (Керженский заповедник).....	124
4.5 Первые результаты эксперимента в Волжско-Камском государственном природном биосферном заповеднике (Татарстан) по изучению индивидуального прироста древесины на опушке и в глубине леса	132
4.6 Реперные годы в мастер-хронологиях.....	139
Глава 5 Палеоклиматическая и палеогидрологическая информация в новых древесно-кольцевых хронологиях Поволжья	150
5.1 Реконструкция речного стока и условий увлажнения в Поволжье методом дендрохронологии	150
5.1.1 Реконструкция речного стока.....	151
5.1.2 Реконструкция индекса суровости засухи Палмера (scPDSI).....	157
5.1.3 Сравнение полученных реконструкций с палеоклиматическими и инструментальными данными.....	162
5.2 Палеоклиматическая информация в длинной хронологии Volga.....	171
5.4 Реперные годы в хронологии	175
Заключение.....	181
Список литературы.....	185
Приложение.....	209

ВВЕДЕНИЕ

По инструментальным данным с начала XXI века рост глобальной температуры приземного воздуха составляет 0.17-0.18°C/10 лет (IPCC, 2013). В России эта величина превосходит среднее планетарное потепление в 2,5 раза и достигает 0,47°C/10 лет (Доклад..., 2018), что сопровождается увеличением частоты и интенсивности опасных природных явлений – засух, которые наносят существенный вред населению и экономике страны (Доклад..., 2017). Современные климатические модели воспроизводят увеличение частоты и интенсивности засух, вызванных не только ростом глобальной температуры, но и изменениями общей атмосферной циркуляции (IPCC, 2013).

Однако до сих пор высока степень неопределенности в региональных оценках естественной климатической изменчивости и ее долгопериодных циклов. Уточнение этих оценок напрямую связано с продолжительностью инструментальных наблюдений за гидрометеорологическими параметрами – температурой воздуха, осадками и т. д., которая на Европейской территории России в основном не превосходит столетия. В связи с этим возникает необходимость продления рядов наблюдений при помощи косвенных источников информации о климате, одним из которых является радиальный прирост древесины – параметр, напрямую связанный с климатом и его динамикой. Дендрохронологический метод позволяет продлить существующие ряды инструментальных наблюдений и создать количественные реконструкции климата с высоким разрешением (сезон, год) на несколько столетий.

Связь прироста древесины и климатических характеристик на территории умеренных широт подробно изучена европейскими, американскими, российскими специалистами и описана во многочисленных публикациях (см. например, Wilson, 2016, Schweingruber and Briffa, Мазепа, 1986, 1996; Briffa et al., 2001a,b; Ваганов, 1996, Hellmann et al., 2016). Реакции радиальных приростов на колебания климата хвойных пород на территории европейской России посвящены труды российских ученых [Молчанов, 1961, 1967, Чернавская, 1985, Chernavskaya et al., 1996, Пушин и др., 2000], З.Н. Самаровой [Самарова, 1992], Матвеева с соавт. [Матвеев, 2003, 2005, 2012, 2013], О.Н. Соломиной [Соломина и др., 2016], В.В. Мацковского [Мацковский, 2013].

На территории Русской равнины и в Поволжье естественным ограничением метода является низкая средняя продолжительность жизни древостоя (150 лет) в сочетании с высокой антропогенной нагрузкой на территорию. Однако, эта проблема решается при помощи построения и последующего датирования «плавающих» дендрошкал по

исторической (архитектурной) и археологической древесине, что позволяет продлить хронологии по ширине годовичных колец живых деревьев на сотни и тысячи лет назад.

Анализ имеющихся литературных источников [Краснобаева, 1972, 1986, 2006; Яруткин, 1972; Сухов, 1998; Демитрова, 2000; Гишин, 2006, 2008; Котов, 1981; Демаков, 1998а,б; Тимофеев, 2007; Ефимова и др., 2017; Kosareva et al., 2017; Askeyev et al., 2005; Мазуркин и др. 2014] показывает, что, несмотря на большое количество работ по дендрохронологии этого региона, собственно палеоклиматических реконструкций, основанных на ширине годовичных колец деревьев Поволжья, мало. Хронологии нуждаются в продлении, увеличении репрезентативности на отдельных участках и продолжении в направлении современности, так как это дает возможность использовать в моделях более длинные ряды метеорологических наблюдений. Дендроклиматические сведения представлены весьма неполно и для отдельных локаций. Работы, в которой был бы проведен детальный анализ климатического сигнала хвойных пород для обширной территории Поволжья, в том числе и пространственной неоднородности этого сигнала, пока нет.

Таким образом, существует необходимость комплексного исследования связи радиального прироста древесины Поволжья и климатических параметров, прежде всего для реконструкции динамики климата на территории региона за последние столетия.

Отсюда вытекает *цель этого исследования* – выявление закономерностей изменений регионального климата на основе комплексного пространственного анализа климатического сигнала в данных о радиальном приросте сосны обыкновенной на территории Поволжья, а также реконструкция динамики гидрометеорологических условий за последние два столетия по дендрохронологическим данным.

Для достижения этой цели нами были поставлены и решены следующие *задачи*:

1. Сбор и обработка дендрохронологических данных по живой и исторической древесине сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), построение локальных древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) и их объединение в региональные ДКХ для трансекта северо-запад-юго-восток (СЗ-ЮВ);
2. Датирование древесины из исторических объектов Поволжья относительно длинных хронологий по живой древесине и построение длинной непрерывной ДКХ на основании данных о радиальном приросте живой и исторической древесины;
3. Пространственно-временной анализ регионального климатического сигнала ДКХ по живой древесине сосны обыкновенной и его изменения с СЗ на ЮВ;

4. Реконструкции речного стока и индекса суровости засухи scPDSI на территории Поволжья с помощью древесно-кольцевых хронологий по живой древесине и выявление долгопериодной динамики условий увлажнения в регионе.

Подробное описание индекса суровости засухи Палмера (scPDSI), интегральной характеристики температуры и осадков, отражающей одновременно засушливые условия и условия переувлажнения, приведено в главе 3 настоящей работы.

В основу исследования положено 22 древесно-кольцевых хронологий: 15 хронологий по живой древесине, отобранных в республиках Татарстан, Чувашия и Марий Эл, а также в Пензенской и Самарской областях: в Национальном парке Марий Чодра, в заповеднике Большая Кокшага (Республика Марий Эл), в Жигулевском заповеднике (Самарская обл.), в заповеднике Приволжская лесостепь (Пензенская обл.), в Волжско-Камском государственном природном биосферном заповеднике на территории Республики Татарстан, а также 7 хронологий, составленных на основании данных архитектурной древесины, отобранных в Республике Татарстан, в Ульяновской и Самарской областях. Все области, на территории которых проводилось исследование, входят в состав Поволжского экономического района и поэтому в дальнейшем, мы называем район работ Поволжьем, подразумевая вышеперечисленные субъекты.

Основные защищаемые положения:

1. В Поволжье ширина колец сосны обыкновенной, произрастающей в условиях умеренного и недостаточного увлажнения в пределах средне- и южнотаежных сосновых лесов и широколиственно-хвойных подтаежных лесов (на севере региона), смешанных умеренно-широколиственных лесов (в центральной части региона) и широколиственных лесостепей и луговых степей (на юге), зависит от сочетания температуры и осадков вегетационного периода. По мере продвижения с северо-запада на юго-восток связь ширины годичных колец со средней месячной температурой (отрицательная) и осадками (положительная) усиливается, что связано с увеличением континентальности климата.

2. В Поволжье радиальный прирост сосны положительно коррелирует с индексом засушливости scPDSI и с объемом речного стока, что позволило реконструировать эти параметры с 1825 по 2013 гг. (scPDSI, июнь-сентябрь) и с 1827 по 2013 гг. (сток р. Илеть, июль-сентябрь). Для двух реконструкций выделены общие периоды с повышенными (1853-1883 гг. и 1943-1967 гг.) и пониженными (засухи, 1883-1909 гг., 1917-1943 гг., 1967-1980 гг.) значениями параметров, которые согласуются с данными инструментальных наблюдений и исторических источников.

3. Древесно-кольцевой анализ позволил выполнить датирование древесины некоторых архитектурных объектов, в результате чего удалось продлить хронологический ряд по живой древесине до 478 лет и построить новую длинную мастер-хронологию по ширине годовых колец сосны (Volga). Для этой хронологии выявлены годы максимального угнетения прироста и, с помощью данных из исторических источников, установлена связь этих периодов с экстремальными погодными явлениями. На основании хронологии Volga оценена долгопериодная и внутривековая изменчивость прироста сосны с 1640 по 2014 гг.

Научная новизна

- Построена новая длинная поволжская (478 лет) древесно-кольцевая хронология по сосне обыкновенной на основании живой и исторической древесины;
- Впервые для обширной территории Поволжья выявлены пространственные закономерности регионального климатического сигнала в ширине годовых колец сосны;
- Исследована связь прироста сосны и динамики речного стока для пяти малых рек Поволжья и произведена уникальная реконструкция стока реки Илеть за период с 1827 по 2013 гг.;
- Впервые для палеоклиматических исследований реконструирован индекс scPDSI с помощью региональной поволжской мастер-хронологии, что позволило оценить долгопериодную динамику условий увлажнения территории с 1825 по 2013 гг.

Теоретическая и практическая значимость

Юго-восточные районы Восточно-Европейской равнины, в частности, Поволжье, зачастую страдают от засух и, по всей вероятности, частота и интенсивность засух здесь будет увеличиваться по мере продолжающегося потепления [Доклад..., 2018]. Поэтому даже косвенные данные о водообеспеченности этой территории, особенно длиннорядные, имеют первостепенное значение как для решения научных, так и для прикладных задач. Реконструкции изменчивости гидрометеорологических условий в прошлом и составление будущих прогнозов – особенно актуальная научная задача для Поволжья, малоисследованного с точки зрения палеоклиматологии региона. Полученные нами дендрохронологические данные и установленные зависимости приростов сосны от гидрометеорологических параметров могут послужить практической основой для прогнозов динамики речного стока, частоты, продолжительности и интенсивности засух, волн тепла и холода, экстремальных осадков и др.

Они также важны для оценки будущей продуктивности лесов. Такие прогнозы представляют интерес для лесного и сельского хозяйства, а также для других погодозависимых секторов экономики.

Создание длинной хронологии по ширине годовых колец сосны в Поволжье (ДКХ) позволяет произвести анализ динамики прироста древесины, оценить повторяемость опасных природных климатических явлений (засух, периодов с избыточным увлажнением и др.) за последние пять столетий, а также датировать историко-культурные объекты, содержащие фрагменты древесины (архитектурные сооружения, предметы интерьера, археологические находки и т.д.).

Личный вклад автора

Автором произведен отбор, подготовка и измерение дендрохронологического материала (250 древесно-кольцевых серий, на основании которых построено 22 ДКХ по живой и исторической древесине), а также последующий дендрохронологический, дендроклиматический анализ, создана длинная древесно-кольцевая хронология по сосне, построены модели линейной регрессии, произведены реконструкции индекса scPDSI и стока р. Илеть.

Апробация работы

Основные положения работы доложены автором на следующих конференциях:

1. The first results of the individual tree growth analysis of *Pinus sylvestris* in Volga-Kama natural reserve (Стендовый) Автор: Kuznetsova V. Practical Geography and XXI Century Challenges. International Scientific and Practical Conference, 4-6 June 2018, Moscow, Москва, Президиум РАН, Россия, 6 июня 2018;
2. Reconstructions of the streamflow and PDSI using tree-ring data in the Volga region (Стендовый). Авторы: Кузнецова В.В., Пожидаева Д.С. Международная научная конференция Eurodendro, Тарту, Эстония, 7-10 сентября 2017;
3. Possibilities and restrictions of the streamflow and PDSI reconstruction in the Volga region using dendrochronology (Стендовый). Авторы: Кузнецова В.В., Пожидаева Д.С., Международная научная конференция Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology (TRACE), Калининград, Россия, 16-21 мая 2017;
4. Challenges in climatic reconstructions using tree-ring data in Volga region: streamflow and PDSI (Стендовый). Автор – В.В. Кузнецова, 5-я открытая международная научная конференция PAGES (Past Global Changes, 5th Open Science Meeting, Global challenges for our Common Future: a paleoscience perspective, Сарагоса, Испания, 9-13 мая 2017 г.);
5. Возможности и ограничения реконструкции климатического сигнала в Поволжье методами дендрохронологии (Устный). Авторы: Кузнецова В.В., Пожидаева Д.С., IV Всероссийская научная конференция с международным участием "Динамика современных экосистем в голоцене", Пушкино, Россия, 17-20 октября 2016;

6. Возможности и ограничения реконструкции климатического сигнала в Поволжье методами дендрохронологии (Устный). Автор: Кузнецова В.В., 9-ая международная молодежная школа-конференции "Меридиан", Курская биосферная станция ИГ РАН, Россия, 26-29 мая 2016;

7. Climatic signal in early and latewood of coniferous in the Volga region. Possibilities and restrictions of climatic reconstructions. (Устный) Автор: Кузнецова В.В., Международная научная конференция TRACE 2017, Беловежа, Польша, 11-15 мая 2016;

8. XVI Всероссийская научная конференция «Вопросы археологии, истории, культуры, природы Верхнего Поочья», Калуга, 2015;

9. 26th European Dendroecological Fieldweek, Poland, 2015;

10. Большой географический фестиваль молодых ученых, Санкт-Петербург, 2011;

11. Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2011», Москва, 2011

Публикации. Основное содержание и защищаемые положения отражены в 13 научных работах, из них 7 в изданиях, рекомендованных ВАК, из них 6 статей в журналах, входящих в базы «SCOPUS» и «Web of Science», а также 2 статьи в высокорейтинговых журналах, 1 коллективная монография, 5 работ в сборниках материалов конференций.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 212 страницах и включает введение, пять глав, заключение, список литературы и приложения, в том числе 105 иллюстраций и 24 таблицы.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю, чл.-корр. РАН, д.г.н. О.Н. Соломиной за всестороннюю помощь при выполнении диссертационной работы. Автор благодарит профессора кафедры рационального природопользования, д.б.н., Е.И. Голубеву, научного сотрудника ИПЭЭ РАН, к.б.н. Б.Ф. Хасанова, ведущего научного сотрудника лаборатории климатологии ИГ РАН, к.г.н. В.В. Попову за внимание к работе, ценные советы и научные консультации, а также коллег, принимавших участие в научных экспедициях и оказывающих всестороннюю поддержку В.В. Мацковскому, Е.А. Долговой, Н.С. Семеняк, П.Д. Полумиевой, М.Ю. Александрину, В.Н. Михаленко, Д.В. Тишину.

ГЛАВА 1 ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПО ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ (СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА)

1.1 Принципы дендрохронологии

Определяющими принципами дендрохронологии, подробно изложенными в работе Шиятова и соавт. [2000], являются закон лимитирующих факторов, принцип отбора районов и местообитаний, принцип чувствительности. основополагающий метод перекрестного датирования позволяет составлять древесно-кольцевые хронологии, а принцип повторности и униформизма обеспечивает их качество и надежность. В настоящей главе рассмотрим эти принципы применительно к исследуемой территории.

Закон лимитирующих факторов гласит о том, что биологические процессы, происходящие внутри древесных растений, определяются наличием внутреннего или внешнего фактора, который, находясь в минимуме, определяет рост и развитие древостоя на определённой территории. Другими словами, биологические процессы не могут протекать быстрее, чем это допускает лимитирующий фактор. В случае, когда лимитирующий фактор в силу каких-либо причин переходит в разряд оптимальных, скорость роста будет увеличиваться до тех пор, пока другой фактор (факторы) не станет лимитирующим [Шиятов и др., 2000]. Согласно этому принципу, для дендрохронологического анализа наилучшим образом подходят те растения, прирост которых ограничен совокупностью каких-либо лимитирующих факторов, в предельном случае – только одним.

Территория Поволжья, как было показано в главе 1, находится в зоне умеренного климата, где, исходя из предыдущих исследований [Мацковский, 2013, Соломина и др., 2016, 2017], проблематично выделить один фактор, ограничивающий прирост древесины. Однако, север и юг района работ различаются в первую очередь, по условиям увлажнения. Наибольшая чувствительность прироста древесины к климату характерна для древостоев, произрастающих на границах ареалов, что дает основания выдвинуть гипотезу о разнице в климатическом сигнале древостоев на севере и на юге Поволжья, обусловленной законом лимитирующих факторов.

Принцип отбора районов и местообитаний является составной частью закона лимитирующих факторов. Принцип требует, чтобы при проведении дендрохронологических исследований образцы древесины отбирались в тех местах, где

дерево произрастает в наиболее угнетенном состоянии, в максимально неблагоприятных и экстремальных климатических и почвенно-грунтовых условиях – в скальных, заболоченных, засушливых, загрязненных районах и проч. В таких условиях наилучшим образом проявляется принцип лимитирующих факторов.

Так как одна из основных задач настоящего исследования – поиск климатического сигнала в ширине годичных колец, при отборе образцов необходимо было исключить антропогенные воздействия на древостой. Поэтому материалы, используемые в работе, отобраны в пределах «фоновых» территорий – в заповедниках, национальных парках, или на максимальном удалении от населенных пунктов.

Принцип чувствительности заключается в том, что в благоприятных условиях внешней среды на протяжении жизни дерева формируются широкие годичные кольца, а также хорошо выражены изменения прироста с возрастом. Под действием лимитирующих факторов годичное кольцо отражает угнетение дерева, кольца прироста узкие, их ширина значительно колеблется от года к году, возрастная кривая роста выражена слабо. Такие серии колец относятся к «чувствительным» и наилучшим образом подходят для дендроклиматического анализа. Чем сильнее выражена годичная изменчивость прироста, тем более надежным индикатором природных условий она является.

Для отбора образцов на дендрохронологический и дендроклиматический анализ нами выбраны древостои, произрастающие на водораздельных поверхностях в пределах сухих и свежих биотопов [Сукачев, 1944], где деревья, как правило, испытывают дефицит влаги и чувствительны к условиям увлажнения.

Принцип перекрестного датирования разработан с целью относительной и абсолютной датировки времени формирования колец с точностью до года. Принцип является основным в дендрохронологии и заключается в следующем. Под воздействием лимитирующих факторов в определенные годы у деревьев, произрастающих на территории со схожими климатическими условиями, формируются узкие годичные кольца, а в благоприятные годы – широкие. Таким образом у деревьев наблюдается синхронная изменчивость величины прироста, причем чередование широких и узких колец неповторимо во времени. При совмещении графиков ширины годичных колец и производится перекрестное датирование. Метод также позволяет установить годы с выпавшими кольцами и восстановить хронологию. Преимуществом метода является возможность не только составления хронологий по живой древесине, но и датирования

сухостоя, исторической, архитектурной и погребенной древесины.

Принцип повторности гласит, что для наиболее точного и надежного построения древесно-кольцевых хронологий должны выполняться условия использования определенного числа модельных деревьев для территории со схожими природно-климатическими условиями.

Принцип актуализма (униформизма) применительно к дендрохронологии утверждает, что условия окружающей среды, которые оказывают влияние на формирование годичных колец в настоящее время оказывали аналогичное влияние и в прошлом.

В работе применены основные перечисленные выше принципы дендрохронологии и, по возможности, соблюдены законы и правила выбора местообитаний, отбора образцов, их перекрестного датирования.

Экология сосны обыкновенной. Основным материалом для нашей работы служат образцы сосны обыкновенной – евразийского вида, который мозаично произрастает на территории от Пиренейского полуострова до Охотского моря [Петрова и др., 2003, Рысин и др., 2017]. Благодаря двухъярусной корневой системе сосна представляет из себя вид, способный выживать в условиях различного увлажнения – от олиготрофных болот и сухих степей до почв горных скалистых территорий, что делает поиск климатического сигнала у этого вида задачей непростой, особенно, в условиях умеренного климата. Именно поэтому в нашей работе мы сосредоточились на выявлении климатического сигнала в ширине годичных колец сосны, произрастающей в разных природных зонах, сменяющих друг друга с севера на юг и в условиях с различным увлажнением.

1.2 Развитие дендроклиматологии в России и за рубежом

Существует два типа данных о климате – прямые (инструментальные наблюдения) и косвенные (данные о явлениях, связанных с погодой и климатом, например, о сезонных циклах растений и животных, исторические свидетельства, природные индикаторы) [Brázdil, 2010].

Архивы непосредственных наблюдений относительно коротки. В Европе основной архив гидрометеорологической информации начал формироваться в середине 16-го века (1653-1654 гг.), когда появилась первая сеть наблюдательных пунктов, состоящая из 10 станций [Camuffo, 2002]. В середине 17-го века сеть европейских станций активно разрасталась, в то время были заложены старейшие пункты наблюдательной сети, часть из

которых продолжает свою работу и в настоящее время. Так, например, архив данных о температуре воздуха для центральной Великобритании начинается с 1659 г. [Manley, 1974; Parker et al., 1992; Jones and Hulme 1997), а данные об осадках с 1697 г [Wales-Smith, 1971]. Архивы данных об осадках, температуре и давлении для Парижа и Лондона начали формироваться в 1680-х гг. [Legrand et al., 1992; Pfister et al., 1994; Slonosky et al., 2001]. Наблюдения на многих других европейских метеорологических станциях начались в середине 18-го века. В России в это же время, в середине 30-х г. 18 века, во время Великой северной экспедиции, в Сибири появилась первая сеть из 20 метеорологических станций. Лишь столетие спустя, в 1834 г., Николаем I была создана сеть регулярных метеорологических и магнитных наблюдений, которые позднее, в 1849, возглавила учрежденная в Петербурге Главная физическая обсерватория (ныне Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова), ставшая на долгое время единым методическим центром по гидрометеорологическим наблюдениям. Поэтому для нашей страны особое значение имеют косвенные данные о климате, в частности, исторические и дендрохронологические.

Историческими источниками данных по Русской равнине служат исследования, обобщающие данные летописей и календарей природы. М. Боголепов (1908) одним из первых занялся обобщением исторического материала о колебаниях климата на Европейской территории России и относится к основателям исторической климатологии в стране. Наиболее полные исторические сведения о погодно-климатических условиях Русской равнины собраны в трудах И.Е. Бучинского (1957), Е.П. Борисенкова и М.В. Пасецкого (2003). Материалы об основных гидрометеорологических параметрах также отражены в ряде работ по исторической климатологии [Швец, 1978; Раунер, 1981], но к климатическим данным, собранным по косвенным признакам, следует относиться предельно осторожно. Некоторые исследователи делают выводы, например, о засушливости территорий на основании анализа цен на хлеб и данных о неурожаях. Но цены на хлеб могли определяться социально-экономическими условиями, а такой показатель как «голодный год», мог быть связан с эпидемией или нашествием саранчи, а вовсе не с климатическими экстремумами. Также данные о весенних паводках не всегда свидетельствуют об аномальном количестве зимних осадков, так как могут быть вызваны резким таянием снега, при толщине снежного покрова в пределах нормы [Чернавская, 1995]. Поэтому при работе с историческими источниками мы учитывали данные непосредственно о засухах или климатических аномалиях и рассматривали косвенные показатели, такие как голодные годы и неурожаи оговаривая, что точная причина события не известна.

В нашей работе мы использовали обобщающие исследования по исторической климатологии и труды, в которых собрана информация об отдельных явлениях, косвенно связанных с экстремальными природными событиями (голод, неурожай и т.д.). В работах Е.П. Борисенкова и В.М. Пасецкого [1988, 2002], основанных на материалах русских летописей XI-XVII вв., собраны наиболее полные сведения о «необычайных явлениях природы» за исторический период. В качестве косвенных источников об опасных природных явлениях мы использовали работу В.Н. Щепкина (1886), посвященную голоду в России. Как известно, голод на Руси мог быть вызван, в том числе, засухами, заморозками, неурожаями, пожарами и т. д., что имеет непосредственное отношение к климату и представляет интерес с точки зрения исторической климатологии. Также мы использовали работы о стихийных бедствиях в России Д.И. Багалея (1892), труд О.А. Дроздова (1980), в котором собраны данные о засухах, А.С. Ермолова о неурожаях в историческом прошлом (1892).

Давно известно, что годовые кольца деревьев тоже содержат климатическую информацию, однако ее расшифровка представляет собой непростую задачу. Дендрохронология уходит истоками ко временам Леонардо да Винчи, который одним из первых обратил внимание на то, что годовые кольца деревьев являются своеобразным хранилищем информации об условиях жизни дерева. Пять столетий назад Да Винчи также предполагал, что изменчивость ширины годовых колец в засушливых областях зависит от количества осадков [De Rossi et al., 1817]. К. Линнею, основателю биологической систематики, была ясна возможность использования данных о ширине годовых колец для интерпретации внешних факторов природной среды, оказывающих влияние на жизнь дерева. Линнеем было замечено, что в северных районах ширина годовых колец зависит от температуры воздуха [Glock, 1955; Studhalter, 1955]. Первые работы, посвященные влиянию климата на прирост древесины, были выполнены французскими учеными Х. Мартином и А. Браве (1841). В одной из таких работ исследовано влияние климата на прирост деревьев с целью выявления параметров, определяющих прирост. А. Н. Бекетов (1868) отмечал, что факторы природной среды неоднозначно воздействуют на формирование годового кольца и условия, при которых у одних видов сформировалось широкое кольцо, могут у других видов вызывать формирование узкого кольца. Ф.Н. Шведов (1892), профессор Одесского университета, одним из первых исследовал связь годового прироста древесины с осадками и сделал вывод о приуроченности образовавшегося узкого кольца у акации к засушливым годам. В.Д. Ключников (1902) занимался пионерными дендрохронологическими работами и изучал вопросы динамики прироста деревьев в Тульской губернии. Ранние работы по связи прироста сосны с

засушливыми периодами, вызывающими лесные пожары, принадлежат таким ученым как А.В. Тюрин (1925), А.П. Тольский (1934), С.Г. Заозерский (1934). Американским ученым А.Э. Дугласом (1909, 1919, 1928, 1936, 1938) был проведен ряд работ по изучению динамики прироста древесины у долгоживущих пород деревьев – секвойи (*Sequoia gigantea Torr.*), желтой сосны (*Pinus ponderosa L.*) с целью выявления связи прироста с климатическими данными и реконструкции по ним климатических условий прошлых столетий. А. Э. Дугласом было положено начало методу перекрестного датирования, о котором подробнее будет сказано в главе 2. Также вопросами датирования археологических объектов занимались Б. А. Колчин (1962), В.Е. Вихров и Р.Т. Протасевич (1966). Е. Шульман (1945, 1956) одним из первых пришел к выводу о связи годового прироста древесины с циклами солнечной активности и отметил, что вероятность повторения периодов с недостаточным и избыточным увлажнением может быть обусловлена именно солнечной активностью. В 50-х и 60-х гг. XX века В. Е. Рудаковым опубликованы работы (1951, 1953 и др.) по интерпретации анализа ежегодного прироста древесины. Многие работы по дендрохронологии в эти годы строились на интерпретации результатов, полученных по сравнительно небольшому количеству модельных деревьев (в пределах нескольких экземпляров) [В.Н. Старкова, 1968; С.И. Костин, 1965]. Б. А. Колчиным (1962, 1964, 1965) создана уникальная хронология по древнему Новгороду. Указанная хронология позволила выявить и проанализировать годы угнетений сосны обыкновенной с X по XVI в. (за период более чем в 600 лет), а затем продлить дендрошкалу до XX в. (в результате шкала охватывает более чем 12 столетий) [Колчин, 1965]. Для Сибири создан ряд тысячелетних хронологий [Мыглан и др., 2008, 2009, 2012, Мыглан и др., 2015], на основании которых произведены реконструкции гидрометеорологических параметров [Мыглан и др., 2012].

Значительный вклад в развитие отечественной дендрохронологии внесли А.А. Молчанов (1961а,б, 1976 и др.), С.Г. Шиятов и др. (2000), Е.А. Ваганов (1996) и др. Современная дендрохронология в России – бурно развивающаяся область, в которой работают десятки успешных исследователей мирового класса.

1.3 Реконструкции засух и речного стока по дендрохронологическим данным

Основные работы по реконструкции засух выполнены авторами из Соединенных Штатов Америки, где вопрос получения сведений об их частоте и интенсивности в прошлом крайне актуален, особенно, в свете многочисленных экстремальных засух, охватывавших территорию США в XX веке. Так, первые работы по реконструкции засух (индекса суровости засухи Палмера, PDSI) для запада США выполнены еще в 70-х гг.

прошлого века [Stockton, Meko, 1975]. В работах проведен анализ и сравнение засух за исторический период, сведения о которых получены с помощью дендроклиматических реконструкций, с засухами XX века. Авторами установлено, что, например, мегазасуха XVI в. в США была более суровой, чем любая засуха XX в, а засухи конца 50-х гг. XVIII века, 20-х гг. и 50-60 гг. XIX в. были схожими по масштабам с засухами прошлого столетия [Meko et al., 1995; Woodhouse, Overpeck, 1998; Stahle et al., 2000, 2015].

Работы по реконструкции засух на севере Китая показали, что самая сильная засуха произошла в 20-е годы прошлого века, в то же время, для менее интенсивных засух выявлена определенная цикличность (11,4; 9,1; 6,8; 4,0; 2,7 и 2,1–2,0 лет). В работах [Liang et al., 2003; Li et al., 2007] отмечена связь частоты и интенсивности засух с индексом Арктического колебания (АО, Arctic Oscillation). В работе Ли с соавт. [Li et al., 2007] произведена реконструкция засух в северном Китае с помощью восстановленного за период с 1788 по 1999 индекса PDSI.

На основании дендрохронологической реконструкции засух с конца XVI в., выполненной для Центральной Азии, выделены засушливые периоды – с 1640 по 1650 гг. и годы с максимальным увлажнением – с 1940 по 1950 гг. [Fang et al., 2010].

В работе [Helama et al., 2000] проанализирована динамика среднемесячного количества осадков за период с мая по июнь на протяжении малого ледникового периода и средневековой климатической аномалии. Авторами обнаружена связь мегазасухи на севере Европы с засухами в районах, находящихся под воздействием Эль-Ниньо и сделано предположение о возможной причине засух – взаимодействии Южной осцилляции и Североатлантического колебания.

Помимо районов, где фактором, лимитирующим прирост древесины, является дефицит увлажнения, реконструкции засух успешно проводятся и для территорий с, казалось бы, оптимальными условиями произрастания. Успех реконструкции в этом случае зависит от выбора конкретных местообитаний, что будет показано и в нашей работе. Данный факт подтверждают многочисленные работы по реконструкции засух в Германии [Büntgen et al., 2010, 2011], Литве [Vitas, 2004, 2008], Польше [Siwkcki and Ufnalski, 1998; Büntgen et al., 2007; Koprowski et al., 2012], Чехии [Brazdil et al., 2002], Австрии [Dobrovolny et al., 2015], Швейцарии [Büntgen et al., 2006].

Многолетние работы по реконструкции засух методом дендрохронологии привели к созданию атласов засух для различных регионов, в которых объединены результаты усилий многих авторов. Э. Куком с соавт. [Cook et al., 2010] составлены атласы для Северной Америки, Мексики [Stahle et al., 2016], для Старого Света [Cook et al., 2015], для муссонных районов Азии [Cook et al., 2010], Австралии и Новой Зеландии [Palmer et al.,

2015]. В 2020 г. опубликован атлас засух для Европейской территории России, в который, в том числе, вошли некоторые поволжские хронологии, составленные автором настоящей работы [Cook et al., 2020]. Атласы созданы в виде интерактивных карт, на страницах которых представлены реконструированные данные индекса PDSI. С помощью данных, опубликованных в атласах, можно отслеживать динамику и пространственную изменчивость индекса PDSI в прошлом, производить сравнение с современными засухами и оценивать долгопериодные тренды.

Связь между стоком рек Северного полушария и годичным приростом хвойных пород изучена для аридных, субаридных территорий, а также районов с достаточным увлажнением [Carson, 2005, Cook, 2013, Gou, 2007, MacDonald, 2007, Woodhouse, 2006, Karanitsch-Ackerl S. et al., 2019, Güner et al., 2017]. Реконструировать речной сток при помощи дендрохронологического метода в аридных и субаридных районах значительно менее затруднительно, чем в зоне умеренного климата, где на прирост древесины оказывает влияние комплекс физико-географических факторов, и выделить один, доминантный, зачастую проблематично.

Успешные реконструкции речного стока проведены для засушливых районов США: К. Вудахуз [Woodhouse, 2006] реконструирован сток реки Колорадо за период с 1440 по 1999 гг., Мак Дональдом [MacDonald, 2007], а также другими авторами [Stockton, 1973, Pederson, 2001, Case, 2003] показана возможность реконструкций речного стока методами дендрохронологии не только в аридных условиях, но и в более высоких широтах, где связь прироста и речного стока обусловлена реакцией древостоя на испарение влаги с поверхности водосборного бассейна исследуемых рек, где произрастают используемые для реконструкции деревья. Даже в арктических широтах, где деревья чувствительны преимущественно к температуре, возможно проведение подобных реконструкций, связь прироста бореальных лесов с речным стоком также обусловлена его реакцией на увлажненность почвы водосборного бассейна [Larsen, 1995, Szeicz, 1996, Barber, 2000, Pederson, 2001, Drobyshev, 2004]. Существует ряд работ, в которых произведена реконструкция уровня воды в озерах, связанных с речными системами. Реконструирован уровень воды озера Атабаска с помощью данных о приросте годичных колец древостоя, произрастающего на водосборном бассейне [Stockton, 1973]. Связь прироста с уровнем воды в озере также обусловлена чувствительностью деревьев к увлажненности почвы водосборного бассейна.

Для Сибири Агафоновым и соавт. [Agafonov et al., 2012] проведен анализ связи стока р. Обь и прироста древесины, а также выполнена реконструкция стока реки Обь с 1705 по 2012 гг. по дендрохронологическим данным [Agafonov et al., 2016].

На Алтае климатическому сигналу в ширине годичных колец сосны обыкновенной посвящены работы [Малышева и др., 2011], для региона выполнен ряд работ по дендроархеологии [Быков и др., 2004, 2012, 2014]

Одной из ключевых работ по реконструкции речного стока для северного полушария является работа МакДоналда и соавторов [MacDonald, 2007], в которой выполнена реконструкция стока 6 евразийских рек – Северной Двины, Оби, Печоры, Лены, Колымы и Енисея на основании дендрохронологических данных. В работе показана связь всех рассмотренных рек с влажностью почвы и эвапотранспирацией, что выражается в высоких значимых корреляциях с индексом PDSI.

1.4 Дендрохронологические работы на территории Русской равнины, в Поволжье

На сегодняшний момент для территории ЕТР построен ряд длинных локальных дендрошквал – «археологических» ДКХ, не связанных с настоящим временем и заканчивающихся в позднем Средневековье [Черных, 1996; Карпухин, 2009]. Для севера ЕТР Мацковским (2011) созданы две длинные тысячилетние ДКХ «Вологда» и «Соловки» [Соломина и др., 2011, Мацковский, 2011].

Сравнительным анализом трендов прироста древесины разных пород занимались Лопатин и соавт. [Лопатин, Алексеев, 2009; Lopatin et al., 2006]; региональные реконструкции температур теплого и холодного сезонов за последние 2000 лет представлены в работах [Klimenko et al., 2010, Клименко и др., 2012, Клименко и др., 2013], региональные хронологии построены в работах [Kononov et al., 2009, Румянцев, 2010; Матвеев и др., 2012а, б и др.].

Мацковским и соавт. (2016) выполнен дендроклиматический анализ древесно-кольцевых хронологий в районе Воронежа (Хреновской бор) и оценены условия увлажнения этой территории начиная с 1790 г. В качестве параметра, использованного для реконструкции условий увлажнения, выбраны PDSI и SPEI (рассмотрены в главе 2).

М.М. Чернавской с соавторами по данным дендрохронологии реконструированы среднегодовые температуры на севере Евразии и представлены в обобщающей работе [Чернавская и др., 1995]. Дендрохронологические ряды в этой работе использованы без индексации прироста.

Климатическому сигналу ШКГ в Поволжье посвящен ряд работ. В 70-х годах прошлого века изучением динамики и связи прироста хвойных пород с климатическими параметрами, а также вопросами селекции, экологии, особенностей семеношения хвойных пород в Поволжье занималась К.В. Краснобаева (1972, 1986, 2006). В одной из работ

[Краснобаева и др., 2006] выявлены 11-ти и 35-летние циклы радиального прироста сосны, причем, периоды пониженного прироста являются годами весенне-летних засух и сильных морозов в декабре-феврале.

И.А. Якуткиным (1968, 1974) изучены дендрэкологические аспекты произрастания хвойных и лиственных пород в Среднем Поволжье. М.М. Котовым (1981) рассмотрен вопрос засухоустойчивости и быстроты роста сосны в этом же районе.

Вопросам влияния климатических, гелиофизических и биологических факторов на радиальный прирост древесины ели в Среднем Поволжье посвящены работы И.П. Демитровой (2000), которой, в том числе, рассмотрена изменчивость радиального прироста ели в ельнике-кисличнике и ельнике папоротниковом и выявлена большая связь прироста в ельнике-кисличнике с климатическими параметрами.

Д.В. Тишиным проведен дендроклиматический анализ ели финской на южной границе ареала (Раифский участок Волжско-Камского природного биосферного заповедника). В работе показана связь ели и сосны с осадками летних месяцев, причем ель оказалась более чувствительна к осадкам по причине произрастания на южной границе обитания [Тишин, 2008]. Также для Раифского заповедника имеются сведения о связи радиального прироста сосны с климатическими параметрами – осадками июля [Kosareva et al., 2017].

Ю.П. Демакову принадлежат исследования о влиянии антропогенного загрязнения окружающей среды на состояния сосновых древостоев в Республике Марий Эл [Демаков и др., 2015б,в], динамике породного состава древостоев в заповеднике Большая Кокшага [Демаков и др., 2015а], динамике сосновых лесов в Республике Марий Эл за последние десятилетия [Демаков и др., 2009], согласно которым установлено увеличение площади сосновых лесов на 79,3 тыс. га (1,21% за последние 50 лет).

Влияние засух на прирост сосны в Самарской области (Жигулевский заповедник, лесопарковая зона и пригородные леса г. Тольятти) рассмотрено А.В. Тимофеевым [Тимофеев, 2007, 2008]. Акцент в исследовании [Тимофеев, 2007] сделан на древостои, произрастающие на различных формах рельефа: наиболее подверженными засухам, оказались сосняки с примесью лиственных пород и сосняки на разнотравных склонах Жигулевских гор северной экспозиции. Климатический отклик сосны обыкновенной в Жигулевском заповеднике, подробно рассмотрен в работах О.А. Ефимовой и соавт. (2017) и Д.В. Тишина и соавт. (2018). Согласно проведенному авторами анализу, прирост сосны в заповеднике, в основном, демонстрирует отрицательные значимые корреляции с температурами мая и августа текущего года, а положительные – с осадками августа текущего года.

Вопросами адаптации видов-интродуцентов к нехарактерным для их местообитания природно-климатическим условиям занимался Д.В. Тишин с соавт. [Tishin et al., 2018] на примере ореха маньчжурского (*Juglans mandshurica* Maxim) и амурского пробкового дерева (*Phellodendron amurense* Rupr.). В результате ряда проведенных исследований удалось установить успешную акклиматизацию ореха маньчжурского к условиям умеренного климата, что нельзя сказать о пробковом дереве: для радиального прироста древесины этого вида характерны узкие кольца, что авторы связывают с низкой конкурентной способностью вида, периодическими засухами, холодными зимами и недостатком солнечного света.

Связь фенологии и радиального прироста дуба с климатическими параметрами на территории Республики Татарстан изучена О.В. Аскеевым с соавт. [Askeev et al., 2005]. Появление первого листа у дуба имеет значимую обратную связь с температурами марта и апреля текущего года, радиальный прирост положительно значимо коррелирует с осадками вегетационного сезона (апрель-август) и не имеет достоверных корреляций с температурами.

Среди многочисленных дендрохронологических, дендроклиматических, дендроэкологических работ на территории Поволжья до сих пор нет ни одной реконструкции климата по годичным кольцам, отсутствуют и длинные древесно-кольцевые хронологии. С точки зрения палеоклиматологии Поволжье и сегодня остается белым пятном на картах нашей страны и Мира.

Наиболее близкий к нашему подход был реализован Д.В. Тишиным в его диссертационной работе (2006). На основании образцов, датированных из 7 архитектурных объектов г. Казань, им была построена древесно-кольцевая хронология, охватывающая период с 1630 по 1850 г. Хронология состояла из 9 образцов, что не обеспечило должную наполненность, и значения единого популяционного сигнала (EPS) не достигали уровня $\geq 0,85$, при котором данные могут быть использованы для анализа климата и его реконструкции. Для хронологии выделены годы с минимальным и максимальным приростом. Максимальные угнетения прироста приходятся на XVIII век и объясняются автором неблагоприятными природными условиями в эпоху малого ледникового периода.

В работе Тишина также построено 70 древесно-кольцевых хронологий различной длительности по живым деревьям – по сосне (*Pinus sylvestris*), ели (*Picea abies* (L.) Karst.), пихте (*Abies sibirica* Ldb.) для Среднего Поволжья, а также впервые получены хронологии по дубу (*Quercus robur* L.), липе (*Tilia cordata*) и березе (*Betula pendula*). В данной работе было показано, что хронологии одного вида древесных растений, полученные на соседних

тест-полигонах, обладают высокой достоверной корреляцией и синхронны между собой, а также хорошо перекрестно датируются. Для хвойных видов характерны более высокие коэффициенты корреляции хронологий, полученных для соседствующих местообитаний, по сравнению с лиственными видами. Общим лимитирующим фактором, определяющим прирост деревьев в исследованном районе, является общий недостаток увлажнения при высоких температурах первой половины текущего сезона вегетации.

В работе З.Г. Шакирова и соавторов (2010) представлены результаты датировки археологической древесины раскопа в районе речного вокзала острова-града Свияжска (Верхнеуслонский р-н, Татарстан).

Как видно из приведенного обзора, основная деятельность по изучению радиального прироста древесины хвойных пород сосредоточена в заповедниках и национальных парках Поволжья, есть и работы по отдельно взятым районам и областям. В основном, большинство исследователей делают акцент на лесохозяйственных вопросах, на изучении влияния загрязняющих веществ на радиальный прирост, в некоторых работах рассмотрен локальный климатический сигнал радиального прироста древесины. Реконструкций климатических параметров, а также анализа комплексного воздействия климата на прирост сосны для обширной территории Поволжья до сих пор не существует. Именно поэтому наша работа особенно актуальна в условиях климатических изменений последних десятилетий.

Представленная в нашей работе длинная дендрохронологическая шкала для территории Поволжья послужит новым этапом в развитии исследований климата прошлых столетий региона, а также позволит производить датировки деревянных памятников культурного наследия.

ГЛАВА 2 РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1.1 Рельеф и географическое положение

Территория района работ расположена в пределах Восточно-Европейской платформы, с востока ограничена Уральской горной системой, на севере – Северными Увалами. Западная и юго-западная части района работ расположены в пределах Верхневолжской возвышенности, восточная – на Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Центральная часть региона занята долинами рек Волга и Кама с притоками, к северу от г. Казань берет начало Вятский Увал (рис. 2.1.1). Максимальная высота над уровнем моря составляет 420 м (гора Белебей, Бугульминско-Белебеевская возвышенность). Протяженность района работ, в пределах которого заложены дендрохронологические площадки, составляет 500 км с севера на юг (с 56° с.ш. и 48° в.д. по 52° с.ш. и 48° в.д.) и 500 км с запада на восток (с 54° с.ш. 46° в.д. по 55° с.ш. и 53° в.д.).

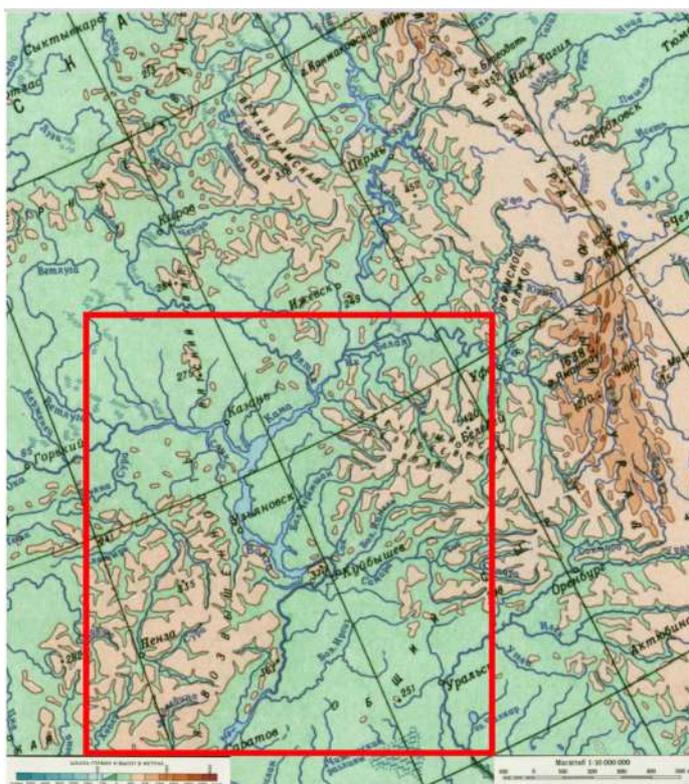


Рисунок 2.1.1 – Физико-географические характеристики района работ [Герасимов и др., 1964]

2.1.2 Климат

Для территории района исследования характерен умеренно-континентальный климат с преобладанием западного переноса воздушных масс, умеренным влиянием арктического воздуха на севере и постепенным увеличением континентальности климата к югу – юго-востоку. Климат восточной части Русской равнины, где расположен район работ, отличается от ее западных и центральных областей большей континентальностью, что выражается в более холодных зимах и увеличении общего количества холодных дней со среднесуточной температурой больше -10°C . Внутри района работ также прослеживается климатическая дифференциация. Так, для севера района работ характерно продолжительное залегание снежного покрова и увеличение его глубины по сравнению с западными областями ЕТР [Алисов, 1956].

Весной увеличение среднесуточной температуры воздуха на всей территории района работ проходит быстрее, чем на западе ЕТР, чему способствуют ветры, приходящие из юго-западных, более теплых в это время года районов. Однако, весной и в начале лета нередки возвраты холодов, происходящие за счет вторжений холодного арктического воздуха. Так, например, на территории республики Татарстан заморозки прекращаются в начале лета. На юге Поволжья континентальность климата проявляется в еще большей степени, чем в северной его части и выражается в периодическом вторжении азиатских воздушных масс, которые зимой снижают температуру, а летом – влажность воздуха. Оттепели зимой редки как на севере, так и на юге района работ. Разница в мощности снежного покрова между севером и югом Поволжья составляет приблизительно 20 см – в Татарстане к концу зимы толщина снежного покрова может достигать 70 см, а в Саратове – 40-50 см. К югу от Саратова этот показатель существенно сокращается. Весенние температуры на юге Поволжья выше таковых на севере региона, что связано с особенностями циркуляции атмосферы: весной в этой части района работ нередки суховеи. В отдельные годы температура воздуха в апреле на юге Поволжья может достигать $+30^{\circ}\text{C}$, а в мае $+35^{\circ}\text{C}$.

В целом, на территории Поволжья осадки в течение года распределены относительно равномерно с максимумом в период с июня по август [Алисов, 1956, Гвоздецкий, 1968, Мильков и др., 1976]. Среднегодовое количество осадков составляет 600-700 мм/год. Самые высокие температуры в течение года приходятся на летние месяцы (июнь, июль), наиболее холодные месяцы – февраль, март (рис. 2.1.2.1).

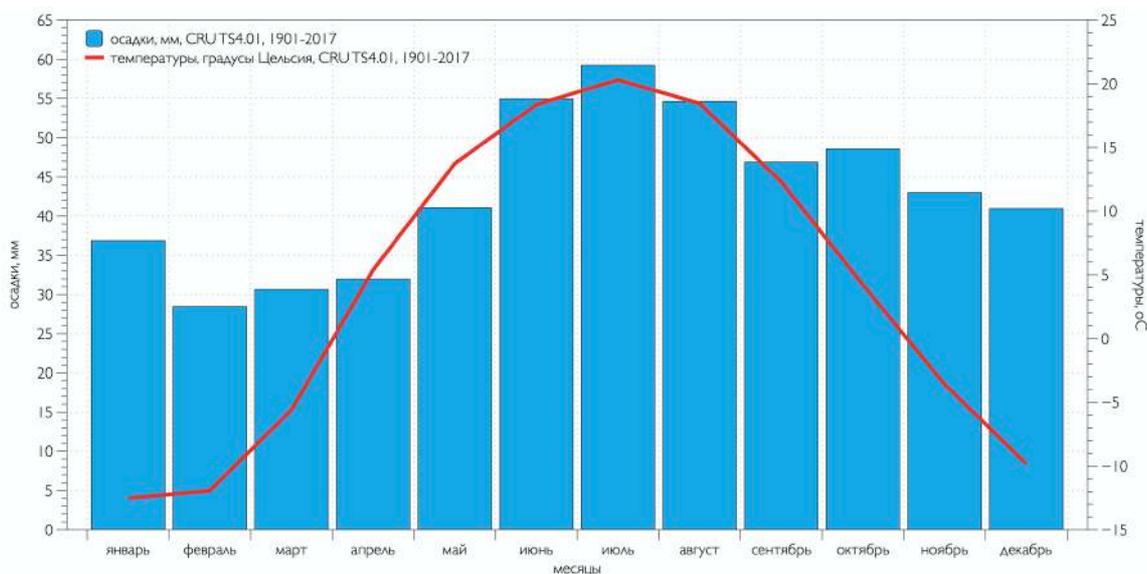
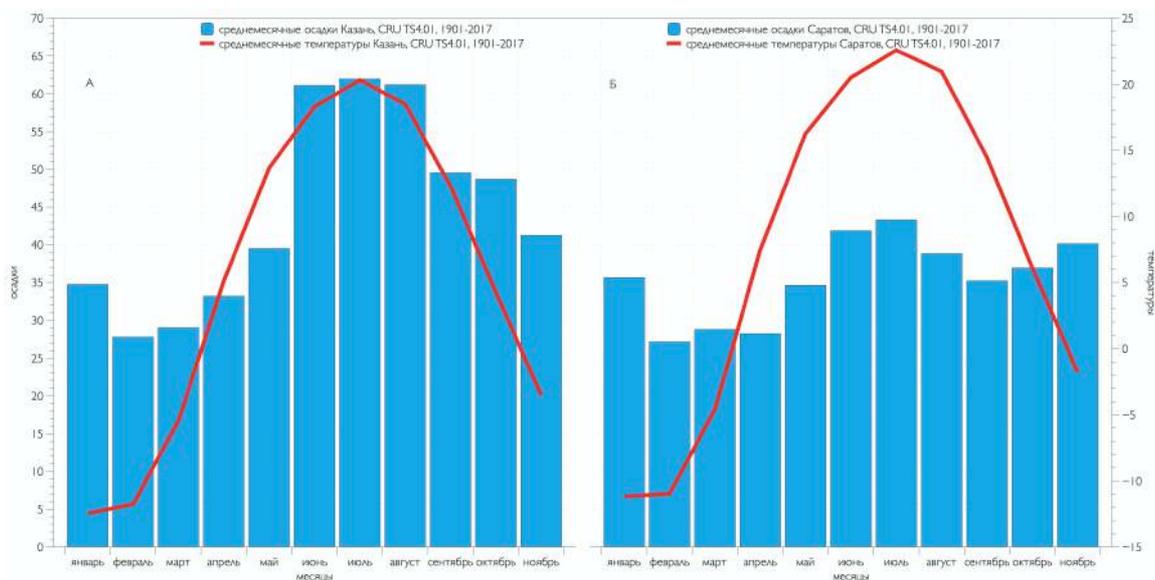


Рисунок 2.1.2.1 – Среднемесячное количество осадков и температура воздуха на территории района работ, по данным сеточного архива CRU TS 4.03 [Harris et al., 2014], 1901-2017 гг.

В силу особенностей географического положения региона, на севере и на юге количество осадков различается, а ход температур – сходный (рис. 2.1.2.1, 2.1.2.2). Для северной части района работ (г. Казань) по данным инструментальных наблюдений CRU TS 4.03 [Harris et al., 2014] за период с 1901 по 2017 гг. сумма осадков за вегетационный период составляет 355 мм (апрель-октябрь), среднемесячные температуры июля +23°C и января -16°C. Для средней части района осадки теплого и холодного периодов незначительно отличаются от северной, к югу их количество постепенно сокращается: на юге региона (г. Саратов) выпадает меньшее количество осадков, чем на севере: сумма осадков за вегетационный период здесь составляет 259 мм. Средняя температура июля +24°C, а января -14°C.

Зимы в Поволжье более суровые, чем, например, в Московской области, что связано с усилением континентальности климата на востоке ЕТР и господством арктических, холодных, воздушных масс.



(а)

(б)

Рисунок 2.1.2.2 – Среднемесячное количество осадков и температура воздуха на территории района работ, по данным сеточного архива CRU TS 4.03 [Harris et al., 2014] на северо-западе (а) и на юго-востоке (б) района работ, 1901-2016 гг.

Тенденции изменения температуры воздуха за апрель-август (1901-2017 гг.). Как показывают данные из доклада об особенностях климата на территории России [Доклад..., 2018], в котором приведены оценки трендов и аномалий по основным гидрометеорологическим параметрам, для Поволжья отсутствуют значимые на 1%-м уровне ($p < 0.01$) тренды для весеннего и летнего сезонов (рис. 2.1.2.3).

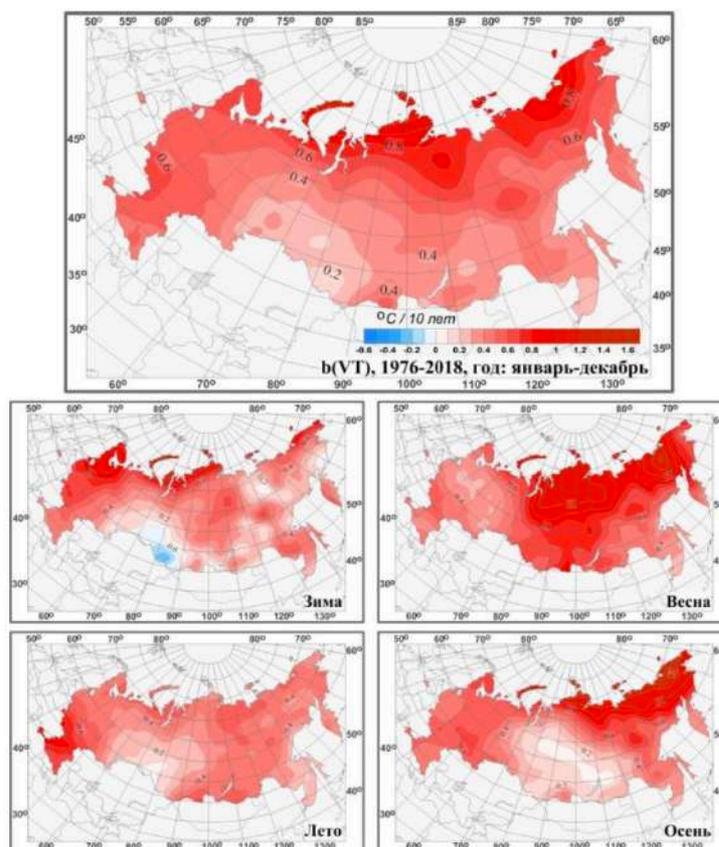


Рисунок 2.1.2.3 – Коэффициент линейного тренда среднегодовой и средних сезонных значений температуры приземного воздуха на территории России за период 1976-2018 гг. (°C/10 лет), [Доклад..., 2018]

Из рис. 2.1.2.5а видно, что для температуры как на северо-западе, так и юго-востоке района работ, характерен незначительный положительный тренд, синхронный на всей территории Поволжья.

Тенденции изменения осадков за апрель-август (1901-2017 гг.). Как будет показано в главе 2, тренды для инструментальных наблюдений - температур и осадков рассчитаны по данным сеточных архивов CRU_TS 4.03 за период с 1901 по 2017 г. с разрешением сетки 0,5° [Harris et al., 2014].

Для Поволжья наблюдается слабая тенденция к сокращению общего количества осадков за весенний и, в меньше степени, за летний период [Доклад..., 2018], но, как и для температур, для осадков тренды слабые и незначимые. Если рассматривать динамику изменения осадков для северо-запада и юго-востока района работ, то частная картина для каждого месяца получается отличной от общих сезонных и региональных закономерностей (рис. 2.1.2.4, 2.1.2.5 б). Несмотря на то, что для отдельных месяцев по двум районам – СЗ и ЮВ, тренды незначимы, рассмотрим их общую динамику.

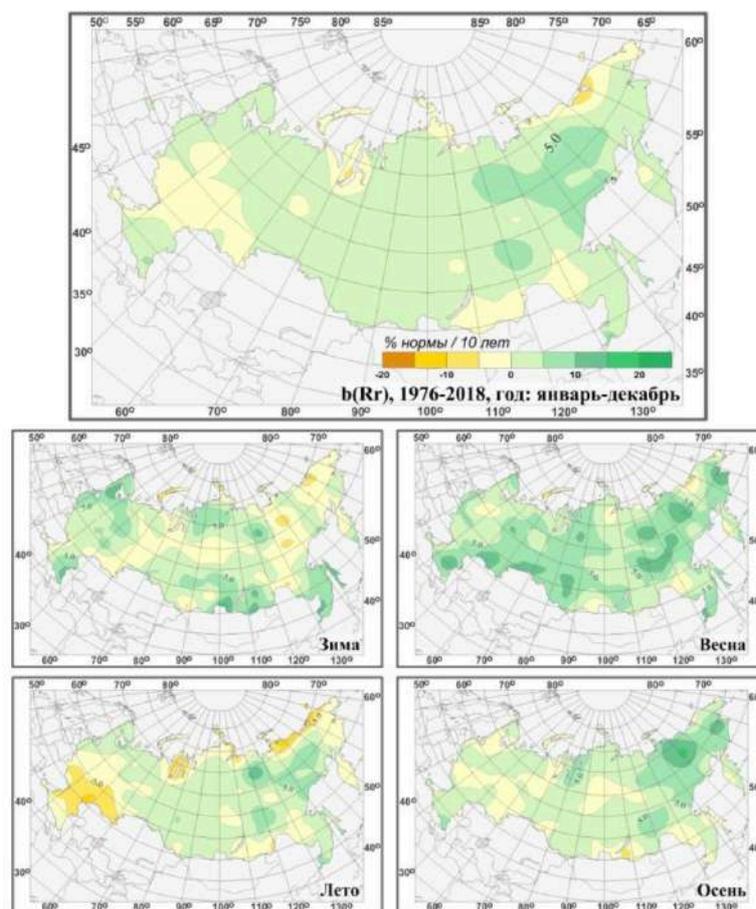
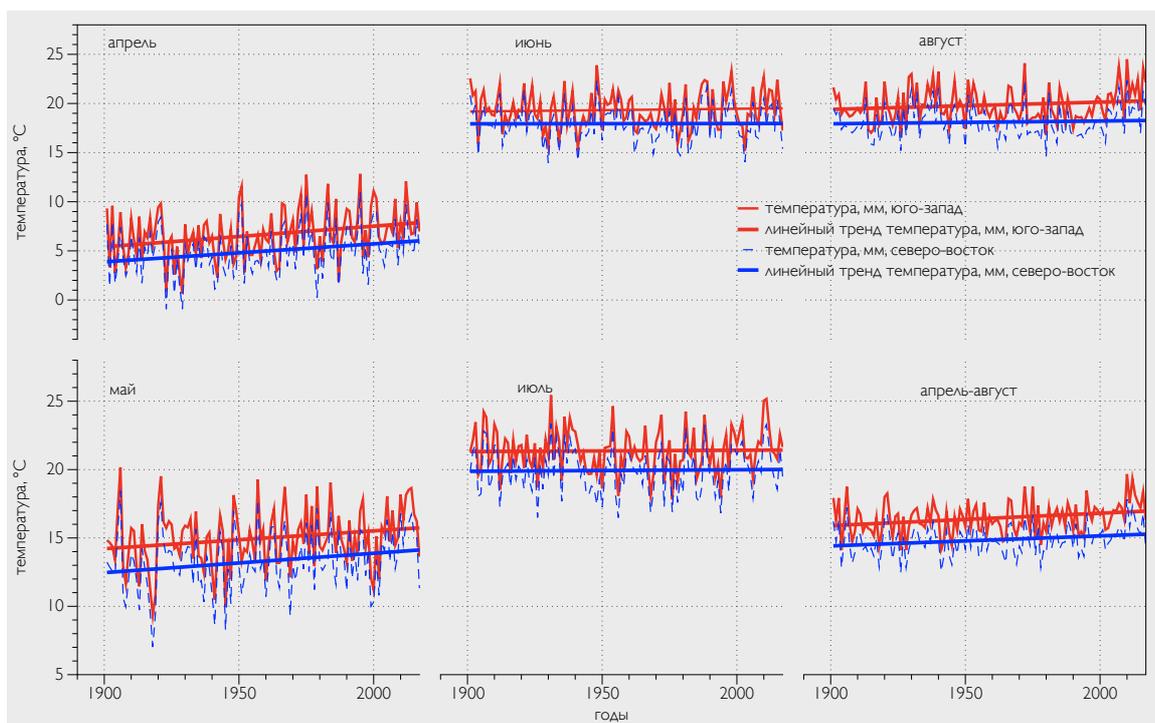
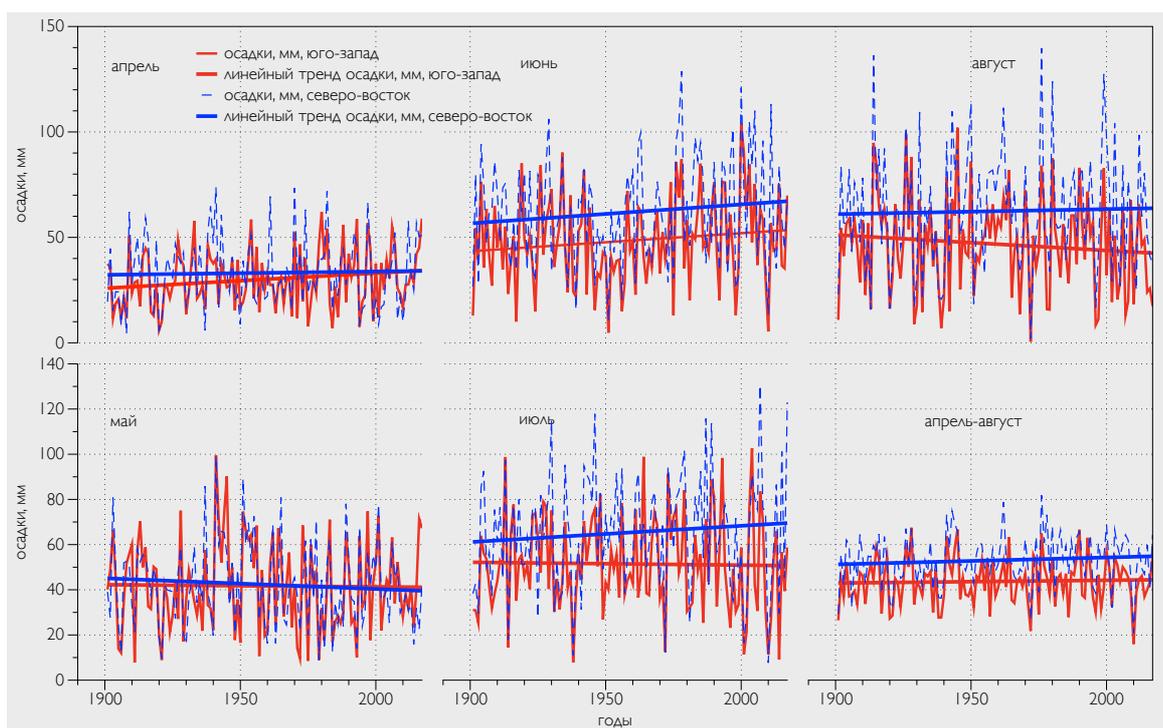


Рисунок 2.1.2.4 – Пространственные распределения локальных коэффициентов линейного тренда годовых и сезонных сумм атмосферных осадков за 1976-2018 гг. на территории России (% / 10 лет) [Доклад..., 2018]

Наиболее согласованно на СЗ и ЮВ (рис. 2.1.2.5) среднемесячные суммы осадков увеличиваются в мае, июне и в целом за период с мая по август, причем, в мае наблюдается дружная тенденция к сокращению осадков, а в остальные месяцы – к слабовыраженному их увеличению. В апреле, более явно выражен тренд к увеличению среднемесячной суммы осадков на ЮВ района работ, в июле на СЗ количество осадков незначительно растет, а на ЮВ сокращается. В августе сумма осадков остается практически неизменной на СЗ Поволжья, а на ЮВ наблюдается незначительный тренд к их сокращению.



а



б

Рисунок 2.1.2.5 – Тренды среднемесячных температур (а) и осадков (б) на северо-западе и юго-востоке района работ за период с 1901 по 2017 гг. по данным CRU.TS 4.03 [Harris et al., 2014]

Таким образом показано отсутствие значимых положительных или отрицательных трендов изменения среднемесячного количества осадков. Однако, для отдельных месяцев в

разных частях района работ тренды имеют разную направленность, что может быть обусловлено отличиями циркуляции атмосферы.

Тенденции изменения scPDSI за апрель-август (1870-2015). Для анализа использованы значения индекса суровости засухи Палмера, scPDSI из сеточных архивов CRU_TS 4.03 за доступный период с 1870 по 2015 г. с разрешением сетки $0,5^\circ$ по широте и долготе [Harris et al., 2014].

Рассмотрим основные тренды значений scPDSI (рис. 2.1.2.6).

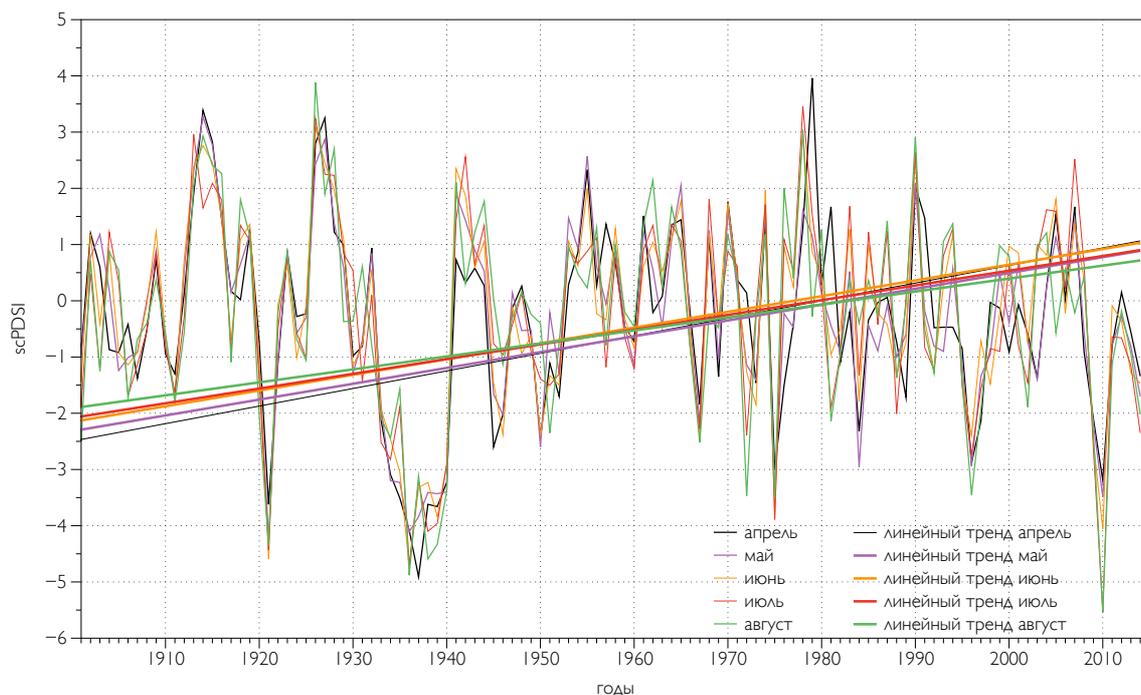


Рисунок 2.1.2.6 – Линейные тренды индекса scPDSI за период с 1870 по 2015 г. по месяцам с июня по сентябрь, рассчитаны по данным сеточного архива CRU TS 4.03 [Osborn et al., 2017]

Как видно из табл. 2.1.2.1 угол наклона линейного тренда для каждого отдельного месяца (июнь-август) существенно не различается за весь период с 1870 по 2015 гг. и составляет $1,5^\circ$. Но при разделении общего периода на две части с 1870 по 1961 гг. и с 1962 по 2015 гг. заметна смена направления тренда с положительного до 1961 г. на отрицательный с 1962 г. (рис. 2.1.2.7, табл. 2.1.2.1), что может быть связано с общей для ЕТР тенденцией к увеличению среднегодовой температуры, начиная с 60-х гг. XX столетия (рис. 2.1.2.8) и сокращению общего количества осадков, в частности, за вегетационный сезон, в Поволжье (несмотря на тенденцию к их увеличению в масштабе России в целом).

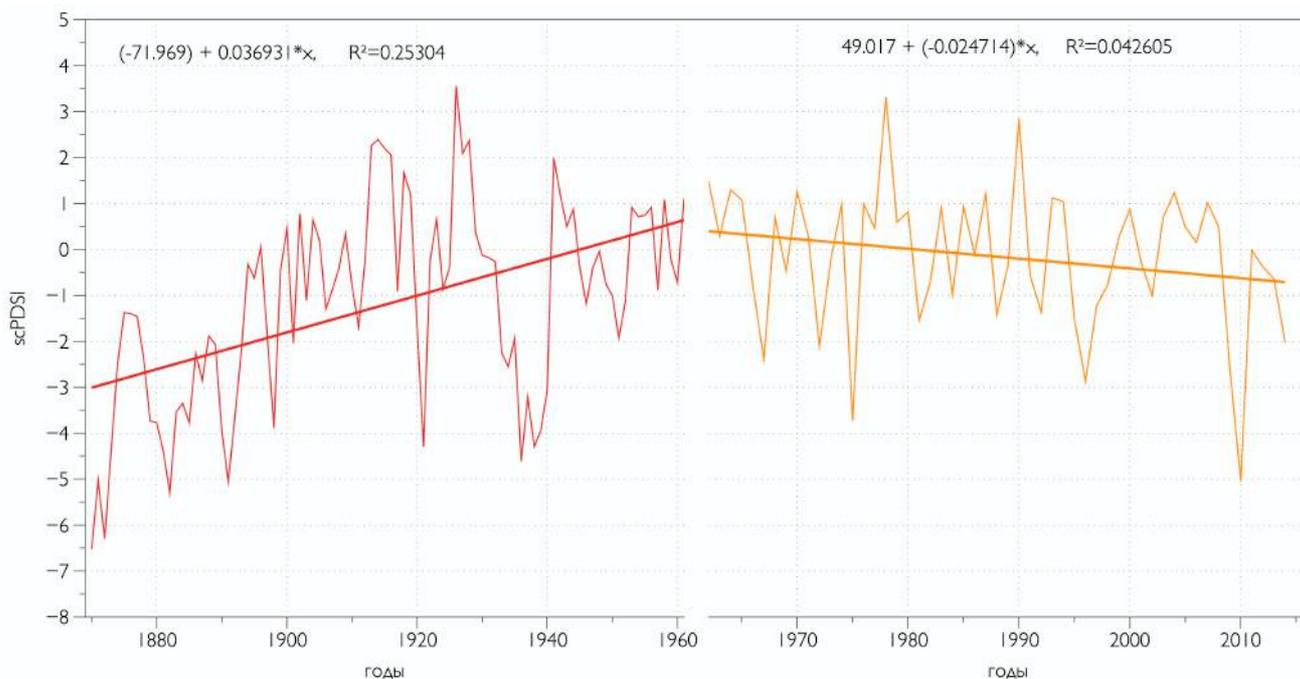


Рисунок 2.1.2.7 – Линейные тренды средних значений индекса scPDSI (июнь-август) за периоды с 1870 по 1961 и с 1962 по 2015 гг.

Таблица 2.1.2.1 Характеристики линейного тренда индекса scPDSI

месяцы	период	уравнение линейного тренда
VI	1870-2015	$(-55.288) + 0.027965*x$ $R^2=0.25005$
VII		$(-51.846) + 0.02619*x$ $R^2=0.22625$
VIII		$(-45.744) + 0.02307*x$ $R^2=0.19181$
IX		$(-46.291) + 0.023406*x$ $R^2=0.22112$
VI-IX	1870-1961	$(-71.969) + 0.036931*x$ $R^2=0.25304$
VI-IX	1962-2015	$49.017 + (-0.024714)*x$, $R^2=0.042605$

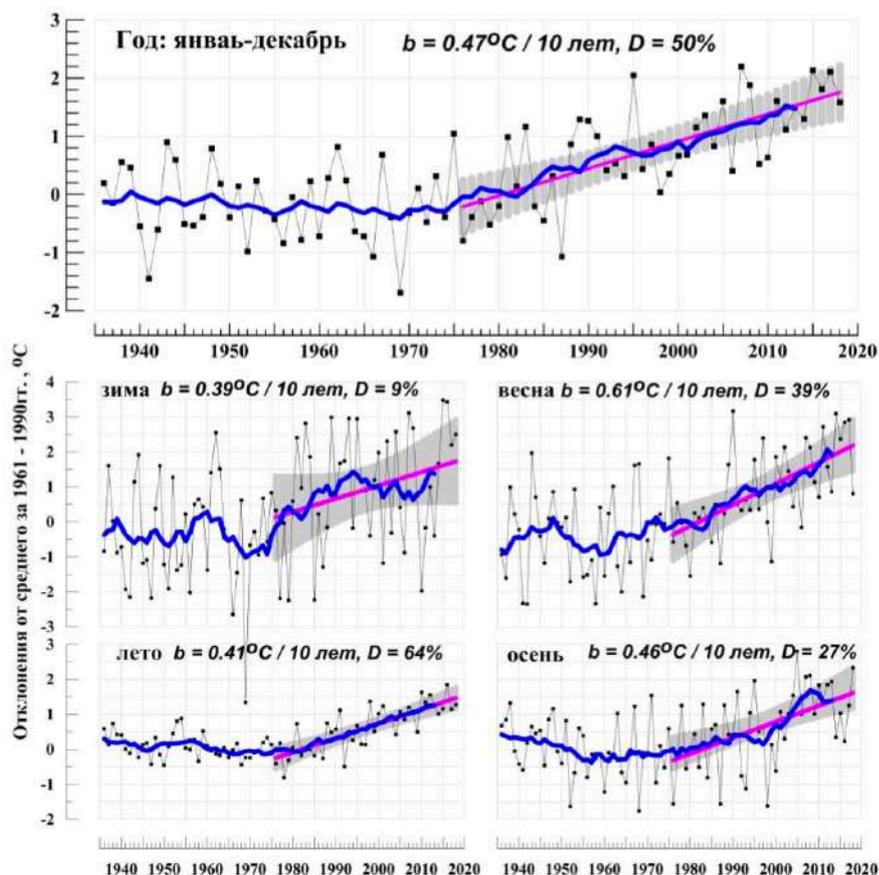


Рисунок 2.1.2.8 – Средние годовые (вверху) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории России, 1936-2018гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг. Показаны также 11- летнее скользящее среднее, линейный тренд за 1976-2018 гг. с 95%-й доверительной полосой; b - коэффициент тренда ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), $D\%$ – вклад тренда в суммарную дисперсию [Доклад..., 2018]

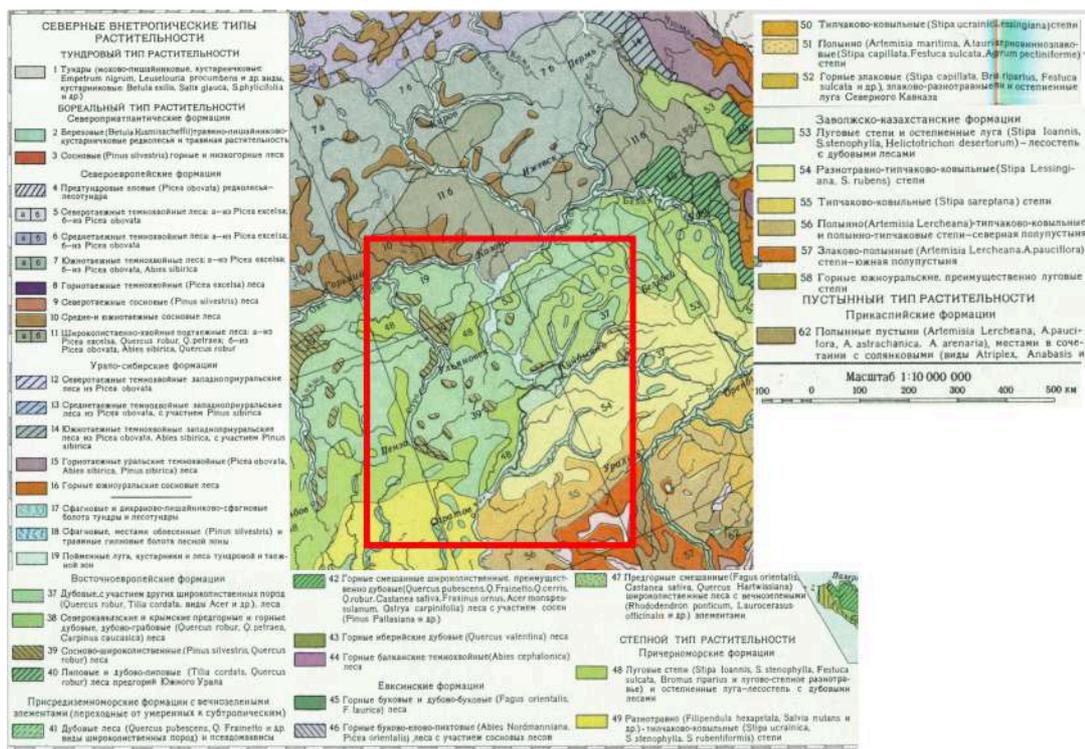
В связи с показанной выше сменой знака тренда scPDSI в конце 60-х – начале 70-х годов XX века в нашей работе использован период с 1960 по 2013 гг. (т.к. использованная в целях реконструкции хронология по живой древесине заканчивается в 2013 г.). Для анализа климатического сигнала сосны расчеты производились за период с 1901 по 2013/15 гг. (в зависимости от года окончания древесно-кольцевой хронологии).

2.1.3 Растительность

Растительность на севере региона представлена средними и южно-таежными сосновыми лесами, широколиственными хвойно-подтаежными лесами с преобладанием *Picea Obovata*, *Abies Sibirica* и *Quercus Robur*. Для центра региона характерны дубовые, с участием других широколиственных пород (*Quercus Robur*, *Tilia Cordata* и др.), леса с фрагментами сосново-широколиственных пород (*Pinus sylvestris*, *Quercus Robur*). На юге

региона расположены луговые степи и остепненные луга-лесостепи с дубовыми лесами (рис. 2.1.3а).

Сосна обыкновенная не является зональной растительностью в Поволжье, однако встречается на всей территории района работ (рис. 2.1.3 б), причем юг Поволжья – это южная граница ареала сосны. В нашей работе особое внимание уделено различиям отклика ширины годичных колец на климатические параметры с учетом географического положения пробной площади (глава 4). Из работ [Шиятов, 2000, Fritts, 1976] известно, что в центре ареала древостои произрастают в условиях, близких к оптимальным и поэтому менее чувствительны к климатическим параметрам, чем деревья, растущие на границах ареала, где на прирост оказывает воздействие определенный лимитирующий фактор. Мы уделяем особое внимание древостоям, произрастающим на южной границе распространения древесной растительности, в пределах которой деревья растут в неблагоприятных климатических и почвенно-грунтовых условиях.



а



б

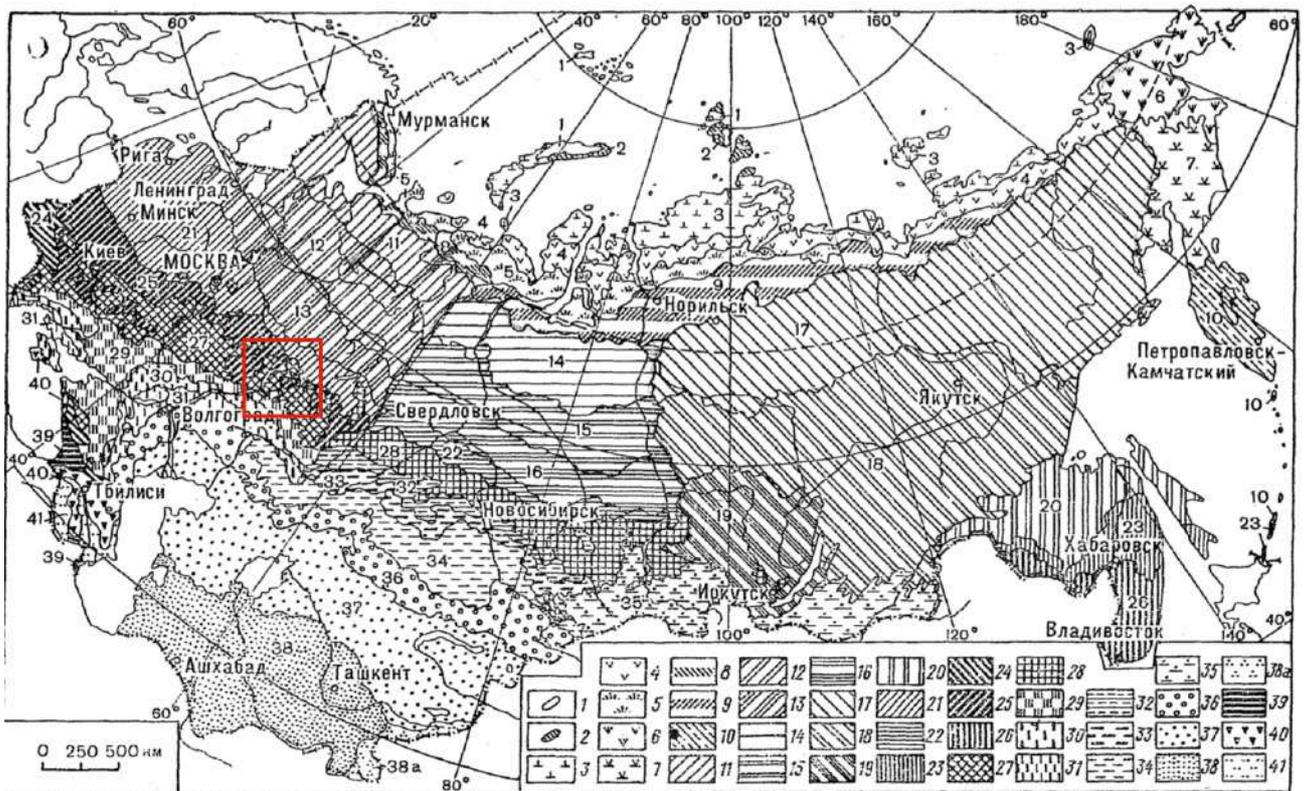
Рисунок 2.1.3 а – Растительность Поволжья [Герасимов, 1964], б – ареал сосны обыкновенной, красным прямоугольником показаны приблизительные границы района работ [Distribution map of Scots pine (*Pinus sylvestris*) EUFORGEN 2009, www.euforgen.org]

2.1.4 Почвы и ландшафты

Почвы района, как и растительность, преимущественно зональные: на севере светло-серые и серые лесные, в центральной части – черноземы выщелоченные и оподзоленные, на юго-западе встречаются черноземы типичные мощные (среднерусские), на юге и юго-востоке – черноземы обыкновенные (рис. 2.1.4.1).

подтаежных лесов. Для средней части района характерны *смешанные широколиственные леса*, южная часть региона занята *зоной широколиственных лесостепей и луговых степей*.

Согласно комбинации комплекса природных физико-географических факторов, таких как географическое положение и обусловленные им климатические условия, рельеф, подстилающие породы, характер растительности, почвы и т.д., на территории района работ выделены несколько типов и подтипов ландшафтов в соответствии с классификацией Исаченко (1985). Так, север и северо-запад района работ характеризуется *суббореальным гумидным типом ландшафтов (широколиственным) с умеренно-континентальным подтипом*, а северо-восток – *бореальным типичным умеренно-континентальным типом ландшафтов с южнотаежным подтипом*. Для центра района характерен *суббореальный семигумидный тип ландшафтов с умеренно-континентальным подтипом*. На юге района располагается *суббореальный семиаридный умеренно-континентальный тип ландшафтов с северностепным подтипом* (рис. 2.1.4.2).



Зональные группы		Секторные ряды типов и подтипов ландшафтов				
I порядка	II порядка	Слабо-континентальные	Умеренно-континентальные	Континентальные	Резко и крайне континентальные	Притихо-океанские
Арктические	Ледниковые			1		
	Полярно-пустынные			42		
Субарктические	Арктотундровые			2		
	Типичные тундровые			42		43
	Южные тундровые			43		6
Бореально-субарктические	Лесотундровые			4		7
Бореальные, переходные к субарктическим	Лесолуговые			43		7
Бореальные (типичные)	Северотавяжные	71 44 8		71 44 9		
	Среднетавяжные					
	Южнотавяжные					
Бореальные, переходные к суббореальным	Подтаежные					33 72 46 10
Суббореальные гумидные	Широколиственные лесные					
Суббореальные семигумидные	Лесостепные					
Суббореальные семиаридные	Северные степные					
	Среднестепные					
	Южные степные (субстепные)					
Суббореальные аридные	Полупустынные					
Суббореальные экстримаридные	Северные пустынные					
	Южные пустынные					
Субтропические гумидные	Влажноресные					
Субтропические семигумидные и семиаридные	Средиземноморские и субсредиземноморские					
Субтропические аридные	Пустынно-степные					

Рисунок 2.1.4.2 – Зонально-ярусная система ландшафтов России, красным прямоугольником показаны приблизительные границы района работ [Исаченко, 1985]

2.2 ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫЕ ДАННЫЕ

2.2.1 Сбор и обработка древесно-кольцевых данных

Для выполнения цели и задач настоящего исследования нами был построен ряд хронологий по сосне обыкновенной. Выбор сосны обусловлен широким ареалом ее распространения, что позволяет сравнивать полученные результаты с результатами работ по дендрохронологии, выполненными исследователями из других стран и опубликованными в авторитетных научных журналах. Кроме того, у сосны хорошо выражены годовичные слои прироста древесины, что позволяет составлять хронологии с высокой точностью. С точки зрения морфологии, у хвойных пород древесина устроена очень просто, что облегчает задачу дендрохронолога при лабораторной обработке образцов. Основными элементами древесины хвойных пород и, в частности, сосны, являются трахеиды (зачастую до 90% объема древесины) и сердцевинные лучи [Шиятов и др., 2000]. Располагаются трахеиды продольными рядами параллельно оси ствола и пересекаются сердцевинными лучами. Годичные кольца у сосны, как правило, выражены отчетливо, что позволяет с достаточно высокой точностью производить измерения ширины годовичных колец, оптической плотности древесины.

Образцы живой древесины для построения *поволжских* древесно-кольцевых хронологий были отобраны в соответствии с основными принципами дендрохронологии, изложенными в разделе 2.1 настоящей главы [Шиятов и др., 2000]. Нами выбраны наиболее старые деревья, произрастающие на водораздельных поверхностях, удаленных от водоемов, с целью извлечения из хронологий значимого климатического сигнала в условиях наличия факторов, лимитирующих прирост [Шиятов и др., 2000]. Дендрохронологические работы в Поволжье проводились на территории заповедников, национальных парков (перечислены в главе 1) или лесов, удаленных от населенных пунктов и промышленных районов, с целью исключения антропогенного влияния на пробные древостои.

Согласно закону лимитирующих факторов и исходя из целей настоящей работы, тип биотопов, в пределах которых заложены пробные площади, близок к сухим или свежим [Сукачев, 1944]. В работе мы формулируем, чтобы впоследствии доказать или опровергнуть, одну из гипотез: в пределах местообитаний с дефицитом увлажнения деревья обладают наибольшей чувствительностью к условиям засухливости.

Отбор дендрохронологических образцов произведен при помощи приростного бурава Пресслера на высоте 1-1,5 м от поверхности земли, по 2 радиуса на каждое дерево. В

камеральных условиях образцы были наклеены на деревянные подложки, отшлифованы при помощи шлифовальной машины и микротомом для увеличения контрастности колец. Для измерений образцы были отсканированы с высоким разрешением (свыше 1200 dpi).

2.2.2 Построение древесно-кольцевых хронологий по радиальному приросту

В работе использованы дендрохронологические образцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), отобранные из живых деревьев и архитектурных сооружений. Для каждой пробной площади измерена ширина годичных колец – радиальный прирост древесины. Измерения производились при помощи специализированных программ CooRecorder и CDendro. Контроль качества образцов выполнен с помощью программы COFECNA [Grissino-Mayer, 2001, Holmes, 1983]. Перед тем как начать работу с данными о годичном приросте древесины и построить древесно-кольцевую хронологию – объединение образцов, необходимо провести процедуру *стандартизации* или *индексирования* и удалить из нее возрастной тренд [Bradley, 2015, Briffa, 2008, Wilson, 2016]. Возрастной тренд в работе удален с помощью программы ARSTAN [Cook, 1985], для чего значение линейного прироста за каждый год поделено на значение точечной аппроксимирующей функции за этот год.

Ко всем образцам применено 100-летнее линейное сглаживание – однопараметрическое семейство низкочастотных фильтров, определяемых специальным множителем Лагранжа p . При применении этого фильтра из ряда дендрохронологических данных (ежегодный прирост годичных колец) производится удаление неклиматического сигнала, индивидуальные особенности прироста деревьев сглаживаются путем осреднения ширины годичных колец деревьев в серии древесно-кольцевой хронологии [Cook, 1981].

Оценка качества построенных хронологий производилась при помощи общепринятого в дендрохронологии критерия EPS (Expressed Population Signal, Briffa and Jones, 1990) – корреляции между средним из N древесно-кольцевых серий и генеральной совокупностью. Значение EPS более 0.85 считается надежным – погрешность хронологии составляет не более, чем 15% по сравнению с генеральной совокупностью (Wigley et al., 1984).

Построение региональных мастер-хронологий

Принцип построения региональной хронологии *MasterTY*. В целях реконструкции индекса scPDSI нами была построена региональная мастер-хронология MasterTY, в которую включены ДКХ T01S, T02S, Y02S, T08S и T06S по следующему принципу. Для каждой хронологии проведен тест на наличие связи с индексом при помощи специализированного программного пакета Treeclim [Zang, 2014, п. 2.2.4], в котором рассчитывались коэффициенты корреляции между значениями радиального прироста и индекса scPDSI. Затем, хронологии с наиболее высоким и значимым на уровне не ниже $p < 0.05$ корреляциями проходили тест на

пригодность для построения модели линейной регрессии (r , r^2 , RE, CE, Durbin-Watson test и проч., см. п. 2.2.4) и в случае, если коэффициенты модели удовлетворяли условиям, необходимым для ее использования в целях реконструкции, хронологии объединялись в одну и последовательно вновь проходили серию тестов. В результате, в хронологию MasterGY вошли те ДКХ, которые показывали наиболее высокие результаты тестов (глава 4, таблица 5.1.2.1).

Выявление *групп площадок* со схожей динамикой прироста **G1 (T24S, T25S), G2 (T01S, T02S, Y01S, Y02S, T19S) и G3 (T06S, T07S, T08S, T10S, T22S)** произведено для последующего дендроклиматического анализа и объединения наиболее чувствительных к гидрометеорологическим параметрам площадок в региональные мастер-хронологии **PG2 (T01S, Y01S, Y02S) и PG3 (T06S, T08S)**. Последние служат для определения комплексного пространственного климатического сигнала и его изменения с севера-запада на юго-восток, а также для выделения реперных лет (п. 2.2.5 настоящей главы, глава 4).

Для установления групп площадок со схожей динамикой прироста мы использовали традиционный для дендроклиматологии метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA), который позволил выделить те дендрохронологические площадки, теснота связи между которыми оказалась наибольшей (Frank, 2010, Hidalgo, 2000). Суть метода заключается в том, что с его помощью производится оценка гетерогенности прироста у набора хронологий и выделяются группы площадок с наиболее близким приростом (G1, G2 и G3). Для каждой индивидуальной площадки внутри трех групп проведен дендроклиматический анализ и выделены хронологии, климатический сигнал которых наиболее высок и значим. Эти площадки объединены в региональные мастер-хронологии PG2 (северо-запад Поволжья) и PG3 (юго-восток Поволжья) для последующего пространственного климатического анализа (п.п. 4.1, 4.2, 4.6) и определения реперных лет. Хронологии с низкими коэффициентами корреляции между ШПК и климатическими параметрами в региональные мастер-хронологии не включались.

Процесс составления мастер-хронологий подробно изложен в главе 3.

2.2.3 Данные о линейном приросте сосны

Данные о линейном приросте (в высоту) предоставлены А.Е. Кухта (ЛАИКС ИГ РАН) и использовались для анализа связи линейного и радиального прироста сосны с осадками разного генезиса на территории Керженского заповедника. Линейные приросты (таблица 2.2.3.1) измерялись в свежих, сухих и влажных местообитаниях, пробные площади были заложены маршрутным методом. Влажные местообитания представляют собой сосняки сфагновые (IV-V бонитет) (*Pineta sylvestris fruticulososo-sphagnosa*) с березой (*B. pubescens*

Ehrh.). В подросте отмечены *P. sylvestris*, *B. pubescens*. Сомкнутость древостоя равна 0,1-0,2. В напочвенном ярусе доминирует *Sphagnum sp.*, в травянистом – багульник *Ledum palustre L.*, пушица *Eriophorum vaginatum L.*, голубика *Vaccinium uliginosum L.*, клюква *Vaccinium oxycoccus L.*; в кустарниковом ярусе – различные виды ивы *Carex sp.*

В свежих местообитаниях сосновые насаждения (*Pineta fruticuloso-hylocomiosa*) характеризуются примесью ели (*P. abies (L.) H. Karst.*) и березы (*Betula pendula Roth*) и II–IV бонитетом. Сомкнутость равна 0.5–0.8. В подлеске обычны крушина *Frangula alnus Mill.*, бересклет *Euonymus verrucosa Scop.*, можжевельник *Juniperus communis (L.)*. В ярусе кустарничков доминируют брусника *Vaccinium vitis-idaea L.*, черника *Vaccinium myrtillus L.*, в напочвенном ярусе – *Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt.*, *Hylocomium splendens (Hedw.) B. S. G.*

В сухих местообитаниях, в сосняках (*Pineta sylvestris cladinosa*) III–IV бонитета подлесок практически отсутствует, в подросте обычны *P. sylvestris*, *B. pendula*. Сомкнутость составляет 0.3–0.4. В кустарниковом ярусе доминирует вереск *Calluna vulgaris (L.)*, в травянистом – злаки *Poaceae sp.* Напочвенный покров составляют лишайники из родов *Peltigera sp.*, *Cladonia sp.*

Формирование рядов годичного линейного прироста осевого побега (междоузлий) сосны проводилось А.Е. Кухта по методике, изложенной в [Кухта и др., 2005]. Возраст всего учетного подроста составлял 12-26 лет. На территории заповедника методом маршрутных ходов заложено 27 пробных площадей (14 – в свежих, 8 – во влажных, 5 – в сухих биотопах). На каждой из них учтено по 5 деревьев [Кухта и др., 2005, Романовская и др., 2017]. Параметры массива данных по линейному приросту приведены в таблице 2.2.3.1

Таблица 2.2.3.1

Длина рядов наблюдений по линейному приросту для различных биотопов

номер пробной площади, свежий биотоп	IX	XI	XII	XIII	XV	XVI	XVII	XXI	XXIII	XXIV	XXV	XXVI
длина ряда наблюдений	10	20	12	16	22	18	12	16	10	11	16	14
номер пробной площади, влажный биотоп	I	II	III	IV	VIII	X	XIV	XXII	XXVII			
длина ряда наблюдений	22	19	23	18	10	10	18	18	21			
номер пробной площади, сухой биотоп	V	VI	VII	XVIII	XIX	XX						
длина ряда наблюдений	15	19	13	17	18	18						

2.2.4 Климатический сигнал в хронологиях и дендроклиматические реконструкции

Для оценки связи между приростом сосны и гидрометеорологическими параметрами вычислялись коэффициенты корреляции Пирсона (r), значимость которых определялась по методу, описанному в работе [Большев и др., 1984].

Реконструкции значений речного стока и индекса суровости засухи Палмера (scPDSI) выполнены при помощи уравнения простой линейной регрессии типа $Y = a + bx$, где b – угловой коэффициент, измеряющий темп изменения реконструированного параметра, x – независимая переменная (в данном случае – ширина годичного кольца), a – свободный член.

Для определения характеристик полученных моделей использованы следующие статистические критерии:

- коэффициент корреляции Пирсона (R), значимость которого оценивалась при помощи t -критерия Стьюдента (критическое значение $p < 0.5$);
- коэффициент детерминации (R^2) – доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая моделью;
- скорректированный коэффициент детерминации (Adjusted R^2) – позволяет оценивать модели с разным числом факторов, чтобы их число не влияло на статистику R^2 ;
- коэффициент эффективности построенной модели (Coefficient of efficiency, CE);
- ошибка восстановления (reduction of errors, RE);
- Критерий Дурбана-Уотсона (Durbin-Watson Test (DW)) – оценивает автокорреляцию остатков в модели.

При тестировании построенных моделей для общего периода инструментальных данных (для стока р. Илеть с 1965 по 2013 гг., для индекса scPDSI с 1950 по 2013 гг.) выделены периоды калибровки и верификации, для которых произведен расчет перечисленных выше статистических характеристик. Подробно статистика построения моделей для дендроклиматических реконструкций описана в работе [Cook et al., 1990].

В основном все статистические процедуры выполнены при помощи специализированных программных продуктов dplR [Bunn, 2008], Treeclim [Zang, 2014], PointRes [van der Maaten-Theunissen et al, 2015], написанные для программной среды R.

Для того чтобы выявить долгопериодную изменчивость реконструированных значений речного стока и индекса scPDSI к данным (глава 5) применено сглаживание методом 11-летнего скользящего среднего. Данный интервал выбран неслучайно: нами проведены сглаживания по 3, 5, 7 и 11 годам и выбран интервал, наиболее подходящий для воспроизведения долгопериодных колебаний для реконструкций продолжительностью до 200 лет (нам удалось реконструировать сток р. Илеть за период с 1827 по 2013 г. и scPDSI за период

с 1825 по 2013 г.). Сглаживание по 11 годам широко используется в работах [MacDonald et al., 2007, Mundo et al., 2012, Babushkina et al., 2017, Соломина и др., 2017].

Для каждой реконструкции рассчитаны значения 1 (Upper/Lower SD) и 2 (Upper2SD/Lower2SD) стандартных отклонений полученных значений (глава 5), а также квантили 0,25, квантиль 0,5 (медиана) и 0,75. Квантили мы использовали для выделения периодов дефицита (значения параметра, расположенные ниже $Q=0.5$ и $Q=0.25$) или избытка (значения параметра, расположенные выше $Q=0.5$ и $Q=0.75$) увлажнения.

Поскольку одна из задач настоящей работы - оценить и восстановить условия увлажнения на территории Поволжья, отдельное внимание в реконструкциях стока р. Илеть и индекса scPDSI уделено годам с минимальными и максимальными значениями этих параметров. За отрицательные экстремумы приняты значения ряда ниже 5-го перцентиля, а за положительные экстремумы – выше 95-го перцентиля (главы 2, 5).

Отрицательные экстремумы, выявленные в рядах как речного стока, так и индекса scPDSI, свидетельствуют о дефиците увлажнения за определенный год, а положительные экстремумы – об избытке влаги. Подобная методика принята как в дендрохронологических [Carson et al., 2005, Woodhouse et al., 2006, Mundo et al., 2012], так и в климатологических работах [Доклад..., 2018, Perşoiu et al., 2019].

Оценка устойчивости корреляций между приростом древесины и реконструируемыми параметрами произведена при помощи специализированного пакета Treeclim [Zang, 2014].

2.2.5 Реперные годы

Для анализа реперных лет [M. van der Maaten-Theunissen et al., 2015] в нашей работе использованы следующие индексы: индекс устойчивости (resistance index) – рассчитан для лет с минимальным приростом на основании ширины кольца (ШГК) года с угнетением относительно ШГК предшествующего года; индекс восстановления (recovery index) – соотношение ШГК после года с угнетением прироста и непосредственно в год угнетения; индекс сопротивления (resilience index) – соотношение ШГК до и после года угнетения; индекс относительной устойчивости (relative resilience index) – ШГК в год угнетения прироста [Lloret et al., 2011]. Перечисленные индексы позволяют оценить не только степень угнетения прироста древесины в год с экстремальным значением ШГК, но и учесть изменчивость ШГК за год и через год после угнетения с целью оценки степени воздействия фактора, лимитирующего прирост, на формирование кольца в последующие годы. Также для хронологий проведено сравнение лет с максимальным угнетением прироста (годы, за которые минимум 75% деревьев имеют положительное отклонение от средней ширины кольца на 60% или отрицательное на 30%) с данными о фактических температурах за вегетационный сезон

(июнь-сентябрь), осадках за период с июля по сентябрь и scPDSI (июнь-сентябрь). Осреднение фактических количественных данных производилось на основании анализа чувствительности ШГК к параметру (глава 4). Для подтверждения полученных закономерностей нами выполнено сравнение всех перечисленных выше данных с историческими источниками, которые свидетельствовали, что в конкретный год с угнетением прироста также на территории региона засвидетельствована засуха, голод или неурожай.

2.2.6 Построение плавающих дендрошкал и их перекрестное датирование

Обработка образцов для дендрохронологического анализа выполнена в соответствии со стандартными принципами, приведенными в разделе 2.1.1 настоящей главы.

Для определения года постройки здания и последующего создания длинной древесно-кольцевой хронологии нами произведено перекрестное датирование образцов при помощи программ Rinntech TSAPWin® [Rinn et al., 1996] и CDendro (Cybis Elektronik, 2016), контроль качества датировки выполнен в программе COFECNA [Grissino-Mayer, 2001; Holmes, 1983].

Датирование проводилось на основе нескольких статистических коэффициентов: коэффициента синхронности (Glk, Gleichlaufigkeit), коэффициента корреляции Пирсона (CC, Cross Correlation), индекса перекрестного датирования (CDI, Cross-Dating Index). Коэффициент Glk [Huber, 1943; Eckstein, Bauch, 1969] фактически представляет собой показатель сходства или сходных интервалов (Cx), показывающий процент совпадающих увеличений и уменьшений прироста для двух серий годовых приростов [Schweingruber, 1988]. Коэффициент корреляции Пирсона (CC) также показывает сходство двух древесно-кольцевых рядов, но его значение может быть завышено (увеличиваться без фактического увеличения сходства) при наличии возрастного тренда в обеих сериях годовых колец. Индекс перекрестного датирования (CDI) является интегральным показателем, рассчитываемым для двух серий ширины годовых колец с учетом длины интервала пересечения на основе нескольких статистических параметров: коэффициента синхронности (Glk), коэффициента корреляции (CC), t-статистики критерия Стьюдента (TV, TVBP, TVH) для сглаженных и несглаженных серий [Baillie, Pilcher, 1973].

Для датирования плавающих хронологий сначала произведено перекрестное датирование образцов между собой, с использованием перечисленных выше коэффициентов, и визуального сравнения древесно-кольцевых серий. Затем, выбраны образцы с наиболее высокими статистическими показателями t-value, CC, CDI и на основании этих серий составлена единая плавающая хронология со средними значениями ширины годовых колец. Затем произведено сравнение «плавающей» хронологии с хронологиями по живым деревьям, составленными для отдельных участков региона исследования, с мастер-хронологией для

всего региона. Датирование хронологий произведено лишь в том случае, когда статистические параметры, использованные для датирования, высоки и серии также похожи визуально.

2.2.7 Эксперимент по выявлению индивидуальных особенностей прироста сосны в глубине и на опушке леса (Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник)

Цель этого эксперимента заключалась в выявлении различий между приростом древесины отдельных деревьев в разных экологических и микроклиматических условиях. Для анализа индивидуальных особенностей прироста древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) нами выбраны две площадки (рис. 2.2.7) на границе и в глубине леса (на расстоянии 200 метров от границы леса).

Для проведения анализа нами построены хронологии по ширине годичных колец, длина которых на границе леса (Т24S) составила до 268 лет, в глубине леса (Т25S) – до 252 лет.



Рисунок 2.2.7 – Отбор образцов в Раифском заповеднике

Для каждой площадки нами измерена ширина годичных колец (ШГК), ранняя и поздняя древесина в глубине и на опушке леса, измерен диаметр каждого ствола, на основании которого произведен расчет площади поперечного сечения дерева отдельно для ШГК, ранней и поздней древесины (*Basal area increment*). Для выделения различий индивидуального прироста на двух площадках произведен градиентный анализ главных компонент, PCGA (*Principal component gradient analysis*) [Buras et al., 2016], произведено сравнение площади поперечного сечения на опушке и в глубине леса с целью выявления статистически значимой разницы между приростом в разных экологических условиях. Произведен расчет связи прироста древесины с гидрометеорологическими параметрами – ежемесячными температурами, осадками [Булыгина и др.], индексом суровости засухи Палмера (scPDSI) – данные из сеточного архива CRU TS 4.03 [Osborn et al., 2017] за период с 1901 по 2014 г. с

разрешением 0.5° по широте и долготе, а также стоком реки Меша. Длина рядов данных и сведения о метеорологических постах приведены в табл. 2.2.7.

Таблица 2.2.7 Источники гидрометеорологической информации

	источник	температура	осадки	расход воды
Казань	ВНИИГМИ-МЦД, метеостанция	1828-2015	1936-2010	
р. Мёша	гидропост Пестрецы		1960-2013	1960-2013

2.3 Гидрометеорологические данные, использованные в работе

В разделе приведены основные сведения о климатических данных, использованных в работе – температуре, осадках, а также об индексах, отражающих условия увлажнения (scPDSI) и степень засушливости (Мещерской-Блажевич, D). Так как одна из задач нашей работы заключается в выделении особенностей климатического сигнала в ШГК в разных частях района работ – на северо-западе и юго-востоке Поволжья, в разделе 1.2 главы 1 рассмотрены тренды изменения температуры, осадков и индекса scPDSI для этих районов.

2.3.1 Климатические данные

Данные метеостанций. В работе использованы данные о среднемесячной температуре и осадках из трех метеостанций из каталога ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» (www.meteo.ru) – Саратов, Казань и Поречкое ([Булыгина и др., <http://meteo.ru>], таблица 2.3.1.1). Данные об *осадках разного генезиса* получены на основе срочных стандартных метеорологических наблюдений на российских метеостанциях для периода 1966–2016 гг., предоставлены сотрудниками ИФА РАН и рассчитаны по методике, подробно изложенной в работе [Чернокульский и др., 2018]. В соответствии с этой методикой производилось разделение общей суммы осадков на основании информации о характере погоды в срок, между сроками и морфологическим типом облачности. Для оценки влияния осадков разного генезиса на линейный и радиальный приросты сосны в Керженском заповеднике использовались данные с ближайшей метеорологической станции Нижний Новгород (ВМО №27459, 56,34° с.ш., 43,94° в.д.). Ряды осадков на этой станции являются однородными во времени [Chernokulsky et al., 2019]. Для оценки связи осадков разного генезиса с радиальным приростом сосны на всех

дендрохронологических площадках Поволжья использованы данные метеостанций, указанных в таблице 2.3.1.1).

При выборе метеостанции мы руководствовались следующими критериями:

- близость к дендрохронологической площадке: для работы использованы максимально приближенные к пробной площади метеостанции (рис. 3.1, глава 3);
- длина рядов наблюдений должна быть максимальной;
- данные должны быть однородными и содержать минимальное количество пропусков. В случае их наличия единичные пропуски в рядах наблюдений восполнялись при помощи линейной интерполяции. Если в рядах данных отсутствовало значительное количество наблюдений (выше 5% от всей длины ряда наблюдений) – такие ряды исключались из анализа.

Таблица 2.3.1.1 Сведения об использованных в работе метеостанциях Поволжья

населенный пункт	источник данных	температура	осадки	координаты
Саратов, Саратовская обл.	ВНИИГМИ-МЦД, метеостанция	1937-2008	1966-1991	51.60 с.ш. 46.00 в.д.
Казань, Республика Татарстан	ВНИИГМИ-МЦД, метеостанция	1828-2015	1936-2010	55.80 с.ш. 49.30 в.д.
Порецкое, Республика Чувашия	ВНИИГМИ-МЦД, метеостанция	1923-2017	1966-2017	55.18 с.ш. 46.33 в.д.

Помимо данных метеостанций для анализа использованы данные о температуре и осадках из *сеточных архивов* CRU_TS 4.03 за период с 1901 по 2017 г. с разрешением сетки 0,5° [Harris et al., 2014]. Данные сеточных архивов применялись для площадных сравнений, в случае необходимости выявления климатического сигнала в региональных мастер-хронологиях, построенных для обширных территорий, а также для оценки региональных трендов температуры и осадков. Для сравнения отдельных хронологий с температурами и осадками нами использованы данные ближайших метеостанций (глава 4). Сеточные архивы CRU TS 4.03 также использованы для получения данных о среднемесячных значениях индекса суровости засухи Палмера (scPDSI) за доступный период с 1901 по 2017 гг. [Osborn et al., 2017]. Все хронологии – региональные и локальные, сравнивались со среднемесячными значениями

индекса scPDSI (подробнее индекс рассмотрен в разделе 2.3.3 настоящей главы), рассчитанного для всей площади территории.

Индекс Мещерской-Блажевич (D) рассчитан в соответствии с классической методикой [Мещерская и др., 1978] за период с 1901 по 2013 гг. для района N 53.00-56.5 и E 46.5-53.0 и представляет собой долю региона, покрытую засухами при условии $T > T_{\text{среднее}} + 1^\circ$ и $P < 0.8 * P_{\text{среднее}}$ (см. раздел 2.3.3).

Тренды изменения температур и осадков для периода с апреля по август (наиболее активная фаза жизнедеятельности сосны обыкновенной) рассчитаны для юго-запада ($52.1 - 53.1^\circ$ с.ш. – $44.5 - 50.5^\circ$ в.д.) и северо-востока ($55.4 - 56.5^\circ$ с.ш. – $47.8 - 50.8^\circ$ в.д.) района работ (рис. 3.1, 4.2.11) с 1901 по 2017 гг. с целью сравнения динамики и амплитуды изменчивости рядов наблюдений.

2.3.2 Данные о речном стоке

Речной сток представляет собой интегральную характеристику, которая зависит от совокупности природных и антропогенных факторов. Для режима водных объектов, в том числе, малых рек Поволжья, свойственны сезонные и многолетние изменения – многоводные и маловодные годы. Подробная характеристика водного режима бассейна р. Волги дана в работе Н.И. Коронкевич и соавторов (2010). Как было рассмотрено в разделе 2.1.3, существует ряд работ в России и за рубежом, подтверждающих наличие значимых связей между речным стоком и шириной годовых колец [MacDonald, 2007, Stockton, 1973, Pederson, 2001, Case, 2003, Woodhouse, 2006 и др.].

В нашей работе в качестве одной из задач выступает поиск ответа на методический вопрос – возможно ли использовать метод дендрохронологии для реконструкции речного стока малых рек Поволжья? Для решения этой частной задачи нами были выбраны 5 рек, находящихся максимум в 50 км от пробных дендрохронологических площадок. Нами выбраны те реки, русла которых не были зарегулированы (таблица 2.3.2.1).

Таблица 2.3.2.1 Характеристики малых рек, использованных для сравнения с древесно-кольцевыми хронологиями Поволжья

№	Река	Створ	Расход воды, половодье, м ³ /с	Расход воды, межень, м ³ /с	Номер сопоставляемой хронологии	Период наблюдений	Количество лет
1	Мёша	Пестрецы	119	10	T01S, T02S	1960-2013	54
2	Кондурча	Кошки	55	3	T06S, T07S	1939-1981	42
3	Ик	Нагайбаково	180	20	T08S	1986-2013	28
4	Сура	Кадышево	550	50	T09S, T10S, T19S	1939-1980	45
5	Илеть	Красногорский	140	10	Y01S, Y02S	1965-2013	49

Для каждой перечисленной реки рассмотрены значения стока на предмет поиска и устранения ошибок наблюдений. В случае выявления погрешностей в рядах наблюдений, данные за период, содержащий ошибки, исключались (как в случае с р. Сура и р. Кондурча – использованы данные за периоды с 1939 по 1984 и с 1939 по 1981 т. к. позже реки были зарегулированы).

Расход воды для рек умеренного климата, к которому, в частности, принадлежит бассейн р. Волга, распределен в течение года неравномерно – основной объем стока приходится на апрель-май, в период половодья. В остальные месяцы объем речного стока существенно сокращается (в 10 и более раз).

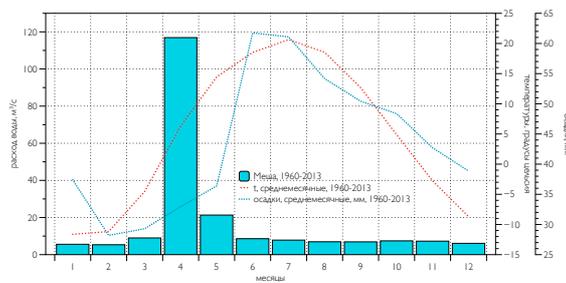
Река Сура – правый приток Волги, наиболее полноводная из рассмотренных, длина русла составляет порядка 840 км, площадь водосбора – 67,5 тыс. км², объем стока – 550 м³/с. В устье р. Сура в 80-х гг. XX века построено Чебоксарское водохранилище, после чего расход воды существенно изменился. В нашей работе использованы данные о стоке р. Сура до момента строительства водохранилища – с 1939 по 1980 гг.

Река Ик – следующая по протяженности и объему стока после Суры, площадь ее водосбора составляет 14 тыс. км², протяженность – 436 км, а объем стока достигает 180 м³/с.

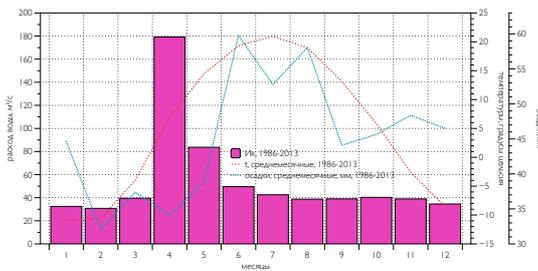
Третье место по объему речного стока занимает р. Илеть (140 м³/с) с площадью водосбора 6450 км² и протяженностью 204 км.

На четвертом месте стоит р. Меша, правый приток р. Камы с объемом стока 119 м³/с, протяженностью 294 км и площадью водосбора 4180 км², а на пятом - р. Кондурча, правый и крупнейший приток р. Сок. Площадь водосбора этой реки составляет 4360 км², а длина русла – 4360 км.

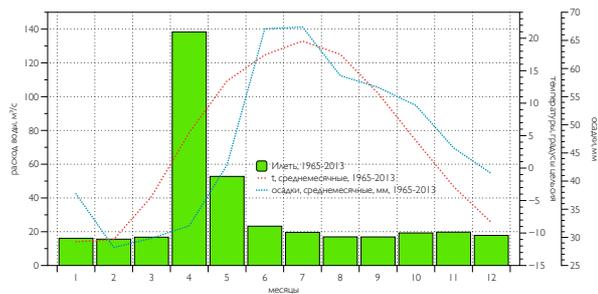
Для всех выбранных нами рек максимальный расход воды, вызванный активным снеготаянием, приходится на апрель-май, в период половодья, причем в апреле сток в 2-5 раз больше, чем в мае (рис. 2.3.2.1). Осенне-зимняя межень выражена слабо, осенние паводки практически не сказываются на объеме речного стока.



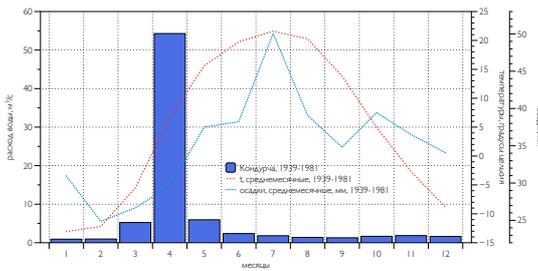
а



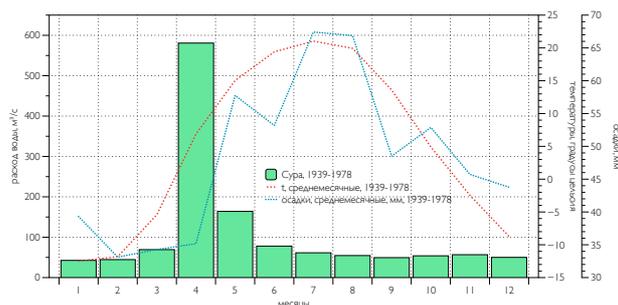
б



в



г



д

Рисунок 2.3.2.1 – Гидрографы рек Меша (а), Ик (б), Илеть (в), Кондурча (г), Сура (д), среднемесячные температуры и осадки ближайших метеостанций за периоды, указанные в таблице 2.3.2.1

Дополнительно проведен анализ связи стока рек со среднемесячными температурами, осадками и индексом суровости засухи Палмера (таблица 2.3.2.2). Выявлены достоверные положительные связи стока большинства рек за период летне-осенней межени с индексом scPDSI. Подобная связь речного стока с scPDSI характерна для большинства рек Евразии [Cook et al., 1999; Dai et al., 2004, MacDonald et al., 2007] и связана с тем, что scPDSI - комплексный индекс, при расчете которого использованы данные об осадках, эвапотранспирации, увлажненности почвы, которые также влияют на формирование речного стока в условиях умеренного климата. Подробная характеристика scPDSI приведена ниже в разделе 2.3.3 настоящей главы.

Таблица 2.3.2.2 Связь речного стока со среднемесячными температурами, осадками и scPDSI за периоды в соответствии с таблицей 2.3.2.1. Цветом выделены статистически значимые корреляции на уровне $p < 0,05$. Периоды, для которых рассчитаны корреляции, соответствуют длине рядов данных о речном стоке согласно таблице 2.3.2.1

месяцы	сток р. Меша и scPDSI	сток р. Меша и температуры	сток р. Меша и осадки	сток р. Кондурча и scPDSI	сток р. Кондурча и температуры	сток р. Кондурча и осадки	сток р. Ик и scPDSI	сток р. Ик и температуры	сток р. Ик и осадки	сток р. Сура и scPDSI	сток р. Сура и температуры	сток р. Сура и осадки	сток р. Илеть и scPDSI	сток р. Илеть и температуры	сток р. Илеть и осадки
январь	0.10	0.48	0.17	0.34	0.33	0.17	0.34	0.35	0.16	0.42	0.40	-0.04	0.06	0.43	0.32
февраль	0.04	0.16	0.15	0.26	0.32	0.24	0.35	0.47	0.28	0.41	0.39	0.22	0.16	0.11	0.24
март	0.21	0.38	0.07	0.24	0.22	0.15	0.45	0.69	0.31	0.37	0.32	-0.04	0.34	0.57	0.24
апрель	0.29	0.23	0.21	0.42	0.15	-0.06	0.32	0.31	-0.23	0.40	-0.23	0.06	0.21	0.43	0.15
май	0.30	0.14	-0.07	0.23	0.08	-0.24	0.28	0.04	-0.03	0.33	0.11	0.06	0.31	0.08	0.03
июнь	0.45	-0.20	0.39	0.29	0.42	0.27	0.60	-0.49	0.66	0.49	-0.36	0.20	0.48	-0.31	0.49
июль	0.46	-0.08	0.31	0.21	0.42	0.24	0.58	-0.27	0.30	0.62	-0.54	0.34	0.48	-0.19	0.21
август	0.36	0.01	-0.02	0.22	0.58	0.23	0.47	-0.44	0.28	0.43	-0.25	0.31	0.41	0.12	0.39
сентябрь	0.36	-0.06	0.18	0.36	0.52	0.29	0.45	-0.27	0.21	0.49	-0.21	-0.14	0.34	-0.02	0.34
октябрь	0.35	0.19	0.22	0.34	0.59	0.08	0.44	-0.16	0.03	0.50	-0.08	0.05	0.49	0.17	0.21
ноябрь	0.26	0.19	-0.03	0.41	0.54	0.26	0.46	-0.01	0.23	0.49	0.46	0.27	0.38	0.37	0.22
декабрь	0.08	0.51	-0.02	0.22	0.31	0.08	0.17	0.06	-0.01	0.26	0.38	-0.11	0.19	0.21	0.06

Связь объема стока большинства рассмотренных рек с осадками, по сравнению с индексом засушливости, выражена слабо (табл. 2.3.2.2): значимые положительные корреляции, в основном, характерны для периода летней межени (июнь-июль, коэффициент корреляции $r \geq 0,31$, $p < 0,05$) и начала осенней межени (сентябрь, коэффициент корреляции $r \geq 0,29$, $p < 0,05$).

Также речной сток демонстрирует прямые значимые связи с температурами в период летне-осенней межени ($r \geq 0,31$, $p < 0,05$), июнь-октябрь) для р. Кондурча, обратные значимые связи с температурами июня-июля ($r \geq -0,36$, $p < 0,05$) и прямые – января-марта ($r \geq 0,4$, $p < 0,05$), ноября-декабря ($r \geq 0,38$, $p < 0,05$) для р. Сура. Для рек Ик и Илеть характерна обратная значимая связь с температурами июня и августа ($r \geq -0,3$, $p < 0,05$) и прямая значимая связь с зимними месяцами ($r \geq 0,43$, $p < 0,05$). Сток реки Меша обладает наименьшей чувствительностью к температурам периода летней межени – значимые корреляции в это время года отсутствуют, выявлена прямая значимая связь лишь с декабрем, январем и мартом ($r \geq 0,38$, $p < 0,05$).

2.3.3 Комплексные климатические показатели

Типология засух. Существует множество определений засух, которые можно подразделить на две группы: засуха как метеорологическое и засуха как агроклиматическое понятие.

В первом случае под засухами понимают длительное преобладание испарения над осадками, сопровождающееся высокой приземной температурой воздуха, достаточной для того, чтобы имеющиеся в почве запасы влаги быстро терялись. Подобные аномалии, обычно, бывают связаны с длительным преобладанием антициклональной погоды. Их часто называют *атмосферными засухами*. Во втором случае под засухами понимаются периоды дефицита увлажнения, которые сказываются на ходе развития и урожайности сельскохозяйственных культур и естественной луговой растительности [Дроздов, 1980]. При втором определении засуха (почвенная) оказывается не чисто метеорологическим явлением, но также почвенным агрономическим. При этом, разные почвы неодинаково быстро снижают свою влажность в корнеобитаемом слое до опасных пределов. Например, если тонкий слой почвы лежит на каменистом грунте (например, в Карелии), засуха, особенно, в весенний период, также наступает в результате даже короткого перерыва в выпадении осадков.

Таким образом, засуха – длительный период с превышением испарения над осадками, приводящий к истощению запасов воды в почве и, тем самым, сказывающийся на урожайности сельскохозяйственных культур и луговой растительности [Дроздов, 1980].

Также существуют классификации засух, например, по степени охвата. И.Е. Бучинский подразделяет засухи локальные ($\leq 10\%$ площади), обширные (11-20%), весьма обширные (21-20%), чрезвычайные ($\geq 50\%$ площади).

В России для фиксации засух за длительный период на основании исторических источников созданы так называемые «каталоги засух», в которых содержится информация об основных засушливых годах в России и на сопредельных территориях.

Комплексные климатические показатели (климатические индексы). В современной климатологии существует ряд индексов, критериев и показателей, которые позволяют в той или иной степени охарактеризовать территорию по степени засушливости, составить прогноз повторяемости засух, а также выделить регионы, потенциально подверженные опасным явлениям, связанным с дефицитом влаги. Некоторые индексы применимы для построения реконструкций частоты засух по данным дендрохронологии. Рассмотрим наиболее используемые из них и приведем информацию об опыте сопоставления указанных индексов, критериев и показателей с дендрохронологическими данными. В заключении анализа индексов приведем обоснование выбранных нами индекса суровости засухи Палмера (scPDSI) и D (индекс Мещерской-Блажевич).

Индекс Д.А. Педя (S_i) является одним из наиболее простых в вычислении, пригодных для использования при работе с данными на территории России и, в частности, ЕТР. Индекс учитывает влияние определяющих засухообразующих факторов: температуры воздуха, осадков и запасов влаги в почве, описывает все три вида засух, встречающихся в природе (атмосферную, почвенную и атмосферно-почвенную) [Педь, 1973].

В России индекс используется для анализа атмосферной засушливости и ее связи с глобальным изменением климата. Так, например, при помощи указанного индекса можно исследовать вероятность возникновения атмосферных засух (при $S_i \geq 2$) и избыточного увлажнения (при $S_i \leq -2$) (Булыгина, 1990).

ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова характеризует засуху с точки зрения запасов тепла и влаги в пахотном и метровом слое почвы [Селянинов, 1928]. Этот коэффициент широко использовался в отечественной гидрометеорологии для определения атмосферных засух, а также для решения агрохозяйственных задач.

Недостаток этого коэффициента заключается в том, что в сухой или избыточно влажной зонах его неопределенность возрастает, а зональные критерии засухи и ее интенсивности изменчивы в зависимости от территории [Золотокрылин др., 2007, Соломина и др., 2017].

Общий недостаток индексов Педея и ГТК заключается в том, что с их помощью возможно определить продолжительность засухи с точностью до месяца, но проблематично оценить ее начало и конец [Золотокрылин др., 2007].

Спутниковый индекс климатических экстремумов увлажнения засушливых земель ($SCEI_i$) широко используется при анализе засух в том числе, в российской практике. При этом, значения индекса нормируются, чтобы исключить незначимые («шумовые» значения индекса) [Золотокрылин, Титкова, 2012]. Авторы применяли полную формулу только для анализа засухи 2010 г., а сокращенную – для анализа засухи 2012 г.

Стандартизованный индекс осадков (SPI) – прост для расчетов и в качестве исходной информации необходимы только исторические данные об осадках. Аналогичный по процедуре расчета, стандартизованный индекс осадков *SPEI* (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*) применяется для исследований засух в России [Страшная и др., 2015; Черенкова, Попова, 2015].

Индекс суровости засух Палмера (*PDSI* и *калиброванный scPDSI*) – интегральная характеристика температуры и осадков, отражающая одновременно засушливые условия и условия переувлажнения. Индекс рассчитывается по месячным значениям температуры и осадков, а также локальным константам влагоемкости почвы. Расчет индекса производится с помощью применения совокупности эмпирических зависимостей, отражающих региональные запасы влаги, стандартизованные по отношению к локальной климатической норме [Черенкова и др., 2016]. На сегодняшний день является одним из основных индексов, на котором базируется большинство работ по реконструкции засух с помощью дендрохронологического метода [Dai et al., 2004, Cook et al., 2010]. Если в ранних работах использовался некалиброванный индекс PDSI, то в последние десятилетия в дендроклиматологии зачастую используют усовершенствованный индекс scPDSI (self-calibrating PDSI), рассчитанный и описанный в работе [Wells et al., 2004]. При расчете индекса используются данные о среднемесячной температуре и осадках из сеточных архивов CRU-TS 3.26 за период с 1901 по 2017 гг. с разрешением $0,5^\circ$ [Mitchell and Jones, 2005].

В настоящей работе под термином «**засушливый период**» подразумевается фаза с пониженными значениями scPDSI (ниже медианы, $Q=0.5$ и квантиля $Q=0.25$), а под термином «**экстремально засушливые/увлажненные годы**» подразумеваются годы, в

которые индекс опускался/поднимался ниже/выше порогового значения в 0.05 и 0.95 процентилях соответственно.

Недостатком индекса является неспособность учитывать испаряемость при отрицательных температурах воздуха, что неактуально для дендрохронологических задач.

Этот индекс выбран нами для реконструкции как широко используемый в дендроклиматических работах по всему миру [MacDonald et al., 2007, D'Arrigo et al., 2009, Babst et al., 2013, Büntgen et al., 2010a, Kress et al., 2010, Gou et al., 2015, Cook et al., 2004, 2015, и др.], обладающий высоким пространственным ($0,5^\circ$) и временным разрешением.

Индекс Мещерской-Блажевич (D) используют для мониторинга условий увлажнения на территории зернопроизводящих районов. Расчет индекса основан на совместном анализе аномалий заданной величины для месячных значений температуры воздуха и количества осадков и оценке площади их распространения. В качестве индекса засух рассматривается доля площади региона (%), где температура воздуха выше нормы на 1°C и более, а количество осадков меньше нормы на 20% и более [Мещерская и др., 1978; Мещерская и др., 1982; Meshcherskaya et al., 1997]. В нашей работе использованы значения индекса для верификации результатов дендроклиматического анализа (глава 4) и реконструкции условий засушливости (значений индекса scPDSI), выполненной при помощи данных о радиальном приросте сосны.

Показатели изменений крупномасштабной атмосферной циркуляции

Североатлантическое колебание (North Atlantic Oscillation, NAO) – одна из важнейших характеристик крупномасштабной циркуляции атмосферы в северном полушарии [Нестеров, 2013]. NAO определяется как разница нормированных аномалий приземного давления между станциями Понта Делгада (Азорские острова) и Акурейри (Исландия) и характеризует интенсивность зональной циркуляции над севером Атлантики и атлантическим сектором Евразии.

Индекс NAO, описывает колебания меридионального градиента давления на севере Атлантики и является показателем интенсивности зональной циркуляции на севере Евразии [Попова, 2018].

Европейская территория России, обширную площадь которой занимает бассейн р. Волги, находится под влиянием Северной Атлантики, что является важнейшим фактором формирования режима тепло- и влагообеспеченности на территории [Попова и др., 2017]. Индекс североатлантического колебания отражает степень влияния Атлантики на, в частности, сток рек Русской равнины [MacDonald et al., 2007, Попова и др., 2017] и Европы в целом [Бабкин и др., 1999].

Индекс арктического колебания (Arctic Oscillation – AO) (http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/20thC_Rean/timeseries/monthly/AO) представляет собой первую моду разложения по эмпирическим ортогональным функциям (ЭОФ) поля высоты геопотенциала 1000 гПа Северного полушария и характеризует интенсивность зонального переноса над внетропической зоной Северного полушария в целом [Thompson and Wallace, 1998].

Выводы:

1. Длина инструментальных наблюдений за гидрометеорологическими параметрами на территории Поволжья не превосходит 150 лет, а чаще составляет 5-6 десятилетий. Этого недостаточно для того, чтобы судить о долговременных трендах. С помощью косвенных природных индикаторов, в частности, на основе ширины годичных колец, можно получить представление о некоторых характеристиках климата и речного стока Поволжья в прошлом.

2. Анализ инструментальных данных показал, что во всех частях района работ – на северо-западе и на юго-востоке отсутствуют значимые тренды изменения среднемесячного количества осадков и температуры как в целом за вегетационный сезон, так и за его отдельные месяцы (апрель-август). Если для температуры тренды незначимы и сонаправлены вне зависимости от географического положения, то для осадков на СЗ и ЮВ Поволжья их знак различается: в августе и июле на СЗ тренд слабый положительный, а на ЮВ - слабый отрицательный.

3. Тренды изменения индекса суровости засухи Палмера (scPDSI) за период с 1870 по 2015 гг. положительные и составляют 1,5 градуса. Однако, если разделить этот период на два – с 1870 по 1961 и с 1962 по 2015 гг., заметна смена знака тренда с положительного на отрицательный. Этот факт, вероятно, связан с увеличением среднегодовой температуры в России, которое началось с 1960 гг. и продолжается по сей день при неравномерном изменении осадков за вегетационный сезон.

4. Обширная территория района работ представлена разными типами растительности – средне-, южнотаежными и широколиственно-хвойными подтаежными сосновыми лесами на севере, смешанными широколиственными лесами в центральной части и лесостепями на юге. С севера на юг прослеживается тенденция к увеличению засушливости климата.

5. В работе, на всех ее этапах, применены и учтены основные принципы дендрохронологии;

6. Климатический сигнал древесно-кольцевых хронологий севера и центральной части Русской равнины изучен лучше, чем в Поволжье: для района работ выполнен локальный дендроклиматический и дендрэкологический анализ, но нет единого исследования, посвященного изучению комплексного климатического сигнала хронологий для всей территории региона. Это исследование охватывает значительную территорию и ставит целью проследить изменение климатического сигнала в направлении

с северо-запада на юго-восток, а также выполнить дендроклиматические реконструкции с помощью древесно-кольцевых хронологий по сосне;

7. Для территории Поволжья создана одна локальная длинная древесно-кольцевая хронология продолжительностью 350 лет [Тишин, 2006], однако она нуждается в наполнении образцами и продлении, как в направлении к современности, так и вглубь веков.

8. Для поиска локальных связей радиального прироста древесины сосны с гидрометеорологическими параметрами в этой работе мы использовали данные ближайших метеостанций, для выявления региональных закономерностей и связей – сеточные архивы CRU TS 4.03 [Harris et al., 2014];

9. Для выявления и оценки связи ШГК и речного стока выбраны 5 малых рек Поволжья, по возможности, вблизи дендрохронологических площадок;

10. На сегодняшний день существует множество индексов и показателей засухи, принятых в российской и общемировой практике, каждый из которых рассматривает ситуацию возникновения засухи с определенной точки зрения. Единого стандартного индекса и общепринятой методики по определению засухи не существует в силу разницы, в первую очередь, физико-географических условий для каждой территории, а также целей и задач работы.

11. Для определения реакции радиального прироста сосны на изменения условий засушливости нами выбран наиболее используемый в дендроклиматологии индекс суровости засухи Палмера (scPDSI), усовершенствованный, по сравнению с традиционным PDSI, содержащий минимальное количество погрешностей, выверенный и обладающий самым высоким пространственным разрешением из всех доступных и подходящих для целей нашей работы индексов – $0,5^\circ$. Выбор именно этого коэффициента подкреплен результатами предыдущих исследований на Русской равнине, рассмотренных в главе 1. Также, для верификации полученных результатов, помимо исторических источников и фактических данных о температуре, осадках, мы использовали индекс Мещерской-Блажевич (D), который позволил сравнить реконструированные значения PDSI и подтвердить корректность реконструкций

ГЛАВА 3 НОВЫЕ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫЕ ХРОНОЛОГИИ ПОВОЛЖЬЯ

3.1 Хронологии по живой древесине

Для выполнения этого исследования автором организован ряд экспедиций в Поволжье, которые проходили в два этапа: экспедиция 2016 г. была направлена на отбор материала из живых деревьев, в 2017 г. отобраны образцы древесины из архитектурных объектов (церквей, купеческих домов) и пополнена коллекция образцов живой древесины с учетом итогов работы в 2016 г., за который построена основная часть хронологий по живой древесине (19 ДКХ). В 2016 г., в ходе полевых работ автором были отобраны образцы древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) на территории заповедников и национальных парков республик Татарстан (Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник), Марий Эл (Национальный парк Марий Чодра, заповедник Большая Кокшага, Пензенской (заповедник Приволжская лесостепь) и Самарской областей (Жигулевский заповедник). В результате, автором созданы 19 хронологий по живой древесине для территории, наибольшая длина хронологий на тот момент составила 266 лет (T01S, Республика Татарстан). По ранней и поздней древесине составлены хронологии для двух пензенских площадок – T09S и T10S (рис. 3.1, табл. 3.1).

В 2017 г. полевые работы были направлены на сбор материалов из архитектурных объектов и дополнительных образцов живой древесины. В результате экспедиции автором отобраны керны из 7 церквей на территории Татарстана и Ульяновской обл. (рис. 3.1, табл. 3.1) и собраны образцы по 3 «площадкам» - в Чувашии (Присурский заповедник) и повторно в Татарстане (Волжско-Камский заповедник), для проведения эксперимента по изучению индивидуального прироста древесины, описанному в разделе 4.5 настоящей работы.

В результате проведенных экспедиций, нами построены 22 древесно-кольцевых хронологии: 15 ДКХ на основании данных о ширине годичных колец живой на тот момент древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и 7 ДКХ по древесине, отобранной из архитектурных объектов конца XIX века.

Характеристика дендрохронологических площадок

Отбор дендрохронологического материала производился в особо охраняемых природных территориях (ООПТ), так как старовозрастные деревья Поволжья лучше всего сохранились именно в заповедниках, заказниках, национальных парках, где вырубка не осуществляется вовсе или проводится в соответствии с задачами сохранения древостоев.

Приведем основные характеристики дендрохронологических площадок, где производились работы.

В Волжско-Камском заповеднике (Сараловский участок, лесостепь, T01S, T02S) образцы были отобраны на дюнах в лишайниковом бору и на пониженных участках в бору-зеленомошнике [<http://vkgz.ru/about/>], а также в сосняке в Раифском участке (с элементами таежной фауны, T24S, T25S). Сосны, произрастающие на дюнах, оказались старовозрастными (T01S, 266 лет), как и в Раифском участке (T24S, 268 лет). Площадки T01S и T02S расположены на поверхности древнеаллювиальных левобережных террас Волги, представленных дерново-подзолистыми и гидроморфными почвами, где увлажнение происходит, в основном, за счет временных скоплений подземных вод с атмосферным питанием – верховодок.

Для заповедника «Приволжская лесостепь» в Среднем Поволжье характерны хвойно-широколиственные леса и ландшафты лесостепи. Обе дендрохронологические площадки T09S и T10S расположены в схожих физико-географических условиях и представлены лишайниково-зеленомошными сосняками на серых лесных песчаных почвах. Участки располагаются в пределах древних речных террас, эрозионный рельеф расчленен мелкими водотоками и представляет собой сочетание овражно-балочной сети и приподнятых узких водоразделов [<http://www.zapoved.ru/catalog/77-Приволжская-лесостепь-государственный-природный-заповедник>]. Возраст сосновых лесов на территории заповедника доходит до 227 лет (T09S, T10S).

На юго-востоке Татарстана, в Бугульминском районе, расположен лесной массив, представленный, в основном, липово-дубовыми древостоями на типичных, маломощных выщелоченных и карбонатных черноземах. Дендрохронологическая площадка заложена на склоне южной экспозиции, недалеко от села Петровка. Всхолмленная платообразная территория района расчленена густой речной и овражно-балочной сетью (глубина эрозионного вреза составляет до 120 м) [Ермолаев и др., 2007]. Особенности микроклиматические условия района обеспечивает расчлененность рельефа со значительным перепадом высот, вследствие чего в пределах Бугульминско-Белебеевской возвышенности снег сходит на 10-12 дней позже, чем в низменных районах [Колобов, 1983]. Из-за сложившихся микроклиматических особенностей, на древостои, произрастающие в пределах возвышенности, могут оказывать влияние заморозки в июне и в августе. Максимальный возраст сосен составил 206 лет (хронология T08S).

Для сосняков Жигулевского заповедника характерны карбонатные и серые лесные почвы, в целом территорию, расположенную на возвышенности, занимают широколиственно-сосновые и сосновые разнотравно-злаковые остепенённые леса. Из-за

высокой трещиноватости известняковых пород на территории заповедника нет постоянных водотоков [<http://www.zapoved.ru/catalog/biodiversity/35/Жигулевский-государственный-природный-биосферный-заповедник-имени-ИИ-Спрыгина>]. Лесам, произрастающим в подобных условиях, зачастую свойственна выраженная зависимость от увлажнения. Максимальный возраст деревьев - 213 лет. Площадки были заложены на склоне балки (Т06S) и на западном склоне горы Стрельная Т07S.

Национальный парк Марий Чодра представляет собой слабоволнистую равнину с островными возвышенностями и большим количеством карстовых озер. Преимущественно, на территории произрастают сосняки-зеленомошники на подзолистых и дерново-подзолистых почвах [<http://www.zapoved.ru/catalog/118/Марий-Чодра-национальный-парк>]. Дендрохронологические площадки заложены в Марий-Чодра на водораздельной поверхности с умеренным увлажнением. Максимальный возраст деревьев составил 212 лет (хронологии Y01S, Y02S).

Керженские леса – некогда глухие, непроходимые, и служившие приютом для старообрядцев, с конца XIX в. интенсивно вырубались. С сосен собирали смолу-«живицу», что, естественно, приводило к понижению прироста в соответствующие годы. Значительные территории Керженских лесов выгорели в результате пожаров, вызванных засухой 1972 г. Пробная площадь в Керженском заповеднике, который был создан в 1993 году на территории Борского и Семёновского районов, была заложена в сосновом зеленомошно-беломошном лесу с примесью березы у поселка Рустай (табл. 3.1, хронология X05S, максимальный возраст – 150 лет).

Площадка, заложённая на территории Алатырского участка Присурского заповедника расположена (Т19S, максимальный возраст деревьев – 179 лет) в зоне смешанных лесов Присурского лесного массива, где до момента создания заповедника (1995 г.) велись лесозаготовки. Заповедник находится в пределах Приволжской возвышенности и по типу рельефа относится к возвышенной равнине. Преобладающие почвы в пределах лесного массива – дерново-боровые песчаные и серые лесные суглинистые [<http://www.prisursky.ru/alatyrskii-uchastok.html>]. В результате засухи 1972 г. сгорело 12 тыс. га леса, которые сейчас расположены на восточной части Алатырского участка заповедника.

Хвалынский национальный парк расположен на юго-востоке Приволжской возвышенности – территории, расчлененной густой овражно-балочной сетью с преобладанием скелетных почв черноземного типа. Площадка Т22S заложена в сосновом лесу с березой в подросте, на склоне балки, Т23S – на равнинном участке вблизи с. Елшанка. Максимальный возраст древостоя – 201 год (Т23S).

На рисунке 3.1 показано расположение дендрохронологических площадок, использованных в работе.

Методика построения хронологий по живой и исторической древесине описана в главе 2.

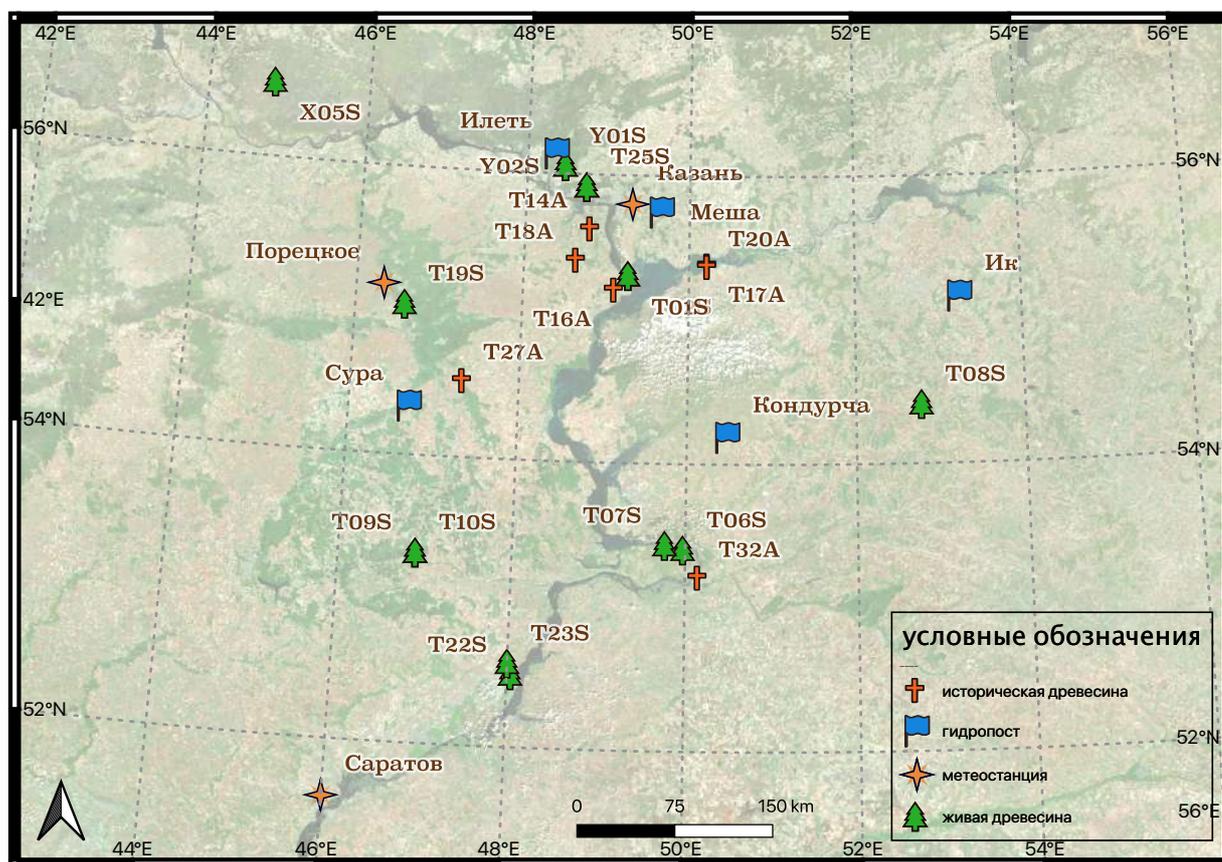


Рисунок 3.1 – Расположение пробных дендрохронологических площадей, метеорологических станций и гидрологических постов на территории района работ

Таблица 3.1 Информация о ДКХ по живой и исторической древесине, использованных в работе

Код площадки	Тип измерений	Местоположение	N	E	Число лет с двумя и более сериями	Год начала	Год конца	Кол-во кернов	Кол-во деревьев	Длина хронологии	Средняя чувствительность	Корреляция серий
живая древесина												
T01S	RW	Татарстан, Волжско-камский заповедник, Сараловский участок. Сосны под дюной	55,30	49,26	204	1714	2014	29	15	266	0,20	0,53
T02S	RW	Татарстан, Волжско-камский заповедник, Сараловский участок. Сосны на дюне	55,30	49,26	207	1808	2014	33	17	207	0,18	0,65
T06S	RW	Самарская обл., Жигулевский заповедник, к СЗ от с. Ширяево, склон балки	53,40	49,97	165	1828	2015	42	21	188	0,24	0,60

T07S	RW	Самарская обл., Жигулевский заповедник, зап. склон горы Стрельная, приводораздельная часть	53,43	49,76	226	1786	2014	42	21	229	0,21	0,67
T08S	RW	Татарстан, Бугльминский р-н, рядом с с. Петровское. река Сула	54,41	52,77	204	1809	2015	41	21	204	0,23	0,56
T09S	RW	Пензенская обл., заповедник "Приволжская лесостепь", уч. "Верховья р. Сура"	53,32	46,89	214	1788	2014	33	17	227	0,21	0,56
T10S	RW	Пензенская обл., на границе заповедника "Приволжская лесостепь" и заказника "Сурские вершины"	53,32	46,89	215	1799	2014	33	18	216	0,24	0,56
Y01S	RW	Нац. парк Марий Чодра	56,05	48,46	213	1802	2014	46	25	213	0,21	0,56
Y02S	RW	Нац. парк Марий Чодра	56,05	48,46	189	1826	2014	39	15	189	0,30	0,63
T19S	RW	Присурский заповедник (Чувашия),	55,04	46,59	171	1837	2015	20	40	179	0,123	0,973
	EW		159	458							0,123	0,963

	LW	Алатырский участок										0.244	0.833
T22S	RW	Хвалынский национальный парк (Саратовская обл.)	52.50 1762	48.04 4942	191	1815	2015	20	40	201		0.186	0.672
T23S	RW	Елшанка (Саратовская обл.)	52.57 9984	48.00 2945	95	1905	2015	20	40	111		0.184	0.849
T24S	RW	Волжско-Камский заповедник, Раифское лесничество, 25 квартал. Лес в 200 м от опушки, по два керна южной и восточной стороны дерева	55.90 901	48.73 328	259	1749	2016	15	30	268		0.165	0.886
	EW											0.184	0.855
	LW											0.263	0.774
T25S	RW	Волжско-Камский заповедник, Раифское лесничество, 25 квартал. Опушка леса, по два керна южной и восточной стороны дерева	55.90 783	48.73 229	219	1765	2016	15	30	252		0.212	0.807
	EW											0.217	0.801
	LW											0.345	0.487

X05S	RW	Керженский заповедник, сосновый лес у поселка Рустай на границе заповедника, мертвопокровник с пятнами лишайника, сосна в подросте	56,51 05	44,81 46	132	1865	2014	20	10	150	0.2	0.54
PG1	RW	Региональная мастер-хронология на основании площадок T24S, T25S			259	1749	2016	60	30	268	0.251	0.604
PG2	RW	Региональная мастер-хронология на основании площадок T01S, Y01S, Y02S			212	1802	2014	67	55	213	0.240	0.550
PG3	RW	Региональная мастер-хронология на основании площадок T06, T08			204	1807	2015	76	42	207	0.273	0.615
MasterTY	RW	Региональная мастер-хронология на основании площадок T01S, T02S, T06S, T08S, Y02S			215	1749	2014	171	89	261	0.249	0.459

историческая древесина												
T14A	RW	Республика Татарстан, Верхнеуслонский район, село Сеитово, церковь Спаса Преображения	55.61 531	48.78 338	50	1731	Нет надежной датировки	20	20	280	0.203	0.302
T16A		Республика Татарстан, Камско-Устьинский район, с. Архангельские Кляри. Церковь Михаила Архангела	55.19 9554	49.09 1727	-	-	-	10	10	-	-	-
T17A	RW	Церковь Михаила Архангела, село Саконы, Республика Татарстан	55.37 509	50.20 763	232	1537	1862	28	17	326	0.172	0.554
T18A	RW	Республика Татарстан, Камско-Устьинский район, с. Антоновка. Церковь Богоявления Господня	55.40 037	48.62 244	-	-	-	7	7	-	-	-

T20A	RW	Республика Татарстан, Верхнеуслонский район, с. Большие Меми. Церковь Александра Невского	55.37 511	50.20 769	-	-	-	10	10	-	-	-
T27A	RW	Церковь Михаила Архангела, село Архангельское, Ульяновская обл.	54.52 746	47.31 779		1604	1840	17	10	237	0.188	0.517
T32A	RW	Старая Самара, спилы бревенчатых конструкций	53.20 5534	50.14 2954		1696	1857	6	3	161	-	-
Volga	RW	мастер-хронология, составленная из площадок T01S, T07S, T17A, T27A, T32A			410	1537	2014	89	60	478	0,23	0,544

На рисунке 3.2 схематично показана длина всех построенных автором поволжских хронологий по живой древесине. Средняя длина ДКХ по живой древесине составляет 150 лет, максимальная – 268 лет (T25S). В настоящей работе основным параметром, по которому составлены хронологии, является ширина годичных колец (ШГК, RW), но для некоторых хронологий также измерены ранняя (EW) и поздняя (LW) древесина (табл. 3.1). В ходе работ установлено, что различия в климатическом сигнале между RW, EW и LW в Поволжье практически нет и поэтому для дальнейшего анализа использован один параметр – ШГК, а EW и LW задействованы только для проведения эксперимента по изучению различий прироста на опушке и в глубине леса (Волжско-Камский заповедник, глава 4, раздел 4.5).

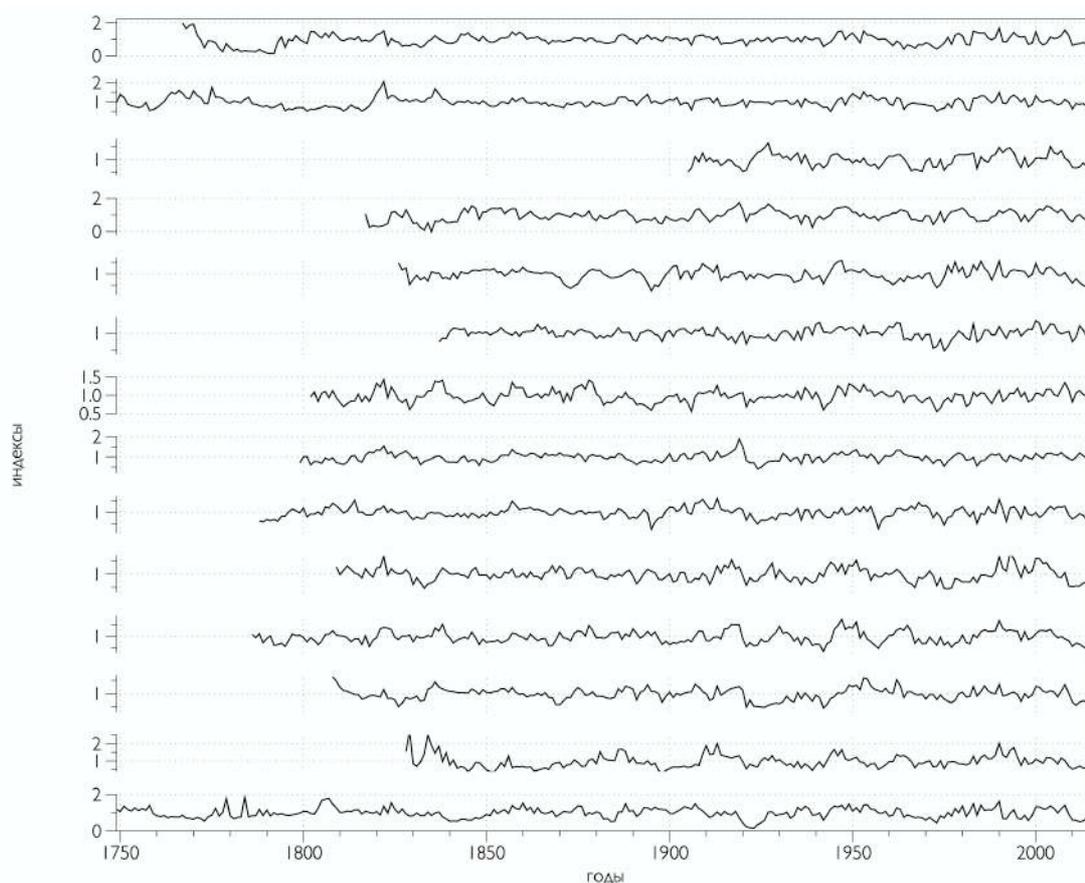


Рис. 3.2 Древесно-кольцевые хронологии Поволжья по живой древесине, построенные автором и использованные в этой работе

Хронологии по живой древесине представлены на рис. 3.3-3.17.

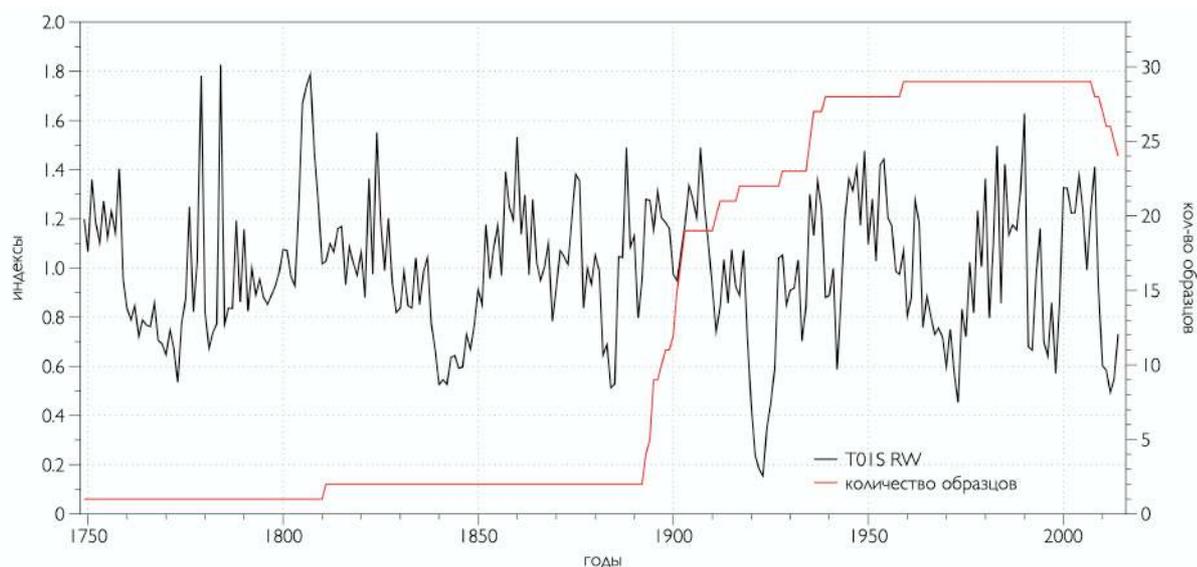


Рисунок 3.3 – Хронология по ширине годичных колец площадки T01S, мм (1714-2014 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

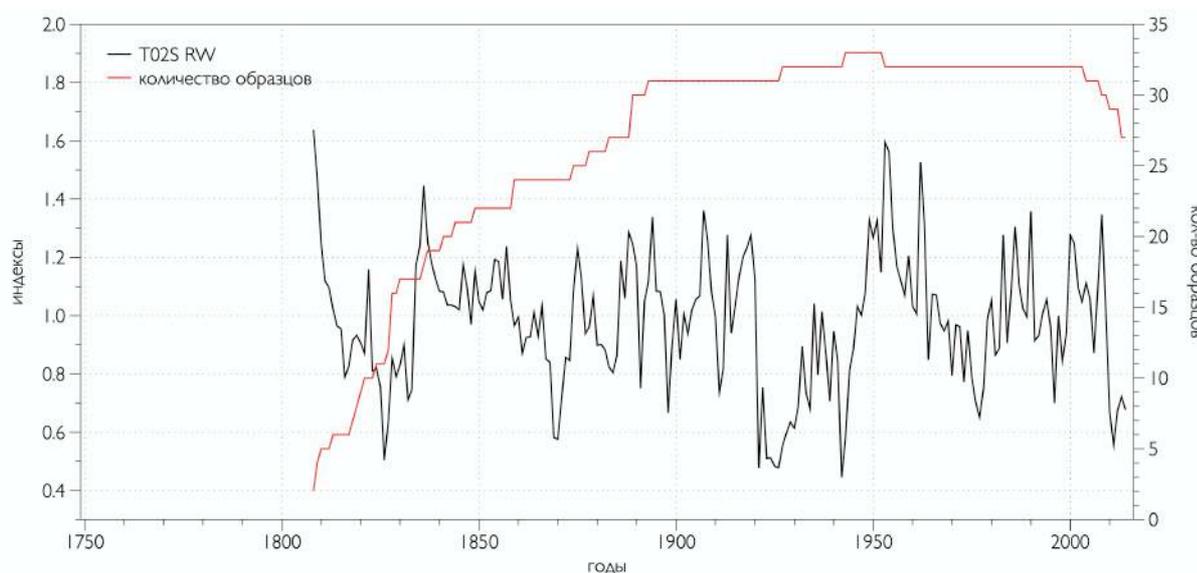


Рисунок 3.4 – Хронология по ширине годичных колец площадки T02S, мм (1808-2014 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

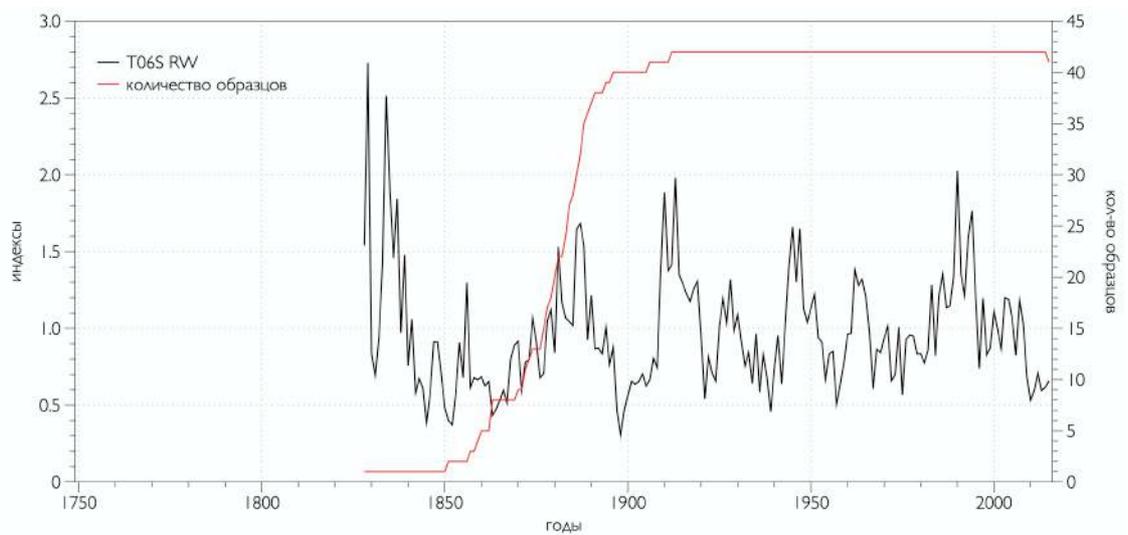


Рисунок 3.5 – Хронология по ширине годичных колец площадки T06S, мм (1828-2015 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

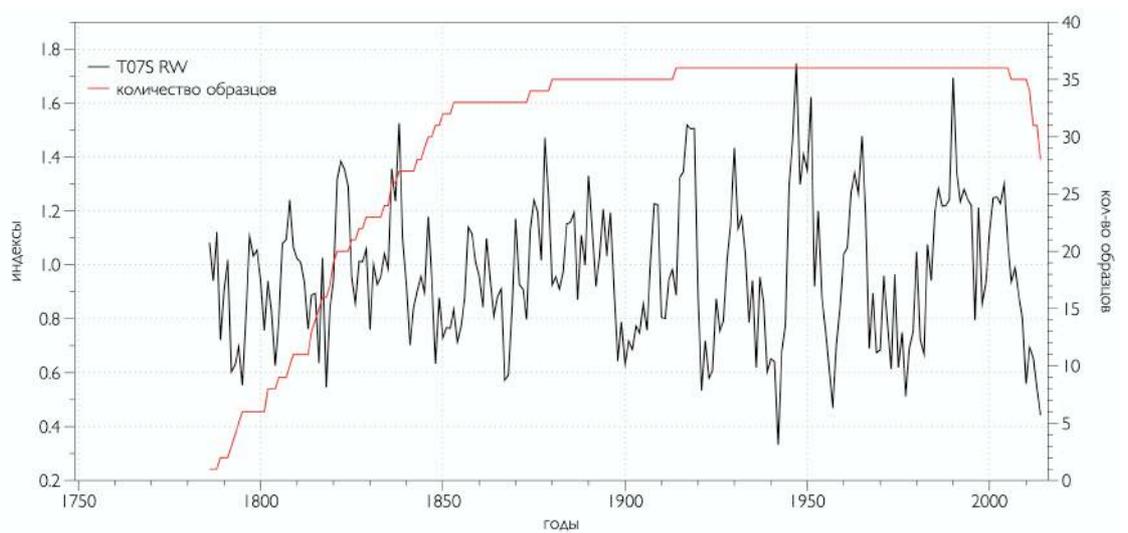


Рисунок 3.6 – Хронология по ширине годичных колец площадки T07S, мм (1786-2014 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

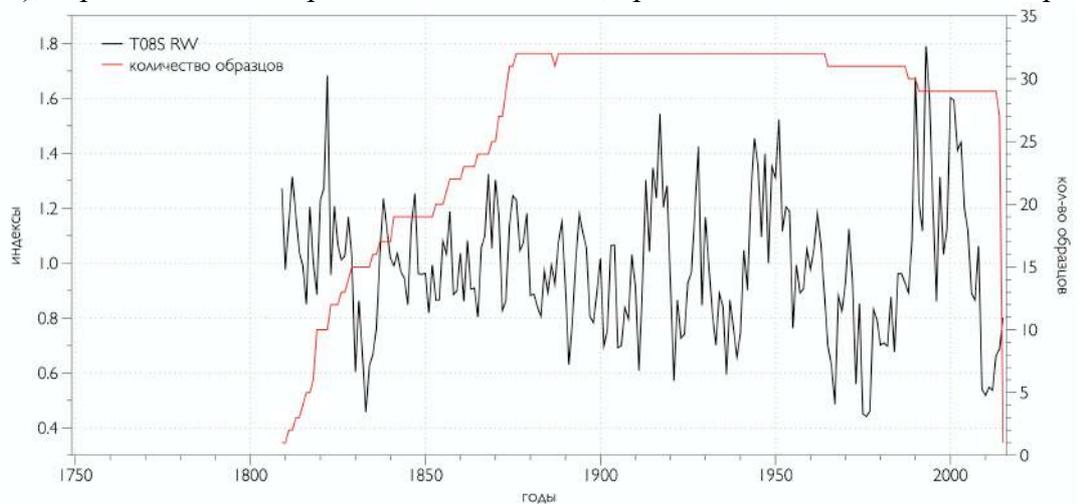


Рисунок 3.7 – Хронология по ширине годичных колец площадки T08S, мм (1809-2015 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

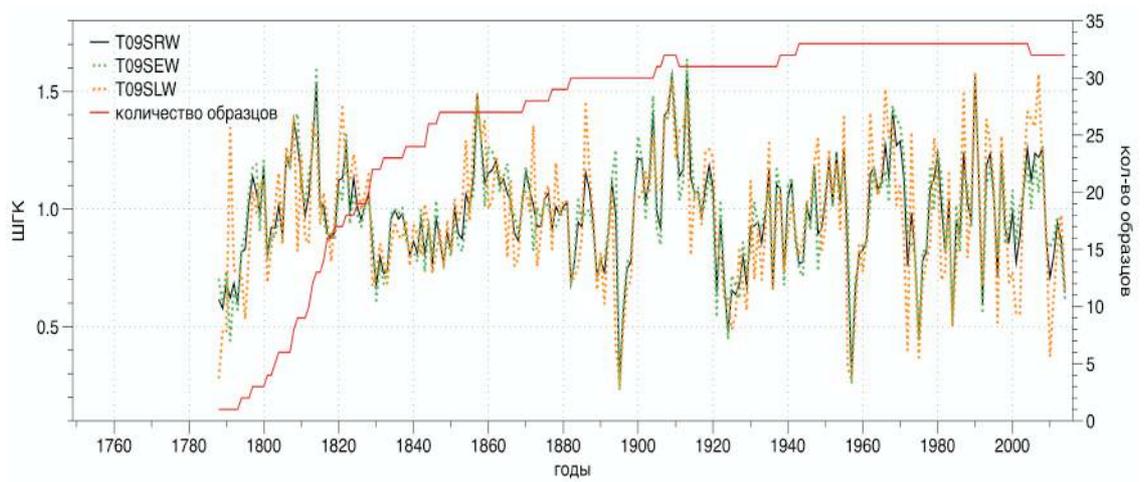


Рисунок 3.8 – Хронология по ширине годичных колец площадки T09SRW (черная линия), T09SEW (зеленый пунктир), T09SLW (оранжевый пунктир) (1788-2014 гг.), мм

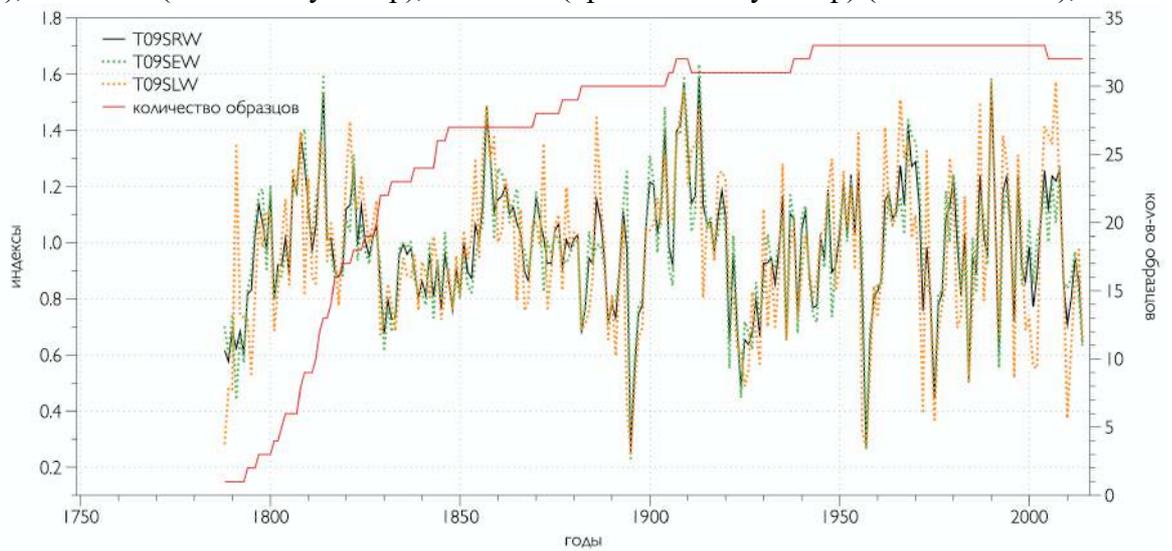


Рис. 3.9 Хронология по ширине годичных колец площадки T10SRW (черная линия), T10SEW (зеленый пунктир), T10SLW (оранжевый пунктир) (1799-2014 гг.), мм

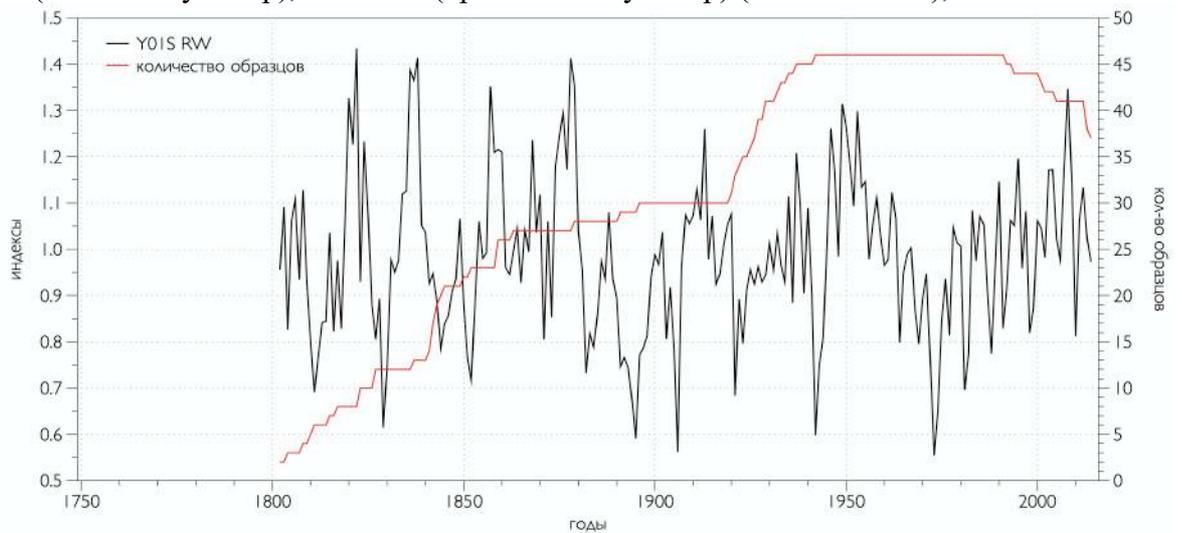


Рисунок 3.10 – Хронология по ширине годичных колец площадки Y01S, мм (1802-2014 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

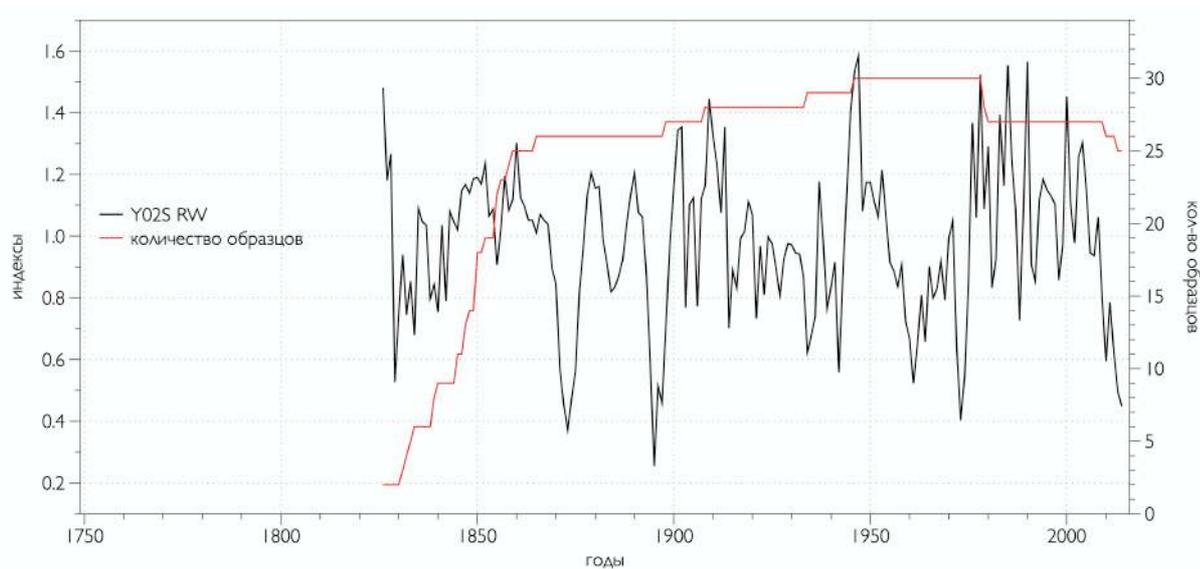


Рисунок 3.11 – Хронология по ширине годичных колец площадки Y02S, мм (1826-2014 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

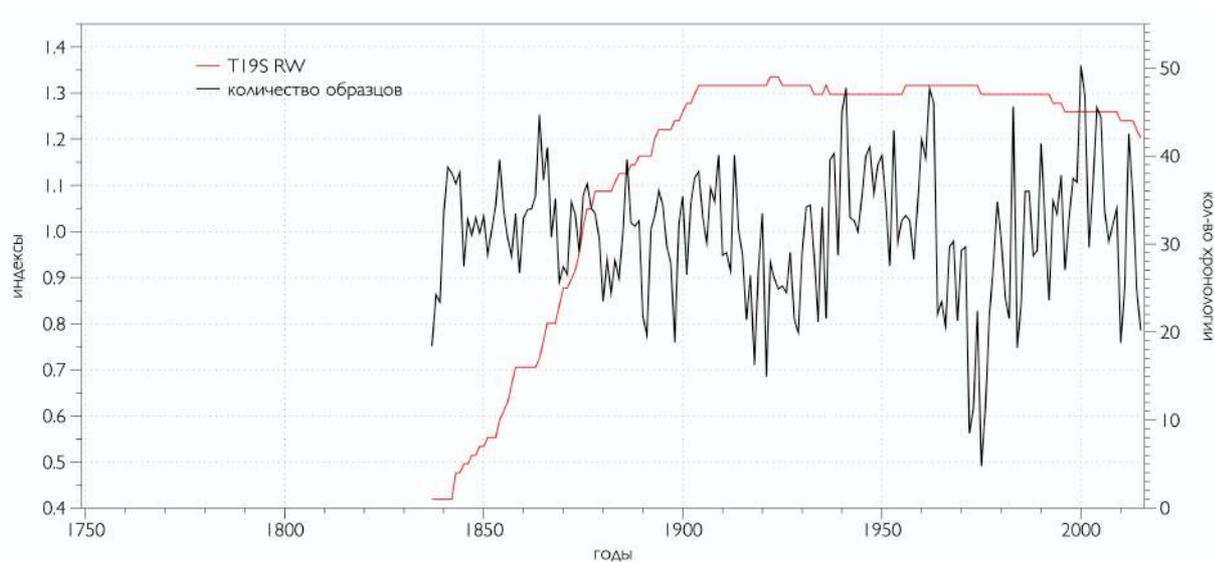


Рисунок 3.12 – Хронология по ширине годичных колец площадки T19S, мм (1826-2014 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

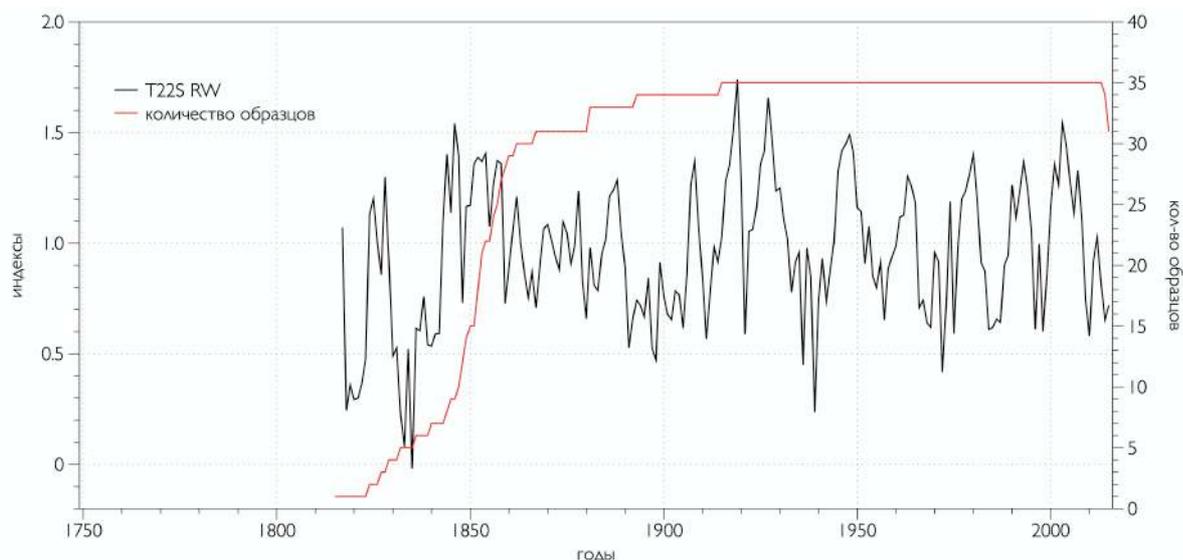


Рисунок 3.13 – Хронология по ширине годичных колец площадки T22S, мм (1815-2015 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

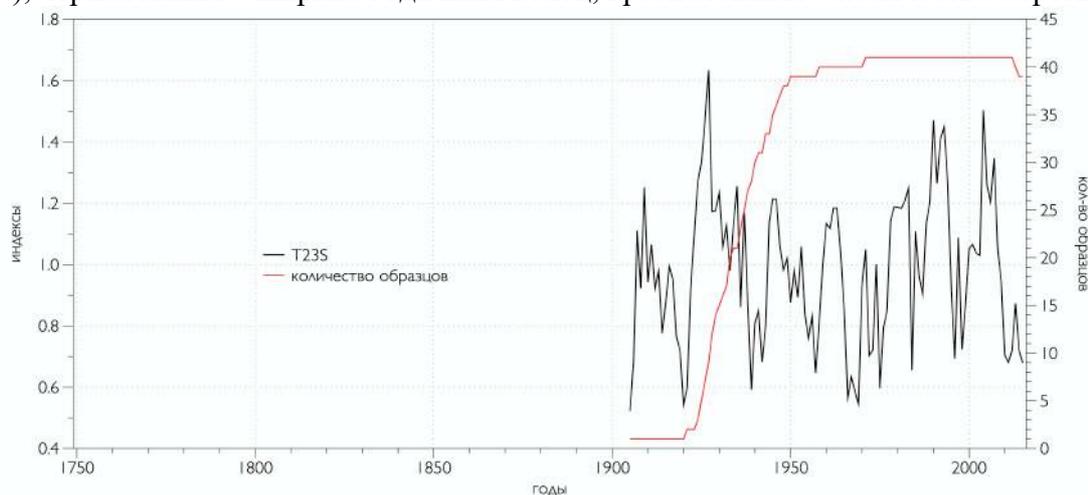


Рисунок 3.14 – Хронология по ширине годичных колец площадки T23S, мм (1905-2015 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

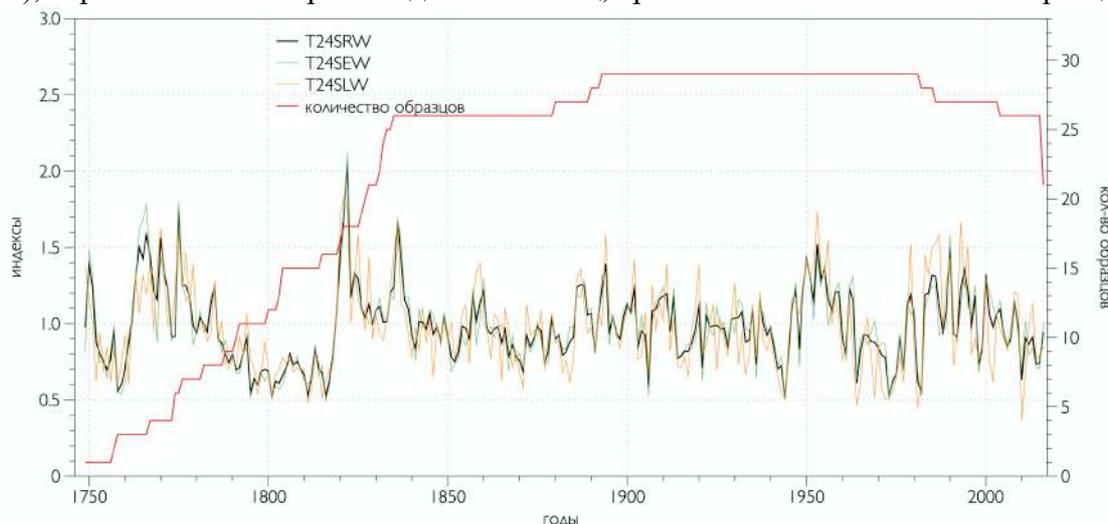


Рисунок 3.15 – Хронология по ширине годичных колец площадки T24S, мм (1749-2016 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

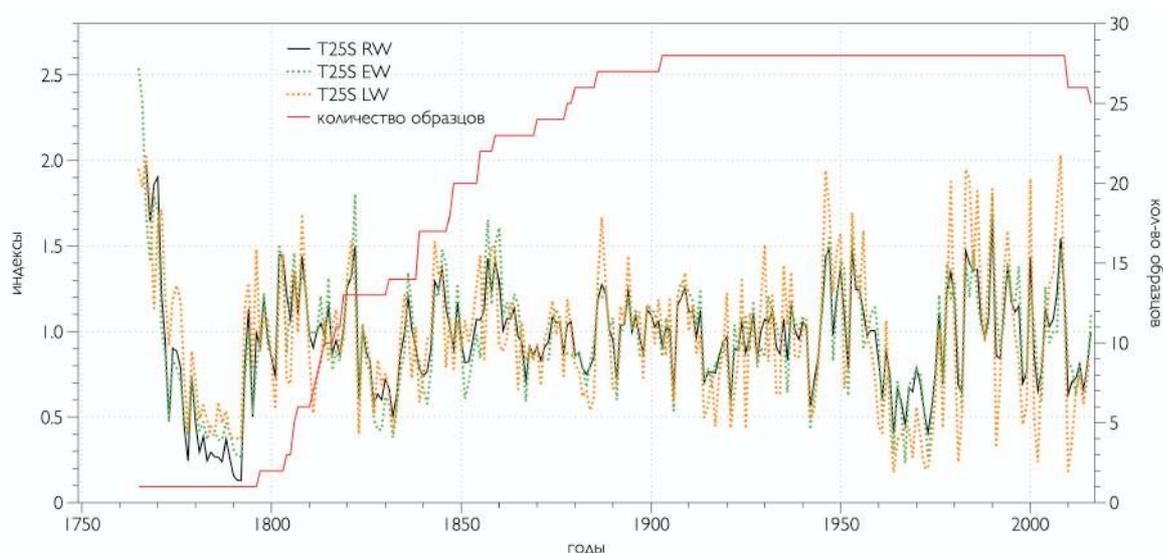


Рисунок 3.16 – Хронология по ширине годичных колец площадки T25S, мм (1765-2016 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

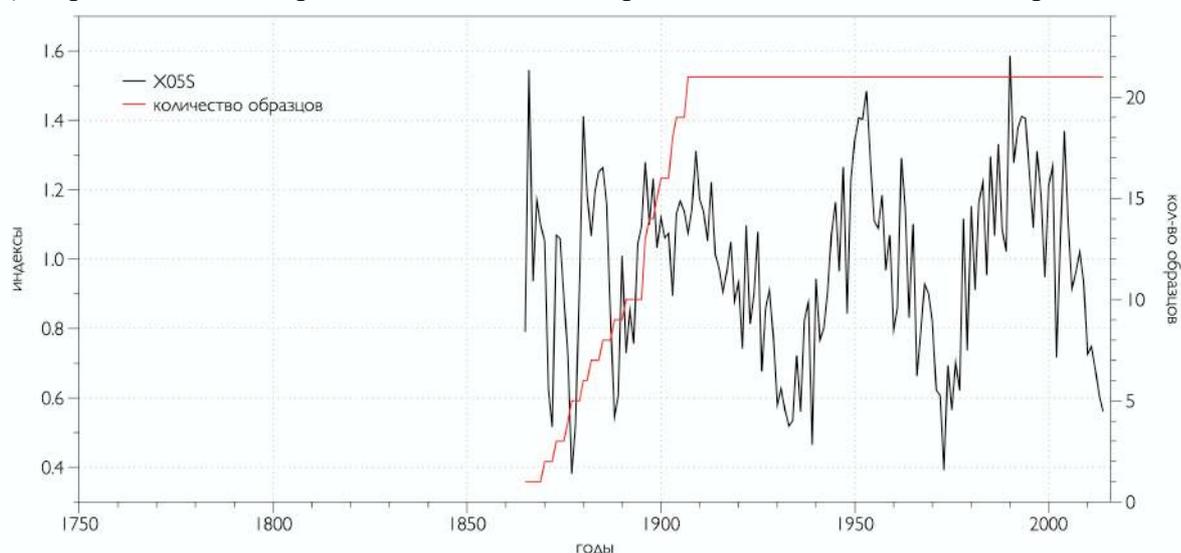


Рисунок 3.17 – Хронология по ширине годичных колец площадки X05S, мм (1865-2014 гг.), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

3.2 Региональные мастер-хронологии РГ1, РГ2, РГ3

Одна из задач настоящей работы - анализ регионального климатического сигнала ДКХ по живой древесине сосны обыкновенной и его изменения с северо-запада на юго-восток. Для выполнения этой задачи построены три мастер-хронологии – РГ1 (северо-восток, в дальнейшем исключена из анализа в связи с отсутствием климатического сигнала), РГ2 (северо-восток) и РГ3 (юго-запад) (рис. 3.2.2, 3.2.3). Методика построения этих хронологий описана в главе 2.

В главе 1 было показано, что физико-географические условия, в том числе, степень увлажнения, на севере и на юге Поволжья различаются. Северная часть района работ представлена средне- и южнотаежными сосновыми лесами и широколиственно-хвойными

подтаежными лесами умеренно-континентального климата, а южная – зоной широколиственных лесостепей и луговых степей умеренно-континентального климата [Исаченко, 1985].

Исходя из вышесказанного, нами выдвинута гипотеза о том, что различия приростов между площадками на СЗ и ЮВ Поволжья обусловлены, в первую очередь, разницей в условиях тепло- и влагообеспеченности, а именно, ростом засушливости в направлении на юго-восток, что будет показано в главе 4. Также мы предполагаем, что в направлении с северо-запада на юго-восток района работ климатический сигнал в ШГК усиливается в связи с аридизацией климата.

Рассмотрим основные принципы построения этих хронологий.

С целью создания региональных мастер-хронологий, нами проведен анализ главных компонент для 14 площадок (глава 2, раздел 2.2.2; рис. 3.2.1, табл. 3.1) с общим периодом с 1837 по 2014 г. (177 лет). На основании этого анализа выделены древостои, наиболее близкие между собой по характеру прироста (табл., 3.1, рис. 3.2.1): Г1 (T25S и T24S), Г2 (T01S, T02S, Y01S, Y02S, T19S) и Г3 (T10S, T08S, T07S, T06S, T22S). Площадка T23S не включена в анализ в связи с коротким рядом данных (110 лет, с 1905 по 2015 г.), но отнесена к группе Г3 на основании высоких значимых коэффициентов корреляции с остальными площадками этой группы.

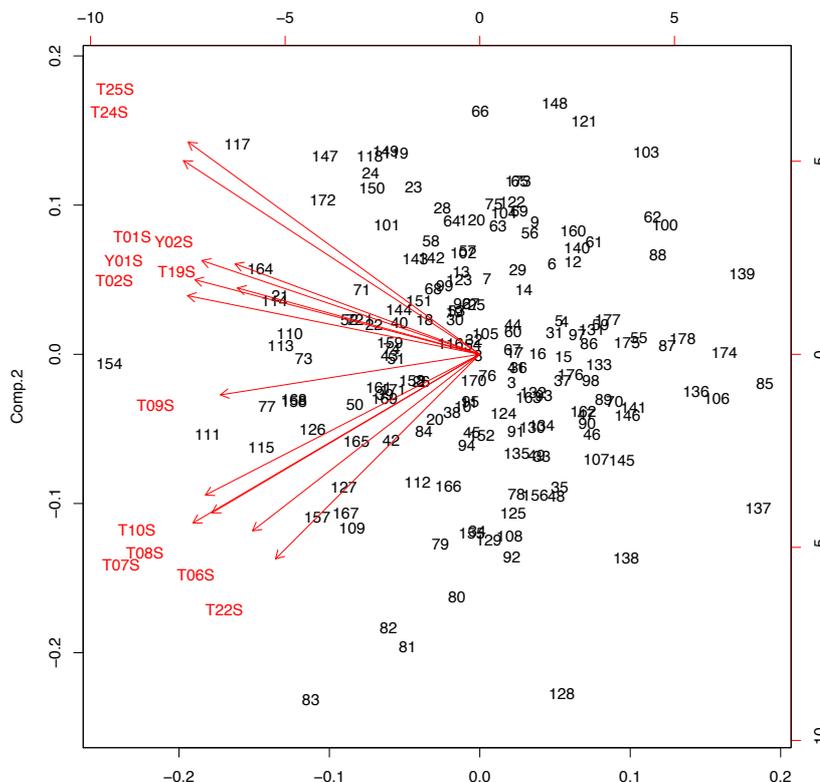


Рисунок 3.2.1 – Результаты анализа главных компонент для хронологий Поволжья, общий период – с 1837 по 2014 г. (177 лет)

Как видно из рис. 3.2.1, в пространстве связи выглядят следующим образом: выделяются 3 группы площадок – две на северо-западе района исследований и одна на юго-востоке.

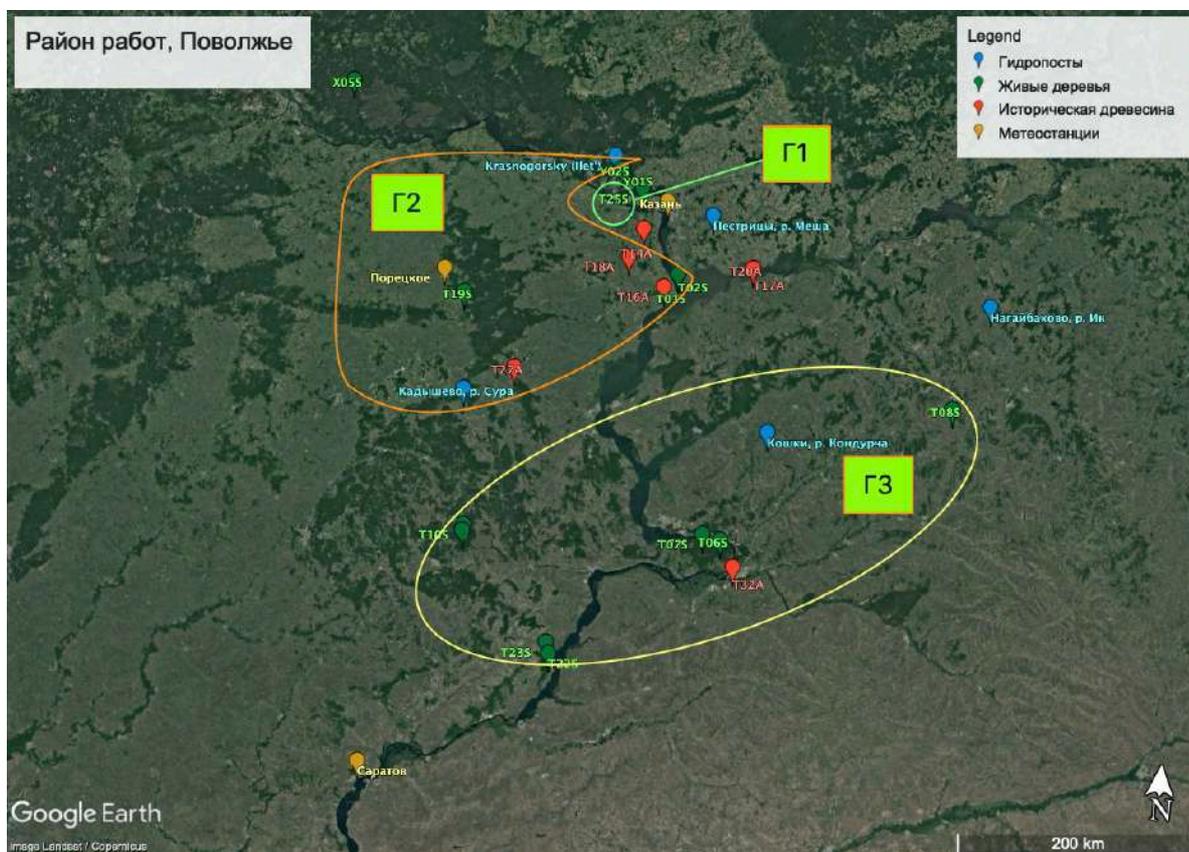
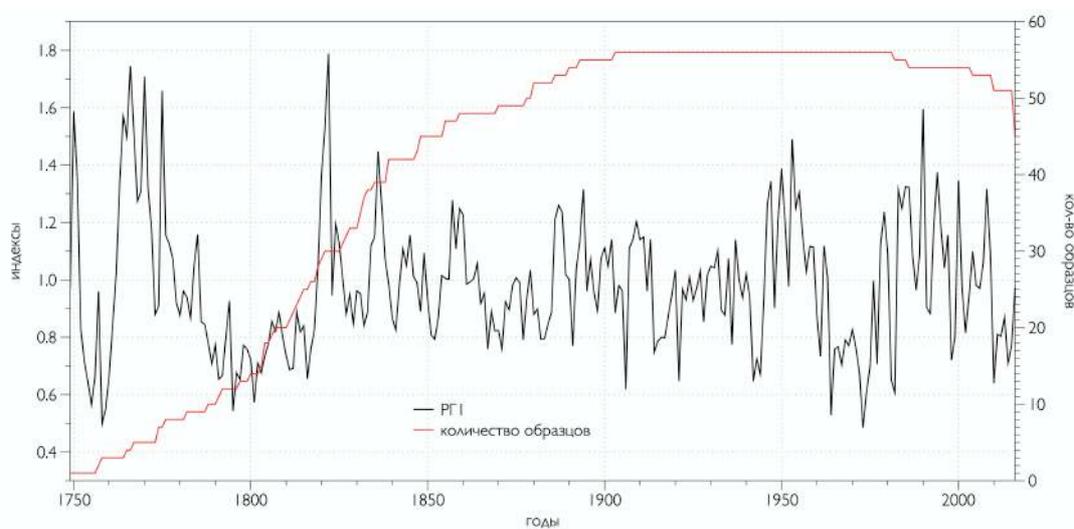


Рисунок 3.2.2 – Схематическое разделение территории района работ на группы площадок в соответствии с результатами анализа главных компонент PCA: Г1 (Т24S, Т25S), Г2 (Т01S, Т02S, Y01S, Y02S, Т19S), Г3 (Т06S, Т07S, Т08S, Т10S, Т22S)

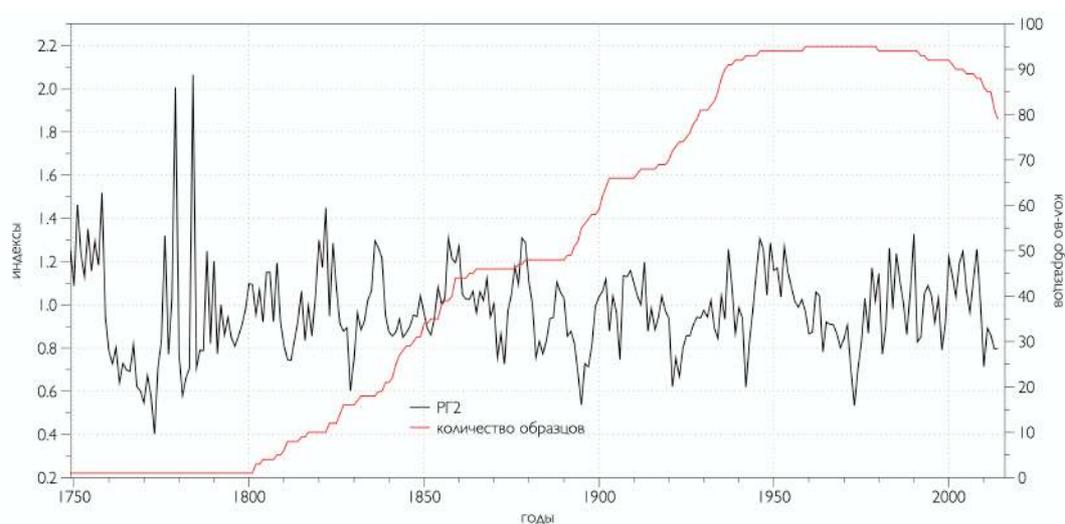
Обособленность площадки T09S (Пензенская обл., Заповедник «Приволжская лесостепь», участок «Сурские вершины») от остальных связана с тем, что древесина была подсочена в середине 20 века и до того, как в 1989 г. лес перешел в статус особо охраняемой природной территории [<http://www.zapoved.ru>], из деревьев в течение нескольких десятилетий добывали смолу, что сказалось на радиальном приросте древостоя. Из-за высокой антропогенной нагрузки на прирост площадки T09S, хронология была исключена из последующего анализа.

Весь дальнейший анализ климатического сигнала в хронологиях (глава 4) построен на выявлении различий между группами площадок Г1, Г2 и Г3 и на установлении пространственно-географических закономерностей отклика радиально прироста сосны на разные физико-географические условия северо-востока и юго-запада района работ.

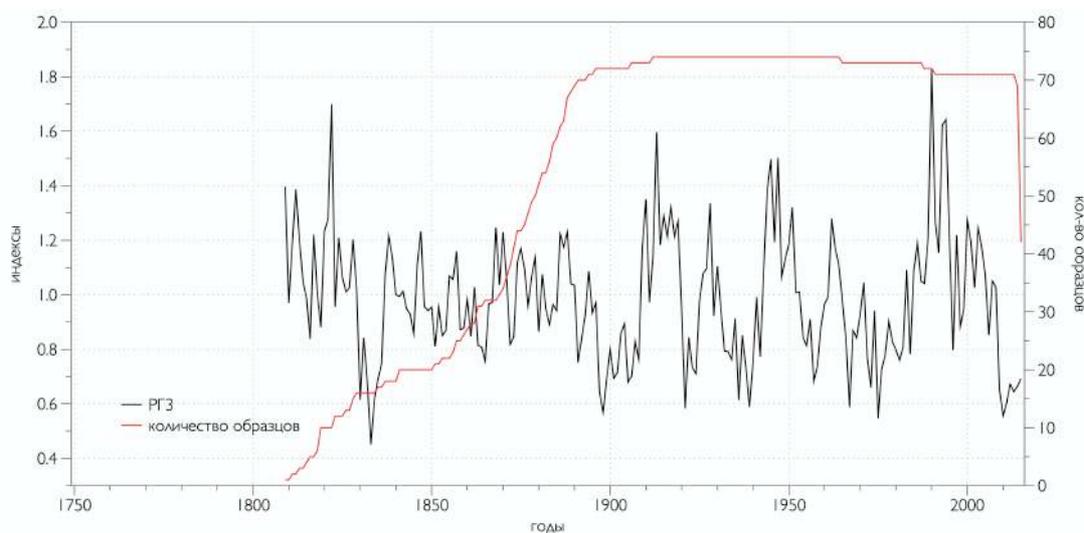
После проведения анализа климатического сигнала для каждой площадки в рамках указанных трех групп, нами выбраны те площадки, климатический сигнал которых оказался наиболее значим и высок, что позволило построить региональные мастер-хронологии РГ2 (T01S, Y01S, Y02S) и РГ3 (T06S, T08S) для северо-запада и юго-востока Поволжья соответственно (глава 4). Последующий анализ реперных лет проведен уже для новых мастер-хронологий РГ2 и РГ3 (таблица 3.1), из которых исключены площадки с наименьшей чувствительностью к климатическим параметрам. Региональная хронология РГ1 также построена для климатического анализа на основании данных площадок T24S и T25S, но сигнал РГ1 оказался низким и незначимым, на основании чего анализ реперных лет для этой хронологии не производился.



(а)



(б)



(в)

Рисунок 3.2.3 – Региональные мастер-хронологии по ширине годичных колец (мм) а – РГ2 (Т01S, Y01S, Y02S и б – РГ3 (Т06S, Т08S) красная линия – количество образцов, черная – индексы прироста

Приросты группы площадок РГ1 и РГ2 заметно различаются, несмотря на небольшую удаленность друг от друга (порядка 100 км). Предположительно, деревья группы РГ1 произрастают в оптимальных климатических условиях и на них слабее действуют факторы, лимитирующие прирост [Шиятов и др., 2000]. В главе 4 это предположение будет подтверждено результатами дендроклиматического анализа.

3.3 Региональная хронология MasterTY

Региональная мастер-хронология MasterTY табл. 3.1, рис.3.3.1 имеет наиболее широкий территориальный охват, в нее вошли площадки из всех частей района работ – северной (Т01S, Т02S, Y02S), центральной (Т08S) и южной (Т06S). ДКХ объединены в хронологию по принципу наибольшей чувствительности прироста к индексу scPDSI в целях его дальнейшей реконструкции.

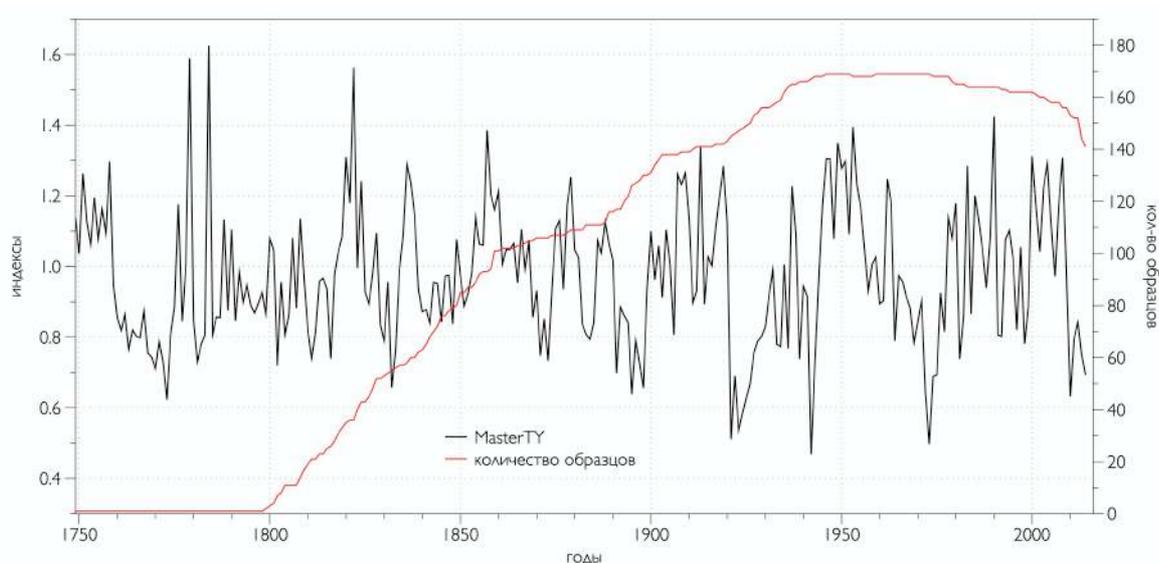


Рисунок 3.3.1 – Региональная хронология по ширине годичных колец MasterTY (1749-2014), черная линия – ширина годичных колец, красная линия – количество образцов

3.4 Хронологии по архитектурной древесине

Одна из задач нашей работы – датирование архитектурной древесины Поволжья относительно хронологий по живой древесине с целью продления рядов древесно-кольцевых данных и построения длинной непрерывной ДКХ. Для этого, во время наших экспедиций в Поволжье, помимо живой мы отбирали образцы архитектурной древесины из деревянных церквей XIX века.

В данном разделе приведена информация обо всех деревянных церквях, из которых нами отобран материал, в том числе из тех, которые не удалось надежно датировать. В главе описана датировка образцов архитектурной древесины, поэтапное построение из них плавающих хронологий и, в заключении, дана информация о полученной новой длинной дендрошкале Volga.

В ходе полевых работ, проведенных автором, совместно с коллегами из ИГ РАН в Поволжье в период с 2015 по 2017 гг., отобрано 92 керна из 74 образцов древесины 6-ти деревянных церквей конца XIX века (табл. 3.1). Все церкви заброшены много десятилетий назад и большинство из них находятся в аварийном состоянии. Из 6 церквей надежные хронологии удалось построить лишь по 2: T17A, T27A, 6 образцов из здания в центре г. Самары T32A также датированы и вошли в состав ДКХ Volga.

Хронология T17A. Согласно историческим свидетельствам [Липаков и др., 1998], деревянная церковь Михаила Архангела построена в 1865 г. в селе Саконы (республика Татарстан, рис. 3.4.1, 3.4.2) на месте старой церкви, в которой с 1823 г. велся церковный архив, а с 1884 г., уже в новом здании, действовала церковно-приходская школа. 5 октября

1940 г. на собрании членов колхоза «Кама» было принято решение о закрытии храма, после чего церковь была заброшена и уже не возобновила работу.

В 2017 г. во время экспедиции в Поволжье из церкви Михаила Архангела нами отобрано 28 кернов из 17 фрагментов древесных конструкций (бревен). В результате перекрестного датирования образцов, построена «плавающая» хронология T17A, длина которой составила 326 лет, межсерийный коэффициент корреляции серий достаточно высок ($r=0.5$) – деревья, из которых построена церковь, росли в схожих природно-климатических условиях и, вероятно, близко друг от друга. Плавающую хронологию удалось датировать относительно площадки T07S (рис. 3.4.1) 1862 годом (год первого кольца 1537). Подробные сведения о коэффициентах корреляции между древесно-кольцевыми сериями площадок, вошедших в новую длинную хронологию Volga приведены в Приложении 1.

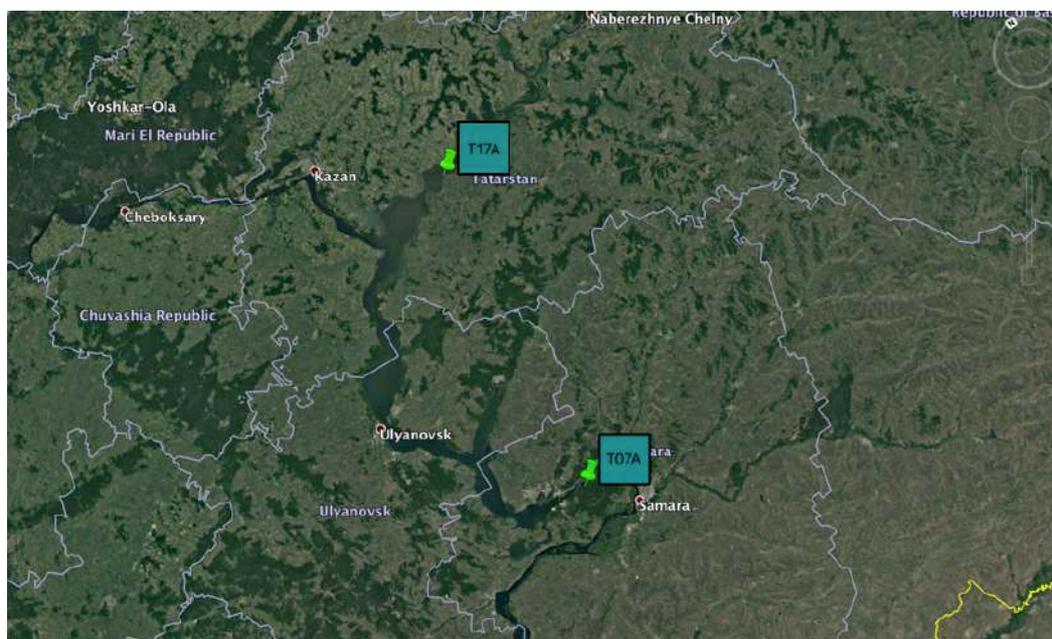


Рисунок 3.4.1 – Карта расположения дендрохронологических площадок - T17A, T07S



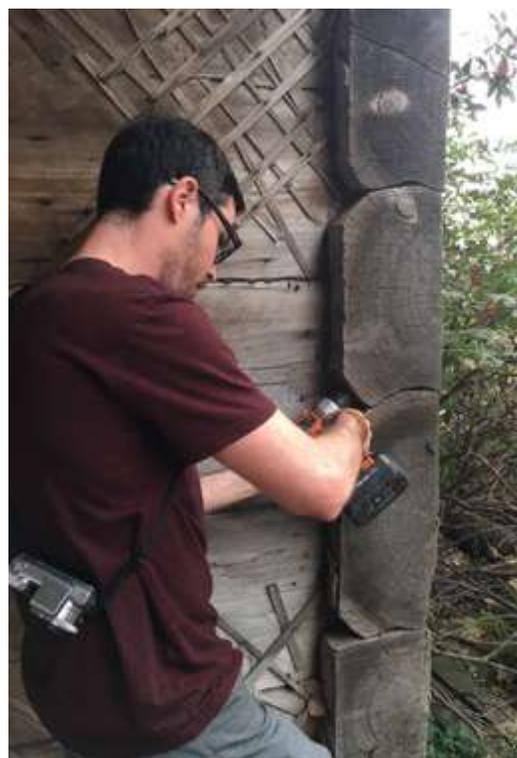


Рисунок 3.4.2 – Отбор дендрохронологических образцов, церковь Михаила Архангела (Т17А), село Саконы (август 2017 г.), фото В.В. Кузнецовой

Результаты перекрестного датирования представлены на рис. 3.4.3. На основании статистических показателей (табл. 3.4.1 и 3.4.2) можно сделать вывод о высокой надежности полученной нами даты последнего внешнего кольца хронологии – 1862 г. ($t\text{-test}=13,9$, $CDI\leq 101$). Данная датировка согласуется с историческими свидетельствами с разницей в 2 года (церковь была построена в период с 1864 по 1865 гг.) Подобная разница в полученных датировках связана с тем, что при отборе образцов из церкви Михаила Архангела был потерян небольшой фрагмент внешней части самого молодого ядра т.к. древесина в этом сегменте имела плохую сохранность.

В дендрохронологической практике при датировании плавающих хронологий принято опираться не только на статистический анализ, но и на визуальное сходство хронологий [Rinn, 1996].

Как видно из рис. 3.4.3, плавающая хронология T17A и мастер-хронология T07S схожи как визуально, так и статистически, о чем свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции на протяжении всего ряда измерений ($r \leq 0,91$ на участке 1800-1675 гг.), в период с 1825 по 1850 гг. связь уменьшается ($r = -0,21$) и вновь возрастает вплоть до первого кольца плавающей хронологии 1862 г. ($r = 0,49$). Длина общего периода у хронологий составила 235 лет (при первичном датировании к рядам T07S были добавлены 4 самых длинных образца – 1AN, 1BDN, 2AN, 9ANNN, которые датировались относительно T07S с высокими коэффициентами надежности: $CDI \geq 30$, $GLK \geq 58$, длина общего периода от 81 года).

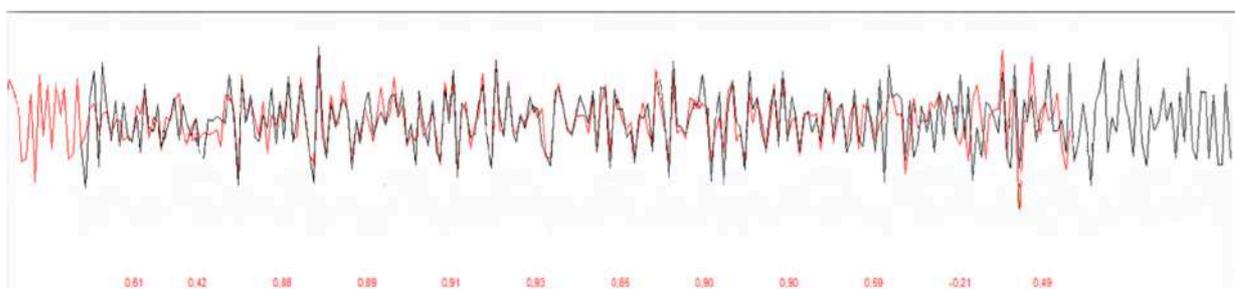


Рисунок 3.4.3 – Результаты перекрестного датирования плавающей хронологии T17A (красная линия) относительно хронологии T07S (черная линия), красным цветом указаны коэффициенты корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями (см. раздел 2.2.6)

Таблица 3.4.1 Статистические характеристики индивидуальных образцов плавающей хронологии T17A, (* = 95,0%, ** = 99,0%, *** = 99,9%)

Код образца	Описание образца	Наличие внешнего кольца	Первый год	Последний год	Число годовых колец	Показатели сходства с мастер-хронологией T07A/T17S (CDI/TVBP/Glk/GSL)	Показатели сходства со средней серией из остальных образцов (CDI/TVBP/Glk)
1BDN			1632	1848	216	42/6,3/65/***	85/9,9/71/***
1AN			1627	1836	209	48/7,2/66/***	80/9,8/75/***
2AN			1647	1852	205	62/8,3/68/***	82/10,6/68/** *

2BN			1647	1834	187	93/11,9/77/****	109/12,6/72/* **
3A_1N			1717	1839	122	17/2,9/60/*	42/5,3/66/****
3BN			1750	1777	27	нет надежной датировки	
4ANNN			1786	1852	66	4/0,7/57/	54/6,3/71/****
4bN			1631	1784	153	51/7,2/71/****	59/7,3/72/****
5AN			1631	1795	164	44/6,4/65/****	78/9,4/75/****
T176N NN			1651	1859	208	50/7,3/65/****	77/9,8/69/****
7ANNN			1636	1817	181	47/6,9/64/****	68/8,5/69/****
7BNNN			1632	1815	183	43/7,1/64/****	66/8,5/71/****
8N			1631	1733	102	39/5,5/64/****	53/7,6/64/****
9a(b)			1647	1840	193	88/10,3/74/****	104/12,4/70/* **
9ANNN			1537	1820	283	47/7,5/69/****	103/12,6/79/* **
9BANN			1629	1793	164	101/12,3/83/****	87/9,7/76/****
10bN			1638	1764	126	46/6,3/69/****	58/7,8/67/****
11aN			1650	1828	178	98/11,3/76/****	96/11,4/71/**** *
13N			1754	1862	108	16/3,1/56	37/4,9/69/****
14ann			1627	1832	205	111/12,5/76/****	98/12,6/75/**** *
14bNN			1691	1811	120	нет надежной датировки	
15aN			1647	1830	183	87/10,1/70/****	84/10,9/72/**** *
15b2N			1653	1801	148	81/11,5/67/****	80/10,5/68/**** *
17_2N			1629	1820	191	65/9,1/69/****	86/10,0/72/**** *
18ANN N			1642	1698	56	25/2,9/66/****	38/4,8/81/****
18BNN N			1649	1710	61	11/1,9/61/*	26/4,0/65/****
NAN			1684	1820	172	54/7,0/68/****	66/8,1/70/****
NA_2N			1642	1786	144	36/5,4/63/****	53/6,6/66/****

Таблица 3.4.2 Результаты перекрестного датирования плавающей хронологии T17A относительно хронологии T07S. В таблице приведены возможные датировки плавающей хронологии в порядке уменьшения статистической достоверности полученных оценок

общий период	P2Yrs		BaPi		C84F		BesIE		MeanSF		P2Yrs		GLK	P2YrsL		год
	CorrC	TTest	GLK	CorrC	TTest											
235	0,69	14,4	0,67	13,6	0,64	12,6	0,61	11,6	0,65	13,0	0,69	14,5	0,73	0,67	13,9	1862
105	0,25	2,6	0,27	2,9	0,30	3,2	0,35	3,7	0,29	3,1	0,26	2,7	0,57	0,29	3,1	1732
170	0,21	2,8	0,17	2,2	0,20	2,6	0,17	2,2	0,19	2,4	0,20	2,6	0,59	0,22	2,9	1797
203	0,18	2,6	0,20	2,9	0,18	2,6	0,13	1,9	0,17	2,5	0,17	2,5	0,60	0,18	2,6	1830
66	0,28	2,3	0,19	1,5	0,25	2,1	0,26	2,1	0,24	2,0	0,31	2,6	0,58	0,29	2,5	1693
157	0,16	2,0	0,10	1,3	0,14	1,8	0,12	1,5	0,13	1,6	0,18	2,3	0,56	0,18	2,3	1784
147	0,20	2,4	0,22	2,7	0,11	1,3	0,03	0,4	0,14	1,7	0,19	2,3	0,56	0,19	2,3	1774
217	0,18	2,7	0,20	3,0	0,21	3,2	0,18	2,6	0,19	2,9	0,18	2,7	0,53	0,14	2,1	1844
144	0,19	2,3	0,16	1,9	0,19	2,3	0,16	2,0	0,18	2,1	0,18	2,2	0,56	0,17	2,1	1771

В результате объединения двух ДКХ T07S и T17A нам удалось продлить хронологию по живой древесине T07S на 249 лет (1537-2014), увеличив период с EPS больше 0.85 на 173 года (с 1840 по 1667). В новую ДКХ Volga вошли 87 древесно-кольцевых серий со средним межсерийным коэффициентом корреляции 0.6, средней чувствительностью 0.2, что положило начало длинной, наполненной образцами хронологии. Заметим, что изначально для датирования хронологии мы пытались использовать ближайшие площадки по живым деревьям, расположенные в республиках Татарстан и Марий Эл. Однако, большинство хронологий, расположенных в Республике Татарстан (кроме T24S и T25S, которые не подходят для датирования в силу произрастания в оптимальных условиях (глава 4) имеют низкую наполненность образцами именно в начале-середине XIX века (рис. 3.3-3.17), что не позволило осуществить датирование.

ДКХ T07S – единственная из всех поволжских хронологий по живой древесине, по которой удалось датировать церковь, находится на расстоянии в 280 км от села Саконы и имеет относительно хорошую наполненность образцами в 1800-1850 гг. (две серии хронологии доходят до 1800 года, до 1820 г. доходят 10 серий). Однако, для датирования исторической древесины недостаточно длины и наполненности хронологии образцами – важно, чтобы деревья произрастали в схожих условиях, под воздействием определенного лимитирующего фактора. В нашем случае для площадок T07S и T17A выполняются оба условия, что позволило нам произвести датирование.

Вероятность того, что древесина для построения церкви была привезена, невелика – едва ли материал для строительства привезли из района Самары в Татарстан, против течения Волги, в более богатый лесными угодьями край – поэтому мы остановимся на заключении о схожих условиях произрастания деревьев в этих двух районах.

Таким образом, дальность датирования древесины в конкретном случае составляет порядка 280 км.

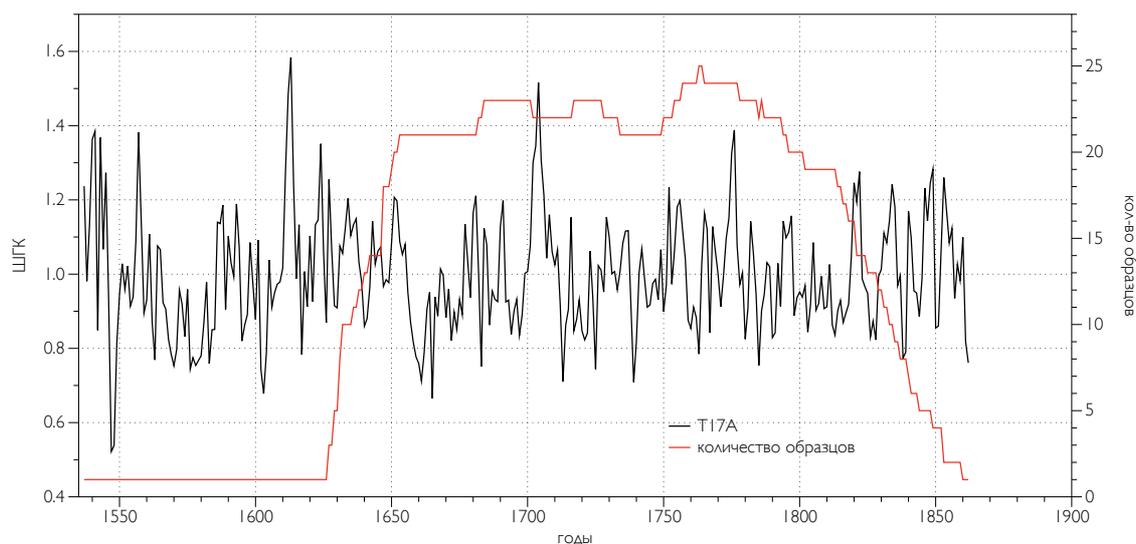


Рисунок 3.4.4 – Хронология по ширине годичных колец T17A, 1537-1862 гг. (326 лет)

Хронология T27A. По данным немногочисленных исторических свидетельств церковь Михаила Архангела (рис. 3.4.6) была построена в селе Архангельское в 1850 г. Рогачевыми [Баженов, 1900]. В советское время здание церкви использовалось под склад зерна колхоза «Россия» Сурского района Ульяновской области. В последние 40 лет церковь не действует.

В 2017 г. мы отобрали 17 образцов древесины из 10 бревен несущей конструкции церкви. В результате перекрестного датирования образцов, построена плавающая хронология T27A продолжительностью в 237 лет. Межсерийный коэффициент корреляции составил 0.5, средняя чувствительность серий – 0.2. ДКХ T27A удалось датировать относительно хронологии Volga – дата последнего кольца 1840 год, первого – 1604 г. (табл. 3.1, рис. 3.4.7). Хронология датирована с высокими и с достоверными показателями надежности датировки (табл. 3.4.3 и 3.4.4): *t-test* для общих хронологий составляет 7,4, $CDI \leq 35$ и визуальным сходством (рис. 3.4.7), Несмотря на надежность полученных дат для плавающей хронологии, от исторических источников датировка отличается на 10 лет (1840 и 1850 гг.), что может быть связано с частичной потерей внешней части керна при отборе образцов.

Площадка T27A лежит между T07S и T17A: расстояние от села Архангельское до села Саконы составляет 150 км, до Жигулевского заповедника – 200 км.



Рисунок 3.4.5 – Карта расположения дендрохронологических площадок T27A и T07S



Фото Перфильева В.А. /август 1975 г./



Фото Перфильева В.А. /август 1975 г./



Фото Кузнецовой В.В. /август 2017 г./



Фото Кузнецовой В.В. /август 2017 г./



Фото Кузнецовой В.В. /август 2017 г./



Фото Кузнецовой В.В. /август 2017 г./

Рисунок 3.4.6 – Церковь Михаила Архангела, село Архангельское, Ульяновская обл. 1975 (Перфильев В.А.) и 2017 (Кузнецова В.В.)

Таблица 3.4.3 Статистические характеристики индивидуальных образцов
плавающей хронологии, (* = 95,0%, ** = 99,0%, *** = 99,9%)

Код образца	Описание Образца	Наличие внешнего кольца	Первый год	Последний год	Число годовичных колец	Показатели сходства с мастер-хронологией T07AT17S (CDI/TVBP/Glk)	Показатели сходства со средней серией из остальных образцов (CDI/TVBP/Glk)
1A	Бревно-опора основной конструкции церкви	Нет	1650	1710	60	31/4,1/69/***	52/6,5/77/***
1A	Бревно-опора основной конструкции церкви	Нет	1650	1710	60	31/4,1/69/***	52/6,5/77/***
1A2	Бревно-опора основной конструкции церкви		1714	1794	80	35/4,5/66/**	57/6,5/76/***
1B	Бревно-опора основной конструкции церкви		1650	1827	177	23/3,5/60/**	99/12,2/74/***
2AN	Бревно-опора основной конструкции церкви	Нет	1651	1814	163	9/1,5/57	71/9,2/69/***
2B	Бревно-опора основной конструкции церкви	Нет	1647	1799	152	5/0,8/50	63/7,5/72/***
3A	Бревно-опора основной конструкции церкви	Нет	1702	1818	116	30/4,4/68/***	37/5,9/63/**
3B	Бревно-опора основной конструкции церкви	Нет	1653	1807	154	13/2,0/57	25/3,1/67/**
4N	Бревно-опора основной конструкции церкви	Нет	1714	1839	125	15/2,1/58	51/7,2/78/***

5N	Бревно-опора основной конструкции церкви	Нет	1672	1819	147	17/2,8/57	56/7,6/70/***
6N	Бревно-опора основной конструкции церкви		1727	1803	76	11/1,3/59/*	80/10,2/72/***
7	Бревно-опора основной конструкции церкви		1716	1752	36	10/2,0/61	39/5,1/73/***
8AN	Бревно-опора основной конструкции церкви	Нет	1635	1840	205	21/3,7/56/**	33/6,0/67/*
8B	Бревно-опора основной конструкции церкви		1635	1822	187	22/3,8/59/**	101/13,1/75/***
9	Бревно-опора основной конструкции церкви		1752	1798	46	24/4,2/68/**	104/11,9/78/***
10a	Бревно-опора основной конструкции церкви		1604	1771	167	11/1,7/58/**	105/12,5/80/***
10b	Бревно-опора основной конструкции церкви		1625	1795	170	17/2,5/57/*	114/13,0/81/***

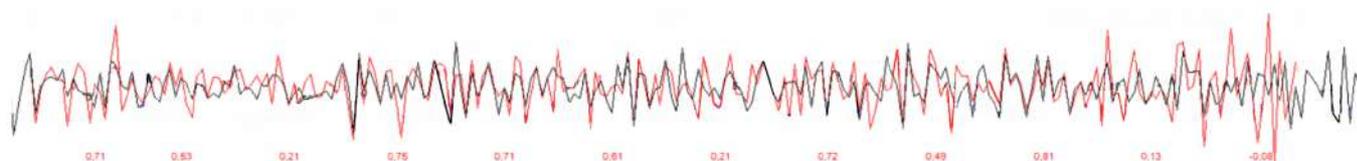


Рисунок 3.4.7 – Результаты перекрестного датирования плавающей хронологии T27A (красная линия) относительно хронологии T07ST17A (черная линия), красным цветом указаны коэффициенты корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями

Таблица 3.4.4 Результаты перекрестного датирования плавающей хронологии T27A относительно хронологии T07S. В таблице приведены возможные датировки плавающей хронологии в порядке уменьшения статистической достоверности полученных оценок

Общий период	P2Yrs		BaPi		C84F		BesIE		MeanS F		P2Yrs		GLK	P2Yrs L		год
	CorrC	TTest		CorrC	TTest											
236	0,44	7,6	0,44	7,5	0,46	7,8	0,45	7,6	0,45	7,6	0,43	7,3	0,64	0,44	7,4	1840
236	0,20	3,1	0,20	3,1	0,21	3,2	0,21	3,3	0,20	3,2	0,19	2,9	0,58	0,20	3,2	1817
86	0,30	2,9	0,22	2,1	0,15	1,4	0,12	1,1	0,20	1,8	0,30	2,9	0,60	0,30	2,9	1623
159	0,14	1,7	0,08	0,9	0,09	1,1	0,09	1,1	0,10	1,2	0,14	1,7	0,52	0,18	2,3	1696
180	0,17	2,3	0,14	1,9	0,07	1,0	0,00	0,0	0,10	1,3	0,18	2,4	0,51	0,15	2,1	1717
236	0,13	2,0	0,13	2,0	0,03	0,5	0,00	0,0	0,07	1,1	0,14	2,1	0,53	0,12	1,9	1843
236	0,10	1,5	0,12	1,9	0,10	1,6	0,10	1,6	0,11	1,6	0,08	1,3	0,50	0,12	1,9	1794
177	0,12	1,6	0,15	2,0	0,12	1,6	0,09	1,2	0,12	1,6	0,12	1,6	0,58	0,14	1,8	1714
118	0,14	1,5	0,11	1,2	0,12	1,4	0,13	1,4	0,13	1,4	0,14	1,5	0,57	0,17	1,8	1655

В результате ДКХ Volga дополнена образцами площадки T27A, продлив период с EPS больше 0.85 еще на 27 лет - до 1640 г. и наполнив ДКХ новыми сериями с высокими коэффициентами корреляции.

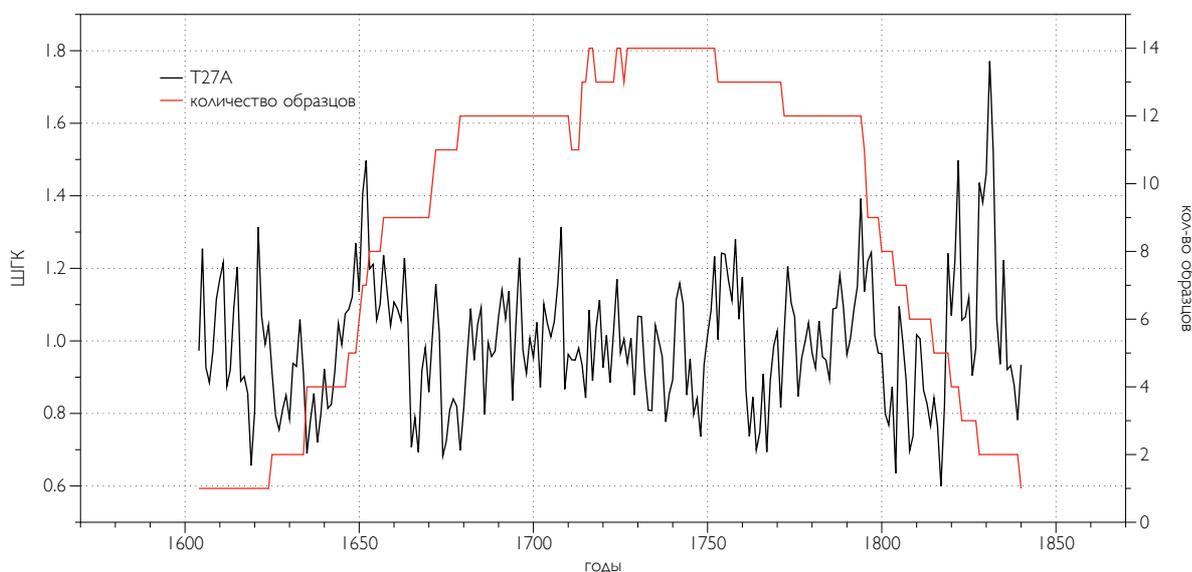


Рисунок 3.4.8 – Хронология по ширине годичных колец T27A, 1604-1840 гг. (237 лет)

Хронология T32A, г. Самара. Помимо перечисленных выше хронологий, нами была построена еще одна плавающая хронология T32A из Старой Самары продолжительностью в 173 года (1684-1857), в состав которой вошли три спила бревенчатых конструкций, отобранных из строения в центре г. Самара. Для каждого спила измерены по 2 радиуса, что позволило с высокой надежностью датировать образцы друг относительно друга, а затем включить в сводную хронологию Volga.

Для каждого образца плавающей хронологии (табл. 3.4.5) произведено перекрестное датирование по данным мастер-хронологии Volga (на тот момент хронология включала площадки T01S, T07S, T17A и T27A (рис. 3.4.9)), что позволило определить точную дату года внешнего кольца – 1857 г.

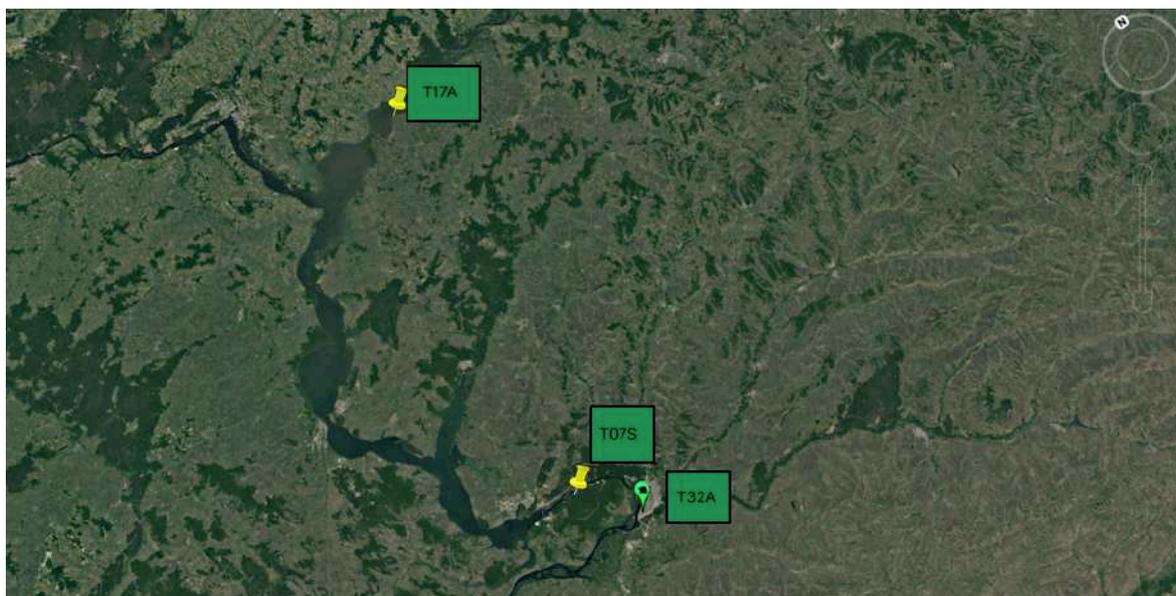


Рисунок 3.4.9 – Карта расположения дендрохронологических площадок, на основании которых построена мастер-хронология T07ST17A и площадки T32A

На рисунке 3.4.10 представлены результаты перекрестного датирования плавающей хронологии относительно региональной мастер-хронологии Volga. Как видно из рисунка 3.4.10, связь хронологии T32A с ДКХ Volga неоднородна: на некоторых участках взаимные корреляции сегментов высокие и достигают 0,66, а на некоторых низкие и близки к 0. Статистическая достоверность перекрестного датирования во многом определяется длиной древесно-кольцевых серий (табл. 3.4.5). Согласно совокупности статистических показателей (CDI, TVBP, Glk), самые надежные датировки получены для длинных образцов – C1 (161 год) и C2 (67 лет) (табл. 3.4.5). Наиболее вероятной датой постройки деревянного сооружения является 1857 г (год окончания самой длинной древесно-кольцевой серии, C1B, табл. 3.4.5, 3.4.6 рис. 3.4.10).

Таблица 3.4.5 Статистические характеристики индивидуальных образцов плавающей хронологии

Код образца	Описание Образца	Наличие внешнего кольца	Первый год	Последний год	Число годовых колец	Показатели сходства с мастер-хронологией T07AT17S (CDI/TVBP/Glk)	Показатели сходства со средней серией из остальных образцов (CDI/TVBP/Glk)
C1A	Спил бревенчатых конструкций №1	нет	1684	1836	152	18/2,6/59	80/9,6/74
C1B	Спил бревенчатых конструкций №1	нет	1696	1857	161	14/1,9/61	129/15,3/80
C2K	Спил бревенчатых конструкций №2	нет	1766	1832	66	12/1,9/65	69/7,7/77

C2E	Спил бревенчатых конструкций №2	нет	1766	1833	67	11/1,8/69	72/8,4/78
C3B	Спил бревенчатых конструкций №3	нет	1799	1845	46	10/2,2/62	76/7,1/83
C3A	Спил бревенчатых конструкций №3	нет	1801	1848	47	5/1,3/59	70/7,1/84

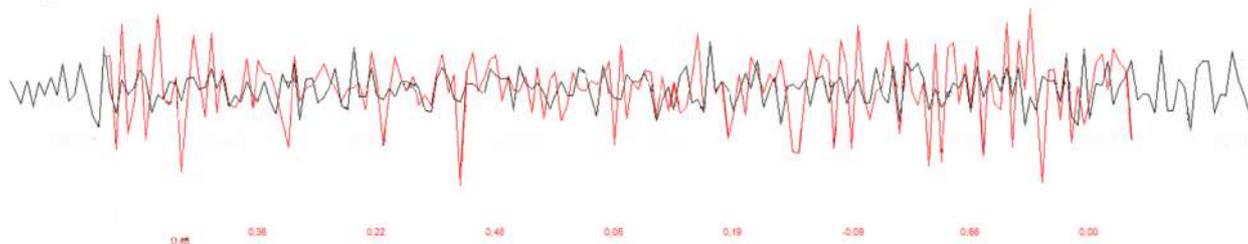


Рисунок 3.4.10 – Результаты перекрестного датирования плавающей хронологии (красная линия) относительно мастер-хронологии (черная линия). Красным цветом указаны коэффициенты корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями

Таблица 3.4.6 Результаты перекрестного датирования плавающей хронологии относительно мастер-хронологии T07ST17A. В таблице приведены возможные датировки плавающей хронологии в порядке уменьшения статистической достоверности полученных оценок

общий период	P2Yrs		BaPi		C84F		BesIE		MeanSF		P2Yrs		GLK	Skel	Skel	P2YrsL		год
	CorrC	TTest	GLK	CorrC	Chi2	CorrC	TTest											
173	0,23	3,1	0,15	2,0	0,15	2,0	0,10	1,3	0,16	2,1	0,23	3,0	0,58	0,22	1,6	0,23	3,1	1857
173	0,20	2,6	0,22	3,0	0,16	2,1	0,09	1,1	0,17	2,2	0,10	1,3	0,58	0,21	1,2	0,22	2,9	1739
52	0,38	2,9	0,36	2,7	0,31	2,3	0,31	2,3	0,34	2,5	0,34	2,6	0,71	0,36	1,2	0,38	2,9	2135
173	0,21	2,8	0,15	1,9	0,17	2,2	0,13	1,7	0,16	2,2	0,19	2,6	0,60	0,17	3,2	0,22	2,9	1845
173	0,19	2,6	0,11	1,4	0,16	2,1	0,11	1,5	0,14	1,9	0,12	1,5	0,53	0,09	0,4	0,20	2,6	1715
64	0,31	2,6	0,25	2,0	0,26	2,1	0,16	1,3	0,24	2,0	0,28	2,3	0,61	0,25	2,5	0,31	2,5	2123
173	0,20	2,6	0,18	2,3	0,17	2,3	0,11	1,4	0,16	2,2	0,21	2,8	0,57	0,15	3,0	0,19	2,5	1989
173	0,19	2,6	0,19	2,5	0,15	1,9	0,21	2,8	0,19	2,4	0,20	2,7	0,56	0,13	0,3	0,19	2,5	1838
164	0,17	2,2	0,19	2,5	0,19	2,4	0,16	2,1	0,18	2,3	0,13	1,7	0,48	0,18	4,9	0,18	2,4	2023

Таким образом, нами получена новая длинная дендрошкала Volga, длина которой составила 478 лет (1537-2014), EPS больше 0.85 получен для периода с 1640 по 2014 гг. В хронологию вошли 89 древесно-кольцевых серий, 13778 годичных колец. Средняя чувствительность серий составила 0,24 (рис. 3.4.11, 3.4.12, табл. 3.1).

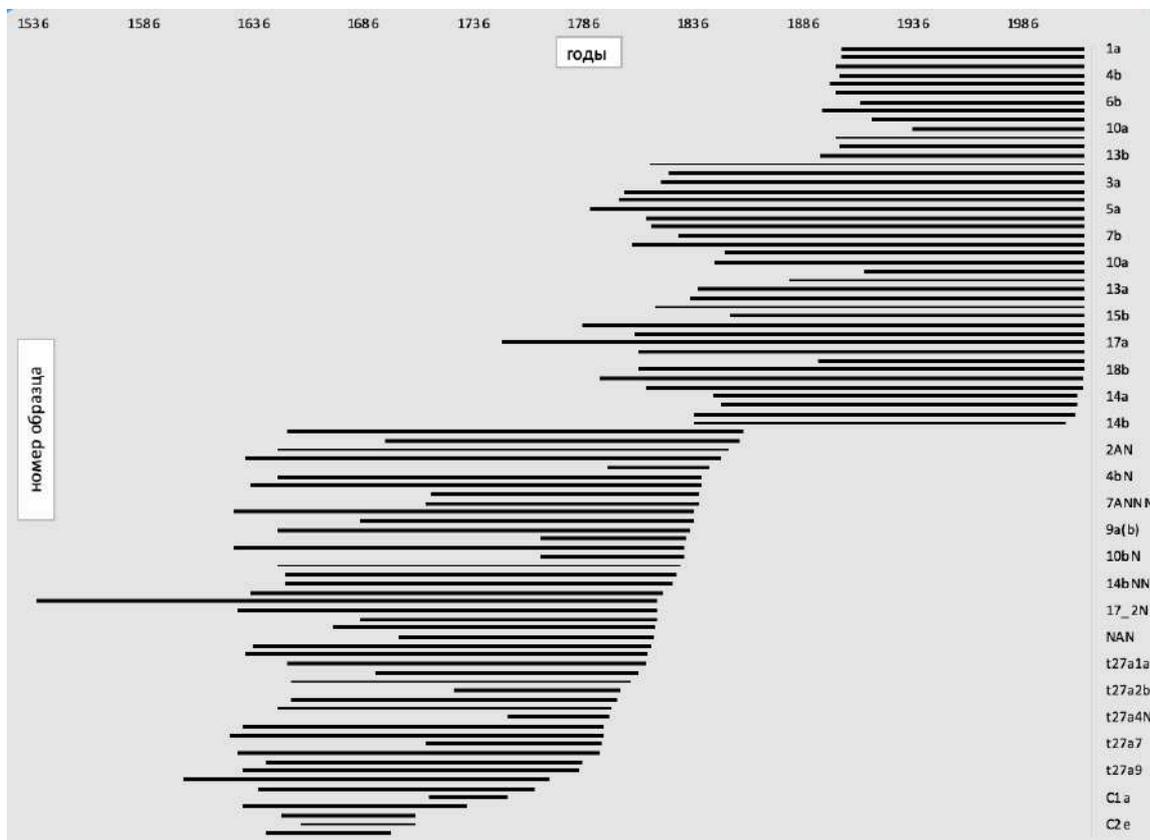


Рисунок 3.4.11 – Распределение по времени образцов, входящих в хронологию Volga



Рисунок 3.4.12 – Стандартная хронология по ширине годичных колец Volga (1537-2014), вертикальной чертой обозначена граница EPS>0.85

Рассмотрим образцы, которые не удалось включить в хронологию Volga.

Хронология T14A (рис. 3.4.13, табл. 3.1) построена из образцов древесины церкви Спаса Преображения, село Сеитово, республика Татарстан. ДКХ имеет короткие ряды измерений в силу плохой сохранности образцов – каждый керн при отборе материала рассыпался на сегменты по 20-30 лет, часть колец потеряна, что не позволило произвести надежное датирование серий. Нам известно, что церковь Спаса Преображения в настоящий момент утрачена, как и церковь Михаила Архангела (T17A).



(а)

(б)

Рисунок 3.4.13 – T14A, церковь Спаса Преображения, село Сеитово, республика Татарстан, Фото (а) – <http://sobory.ru/article/?object=24742>, фото (б) - Кузнецовой В.В.

Образцы древесины из церквей Михаила Архангела (рис. 3.4.14, табл. 3.1), село Архангельские Кляри, (**T16A**), Богоявления Господня (рис. 3.4.15, табл. 3.1), село Антоновка (**T18A**), Александра Невского (рис. 3.4.16, табл. 3.1), село Большие Меми (**T20A**) не удалось перекрестно датировать по причине плохой сохранности древесины. Согласно данным, приведенным на сайте www.sobory.ru, который содержит информацию о большинстве церквей на территории страны, церкви и сейчас существуют, несмотря на неудовлетворительное состояние. Возможно, в ходе будущих полевых работ нами будут отобраны новые образцы древесины лучшей сохранности, чем нам удалось отобрать в ходе экспедиций 2015-2017 гг.



(a)



(б)

Рисунок 3.4.14 – Т16А, церковь Михаила Архангела, село Архангельские Кляри, республика Татарстан. Фото (a) [<https://sobory.ru/article/?object=21617>], фото (б) – Кузнецовой В.В.



(a)



(б)

Рисунок 3.4.15 – Т18А, церковь Богоявления Господня, село Антоновка, республика Татарстан. Фото (a) [<http://sobory.ru/article/?object=24745>], фото (б) – Кузнецовой В.В.

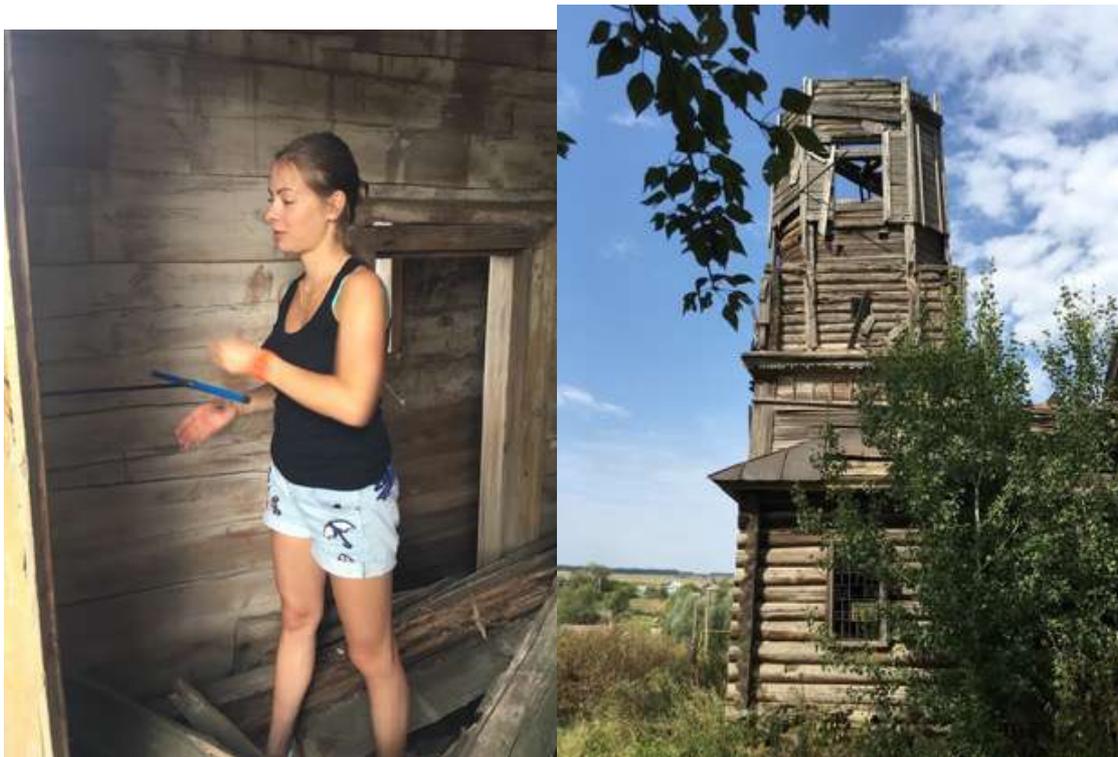


Рисунок 3.4.16 – Т20А, церковь Александра Невского, село Большие Мемы, республика Татарстан, фото Кузнецовой В.В.

Выводы:

1. Автором построены 22 ДКХ по живой (15 хронологий) и архитектурной (7 хронологий) древесине сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Они довольно равномерно расположены по территории и образуют трансект с северо-запада на юго-восток (СЗ-ЮВ), заполняя пробел в древесно-кольцевых данных Поволжья;
2. Хронологии по живой древесине разделены на три группы, близкие по динамике прироста: две – на северо-западе, и одну – на юго-востоке района работ, что позволяет выполнить одну из основных задач работы – выявить закономерности изменения климатического сигнала ШГК в пределах заданного трансекта;
3. Для всей территории района работ построена одна региональная мастер-хронология MasterTY, в которую вошли наиболее чувствительные к индексу scPDSI древесно-кольцевые хронологии T01S, T02S, Y02S, T08S, T06S;
4. Впервые для Поволжья построена длинная и непрерывная дендрошкала Volga, имеющая привязку к современности и продлевающая ряды древесно-кольцевых данных на 478 лет; каждое годичное кольцо хронологии имеет календарную датировку;
5. В процессе создания Поволжской дендрошкалы подтверждены исторические данные о датах постройки некоторых архитектурных объектов – церквей, расположенных в Республике Татарстан и Ульяновской области. Датирование плавающих хронологий показало, что оно возможно в Поволжье в радиусе как минимум 280 км.

ГЛАВА 4 КЛИМАТИЧЕСКИЙ СИГНАЛ В ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЯХ

4.1 Связь радиального прироста сосны в Поволжье с основными гидрометеорологическими параметрами

В настоящей главе мы приводим результаты анализа климатического сигнала ширины годовых колец сосны для трансекта северо-запад-юго-восток (дендрохронологические площадки групп Г1 (Т25S и Т24S), Г2 (Т01S, Т02S, Y01S, Y02S, Т19S), Г3 (Т10S, Т08S, Т07S, Т06S, Т22S), главы 2, 3), на основании которых установлены некоторые пространственные закономерности отклика радиального прироста сосны в Поволжье на гидрометеорологические параметры (температура, осадки), индекс суровости засухи Палмера (scPDSI) и речной сток. Также, рассмотрен климатический сигнал региональных мастер-хронологий *PG2 (Т01S, Y01S, Y02S)* и *PG3 (Т06S, Т08S)*, в которые вошли площадки, наиболее чувствительные к гидрометеорологическим параметрам.

Одной из задач нашей работы было проанализировать изменение климатического отклика ширины годовых колец в Поволжье и рассмотреть особенности отклика древостоя в разных условиях увлажнения, освещенности, ветрового режима. Для решения этих частных, но показательных и актуальных задач, мы провели два эксперимента, целью которых было показать условия формирования климатического сигнала радиального и линейного приростов в разных биотопах – сухом, свежем и влажном. В ходе первого эксперимента нами изучена связь радиального и линейного приростов с осадками разного генезиса (ливневые, обложные, морозящие – подробнее рассмотрены в главе 2). Цель этой работы – установить, оказывают ли влияние на прирост осадки разного генезиса и если да, то каково это влияние. В качестве гипотезы мы предполагаем, что выпадение ливневых и обложных осадков по-разному сказывается на приросте сосны в сухих, свежих и влажных биотопах, и эта разница обусловлена потребностями древостоев в увлажнении. Подобная работа является первой и уникальной в своем роде как для Поволжья, так и для центра Русской равнины в целом.

Второй эксперимент проведен для сосновых древостоев на территории Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника с целью изучения разницы радиальных приростов у двух групп деревьев, произрастающих на опушке и в глубине леса. В результате этого эксперимента мы рассчитываем установить связь прироста двух групп древостоев с климатическими параметрами и выявить основные отличия, если они имеются. Безусловно, в рамках этого эксперимента мы не ставим перед

собой задачи исследовать и проанализировать все возможные физиологические и экологические особенности связи прироста с гидрометеорологическими параметрами, но пытаемся осветить некоторые из них – условия увлажнения и местоположение в древостое.

В главе также приведены результаты анализа реперных лет для региональных мастер-хронологий *PG2 (T01S, Y01S, Y02S)* и *PG3 (T06S, T08S)*.

4.1.1 Связь хронологий по ширине годичных колец с температурой

Для выявления связи ширины годичных колец сосны с ежемесячной температурой приземного воздуха мы рассчитали коэффициенты корреляции Пирсона между всеми хронологиями (табл. 3.1) и температурой за период в 18 месяцев – с мая предыдущего года по октябрь текущего. Статистическая значимость корреляций оценена при помощи *t*-критерия Стьюдента по методу Л. Н. Большева (1983). Подробная информация об использованных данных и методике расчета связи между ШГК и метеопараметрами изложена в главе 2. Периоды наблюдения за температурой на метеостанциях составляют с 1937 по 2008 гг. для Саратова, с 1828 по 2015 гг., для г. Казани, с 1923 по 2017 гг., для Порецкого (Чувашия).

Корреляционный анализ показал, что в целом для региона обратная связь древесно-кольцевых хронологий с температурой вегетационного периода текущего (май-август) и предыдущего (май-август) года прослеживается для большинства хронологий и различается лишь по интенсивности и по значимости коэффициента корреляции (рис. 4.1.1), что характерно для многих хронологий Восточно-Европейской равнины [Матвеев, 2003, 2005, 2012, Мацковский, 2011, 2013, Соломина, 2016, 2017, Кузнецова, 2018, Тишин, 2006, Vabst, 2013 и др.] и, в частности, Поволжья [Тишин и др., 2008, О.А. Ефимова и соавт., 2017, 2018, Kosareva et al., 2017].

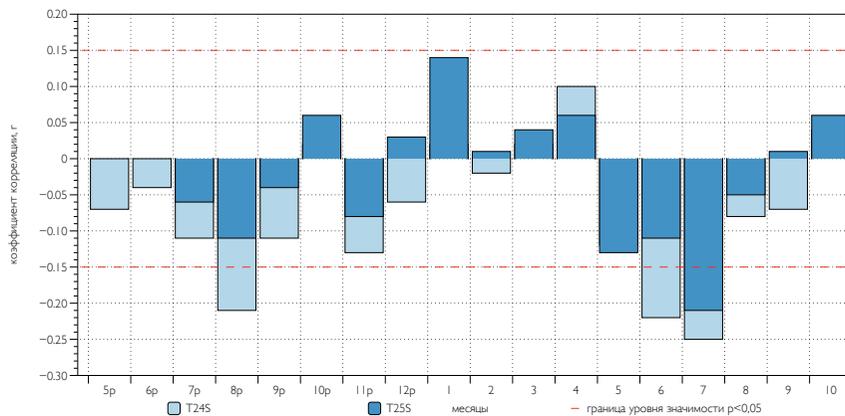
Рассмотрим отклик ШГК отдельных групп площадок на температуру.

Так, группа Г1, состоящая из двух площадок в Раифском участке Волжско-Камского заповедника, что на северо-западе района исследований (T24S, T25S, глава 3), демонстрирует слабую, но значимую отрицательную связь с температурой июня-июля текущего года ($r \leq -0,25$, $p < 0,01$) и августа года, предшествующего году формированию кольца ($r \leq -0,21$, $p < 0,01$).

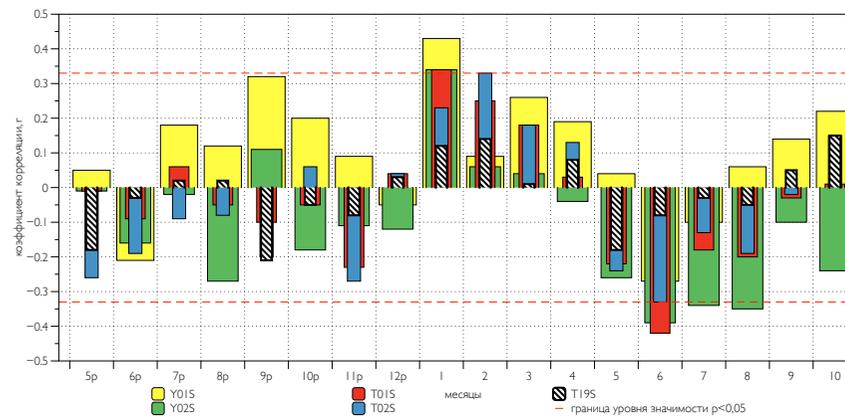
Группа Г2, расположенная к западу от группы Г1, на северо-западе региона, демонстрирует слабый климатический отклик на температуру с июня по август текущего года ($r \leq -0,39$, $p < 0,01$) и слабый (только площадки Y01S и T01S, $r \leq 0,43$, $p < 0,01$ и $r \leq 0,34$,

$p < 0.05$ соответственно) относительно общего количества площадок отклик на температуру января предыдущего года.

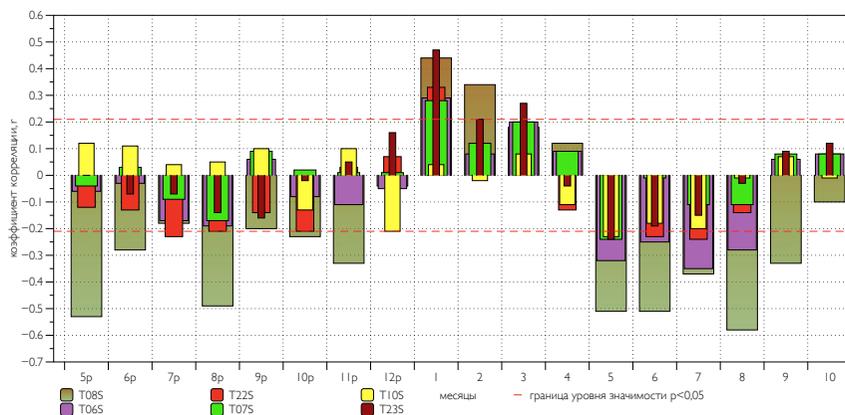
Группа Г3, что на юго-востоке региона, оказалась наиболее чувствительной к температуре летних месяцев как текущего, так и предыдущего года. Так, для большинства площадок группы Г3 (рис. 4.1.1в) характерна значимая обратная связь с температурой периода с мая по август текущего года (T06S, T07S, T08S, T22S, T23S с максимальными значениями $r \leq -0,51$, $p < 0.01$) и с мая по август предыдущего года (только для площадки T08S $r \leq -0,53$, $p < 0.01$). Также площадки группы Г3 более чувствительны к зимней температуре периода с января по февраль текущего и предыдущего года, но, как и в случае с группой Г2 знак связи меняется с отрицательного в летние месяцы на положительный в зимние. Так, те же площадки T06S, T07S, T08S, T22S, T23S чувствительны к зимней температуре с максимальными значениями коэффициента корреляции $r \leq 0,44$, $p < 0.01$.



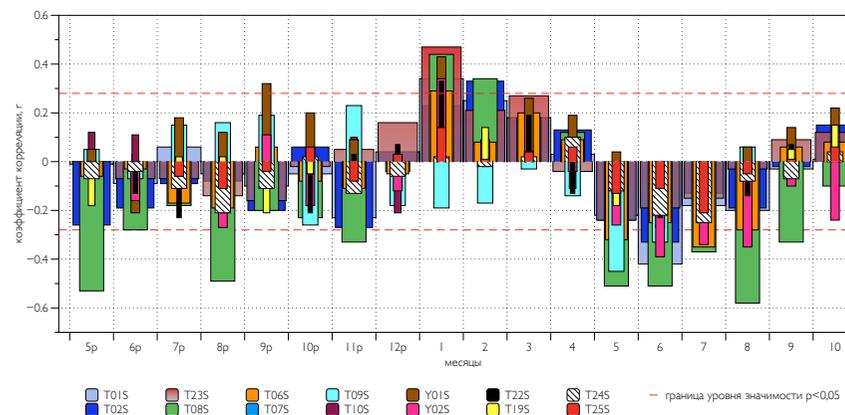
(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 4.1.1 – Коэффициенты корреляции индивидуальных хронологий по различным площадкам Поволжья со среднемесячной температурой (5,6... – за текущий год, 5р, 6р... – со сдвигом на 1 год), объединенных по группам на основании анализа главных компонент: а – группа площадок Г1, б – группа площадок Г2, в – группа площадок Г3, г – все площадк

4.1.2 Связь хронологий по ширине годичных колец с осадками

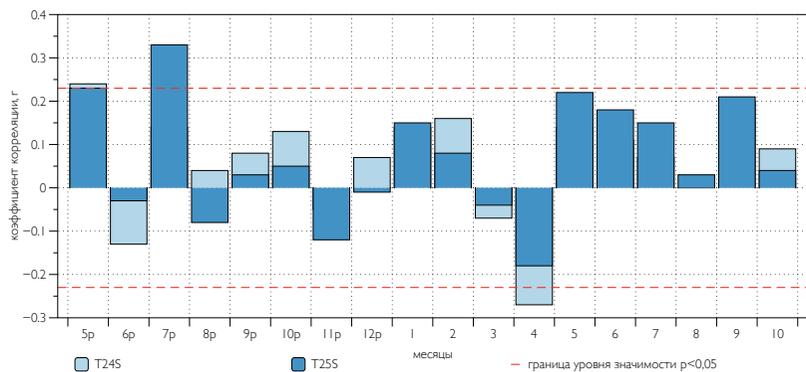
Как и для приземной температуры воздуха, мы рассчитали корреляции между всеми 15 хронологиями по ширине годичных колец сосны (таблица 3.1) со среднемесячными суммами осадков за 18 месяцев (с мая предыдущего года по октябрь текущего). Мы использовали данные тех же метеостанций, что и при расчете корреляций с температурой (глава 2), статистическая значимость корреляций также оценена с помощью t-критерия Стьюдента. Ряды наблюдений за осадками охватывают следующие периоды: для Саратова с 1966 по 1991 гг., для Казани с 1936 по 2010 гг., для Порецкого с 1966 по 2017 гг.

Пространственный анализ корреляций ежемесячного количества осадков с радиальным приростом сосны показал, что связь этих параметров изменяется с северо-запада на юго-восток незначительно: площадки из группы Г2 и Г3 чувствительны к осадкам вегетационного сезона текущего и предыдущего года, площадки из группы Г3 (ЮВ) обладают большей чувствительностью к осадкам августа как за текущий, так и за предыдущий год ($r \leq 0,65$, $p < 0,05$), чем площадки из групп Г2 и Г1, в то время, как значительной разницы в корреляциях площадок Г2 и Г3 в период с мая по июль не наблюдается – в эти месяцы для обеих групп прослеживается положительная значимая связь с осадками. Самые высокие коэффициенты корреляции ($r \leq 0,65$, $p < 0,01$) с летними осадками текущего и предыдущего года характерны для площадок T08S и Y02S (рисунок 4.1.2г). Самые южные площадки (T22S, T23S) чувствительны к осадкам летних месяцев и к осадкам апреля ($r \leq 0,48$, $p < 0,05$), а площадки T08S и T24S чувствительны к осадкам апреля, причем связь с осадками – обратная ($r \leq -0,41$, $p < 0,05$ и $r \leq -0,27$, $p < 0,05$ соответственно).

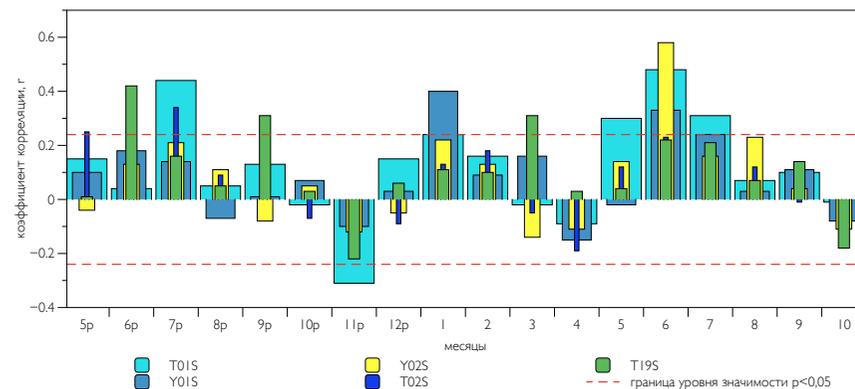
Обратная связь с осадками апреля зачастую характерна для влажных и свежих биотопов, где в условиях избытка увлажнения и недостатка кислорода в корнеобитаемом слое, осадки апреля – периода весеннего снеготаяния, негативно сказываются на радиальном приросте [Гвоздецкий, 1968, Мильков и др., 1976]. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен ниже, в рамках обсуждения эксперимента по выявлению связи радиального и линейного приростов с осадками разного генезиса для разных типов биотопов.

Для некоторых площадок группы Г2 и Г3 (T01S, Y01S, T08S) обнаружена положительная связь прироста с зимними осадками, что может быть связано с потребностью древостоев, произрастающих в условиях дефицита увлажнения, в осадках,

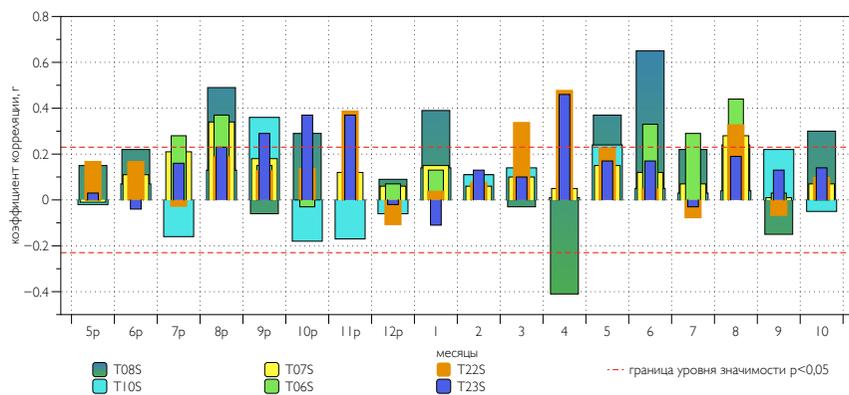
поступающих в почву в результате весеннего снеготаяния [Vaganov et al., 1999, Соломина, 2017]. В этом случае зимние осадки являются характеристикой снегозапаса, обеспечивающего древостой влагой в вегетационный период.



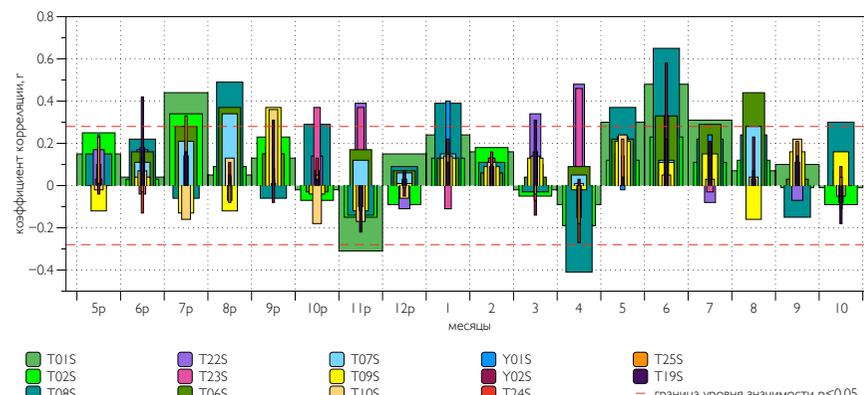
(а)



(б)



(в)



(г)

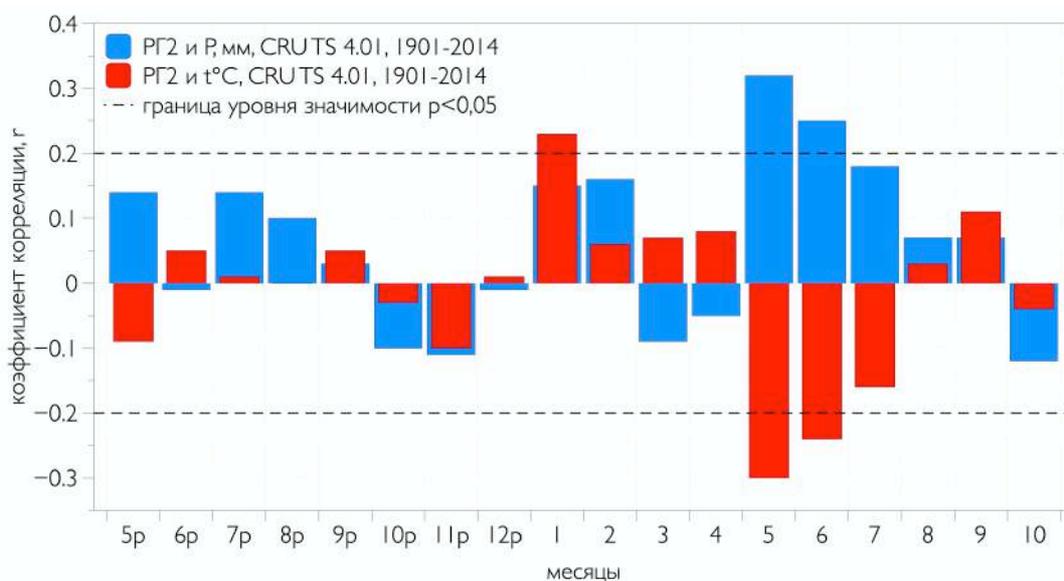
Рисунок 4.1.2 – Коэффициенты корреляции индивидуальных хронологий по различным площадкам Поволжья с суммами осадков по месяцам (5,6... – за текущий год, 5р, 6р... – со сдвигом на 1 год), объединенных по группам на основании анализа главных компонент: а – группа площадок Г1, б – группа площадок Г2, в – группа площадок Г3, г – все площадки

В целом для сосны, произрастающей на всей территории Поволжья, характерна относительная однородность знака связи радиального прироста древостоев со среднемесячным количеством *осадков*. В основном, деревья чувствительны к осадкам вегетационного сезона с апреля по август, причем для всех месяцев, кроме апреля, характерны значимые положительные значения коэффициента корреляции. Подобное сходство реакции радиального прироста на осадки в местообитаниях с различным характером увлажнения (дефицитом влаги на юге района работ и умеренным увлажнением в центре и на севере), может быть связано с увеличением в верхнем слое почвы количества растворенного кислорода и других питательных элементов в результате увеличения количества осадков [Stahle et al., 2016].

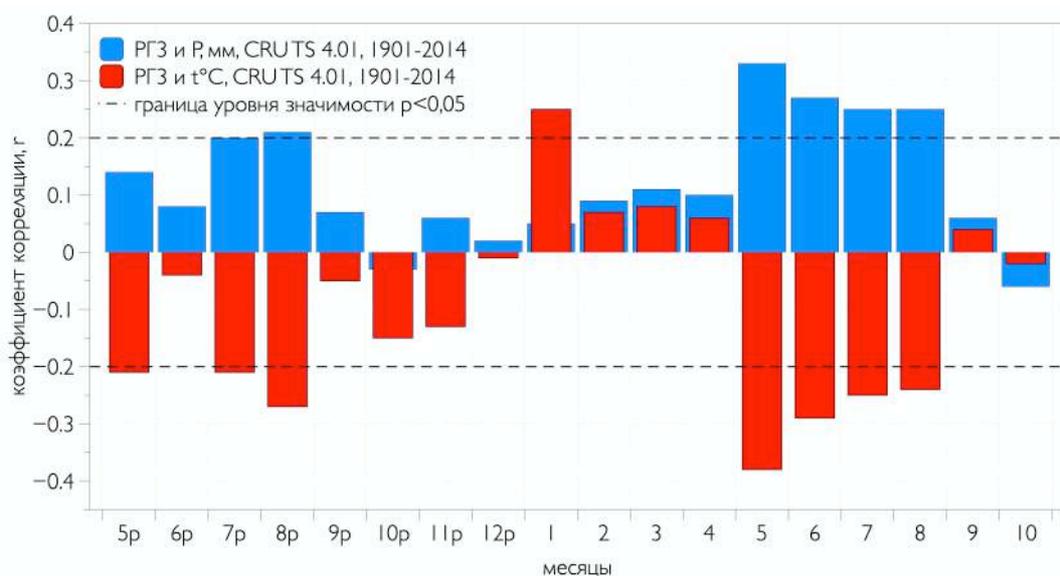
Для подтверждения изменения климатического сигнала хронологий по ШГК с юго-запада на северо-восток нами рассмотрен отклик двух *региональных мастер-хронологий* **РГ2** (T01S, Y01S, Y02S) и **РГ3** (T06S, T08S), **в которые вошли только те площадки, коэффициенты корреляции которых со среднемесячной температурой и осадками оказались наиболее высоким и значимыми (главы 2, 3).**

Как показано на рисунке 4.1.3, по мере увеличения континентальности климата деревья становятся более чувствительны к увлажнению и к температуре вегетационного периода как текущего, так и предыдущего года, причем мастер-хронологии показывают усиленный сигнал по сравнению с индивидуальными площадками (рис. 4.1.1, 4.1.2). На северо-западе района работ (РГ2) сосна демонстрирует высокую достоверную связь с температурой ($r \leq -0,3$, $p < 0.01$) и осадками ($r \leq 0,32$, $p < 0.01$) начала вегетационного сезона текущего года (май-июнь), когда происходит формирование ранней древесины, и дерево особенно нуждается в достаточном для последующего развития количестве тепла и влаги.

Для древостоев группы РГ2 не характерна зависимость от условий увлажнения и температуры предыдущего года, что подтверждает наше предположение о том, что на северо-западе условия произрастания сосны более благоприятные, чем на юго-востоке.



а



б

Рисунок 4.1.3 – Внутригодовая связь региональных мастер-хронологий РГ2 и РГ3 со среднемесячной температурой и осадками (5,6... – за текущий год, 5р, 6р... – со сдвигом на 1 год): а – группа площадок РГ2, б – группа площадок РГ3

Для древостоев, произрастающих на юго-востоке района работ (РГ3), где климат более континентальный [Алисов, 1956], характерны достоверные связи радиального прироста с температурой и осадками вегетационного сезона текущего и предыдущего года. В частности, для группы РГ3 выявлены достоверные значимые корреляции с температурой ($r \leq -0,38$, $p < 0,01$) и осадками ($r \leq 0,33$, $p < 0,01$) всего вегетационного сезона текущего года (май-август). В отличие от группы РГ2, деревья на юго-востоке также показывают статистически значимую связь с температурой ($r \leq -0,27$, $p < 0,01$) и осадками ($r \leq 0,21$, $p < 0,05$) второй половины вегетационного сезона, что говорит о большем стрессе,

который испытывают древостои в условиях влагодефицита и более высоких температур, по сравнению с северо-востоком района работ.

4.2 Связь радиального прироста сосны с индексом scPDSI и речным стоком

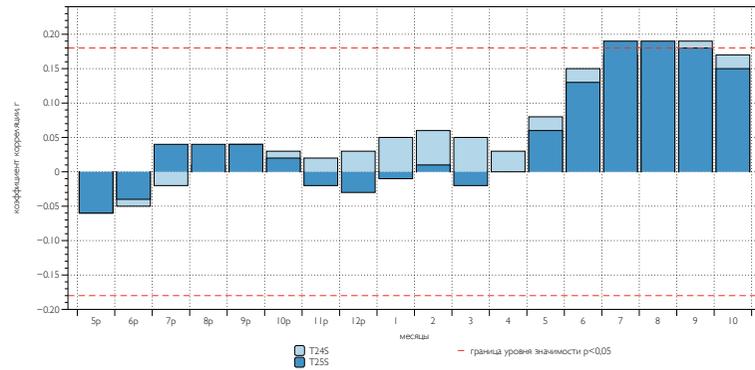
4.2.1 Связь хронологий по ширине годичных колец с индексом суровости засухи Палмера (scPDSI)

В этом разделе мы приводим результаты корреляционного анализа между шириной годичных колец сосны и индексом суровости засухи Палмера scPDSI за период с 1901 по 2017 гг. [данные сеточного архива CRU TS 4.03 с разрешением сетки 0.5°, Osborn et al., 2018]. Достоверность корреляций оценена при помощи t-критерия Стьюдента, как для всех корреляций в нашей работе.

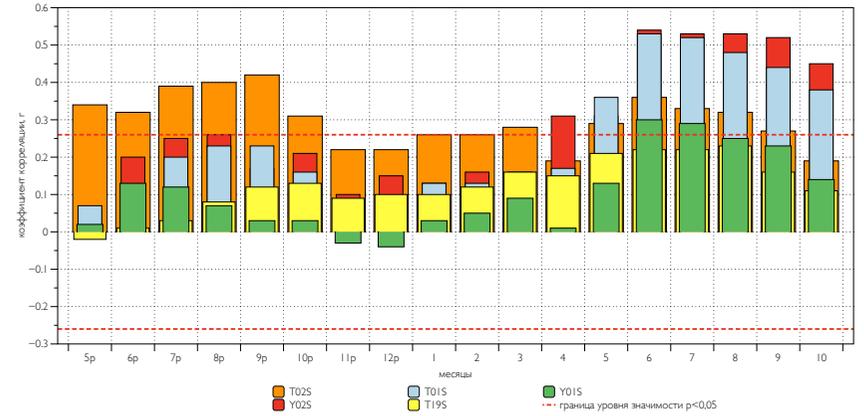
Анализ показал, что пространственные закономерности распределения корреляций радиального прироста с индексом суровости засухи Палмера на территории Поволжья в целом схожи с распределением сигнала с температурой и осадками.

Как показано на рис. 4.2.1.1, на северо-западе района исследования площадки группы Г1 имеют минимальную связь со scPDSI предыдущего года и демонстрируют значимые положительные корреляции только в период с июля по август текущего года ($r \leq 0,19$, $p < 0,05$).

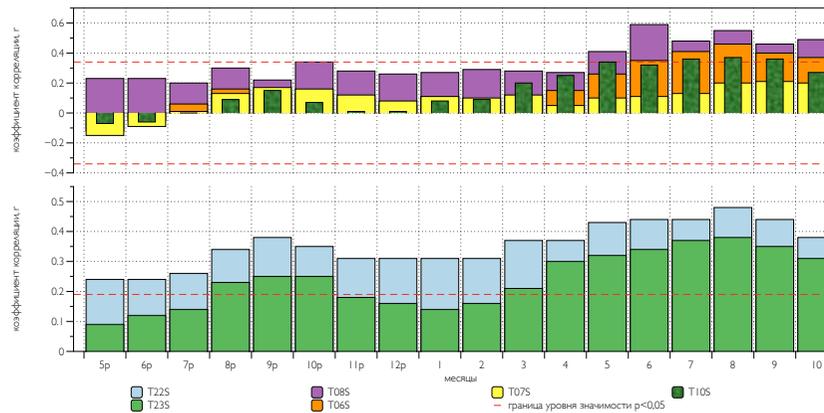
Практически все площадки группы Г2 демонстрируют связь с индексом scPDSI за вегетационный период (T01S, T02S, Y01S, Y02S, $r \leq 0,53$, $p < 0,01$), T02S – за период с января по март текущего года ($r \leq 0,36$, $p < 0,01$), с мая по октябрь предыдущего года ($r \leq 0,42$, $p < 0,01$). С продвижением на юго-восток связь со scPDSI усиливается, что вполне закономерно, т.к. природные условия также изменяются – сокращается количество осадков и растет среднемесячная температура (глава 1), усиливается континентальность климата. Для анализа связей радиального прироста группы Г2, мы разделили график корреляций на две части с двумя группами площадок, для которых значимость корреляций существенно различалась из-за разной длины рядов (рис. 4.2.1.1, в). Так, площадка T22S реагирует на scPDSI с невысокими, но значимыми корреляциями ($r \leq 0,19$, $p < 0,01$) в период с января предыдущего года по декабрь текущего. T23S также чувствительна к scPDSI с августа по октябрь предыдущего года ($r \leq 0,23$, $p < 0,01$) и с марта по декабрь текущего ($r \leq 0,23$, $p < 0,01$). Остальные площадки чувствительны к scPDSI за период с мая по декабрь текущего года ($r \leq 0,35$, $p < 0,01$). Таким образом, связь ШПК с индексом scPDSI усиливается с северо-запада к юго-востоку, как и в случае с температурой и осадками.



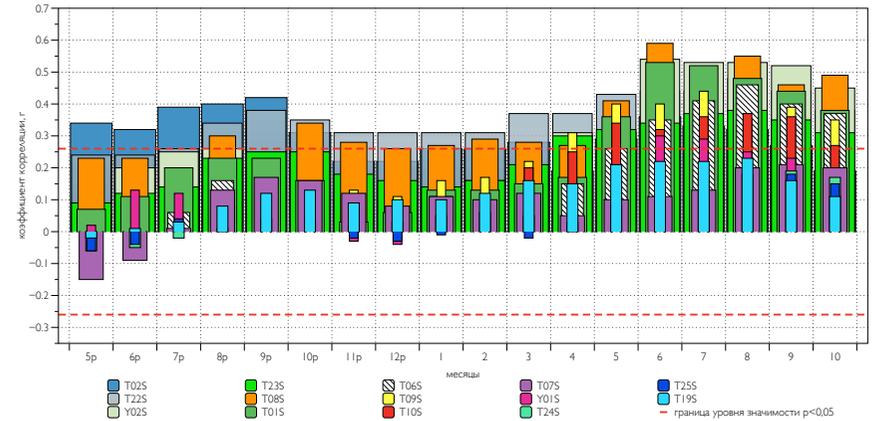
(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 4.2.1.1 – Коэффициенты корреляции индивидуальных хронологий по различным площадкам Поволжья с индексом суровости засухи Палмера (5,6... – за текущий год, 5р, 6р... – со сдвигом на 1 год), объединенных по группам на основании анализа главных компонент: а – группа площадок Г1, б – группа площадок Г2, в – группа площадок Г3, г – все площадки

Как и в предыдущем разделе, мы сравнили связь *региональных мастер-хронологий* РГ2 и РГ3 с индексом scPDSI. Аналогично результату сравнения региональных хронологий с температурами и осадками (рис. 4.1.3), древостои на юго-востоке района работ демонстрируют высокую чувствительность к засухам (рис. 4.2.1.2). Для древостоев на северо-западе района работ (РГ2) характерны достоверные положительные связи с индексом scPDSI в период с июня по август текущего года ($r \leq 0,55$, $p < 0,01$) и отсутствие зависимости от условий увлажнения предыдущего года. Схожие закономерности демонстрирует эта группа хронологий по отношению к температуре и осадкам.

Мастер-хронология РГ3 крайне чувствительна к scPDSI на протяжении периода за все 18 месяцев, начиная с мая предыдущего года по октябрь текущего ($r \leq 0,55$, $p < 0,01$). Следует отметить, что ни одна мастер-хронология, рассмотренная в настоящей работе, не показывает настолько высоких и значимых связей с другими параметрами и индексами, что говорит о чувствительности радиального прироста к комплексному показателю засушливости, сочетающему в себе не только значения температуры и осадков, но и данные о влагоемкости почвы, эвапотранспирации, при расчете которой учитывается радиационный баланс, скорость ветра и дефицит водяного пара. Другими словами, на прирост сосны на юго-востоке Поволжья влияют условия увлажнения, которые отражает индекс scPDSI.

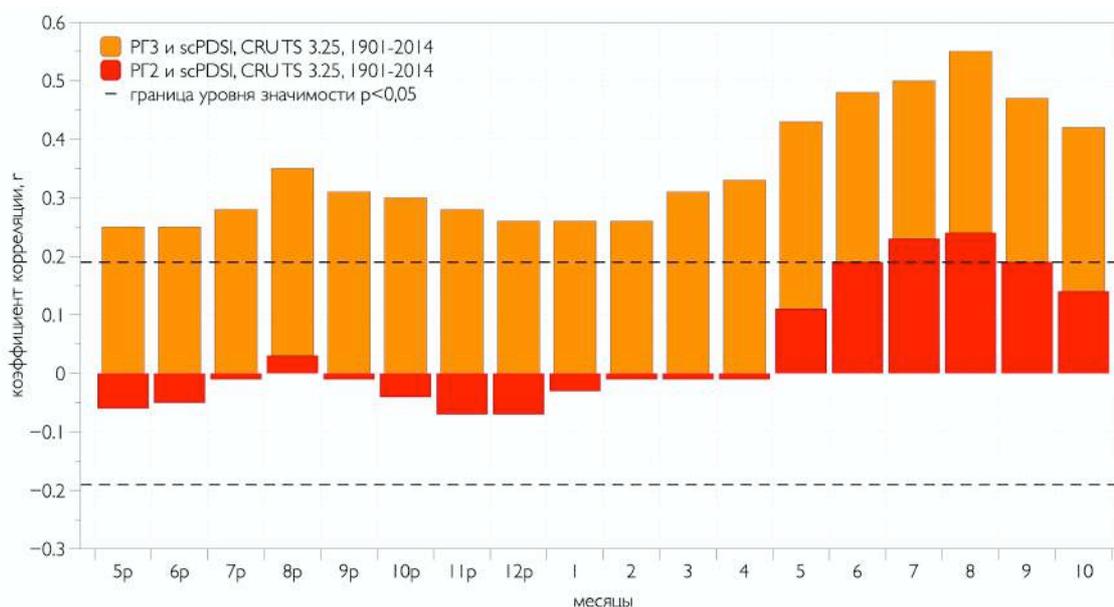


Рисунок 4.2.1.2 – Внутригодовая связь региональных мастер-хронологий РГ2 и РГ3 с индексом суровости засухи Палмера, scPDSI (5,6... – за текущий год, 5р, 6р... – со сдвигом на 1 год)

4.2.2 Связь хронологий по ширине годичных колец с речным стоком

Анализ связи прироста древесины с речным стоком произведен только для тех площадок, которые находятся вблизи гидрологических постов (максимум удалены на 100 км, минимум на 12 км). Данные о речном стоке использованы по шести различным, наиболее репрезентативным рекам (рис. 4.2.2.1, таблица 4.2.2.1), антропогенное воздействие на которые отсутствует (реки не зарегулированы). Длина рядов о речном стоке составляет максимум 54 года, минимум – 28 лет. Подробная характеристика рек приведена в главе 2.

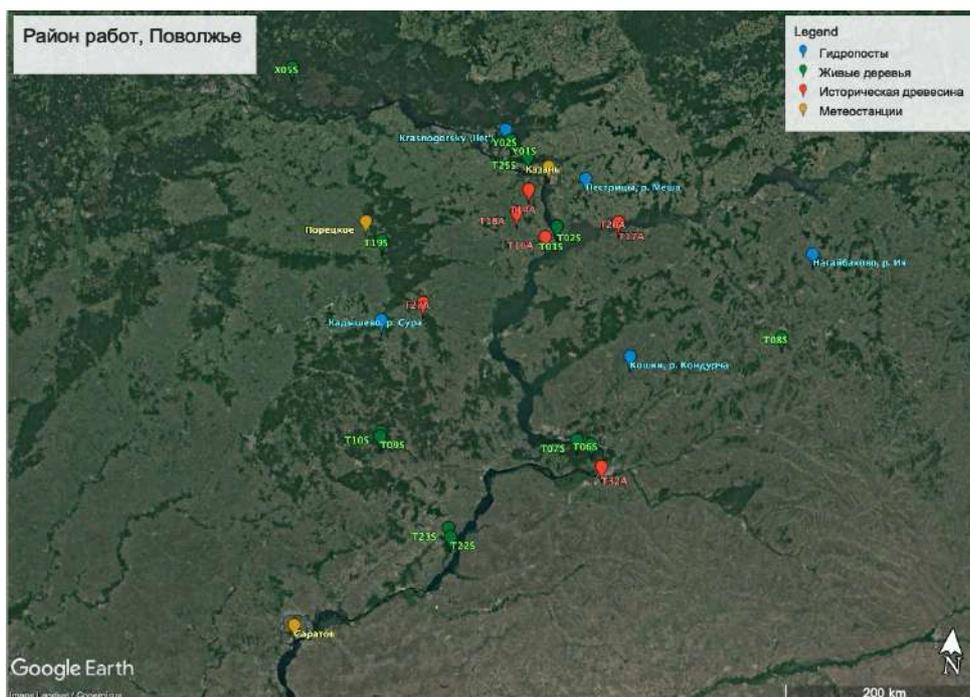


Рисунок 4.2.2.1 – Расположение дендрохронологических площадок и гидрологических постов

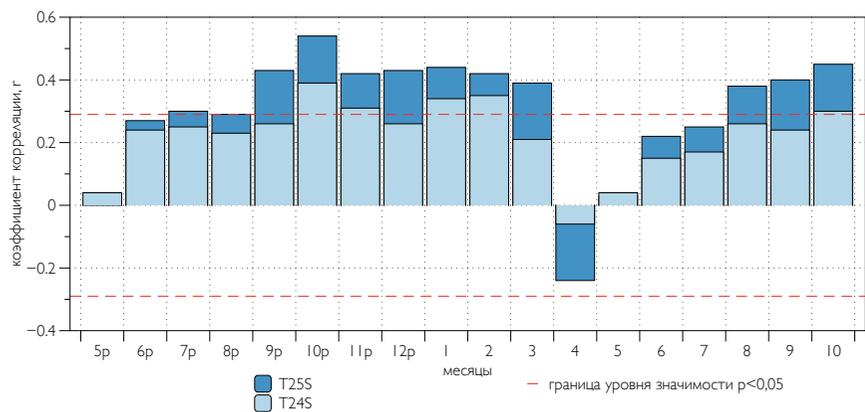
Таблица 4.2.2.1 Характеристики гидрологических постов, использовавшихся в анализе

№	Река	Створ	Номер сопоставляемой хронологии	Период наблюдений	Количество лет
1	Мёша	Пестрецы	T01S, T02S	1960-2013	54
2	Кондурча	Кошки	T06S, T07S	1939-1981	42
3	Ик	Нагайбаково	T08S	1986-2013	28
4	Сура	Кадышево	T09S, T10S, T19S	1939-1984	45
5	Илеть	Красногорский	Y01S, Y02S	1965-2013	49
6	Казанка	Арск	T24S, T25S	1956-2005	49

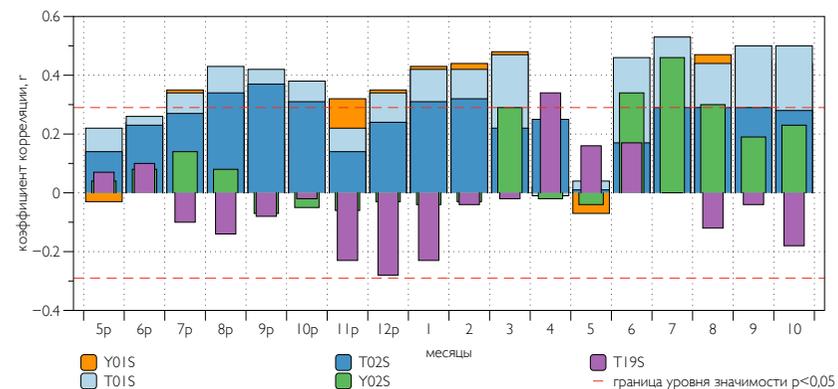
Корреляционный анализ прироста древесины с речным стоком, в отличие от температур, осадков, scPDSI, показал, что как такового изменения связи при продвижении с северо-запада на юго-восток не наблюдается. Почти все площадки, вне зависимости от

географического положения, значимо коррелируют с речным стоком на протяжении всего гидрологического года: в особенности, в период межени – с июня по сентябрь как текущего, так и предыдущего года ($r \leq 0,50$, $p < 0.01$), в то время, как в период половодья, что было установлено ранее [Соломина и др., 2017, Кузнецова и др., 2017], связи не обнаружено (рис. 4.2.2.2).

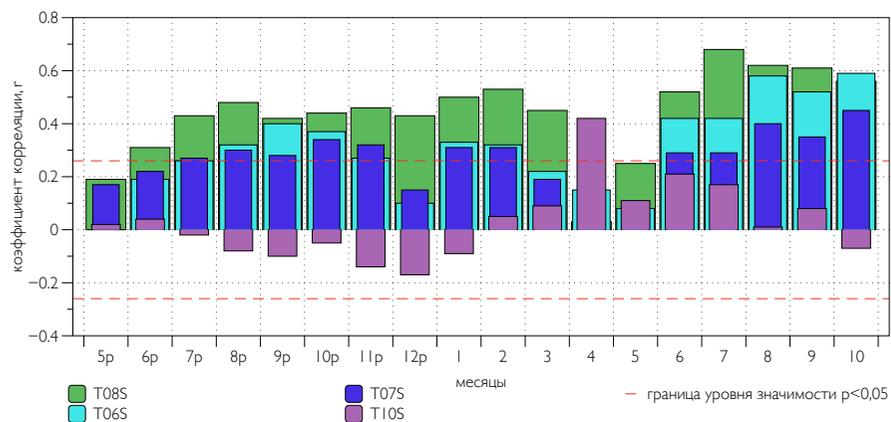
Для большинства площадок характерны положительные связи прироста с речным стоком, однако, некоторые площадки (Т10S, Т19S) демонстрируют обратную связь, что может быть обусловлено орографическими и микроклиматическими условиями (разделы 4.4, 4.5 настоящей главы).



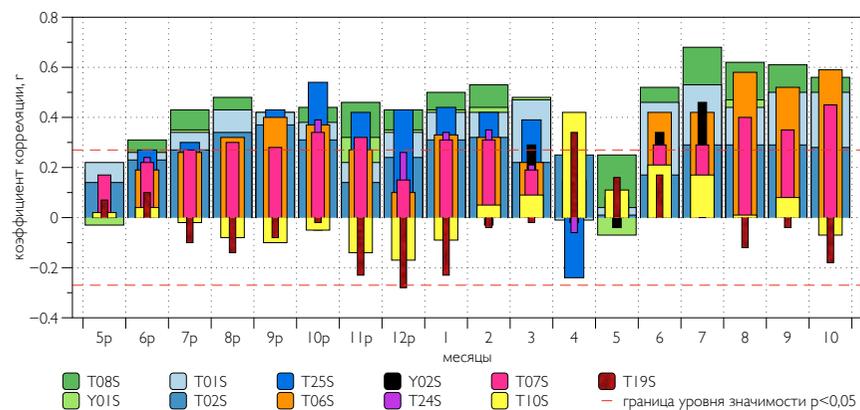
(a)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 4.2.2.2 – Внутригодовая связь хронологий по различным площадкам Поволжья с речным стоком (5,6... - за текущий год, 5р, 6р... - со сдвигом на 1 год) А – группа площадок Г1, Б – группа площадок Г2, В – группа площадок Г3, Г – все площад

4.3 Связь прироста сосны с осадками разного генезиса

Как было показано выше, для климатического сигнала радиального прироста сосны в Поволжье характерны мозаичность и определенные пространственные закономерности. В этом разделе мы стремимся показать еще одну грань неоднородности климатического сигнала в Поволжье – связь прироста сосны с осадками разного генезиса (глава 2).

Количество атмосферных осадков еще в 1892 г. Ф.Н. Шведов определил как один из основных факторов, оказывающих влияние на формирование годичных колец у деревьев. В своей работе «Дерево, как летопись засух» Шведов писал, что «годичные слои дерева представляют нам такую же достоверную летопись осадочной деятельности атмосферы, как и листки, снимаемые с самопишущих аппаратов». Более того, в работе сделан акцент на повторяемость засух с периодом в 9 лет, о чем свидетельствовало наличие тонких годичных колец в срезе дерева (акации). Ф.Н. Шведов одним из первых показал зависимость между шириной годичного кольца дерева и количеством атмосферных осадков.

Как было показано ранее, прямая значимая связь древесно-кольцевых хронологий по сосне обыкновенной с осадками характерна для вегетационного сезона как текущего, так и предыдущего года для большинства площадок. Для того чтобы более подробно исследовать природу связи прироста годичных колец с осадками, нами произведен следующий эксперимент. Для метеостанций, использованных в разделе 4.1 при расчете климатического отклика ширины годичных колец и расположенных вблизи 11 дендрохронологических площадок – T06S, T07S, T08S, T10S, T19S, T22S, T23S, T24S, T25S, Y01S, Y02S (метеостанции Казани, Саратова, Порецкого, рис. 4.3.1), а также для некоторых дополнительных метеостанций (Безенчук, Аксаково, Пенза, Серноводск), расположенных на расстоянии в пределах 100 км от дендрохронологических площадок, произведен расчет среднемесячного количества осадков разного генезиса - ливневых и обложных [Чернокульский и др., 2018]. Для каждой площадки были рассчитаны корреляции ширины годичных колец с ливневыми и обложными осадками за 18 месяцев (с мая предыдущего года по октябрь текущего за период с 1966 г. по 2015 г., таблица 4.3.1).

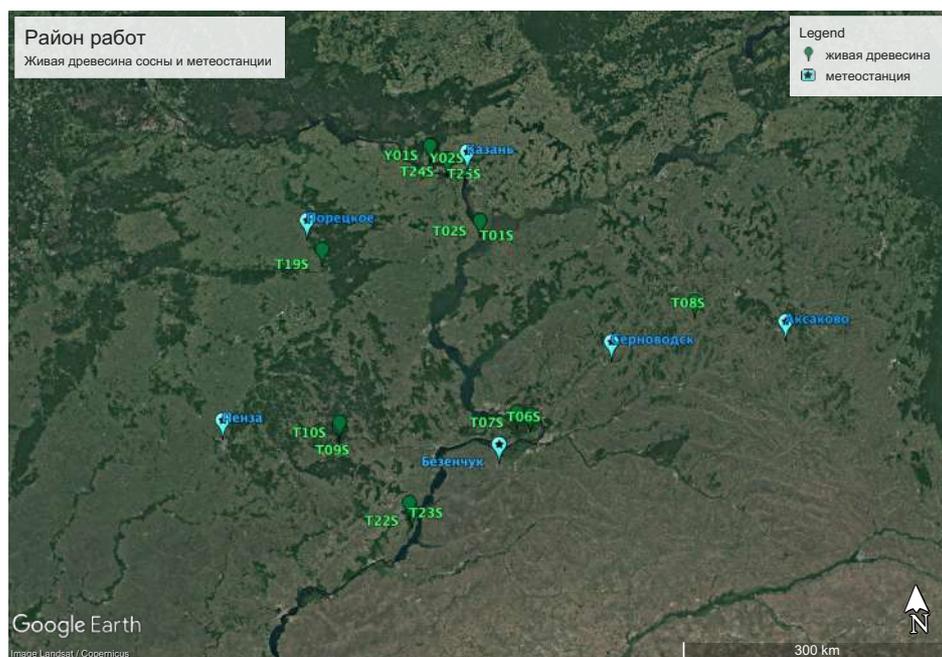


Рисунок 4.3.1 – Дендрохронологические площадки по живой древесине и метеорологические станции, для которых рассчитано среднемесячное количество осадков разного генезиса

Таблица 4.3.1 Сведения о метеостанциях, для которых было рассчитано количество осадков разного генезиса и площадках по живой древесине

метеостанция	площадка	длина рядов	расстояние между площадкой и метеостанцией (соответственно)
Казань	T24S, T25S, Y01S, Y02S	1966-2016, 1966-2014	21 км, 20 км, 44 км, 46 км
Порецкое	T19S	1966-2015	42 км
Пенза	T10S	1966-2015	127 км
Безенчук	T06S, T07S, T22S, T23S	1966-2015	56 км, 51км, 110 км, 105 км
Аксаково	T08S	1966-2015	95 км
Серноводск	T08S	1966-2015	106 км

Как показано на рисунке 4.3.2, все рассмотренные хронологии разделились на две группы, различные по интенсивности связи прироста ШГК и осадков разного генезиса. Среди рассмотренных площадок выделяется группа, для которой характерны значимые высокие положительные корреляции с ливневыми осадками вегетационного периода как текущего, так и предыдущего года, а также с обложными осадками вегетационного сезона текущего и предыдущего года. Самые высокие связи характерны для площадок на юго-востоке Поволжья - T06S, T07S, T22S и T23S (рис. 4.3.2, табл. 4.3.1). Примечательно, что

для большинства вышеперечисленных площадок связь с осадками разного генезиса выше, чем с общей суммой осадков.

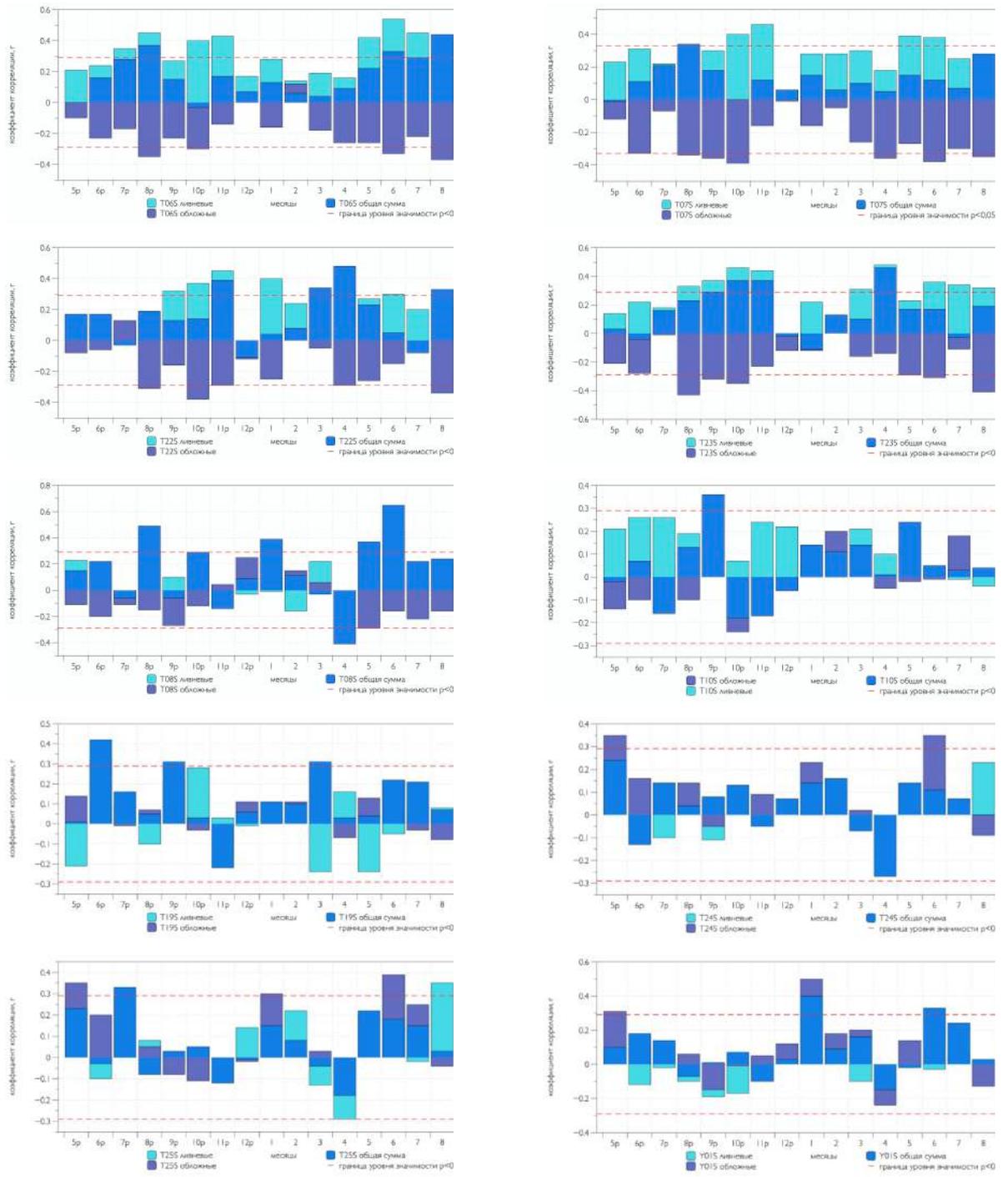
Для остальных площадок за рассмотренные 18 месяцев значимых корреляций с ливневыми и обложными осадками выявлено существенно меньше, знак связи зачастую меняется с прямого на обратный при низких и незначимых коэффициентах корреляции (T10S, T19S, T24S, T25S).

Для того чтобы объяснить причину подобной дифференциации сигнала для разных групп площадок, нами рассмотрены несколько факторов, которые предположительно могли бы объяснить подобные результаты. Первый и самый очевидный фактор – *расстояние от дендрохронологической площадки до метеостанции* (табл. 4.3.1). Зачастую именно удаленность площадки от метеостанции или гидрологического поста напрямую объясняет интенсивность связи прироста годовых колец и климатического параметра. Например, как было показано выше, подобная закономерность выявлена нами для связи прироста древесины сосны и стока малых рек – чем ближе дендрохронологическая площадка к гидрологическому посту – тем связь с речным стоком выше (раздел 4.2.2, [Кузнецова и др., 2017, Соломина и др., 2017]).

В нашем случае, как видно из таблицы 4.3.1 и рисунка 4.3.2, на характер и интенсивность связи не оказывает существенного влияния удаленность древостоя от метеостанции: площадки с наиболее высоким сигналом удалены от метеостанции на 50 км (T06S, T07S) и на 100 км (T22S, T23S), а, например, площадки с самым слабым сигналом находятся в непосредственной близости от метеостанции – в 21 км (T24S, T25S). Низкую связь последних площадок с осадками разного генезиса мы можем объяснить произрастанием этих древостоев в условиях, близких к оптимальным. Для T24S и T25S также не выявлено значимых связей с температурами, индексом суровости засухи Палмера (раздел 4.1.1, 4.1.2, 4.2.1), что подтверждает наше предположение о произрастании древостоев в благоприятных природных условиях.

Второй фактор, который мог бы объяснить разницу в отклике ШГК – *неоднородность данных об осадках*. В настоящем исследовании мы исключаем подобную неоднородность, так как нами были использованы только те метеостанции, для которых произведена проверка и коррекция измерений [Булыгина и др., массив данных]. Третий фактор, наиболее вероятный – *различие в географическом положении и условиях увлажнения территории*, которые, как было показано выше, изменяются с северо-запада на юго-восток. Площадки T06S, T07S, T22S и T23S, которые обладают наибольшей чувствительностью к ливневым и обложным осадкам, расположены на юге района работ, где, в сравнении с другими местами произрастания древостоев, климатические условия

более засушливые и, соответственно, количество осадков вполне может выступать в роли фактора, лимитирующего прирост сосны (глава 1).



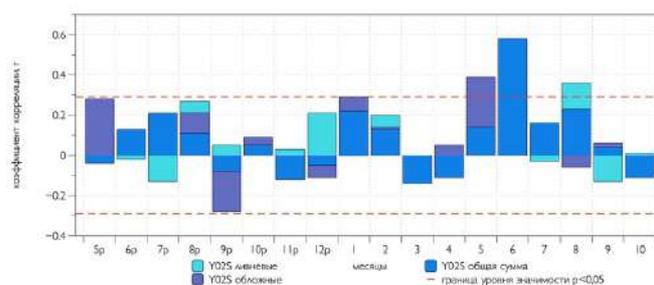


Рисунок 4.3.2 – Связь ширины годовых колец сосны обыкновенной с осадками разного генезиса за период с 1966 по 2014 /2015 гг.

Рассмотрим характер связи ШГК с осадками разного генезиса на примере наиболее чувствительных площадок T06S, T07S, T22S и T23S.

На рис. 4.3.3 представлено распределение средних многолетних сумм осадков разного генезиса за период с 1966 по 2017 г. для метеостанции Безенчук, для которой рассмотрены корреляции с радиальным приростом. Так, в районе метеостанции, в течение вегетационного периода преобладают ливневые осадки, тогда как обложные характерны, в основном, для зимы и осени.

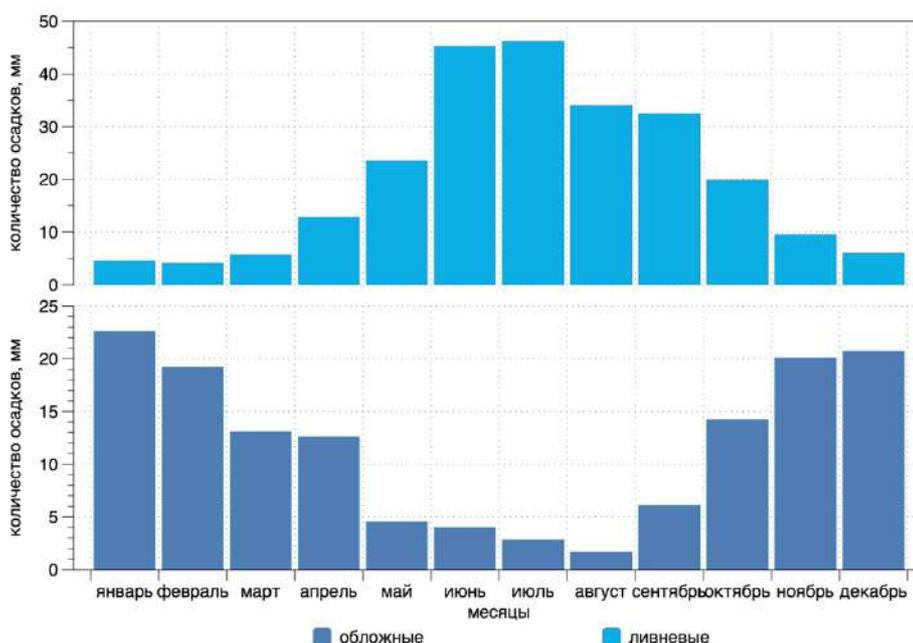
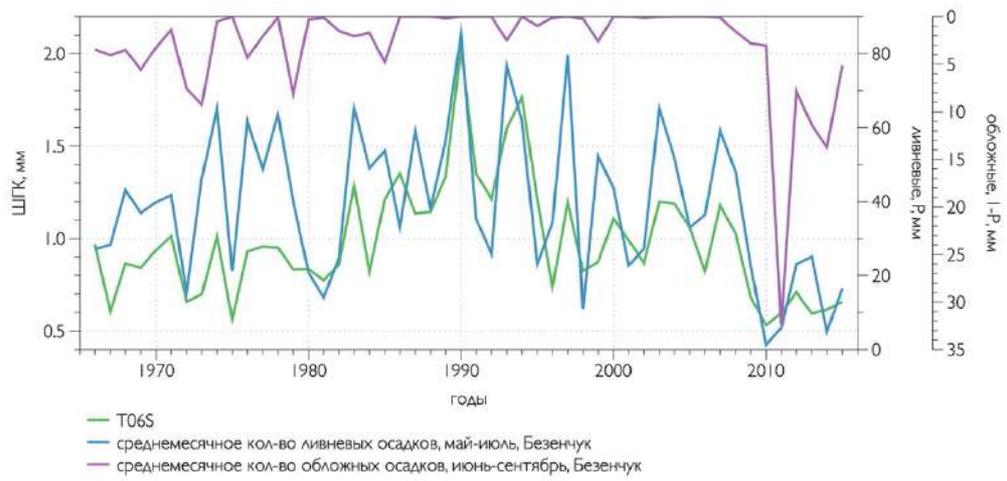


Рисунок 4.3.3 – Распределение средних многолетних ежемесячных сумм осадков разного генезиса за период с 1966 по 2017 гг. (метеостанция Безенчук)

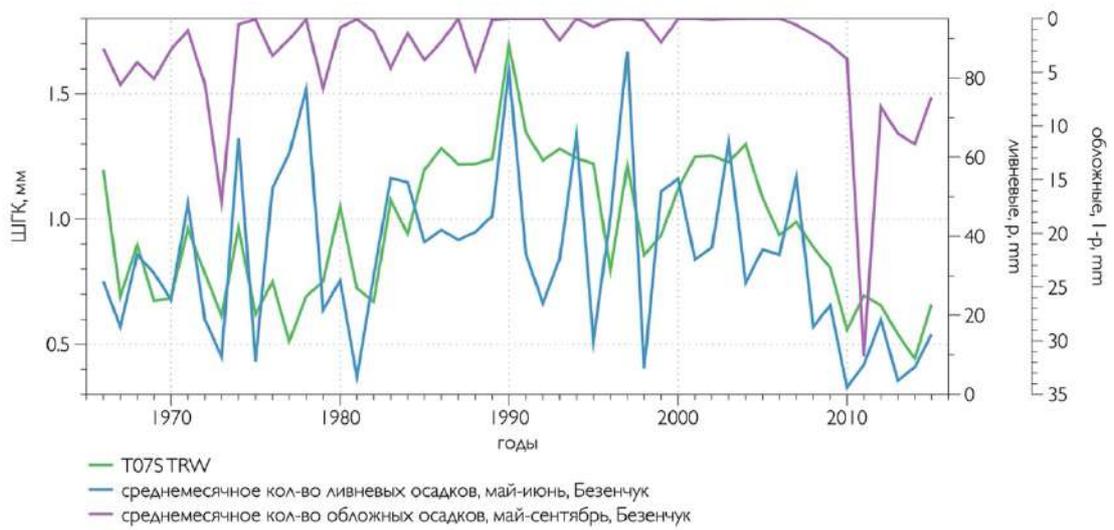
Для каждой площадки нами выбраны данные об осадках за те месяцы, для которых корреляции оказались наиболее высокими и значимыми (рис. 4.3.2). На рис. 4.3.4 представлены данные о ливневых, обложных осадках и ширине годовых колец сосны по четырем площадкам. Для всех четырех площадок прослеживаются совпадения минимумов

прироста сосны и минимальных сумм ливневых осадков – то есть чем меньше ливней в регионе, тем кольцо уже; максимумы прироста и ливневых осадков также зачастую совпадают, что говорит о благоприятном влиянии ливней на прирост сосны. Для обложных осадков характер связи с приростом годовых колец обратный – чем больше осадков этого типа выпадает, тем кольцо уже и наоборот. Полученные зависимости также косвенно свидетельствуют о благоприятном влиянии на прирост комплекса условий, связанных с возникновением ливневых осадков, а именно, конвективной деятельности, в результате которой они возникают. Конвекция, в том числе, является индикатором теплой погоды и высокого увлажнения поверхности почвы. Обложные осадки, в свою очередь, связаны с периодом похолодания, который может негативно сказываться на приросте.

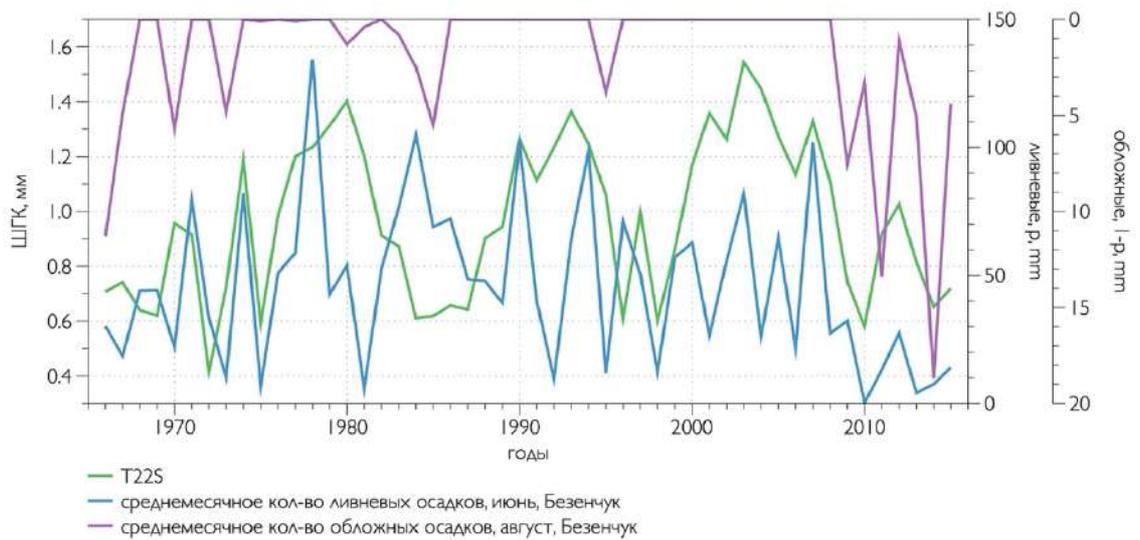
Разумеется, прирост древесины сосны, как было показано ранее [Соломина и др., 2017, Кузнецова и др., 2017 и т.д.] на территории района работ обусловлен не только осадками, но и комплексом гидрометеорологических (температурами, увлажнением), физико-географических, почвенных условий. Полученные нами результаты требуют дальнейшей проработки в части физиологических механизмов, которые отвечают за усвоение и транспорт воды древесиной.



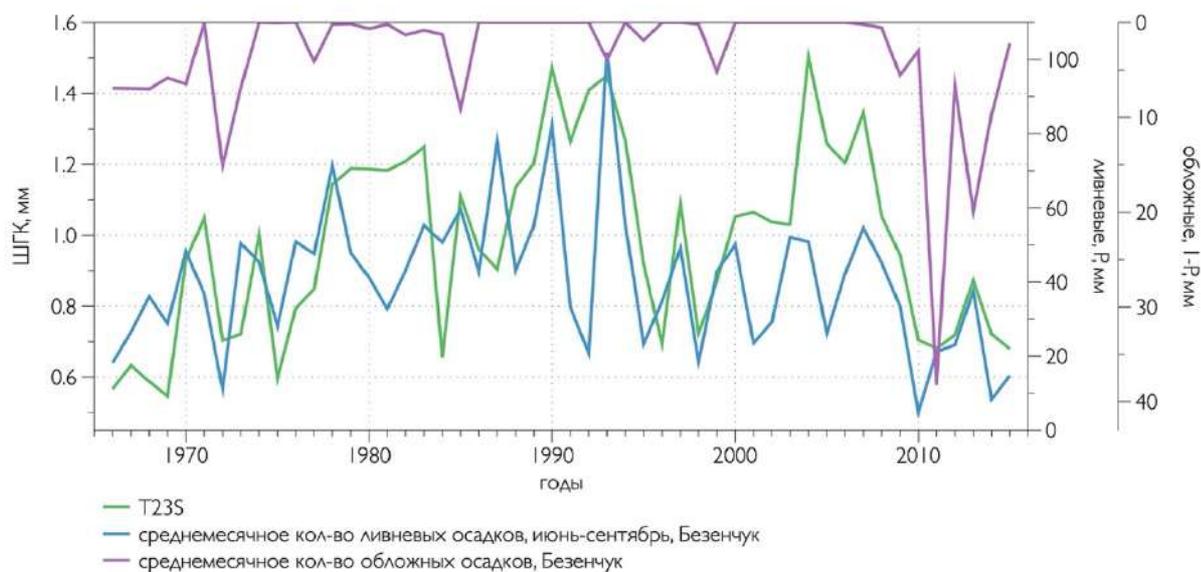
а



б



в



Г

Рисунок 4.3.4 – Осадки разного генезиса и ширина годичных колец площадок T06S (а), T07S (б), T22S (в), T23S (г) за период с 1966 по 2015 гг. Для удобства обложные осадки показаны на вспомогательной оси с помощью обратных значений так как знак корреляции между ШГК и обложными значениями обратный

Таким образом, мы выявили некоторые особенности связи радиального прироста сосны с осадками разного генезиса для большинства поволжских площадок, но данная работа позволяет сделать лишь предварительные выводы, нуждающиеся в подтверждении и уточнении [Кузнецова и др., 2020].

Во-первых, в будущем необходимо выяснить причину различия связи прироста с осадками разного генезиса – действительно ли площадки на юге района работ более чувствительны к ливневым осадкам, или этот результат справедлив для конкретной локации и больше связан с условиями местообитания.

Во-вторых, мы предполагаем, что в силу мозаичности распределения осадков по территории района работ, а также разных физико-географических условий в каждой отдельно взятой точке, при изучении отклика прироста на осадки разного генезиса необходимо учитывать типы биотопов (сухой, свежий, влажный).

Кроме того, мы поставили перед собой задачу оценить связь с ливневыми и обложными осадками не только радиального, но и линейного прироста, что позволит нам посмотреть на поставленную проблему под другим углом.

Этому вопросу посвящен следующий раздел, в котором мы попытались найти закономерности связи радиального и линейного прироста сосны с осадками разного

генезиса для разных типов биотопов – сухого, свежего и влажного. Нами произведен эксперимент на локальном уровне – в пределах Керженского заповедника.

4.4 Связь линейного и радиального прироста сосны обыкновенной в биотопах разного типа с осадками разного генезиса (Керженский заповедник)

Оценка состояния лесных экосистем в условиях изменения климата методами дендрохронологии по радиальному (в ширину) и линейному (в высоту) приростам деревьев является одной из актуальных задач современной экологии. В результате применения данных методов выявляются уровни воздействия климатических факторов на развитие фитоценозов. Кроме того, становятся возможными реконструкции климатов прошлого, а также прогнозирование состояния растительности в будущем в соответствии со сценариями изменения климатической системы Земли [Ballie et al., 1988, Dengel et al., 2009, IPCC, 2013, Демежко и др., 2009, Овчинникова и др., 1999, Рысин, 2008, Соломина и др., 2012, Шиятов и др., 2000, Solomina et al., 2014]. Внимание исследователей в большинстве случаев фокусируется на восстановлении временных рядов таких метеорологических переменных, как температура и количество осадков. При этом в научных работах по северному полушарию отмечена бóльшая значимость количества осадков, чем температуры, для формирования древостоев. В целом ряде научных работ отмечено, что во многих биогеоценозах количество осадков выступает в роли лимитирующего фактора для роста деревьев [Bradley, 2015, Кухта и др., 2005]. При этом в одних и тех же климатических, но несходных локальных условиях отмечается разная степень влагообеспеченности растительности. Следствием мозаичности микро- и мезорельефа являются различающиеся реакции параметров роста древостоев на воздействие осадков [Сукачев, 1944, Волкова и др., 2016, Кухта и др., 2005, 2010]. Таким образом, при оценке отклика параметров хода роста деревьев на количество осадков необходимо учитывать характер местообитания.

Исследованиям динамики радиального и линейного прироста в различных климатических условиях посвящены многочисленные исследования [Овчинникова и др., 1999, Волкова и др., 2016, Демежко и др., 2009, Кухта и др., 2010, Кухта, 2009, Лопатин и др., 2009 Романовская и др., 2017, Solomina et al., 2014]. Зачастую в умеренном климатическом поясе радиальный прирост древесины обладает низкой чувствительностью к определенным климатическим параметрам, и выявить один, наиболее значимый для прироста фактор, представляется затруднительным. Подобная

особенность климатического отклика радиального прироста древесины связана с благоприятными условиями большинства местообитаний умеренного климата, с оптимальным соотношением тепла и влаги. Как было показано ранее, для хронологий по радиальному приросту, построенных на Европейской территории России и в Поволжье, в частности, основным фактором формирования годичного кольца являются условия влагообеспеченности [Соломина и др., 2012, Кузнецова и др., 2017].

Водный баланс того или иного региона в существенной мере определяется величиной и характером атмосферных осадков, которые, в свою очередь, демонстрируют отклик на глобальные климатические изменения [Semenov et al., 2012, Groisman et al., 2005, Мохов и др., 2005, Ye et al., 2015, Золина и др., 2016]. В частности, в последние десятилетия в России отмечается изменение характера осадков: выявлен рост интенсивности экстремальных осадков [Золина и др. 2016], отмечено одновременное удлинение засушливых и дождливых периодов (кластеризация дней с осадками) [Zolina et al., 2013], перераспределение между морфологическими типами осадков – рост ливневых (с увеличением роли особенно сильных ливней) и сокращение обложных осадков [Chernokulsky et al., 2019]. В связи с этим особый интерес представляет изучение влияния осадков разного генезиса (ливневых и обложных) на прирост древесины, как линейный, так и радиальный.

Целью данного эксперимента является выявление отклика радиальных (по ширине ствола) и линейных (по высоте) приростов на осадки различного генезиса на примере древостоев сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* Керженского заповедника.

Зависимость линейного прироста сосны во *влажных биотопах* от сумм ливневых и обложных осадков текущего и предыдущего вегетационных сезонов (рис. 4.4.1, табл. 4.4.1) характеризуется значимыми коэффициентами корреляции. Прямая зависимость приростов от *ливневых* осадков получена для июля текущего года ($r = 0,42$), обратная – для июля предыдущего вегетационного сезона ($r = -0,33$). Первое значение получено для фенофазы роста междоузлий в текущем сезоне. Второй коэффициент корреляции получен для фенофазы начала формирования почки возобновления в предыдущем году. Из-за низких температур и пониженной кислотности корнеобитаемого слоя в сфагновых сосняках и болотах древостои испытывают недостаток влаги, который восполняется атмосферными осадками [Кухта, 2009, Кухта и др., 2005]. И ливневые, и обложные осадки на этапе роста междоузлий оказывают схожее влияние, положительно воздействуя на линейный прирост древесины в текущем году.

Для *обложных* осадков характерны положительные корреляции в мае текущего года ($r = 0,37$) и отрицательные – в мае, июне и августе предыдущего года ($r = -0,53$, $r = -$

0,36, $r = -0,44$ соответственно). Таким образом, прямая зависимость характерна для фенофазы роста побегов в текущем сезоне, обратная – для фенофаз роста побегов и формирования почки возобновления в предыдущем году. Избыток влаги влечет за собой недостаток кислорода в корнеобитаемом слое, что снижает качество почки возобновления (апикальной меристемы), формирующейся в предыдущем году, от качества которой зависит прирост текущего года [Gavrikov et al., 1993, Золина и др., 2016, Кухта и др., 2010].

Для влажного биотопа наблюдается значимая положительная связь линейного прироста с общей суммой осадков в июне и июле текущего года и отрицательная в сентябре текущего года ($r = 0,37$, $r = 0,38$, $r = -0,39$ соответственно), которая в точности повторяет динамику связи с обложными осадками. В целом для месяцев предыдущего вегетационного сезона отмечается более сильная зависимость линейного прироста от осадков разного вида, чем от общей суммы. Для месяцев текущего года более важным, по-видимому, является общее количество осадков, а не их вид.

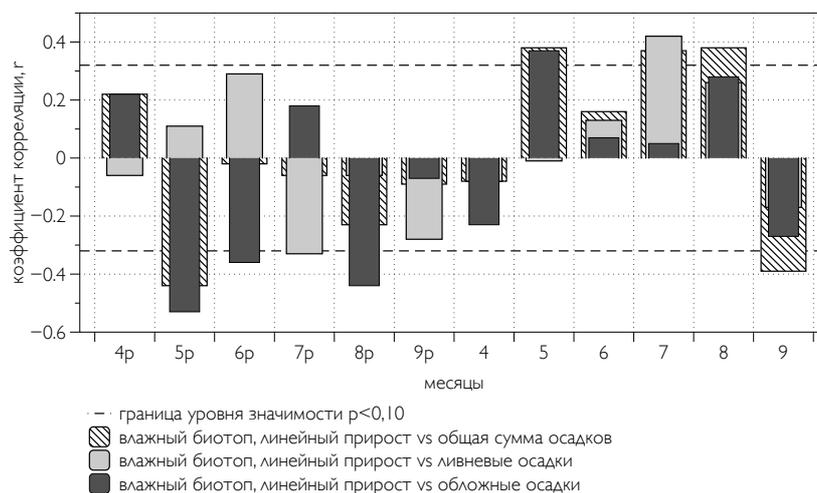


Рисунок 4.4.1 – Коэффициент корреляции Пирсона (r) между средними значениями линейного прироста сосны во влажных биотопах и осадками разного генезиса – ливневыми (светло-серый цвет) и обложными (темно-серый цвет), а также с общей суммой осадков (4,5...9 – месяцы текущего года, 4р, 5р...9р – месяцы предыдущего года). Пунктиром показан 90-процентный доверительный интервал. Период, для которого производились сравнения, зависит от доступной длины рядов наблюдений за линейным приростом

Для *свежего биотопа* характерны оптимальные условия увлажнения, при которых осадки не являются фактором, лимитирующим прирост древесины, как радиальный, так и линейный [Кухта, 2009, Черногаева и др., 2018]. Тем не менее, полученные результаты показывают (рис. 4.4.2, табл. 4.4.1), что на прирост положительно влияют *ливневые* осадки июня текущего года ($r = 0,5$) Эта закономерность относится к фенофазе роста междоузлий. Значимой связи с ливневыми осадками предыдущего года не обнаружено. Для *обложных* осадков получены значимые отрицательные корреляции ($r = -0,54$) для сентября предыдущего года. В целом свежие биотопы представляют собой условия оптимума для сосны согласно классификации В.Н. Сукачева [Сукачев, 1944], что означает отсутствие жесткого лимитирования фитоценозов по какому-либо фактору. Однако на песчаных и супесчаных почвах Керженского заповедника в июне древостои испытывают недостаток влаги, сигналом чего является положительная зависимость роста междоузлий от сумм осадков. При этом в конце вегетационного сезона, на этапе формирования почки возобновления (в сентябре), осадки вызывают водный стресс у растений и, тем самым, снижают приросты следующего вегетационного сезона.

Высокая значимая положительная связь линейного прироста свежего биотопа с общей суммой осадков прослеживается за июнь текущего и предыдущего года, а отрицательная – за сентябрь предыдущего года ($r = 0,51$, $r = 0,40$, $r = -0,44$ соответственно). За исключением июня (как текущего, так и предыдущего годов) связь линейного прироста в свежем биотопе с обложными осадками более сильная, чем с общей суммой осадков, что может указывать на высокую чувствительность линейного прироста к характеру выпадения осадков.

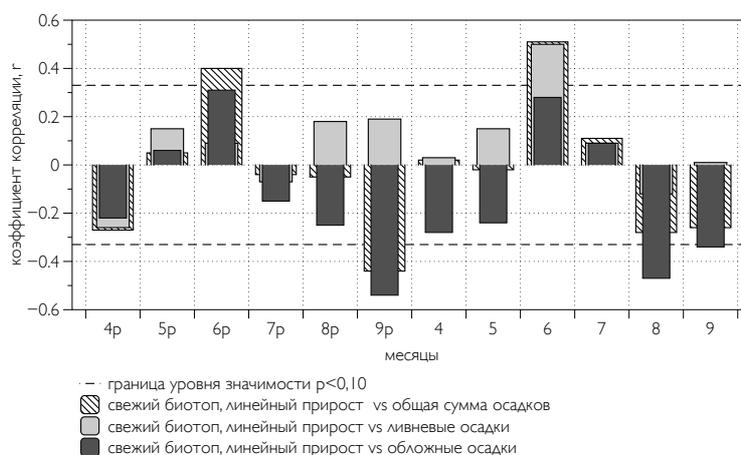


Рисунок 4.4.2 – Коэффициент корреляции Пирсона (r) между средними значениями линейного прироста сосны в свежих биотопах и осадками разного генезиса – ливневыми

(светло-серый цвет) и обложными (темно-серый цвет), а также с общей суммой осадков (4,5...9 – месяцы текущего года, 4р, 5р...9р – месяцы предыдущего года)

В *сухих биотопах* (на песчаных почвах) древостои постоянно испытывают недостаток влаги, который может быть восполнен только атмосферными осадками. Отмечены статистически значимые положительные корреляции с *ливневыми* осадками мая и июня текущего года ($r = 0,51$, $r = 0,57$ соответственно), что справедливо и для общей суммы осадков ($r = 0,59$, $r = 0,57$ соответственно). Данная прямая зависимость характеризует фенофазу формирования линейного прироста. Значимых связей ливневых осадков и параметров роста предыдущего вегетационного сезона не обнаружено (рис. 4.4.3, табл. 4.4.1).

Не отмечены значимые зависимости *обложных осадков* и приростов текущего года, однако зафиксирована прямая связь осадков прошлого года и приростов текущего ($r = 0,37$), относящаяся к фенофазе начала формирования почки возобновления (июль). Аналогичная связь прослеживается и для общей суммы осадков ($r = 0,42$). Очевидно, эдафические особенности сухих местообитаний не позволяют растительности в полной мере воспользоваться влагой, поставляемой как ливневыми, так и обложными осадками.

Для общей суммы осадков также показана отрицательная значимая связь с линейным приростом в сентябре текущего года, на этапе формирования почки возобновления ($r = -0,37$). В целом, для сухих биотопов выявлена большая роль суммы выпавших осадков, а не характера их выпадения.

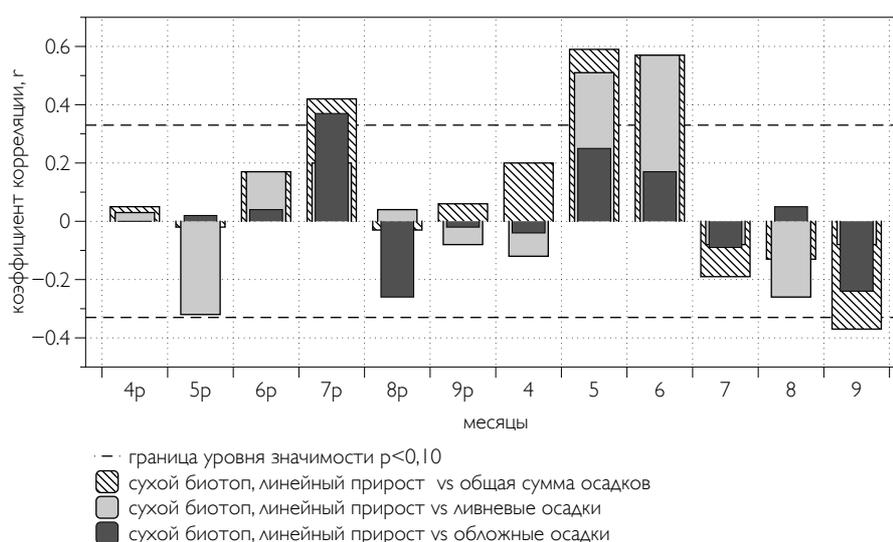


Рисунок 4.4.3 – Коэффициент корреляции Пирсона (r) между средними значениями линейного прироста сосны в сухих биотопах и осадками разного генезиса – ливневыми (светло-серый цвет) и обложными (темно-серый цвет), а также с общей суммой осадков (4,5...9 – месяцы текущего года, 4р, 5р...9р – месяцы предыдущего года)

Радиальный прирост реагирует на ливневые осадки только в июне текущего года ($r = 0.30$) и в июле предыдущего ($r = 0.36$). Выявленные зависимости характерны для фенофазы роста ранней древесины в текущем году и начала формирования поздней древесины. При этом связи прироста с обложными осадками текущих и предыдущих лет не обнаружено (рис. 4.4.4, табл. 4.4.1).

Низкая по сравнению с линейным приростом чувствительность радиального прироста к осадкам, вероятно, обусловлена увлажнением, достаточным для роста ствола по ширине в свежих биотопах умеренного климата [Черногаева и др., 2018]. Как было показано ранее, радиальный прирост более чувствителен к индексам засушливости, которые представляют собой комплексную величину, состоящую из увлажнения и эвапотранспирации [Dai et al., 2011].

Как и для большинства Поволжских хронологий, радиальный прирост сосны демонстрирует положительную значимую связь с общей суммой осадков в июне текущего и предыдущего года ($r = 0,38$, $r = 0,36$ соответственно) [Кузнецова и др., 2017, Соломина и др., 2017], за остальные месяцы значимая связь отсутствует.

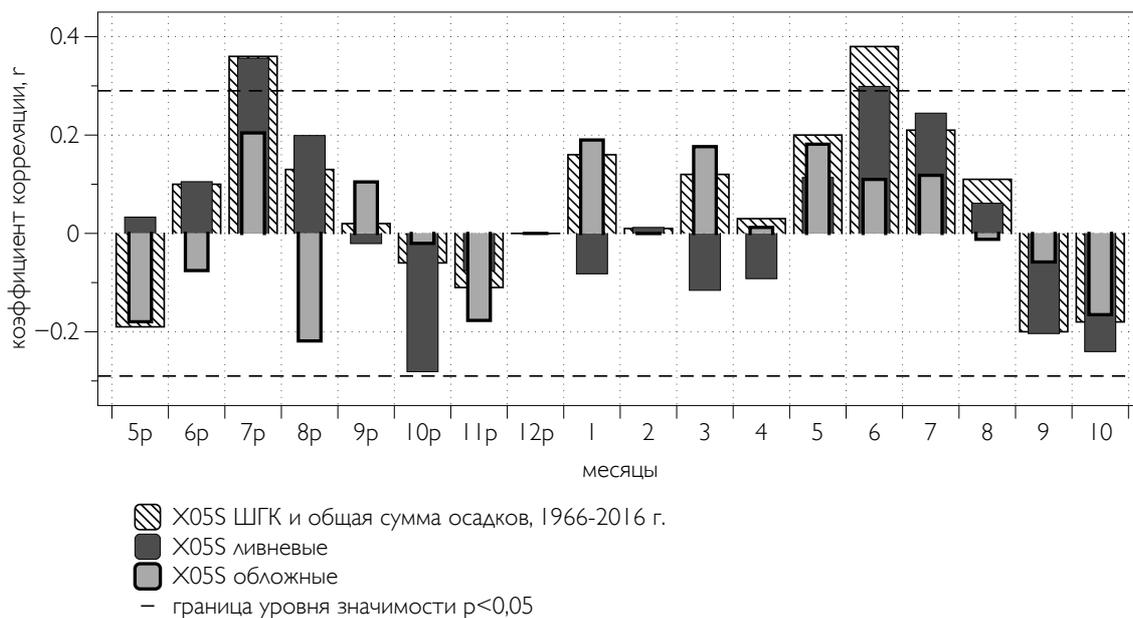


Рисунок 4.4.4 – Связь радиального прироста сосны (хронология X05S) с осадками разного генезиса и общей суммой осадков: коэффициент корреляции корреляции Пирсона (r) между значениями радиального прироста сосны и ливневыми, обложными осадками и общей суммой осадков, (4,5...9 – месяцы текущего года, 4p, 5p...9p – месяцы предыдущего года) для периода 1966–2016 гг.

Анализ результатов проведенных измерений позволил сделать вывод о том, что наблюдается корреляция (положительная или отрицательная) между количеством ливневых и обложных осадков и количественными показателями, характеризующими

отдельные фенофазы сосны обыкновенной. Общая сумма осадков оказывает влияние на все фенофазы, зависимые по отдельности от ливневых или обложных осадков.

Линейный прирост *P. sylvestris* во всех биотопах обнаруживает прямую зависимость от ливневых осадков как текущих, так и предыдущих лет. Наиболее вероятной причиной этого является относительно низкая влагоемкость почв свежих и сухих местообитаний Керженского заповедника, вследствие которой древостои разово получают необходимый запас воды, но переувлажнения не образуется. Исключение составляет обратная зависимость, выявленная для фенофазы начала формирования почек возобновления предыдущего года во влажных биотопах, скорее всего, вызванная водным стрессом, нехваткой кислорода в корнеобитаемом слое и, как следствие, снижением приростов текущего вегетационного сезона.

Обложные осадки, напротив, связаны с линейным приростом сосняков Керженского заповедника обратной зависимостью: длительное поступление влаги в фитоценозы вызывает переувлажнение и дефицит кислорода в корнеобитаемом слое, что снижает приросты деревьев текущего года и качество почек возобновления предыдущего вегетационного сезона. Общую закономерность нарушает прямая зависимость для фенофаз роста междоузлий во влажных биотопах (в текущем году), а также формирования почек возобновления в сухих местообитаниях (в предыдущем вегетационном сезоне). В этих двух случаях причинами значимых положительных корреляций является, по-видимому, характерный для указанных биотопов дефицит влаги в моменты роста междоузлий и почек возобновления, восполняемый осадками.

Радиальный прирост сосны обыкновенной демонстрирует меньший отклик на осадки разного генезиса, показывая значимую положительную связь с ливневыми осадками текущего и предыдущего года, характерную для фенофаз формирования ранней (в текущем году) и поздней (в предыдущем году) древесины. Для обложных осадков как текущих, так и предыдущих лет, статистически значимой связи с радиальным приростом не обнаружено.

На основании полученных в данном разделе результатов, а также опубликованных ранее научных работ можно сделать вывод о меньшей чувствительности радиального прироста *P. sylvestris* к сигналу осадков, чем линейного. Однако, данный вывод требует подтверждения на основе результатов дальнейших исследований на более обширной территории.

Таблица 4.4.1 Зависимость радиальных и линейных приростов от сумм осадков текущего и предыдущего вегетационных сезонов (уровень достоверности 90 %)

ЛИВНЕВЫЕ ОСАДКИ								
	Радиальный прирост		Линейный прирост					
	текущий год	пред. год	влажный биотоп		свежий биотоп		сухой биотоп	
			текущий год	пред. год	текущий год	пред. год	текущий год	пред. год
апрель	-0.09	-0.12	-0.08	-0.06	0.03	-0.26	-0.12	0.03
май	0.11	0.03	-0.01	0.11	0.15	0.15	0.51	-0.32
июнь	0.30	0.11	0.13	0.29	0.5	0.09	0.57	0.17
июль	0.24	0.36	0.42	-0.33	0.09	-0.07	-0.08	0.2
август	0.06	0.20	0.26	-0.06	-0.12	0.18	-0.26	0.04
сентябрь	-0.20	-0.02	-0.17	-0.28	0.01	0.19	-0.08	-0.08

ОБЛОЖНЫЕ ОСАДКИ								
	Радиальный прирост		Линейный прирост					
	текущий год	пред. год	влажный биотоп		свежий биотоп		сухой биотоп	
			текущий год	пред. год	текущий год	пред. год	текущий год	пред. год
апрель	0.01	-0.13	-0.23	0.22	-0.28	-0.22	-0.04	0.00
май	0.18	-0.18	0.37	-0.53	-0.24	0.06	0.25	0.02
июнь	0.11	-0.08	0.07	-0.36	0.28	0.31	0.17	0.04
июль	0.12	0.20	0.05	0.18	0.09	-0.15	-0.09	0.37
август	-0.01	-0.22	0.28	-0.44	-0.47	-0.25	0.05	-0.26
сентябрь	-0.06	0.10	-0.27	-0.07	-0.34	-0.54	-0.24	-0.02

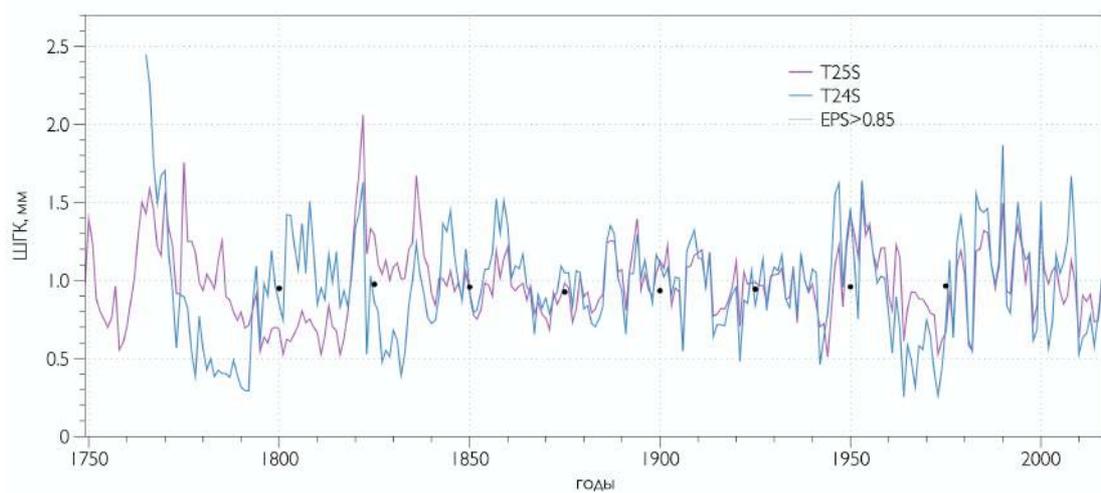
4.5 Первые результаты эксперимента в Волжско-Камском государственном природном биосферном заповеднике (Татарстан) по изучению индивидуального прироста древесины на опушке и в глубине леса

Как уже было сказано в настоящей главе, прирост древесины сосны зависит от комплекса региональных (температура, осадки, рельеф и др.) и локальных факторов (микrokлиматические условия, в том числе, условия увлажнения и тип биотопа), среди которых – положение каждого отдельно взятого дерева в древостое.

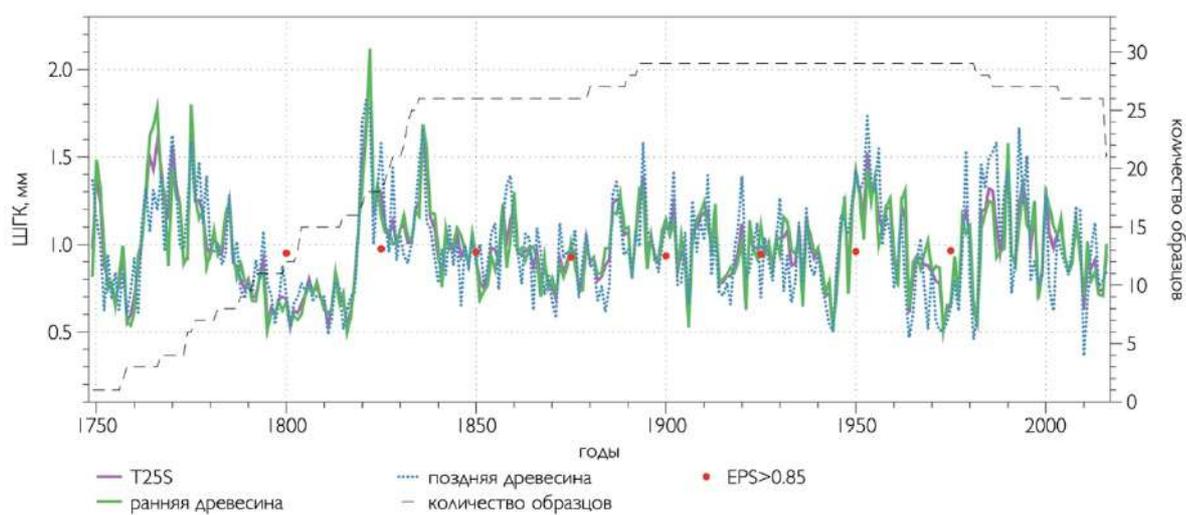
В этом разделе мы приводим первые результаты работы, цель которой – попытка выявить сходства и различия индивидуального прироста сосны в разных частях леса – на опушке и в глубине. В качестве модельного участка мы выбрали Волжско-Камский заповедник, Раифское лесничество, результаты эксперимента частично опубликованы в работе [Gut et al., 2019].

Как известно, на прирост древесины влияет ряд физико-географических и эколого-географических факторов, характерных для разных типов местности [Шиятов и др., 2000, Bradley, 2015, Allen et al., 2010, Cailleret et al., 2017, Oberhuber et al., 2010]. Климатические изменения, в том числе, увеличение интенсивности и повторяемости засух на территории Русской равнины и в Поволжье, отражаются на ежегодном приросте древесины и способствуют снижению продуктивности древостоев, в ряде случаев, усыханию крон и остановке жизнедеятельности [Соломина и др., 2017, Eilmann et al., 2010, Pichler et al., 2003 и др.]. Волжско-Камский заповедник, расположенный на территории Республики Татарстан выбран нами неслучайно – именно на этой территории сохранились большие площади старовозрастных лесов, которые представляют особый интерес с точки зрения дендрохронологического и дендроклиматического анализа [Тишин, 2014, Кузнецова и др., 2017 и др.]. Методика отбора, обработки образцов и последующего анализа подробно изложена в главе 2 настоящей работы.

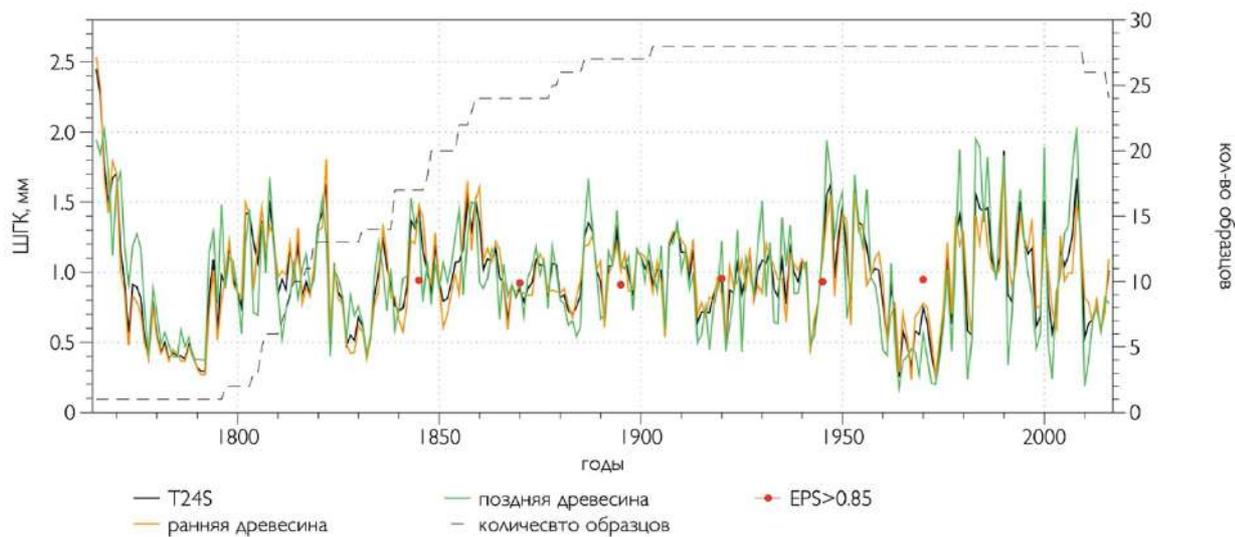
Как видно из рис. 4.5.1, прирост древесины в глубине и на опушке леса различается незначительно, но есть периоды, для которых разница более ощутима. Так, в период с 1773 по 1793 гг. на опушке леса прирост был существенно ниже, чем непосредственно в лесу. Затем, с 1793 по 1816 гг. наблюдается обратная ситуация и выделяются периоды со сменой интенсивности прироста на двух площадках, что может быть обусловлено как природными, так и антропогенными факторами (рядом с опушкой леса находится поселок, жители которого могли осуществлять рубки, влияя тем самым на характер освещенности древостоя).



(а)



(б)



(в)

Рисунок 4.5.1 – Ширина годичных колец хронологий (а), ранней и поздней древесины в глубине леса T25S (б) и на опушке T24S (в), мм

Также интересно, что в первые 100 лет жизни деревьев разница приростов была более существенная, чем в последующие годы, что может быть связано с большей чувствительностью молодых деревьев к факторам окружающей среды. При сравнении разницы приростов ШГК, ранней и поздней древесины между двумя площадками не выявлено значительных отличий, вероятно, в связи с относительной близостью древостоев.

Кроме прироста древесины на двух площадках произведено сравнение площади поперечного сечения ствола деревьев (ВАI) на опушке и в глубине леса (рис. 4.5.2).

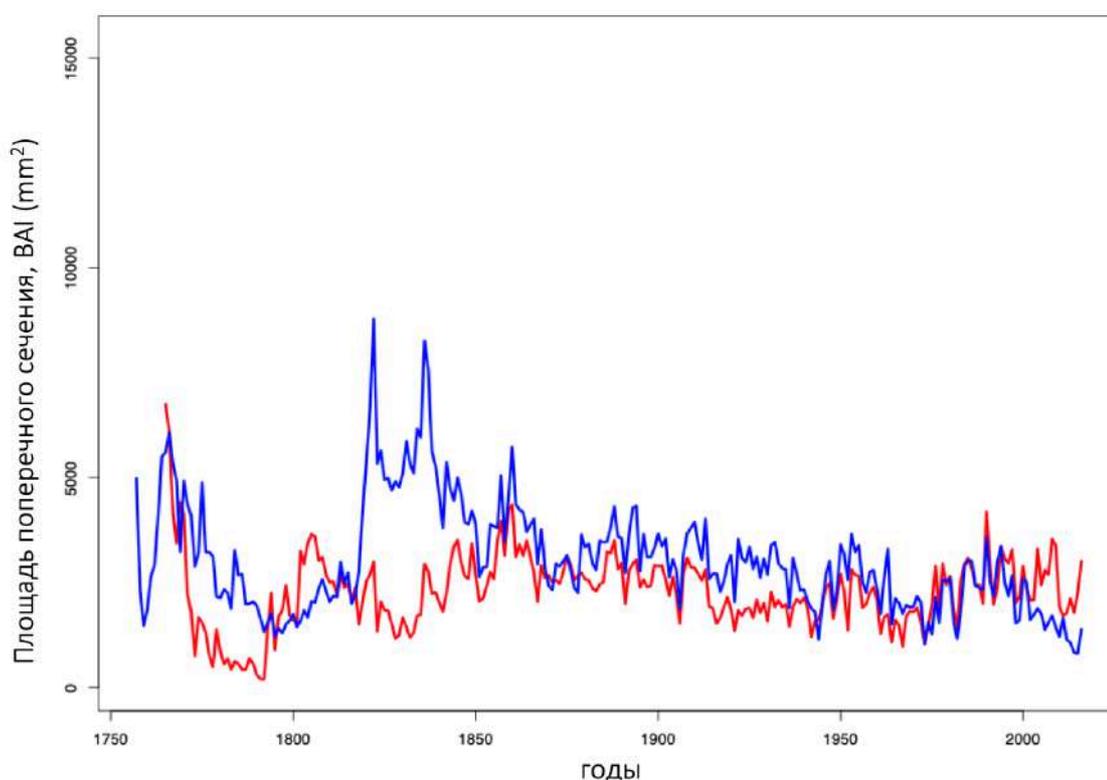


Рисунок 4.5.2 – Площадь поперечного сечения ствола деревьев на площадках T24S (красный) и T25S (голубой) для ширины годичного кольца

Как видно из рис. 4.5.2, площадь поперечного сечения различалась на протяжении жизни древостоев в глубине леса и на опушке. В целом, деревья в глубине леса превосходили по площади поперечного сечения деревья на опушке, что было заметно и на местности, при отборе образцов древесины. Но нельзя оставить без внимания тот факт, что в некоторые периоды жизни деревья на опушке все же превосходили по ВАI древостой в глубине леса и случалось это дважды – с 1790 по 1820 и с 1980 по 2016 г.

Для проведения дальнейшего анализа нами был выделен интервал прироста (рис. 4.5.3) с единым популяционным сигналом $EPS > 0.85$ для двух групп деревьев (с 1839 по 2015 гг.), за который произведено сравнение площади поперечного сечения деревьев (рис. 4.5.4).

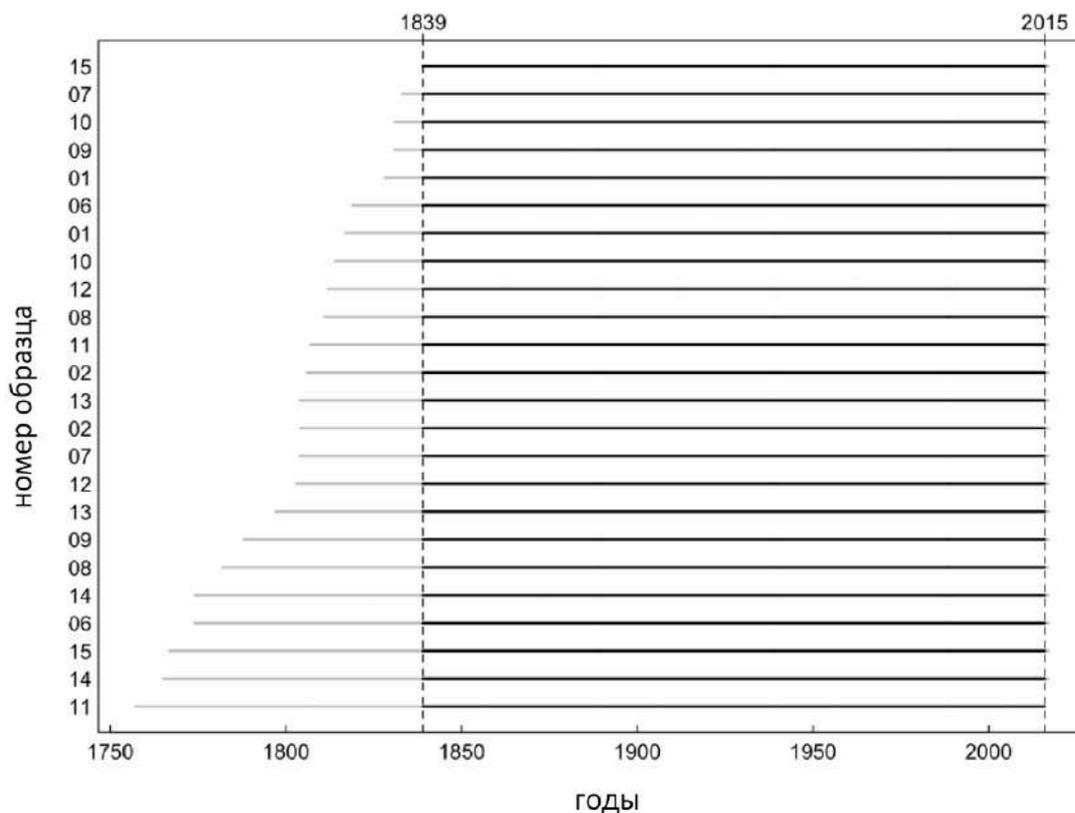


Рисунок 4.5.3 – Общий интервал для деревьев на площадках на опушке (T24S) и в лесу (T25S)

Как видно из рис. 4.5.4, значимая разница между площадью поперечного сечения наблюдается в первые 100 лет жизни деревьев и в последние 140 лет.

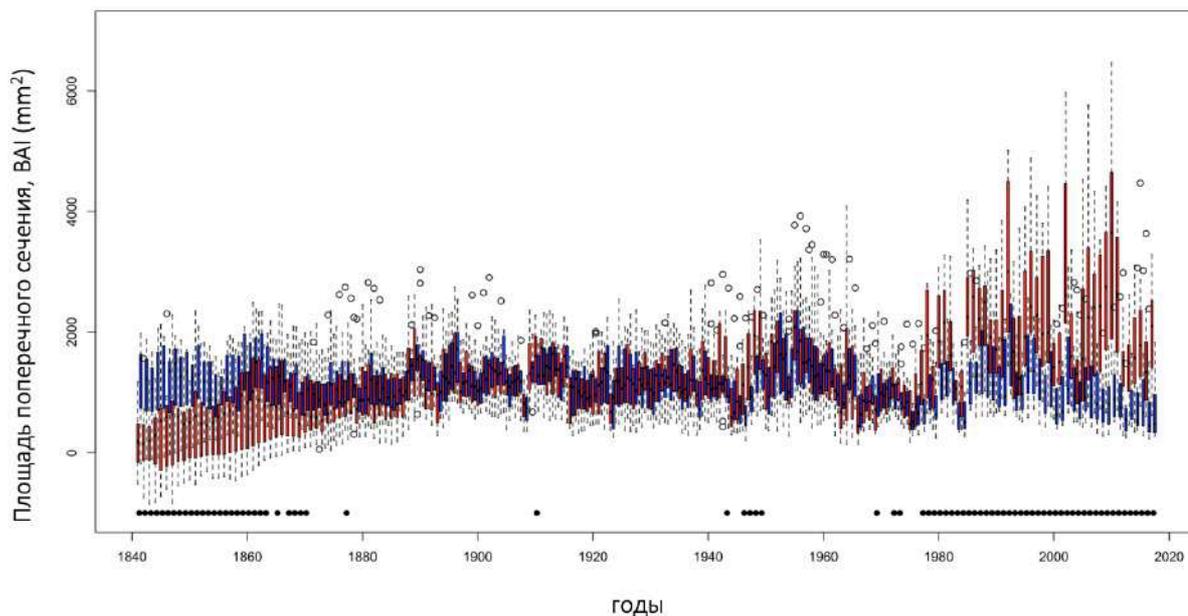
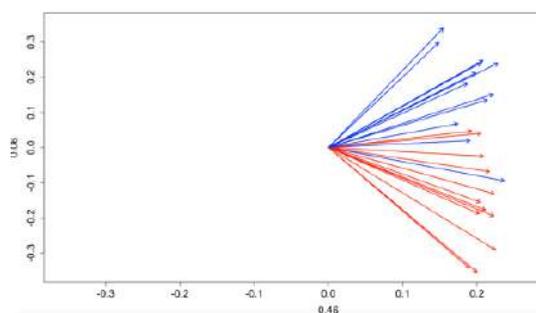
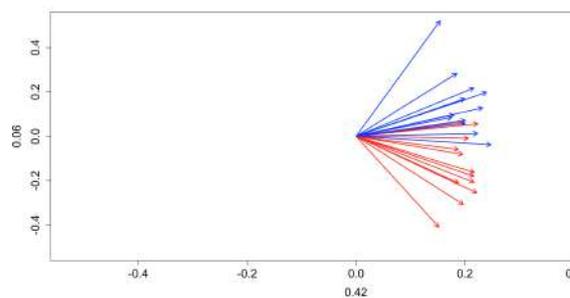


Рисунок 4.5.4 – Площадь поперечного сечения (мм^2) на опушке леса - красные линии, в глубине леса – синие. Черные точки – значимая разница между параметрами ($p < 0.05$)

В результате, при помощи градиентного анализа главных компонент, получена дифференциация приростов деревьев на опушке и в глубине леса. Рис. 4.5.5 показывает, что, в основном, приросты делятся на две группы, за исключением отдельных деревьев, прирост которых на опушке леса схож с приростом в глубине леса.



а



б

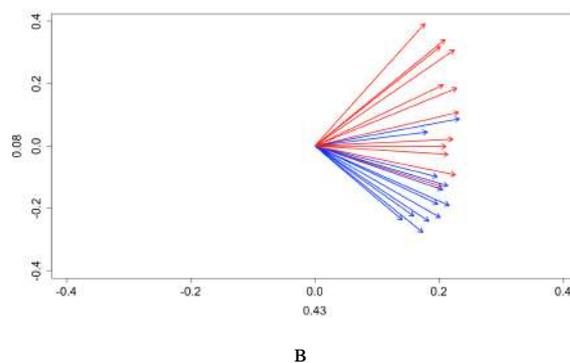


Рисунок 4.5.5 – Результат градиентного анализа главных компонент: синие векторы – для ШГК площадки в глубине леса (Т25S), красные – на опушке (Т24S): а – ШГК, б – ранняя древесина, в – поздняя древесина

Причины подобной дифференциации могут быть как физико-географическими (разные почвенно-грунтовые условия, разный режим увлажнения), так и экологическими (различная степень конкуренции с другими видами). В нашем случае, подстилка леса и доминантные виды растительности схожи как на опушке, так и в глубине леса.

Для того чтобы объяснить различия в динамике формирования площади поперечного сечения, нами произведен анализ связи прироста на двух площадках с климатическими параметрами – среднемесячными температурами, осадками и индексом суровости засухи Палмера (scPDSI).

Различия в динамике формирования площади поперечного сечения у двух модельных групп деревьев требует детального анализа изменения экологических условий произрастания двух древостоев. На данном этапе работ мы можем сделать предварительные выводы, опираясь на связь прироста древесины с климатическими параметрами.

Как показывает рис. 4.5.6, подобное различие может быть обусловлено большей чувствительностью деревьев на опушке леса (а) к осадкам вегетационного периода: апрель, май, сентябрь для ШГК, май для ранней древесины и июль для поздней, чем деревьев в глубине леса (б): апрель для ШГК и ранней древесины, апрель, июль, сентябрь для поздней. Интересен факт незначительной связи прироста древесины на двух площадках с индексом PDSI, тогда как практически для всей Европейской территории России и, в частности, Поволжья, статистически значимая связь фиксируется для всего года [Соломина и др., 2016, Соломина и др., 2017, Кузнецова, 2017].



(а)



(б)

Рисунок 4.5.6 – Связь ШГК, ранней и поздней древесины на опушке (а) и в глубине леса (б) и климатических параметров

Кроме того, найдена статистически значимая зависимость между приростом древесины и стока р. Илеть, что было показано ранее в этой главе. Подобная связь зачастую обусловлена зависимостью прироста и глубины залегания грунтовых вод, испарения, количеством атмосферных осадков [Woodhouse, 2006, MacDonald, 2007, Stockton, 1973, Pederson, 2001, Case, 2003].

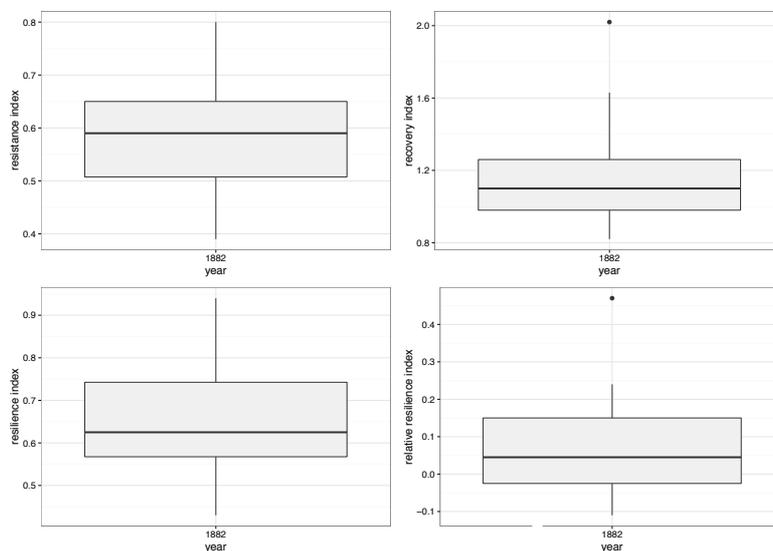
4.6 Реперные годы в мастер-хронологиях

Для обобщения полученных пространственных закономерностей связи прироста древесины с гидрометеорологическими параметрами для двух поволжских региональных мастер-хронологий по ширине годичных колец сосны РГ2 (северо-запад) и РГ3 (юго-восток) нами проведен анализ «реперных» лет с угнетениями прироста (методика анализа приведена в главе 2 [M. van der Maaten-Theunissen et al., 2015]).

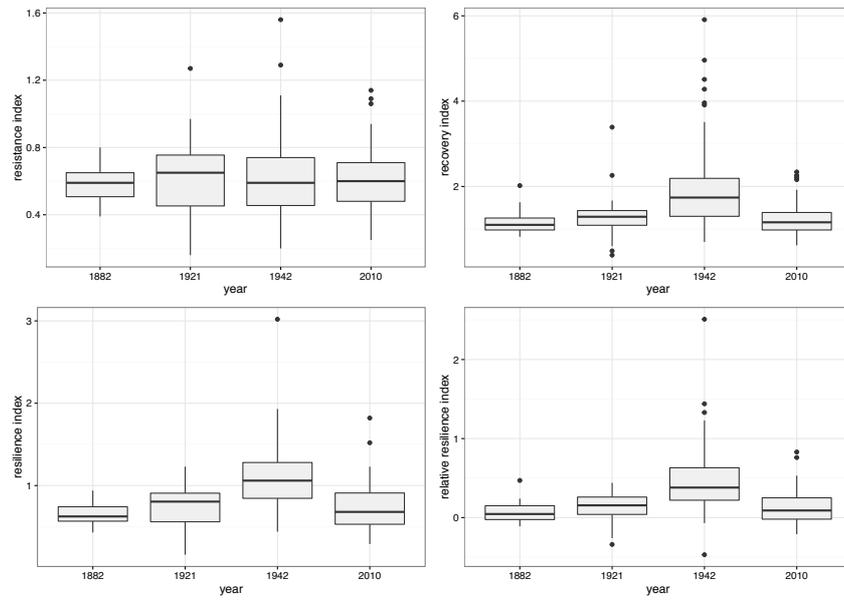
Реперные годы для мастер-хронологии РГ2 рассчитаны для периода с 1827 по 2015 г. ($EPS > 0.85$). Согласно методике [M. van der Maaten-Theunissen et al., 2015], «реперным» считается год, в который более, чем у 75% деревьев наблюдается отрицательное отклонение от среднего значения ШГК на 30%.

Из рисунка 4.6.1 (а) видно, что при таких условиях, для рассмотренного периода выделяется лишь один год с аномальным приростом, 1882, за который у нас нет метеорологических данных, которые позволили бы выявить причины угнетения прироста.

Для того чтобы определить реперные годы в хронологии и сравнить их с метеорологическими данными, мы смягчили условие: для хронологии РГ2 реперным годом считается тот год, за который у 65% деревьев наблюдается отклонение от прироста более, чем на 20% (рис. 4.6.1, б). При этом условии в хронологии выделяются 4 реперных года - 1882, 1921, 1942, 2010.

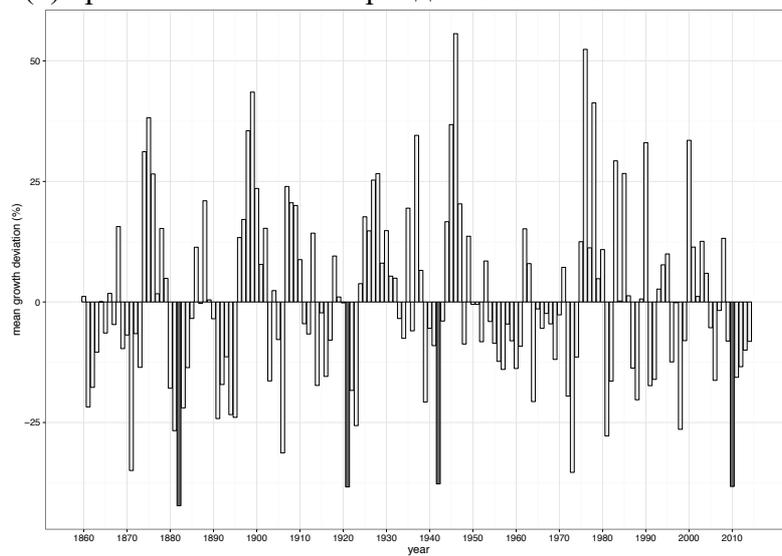


(a)

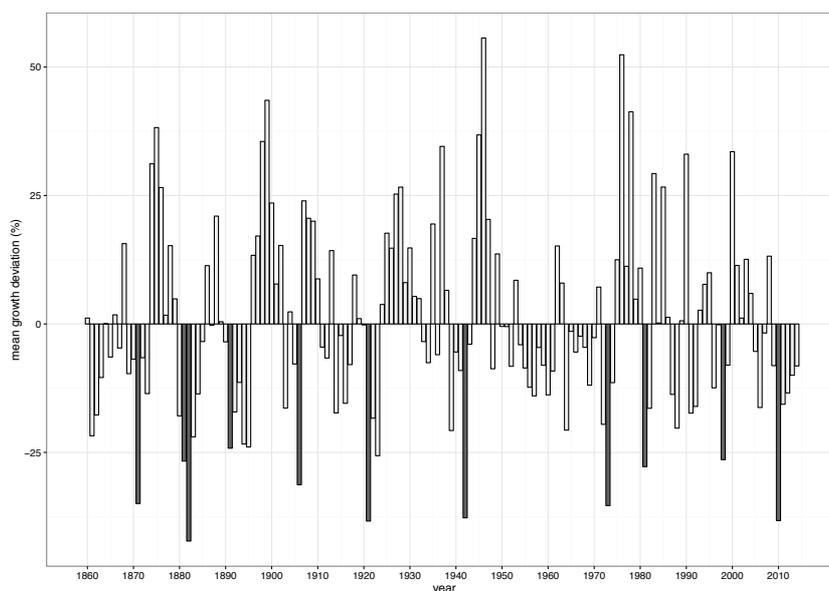


(б)

Рисунок 4.6.1 – Годы с угнетением прироста более, чем у 75% деревьев (а), 65 % (б) хронологии РГ2 за период с 1827 по 2015 гг.



(а)



(б)

Рисунок 4.6.2 – Реперные годы для хронологии РГ2. Темно-серым цветом показаны годы, за которые наблюдались отклонения прироста более, чем на 30% (а) и 20% (б) от среднего значения ШГК за период с 1827 по 2015 гг.

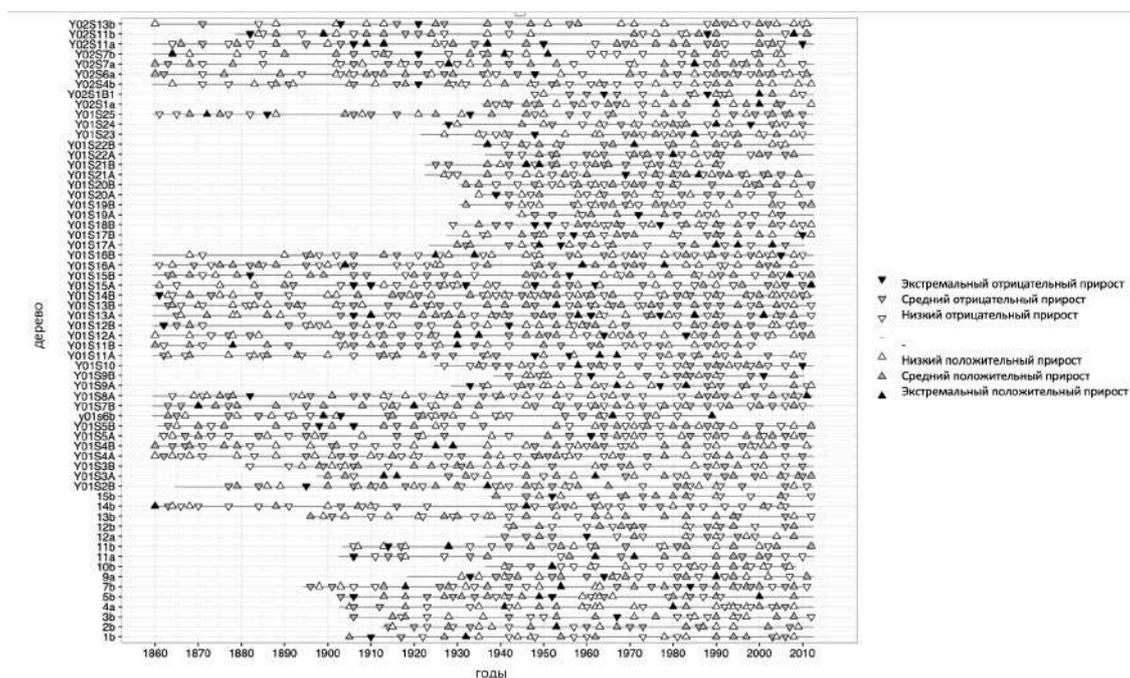


Рисунок 4.6.3 – Классы отклонений прироста от среднего значения для хронологии РГ2. Темными треугольниками показаны отклонения прироста более, чем на 30% от среднего значения ШГК за период с 1827 по 2015 гг. – реперные годы («экстремальные значения прироста»), серые треугольники – «средние» и белые треугольники – «низкие» значения отклонения прироста от нормы; направление треугольника характеризует положительный (вверх) и отрицательный (вниз) прирост (классы прироста выделены в соответствии с методом, описанным в работе Neuwirth et al., 2007)

Реперные годы для хронологии РГЗ рассчитаны за период с 1860 по 2015 г. ($EPS > 0.85$). Для этой мастер-хронологии мы использовали стандартное условие, при котором реперным считается год, в который у 75% деревьев наблюдается сокращение прироста до 30% от среднего значения: 1830, 1833, 1921, 1967, 1996, 2010 гг. (реперные годы, рис. 4.6.4, 4.6.5, 4.6.6).

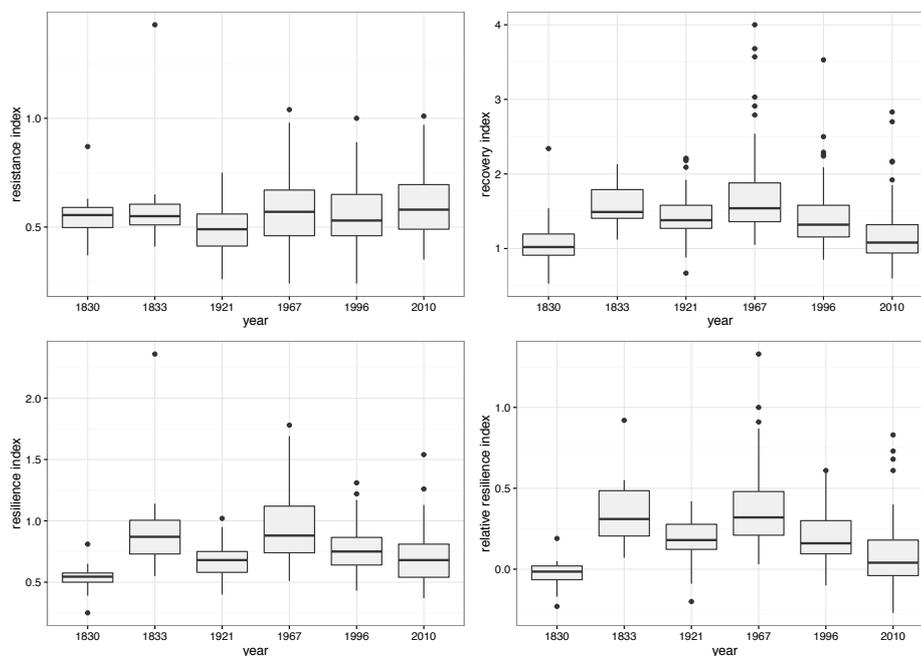
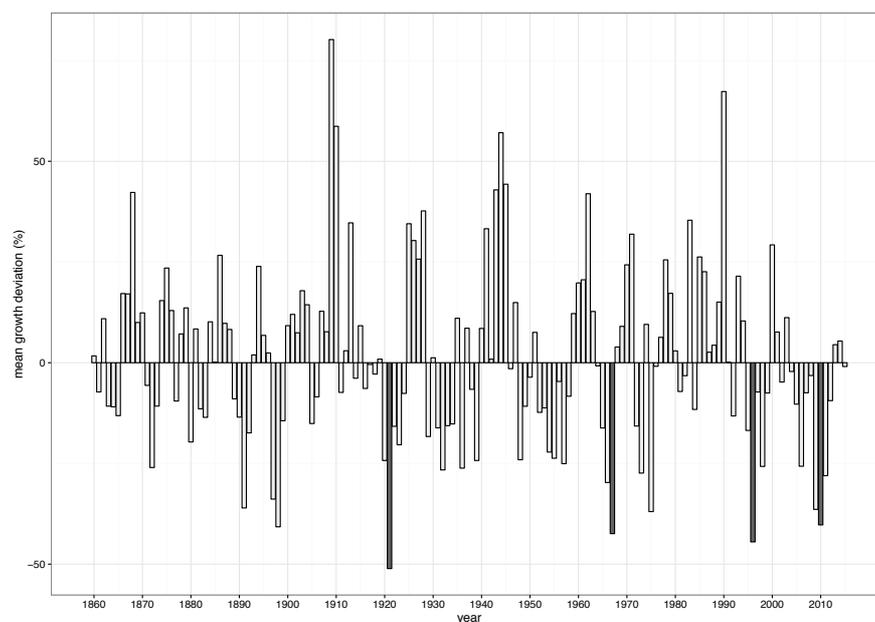
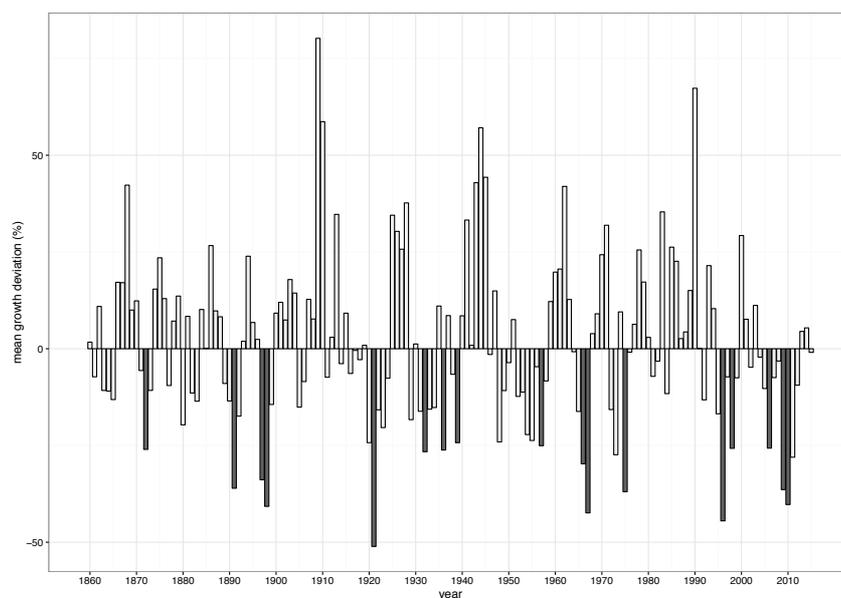


Рисунок 4.6.4 – Годы с угнетением прироста хронологии РГЗ за период с 1830 по 2015 г.



(a)



(б)

Рисунок 4.6.5 – «Реперные годы» для хронологии РГЗ. Темно-серым цветом показаны годы, за которые наблюдались отклонения прироста более, чем на 30% (а) и 20% (б) от среднего значения ШГК за период с 1860 по 2015 гг.

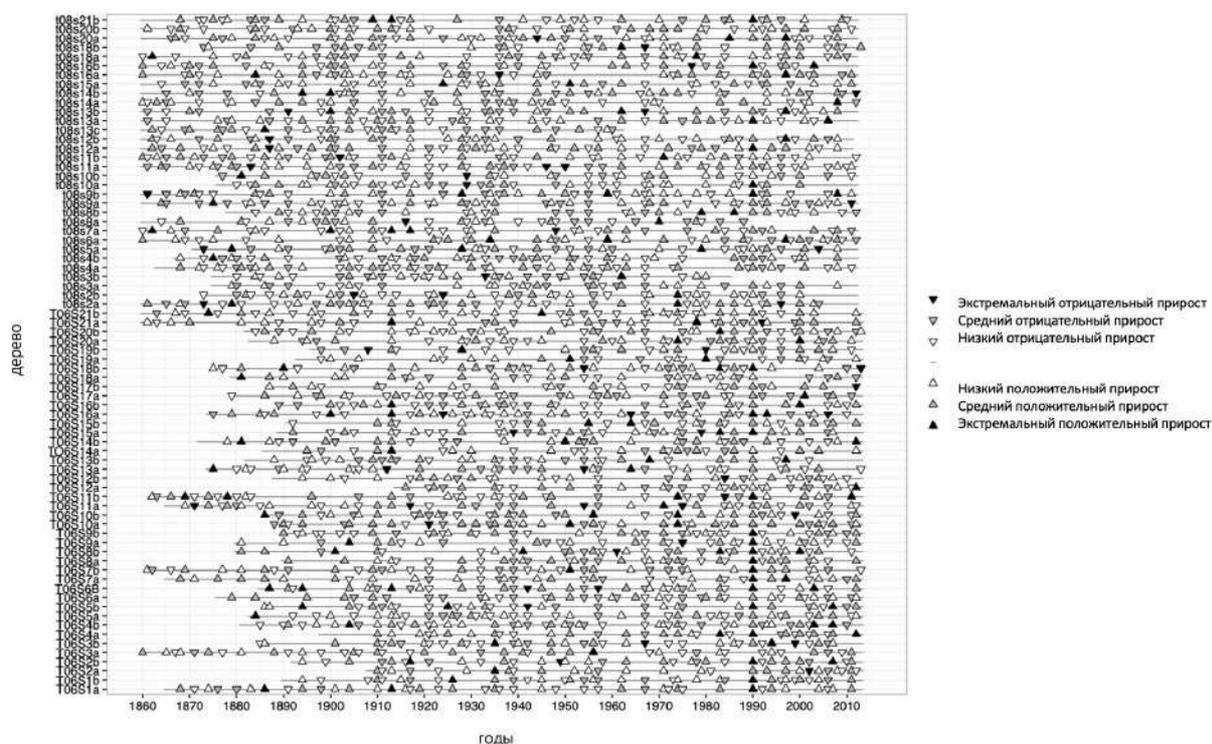


Рисунок 4.6.6 – Классы отклонений прироста от среднего значения для хронологии РГЗ. Темными треугольниками показаны отклонения прироста более, чем на 30% от среднего значения ШГК за период с 1860 по 2015 гг. – реперные годы («экстремальные значения прироста»), серые треугольники – «средние» и белые треугольники – «низкие» значения отклонения прироста от нормы; направление треугольника характеризует положительный (вверх) и отрицательный (вниз) прирост (классы прироста выделены в соответствии с методом, описанным в работе Neuwirth et al., 2007)

Таблица 4.6.1 Реперные годы в мастер-хронологиях РГ2 и РГ3

реперные годы	Реперные годы для мастер- хронологии РГ2	реперные годы для мастер- хронологии РГ3
1830		+
1833		+
1882	+	
1921	+	+
1942	+	
1967		+
1996		+
2010	+	+

Так как одной из гипотез настоящей работы является предположение, что чувствительность древостоев сосны к засухам увеличивается в направлении с северо-запада на юго-восток, особый интерес представляет не только выявление реперных лет для каждой хронологии РГ2 и РГ3, но и сравнение этих лет между собой, а также верификация полученных результатов с помощью инструментальных и исторических данных.

Для установления причин аномального прироста в двух поволжских мастер-хронологиях нами произведено сравнение ДКХ РГ2 и РГ3 с метеопараметрами (среднемесячные температуры, осадки), а также индексами засушливости – scPDSI и индексом D Мещерской-Блажевич (рис. 4.6.7). Для каждого параметра выбраны средние значения за период, для которого ШГК демонстрирует наиболее высокий и значимый климатический сигнал (глава 4). Если для сравнения индивидуальных хронологий с метеопараметрами мы использовали данные ближайших метеостанций (глава 2), то для выявления климатического сигнала региональных мастер-хронологий, охватывающих более обширные территории, нами использованы данные о среднемесячных температурах и осадках из сеточных архивов CRU TS 4.03 [Harris et al., 2014] с 1901 по 2015 г. с разрешением 0,5° по широте и долготе.

В первую очередь отметим, что хронология РГ3 имеет большее количество реперных лет, чем РГ2 (таблица 4.6.1), что подтверждает более высокую чувствительность сосны на юго-востоке к метеопараметрам, в частности, к индексу суровости засухи scPDSI (раздел 4.2). Причем, соотношение количества реперных лет в хронологиях при условии 75×30 (75% деревьев имеет угнетение прироста на 30% от среднего значения) – 1 к 6: 1882 (РГ2) и 1830, 1833, 1921, 1967, 1996, 2010 (РГ3). При смягченном условии (65×30)

соотношение изменяется на 4 к 6 и для РГ2 выявляются 1921, 1942 и 2010 г. Общие годы угнетений у двух хронологий – 1921 и 2010 гг.

Рассмотрим связь хронологий с метеопараметрами и историческими свидетельствами экстремальных климатических событий, которые могли вызвать угнетения прироста сосны на территории района работ.

Как видно из рис. 4.6.7 отрицательные приросты (реперные годы) за период, для которого имеются данные сеточного архива CRU TS 4.03 (с 1901 по 2015 гг., Harris et al., 2014) приурочены к аномальным значениям индексов scPDSI, D, а также к годам с небольшим количеством летних осадков с июля по сентябрь и высокими значениями летних среднемесячных температур (1921, 1942, 1967, 1996, 2010) – угнетению прироста способствуют комплекс климатических факторов и аномалий.

Так, для двух мастер-хронологий выделены два общих «реперных» года – 1921 и 2010 гг., в эти годы в период активной вегетации на ЕТР и в Поволжье наблюдались сильные засухи [Страшная и др., 2011, Мещерская и др., 2011; Савин и др., 2011; Черенкова, 2012; Золотокрылин и др., 2013, Matskovsky et al., 2016], число жертв засухи 1921 гг., по некоторым оценкам, составило несколько миллионов человек [Андреев и др., 1993].

Для группы **РГ2 (СВ)** реперными являются также 1882 и 1942 гг. Предыдущие исследования показали, что не все годы с угнетениями прироста сосны вызваны засухами [Соломина и др., 2017]. Так, 1882 г., согласно историческим свидетельствам, засушливым не был, однако, в 1881 г. в Брянской, Смоленской, Псковской, Калужской, Московской, Тверской, Нижегородской, Симбирской, Казанской областях зафиксированы вспышки численности стволовых вредителей, которые могли способствовать угнетению прироста на будущий год у сосны в хронологии РГ2, заложенной на северо-востоке Поволжья, вблизи Нижегородской области и республики Татарстан. Аномально узкое кольцо 1942 г. характерно для большинства хронологий ЕТР и, в частности, Поволжья [Matskovsky et al., 2016, Соломина и др., 2017]. В Поволжских хронологиях на сокращение прироста в этот год могли повлиять засухи конца 1930-х - начала 1940-х гг. (рис. 4.6.7), а также, как показано в [Соломина и др., 2017], сочетание комплекса аномалий – жаркие июль и август 1940 г., дефицит осадков летом 1940 и холодная, малоснежная зима 1940-1941 гг. Лето 1942 г. также было дождливым и холодным на всей территории ЕТР. В Воронежской области в Хреновском бору для хронологий по ширине годичных колец также характерно узкое кольцо, которое вызвано засухой [Matskovsky et al., 2016].

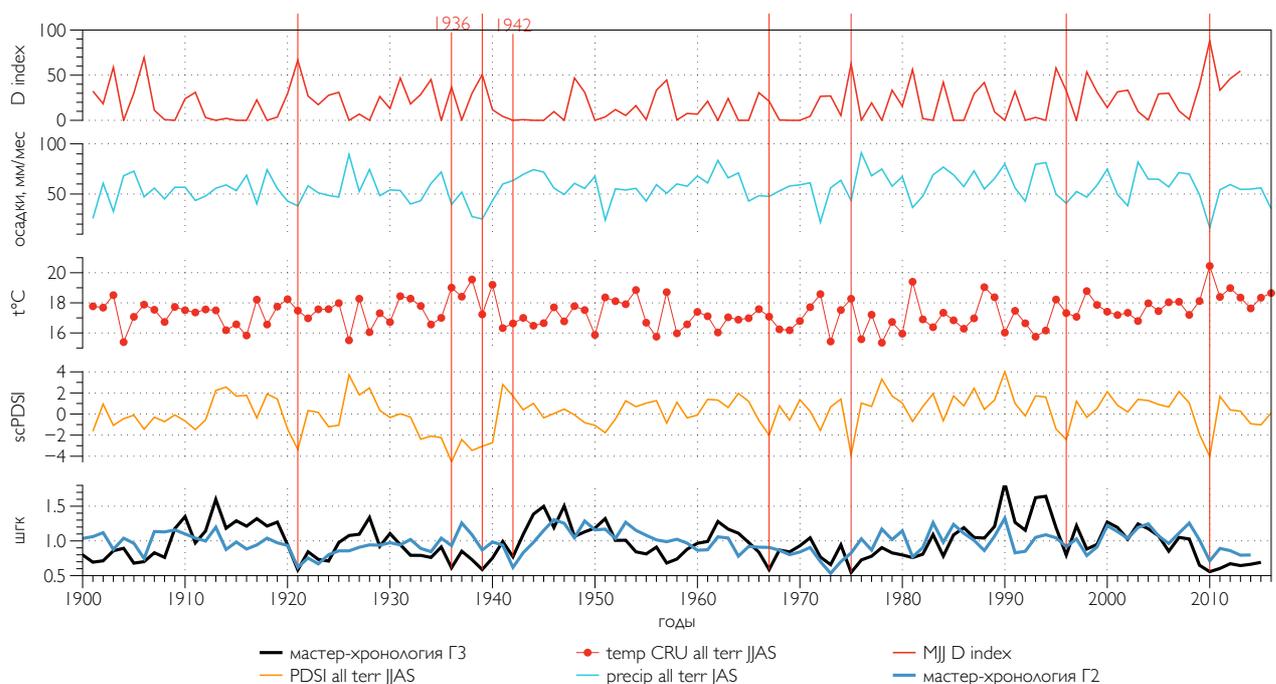


Рисунок 4.6.7 – Сравнение прироста сосны по данным поволжских мастер-хронологий с метеопараметрами (среднее значение среднемесячных температур за период с июля по сентябрь (красная линия с точками) и осадков за период с июля по сентябрь (голубая линия), индекса суровости засухи Палмера scPDSI за период с июня по сентябрь (оранжевая линия), индекса D Мещерской-Блажевич за период с мая по июль (красная линия) с 1901 по 2015 гг. Красными вертикальными линиями показаны реперные годы для мастер-хронологий

Рассмотрим реперные годы более чувствительной хронологии **РГЗ (ЮВ)**: 1830, 1833, 1921, 1967, 1996, 2010 и проследим связь угнетений прироста с информацией об экстремальных природных, в том числе, климатических явлениях, которую удалось найти в архивах и исторических свидетельствах. В литературе отсутствует информация о климатических аномалиях 1830 и 1833 гг., однако, имеются упоминания о сильной продолжительной жаре в России в 1828 г. [Борисенков и др., 1988], которая могла сказаться на угнетении прироста в 1830 г. и вызвать, предположительно, вспышку вредителей вплоть до 1833 г. В газете «Воронежские губернские ведомости» зима 1831 г. отмечена как малоснежная (ВГВ, №48, 30.11.1858, стр., 374).

Данные нормированного ГТК Селянинова (см. главу 2) показывают, что в 1967 г., когда у хронологии РГЗ наблюдались угнетения прироста, 38,5% площади Волго-Вятского экономического района были охвачены сильной засухой [Соломина и др., 2017], что могло спровоцировать реакцию древостоя у большинства деревьев из юго-восточной группы. Сильная засуха наблюдалась в Поволжье летом 1995 г. [Страшная и др., 2011] и привела к формированию узкого кольца 1996 г.

Кроме перечисленных реперных лет, совпадающих с историческими свидетельствами, известны годы сильных засух и неурожаев, не нашедшие отражения в приросте в виде экстремальных значений, но которые можно выделить как годы с низкими (не экстремальными) значениями прироста. Например, к таким годам относятся 70 и 80-е гг. XIX в., известные как годы сильных неурожаев в Поволжье благодаря, в том числе, трудам Л.Н. Толстого. Великий русский писатель в 1871 г. купил имение в Самарской области, в окрестностях хутора Каралык, не сохранившегося до нашего времени, которое неоднократно посещал на протяжении всей жизни. Из дневников писателя, а также столичных и Самарских газет того времени известно, что в 1873 г. в Самарской губернии наступила сильная засуха, в результате которой лето было катастрофически неурожайным [Гусев, 1936, Борисенков и др., 2003]. Л.Н. Толстой так писал о засухе в своем дневнике «там, где сеяна была пшеница, овес, просо, ячмень, лен, теперь даже нельзя узнать, что посеяно, и это в половине июня... Крестьян нигде нет, все уехали искать работы, дома худые бабы с худыми и больными детьми и старики» [Л.Н. Толстой, 1984]. Однако, 1873 г. в мастер-хронологиях РГ2 и РГ3 не является реперным. Справедливо будет отметить тот факт, что страшный голод, отмеченный в исторических источниках, например, в 1932-1933 гг. в большей степени был вызван не засухой, но коллективизацией, проходившей в России. Это был первый голод в истории России, не связанный с природными катаклизмами [Кондрашин, 2008].

За период с 1901 по 2015 г. выявлены не только кратковременные, но и *длительные угнетения* прироста сосны, когда под действием продолжительных летних засух формировалось узкое кольцо и дерево не получало нужное количество тепла и влаги, чтобы обеспечить нормальный прирост на будущий год. Подобные продолжительные аномалии мы не относим к реперным годам по причине отклонения прироста от среднего значения на 20% у 60% выборки (рис. 4.6.2, 4.6.5 б), что не соответствует даже мягким условиям (20x65), но все же заслуживает внимания. Такие незначительные аномалии прироста выявлены в большей степени для хронологии РГ3 за 1936, 1939 и 1942 гг., когда в летние месяцы на территории Поволжья стояла жаркая погода с минимальным количеством осадков, о чем свидетельствуют как прямые наблюдения, так и данные индексов засушливости, исторические источники [Логинов и др., 1976]. В силу того, что на прирост сосны влияют условия не только текущего, но и предыдущего года, угнетения прироста наблюдались в течение всего периода с 1933 по 1942 гг.

Таким образом, гипотеза о том, что древостои на юго-востоке района работ более чувствительны к гидротермическим условиям, чем сосны на северо-западе Поволжья, находит подтверждение и в результате анализа реперных лет. Чаще всего формирование

узкого кольца связано с засухой вегетационного сезона текущего или предыдущего года, из чего можно сделать вывод о возможном использовании ДКХ Поволжья для реконструкции условий увлажнения, о чем пойдет речь в главе 5.

Выводы:

1. Для большинства хронологий по сосне в Поволжье характерна значимая обратная связь с *температурой* воздуха летних и зимних месяцев, которая усиливается в направлении с северо-запада на юго-восток, что обусловлено усилением континентальности и увеличением степени засушливости климата.

2. На всей территории Поволжья ширина годичных колец сосны демонстрирует положительные значимые связи со среднемесячной суммой *осадков* вегетационного сезона текущего года. На юго-востоке района работ также наблюдается связь ширины годичных колец сосны с осадками второй половины лета (июль-август) предыдущего года. Для Поволжья характерно усиление положительной связи радиального прироста сосны с осадками в направлении с северо-запада на юго-восток.

3. Радиальный прирост древесно-кольцевых хронологий по сосне чувствителен к среднемесячным значениям индекса суровости засухи Палмера (scPDSI) за период с марта предыдущего года по октябрь текущего, за исключением зимних месяцев. На юго-востоке Поволжья климат суше, чем на северо-западе, что отражается в усилении связи радиального прироста сосны с индексом scPDSI с СЗ на ЮВ.

4. Положительная значимая связь радиального прироста сосны с речным стоком в Поволжье за весь гидрологический год характерна для большинства древесно-кольцевых хронологий вне зависимости от их географического положения. В месяцы половодья значимая связь между параметрами отсутствует (апрель, иногда апрель-май).

5. В направлении с северо-запада на юго-восток региона, как и в случае с температурой и индексом scPDSI, усиливается связь радиального прироста сосны и осадков разного генезиса.

6. Линейный прирост сосны на территории Керженского заповедника во всех биотопах – влажном, свежем и сухом, демонстрирует положительные значимые связи с ливневыми осадками текущего и предыдущего года, радиальный прирост менее чувствителен к ливневым осадкам. Обложные осадки связаны с линейным приростом сосны обратной зависимостью, а с радиальным приростом значимых связей не обнаружено.

7. Хронологии на юго-востоке Поволжья обнаруживают большее количество «реперных» лет, чем хронологии на северо-западе. Основной причиной угнетений прироста сосны являются засухи как текущего, так и предыдущего года.

ГЛАВА 5 ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКАЯ И ПАЛЕОГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ В НОВЫХ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЯХ ПОВОЛЖЬЯ

5.1 Реконструкция речного стока и условий увлажнения в Поволжье методом дендрохронологии

В этой главе произведена попытка реконструкции условий увлажнения на территории Поволжья методом дендрохронологии. Как было показано в главе 4 деревья, произрастающие в условиях умеренного климата, не демонстрируют чувствительности к одному гидрометеорологическому параметру – температуре или осадкам, для прироста сосны в этой природной зоне характерен комплексный климатический сигнал. Радиальный прирост сосны достоверно и значимо связан с такими параметрами, как речной сток и индекс суровости засухи Палмера scPDSI. Благодаря этой высокой и значимой связи, нам удалось продлить ряды инструментальных данных на несколько столетий назад: для стока р. Илеть составлена реконструкция с июля по август за 1827-2013 гг., для индекса суровости засухи Палмера scPDSI с июня по сентябрь за 1825-2013.

Однако, подобные реконструкции требуют тщательной верификации на основании данных инструментальных наблюдений (длиннорядных метеостанций, сеточных архивов и т.д.), исторических архивов и имеющихся палеоархивов реконструированных данных о температуре, осадках, а также крупномасштабных индексах атмосферной циркуляции: североатлантическому и арктическому колебанию – основных факторах изменчивости и регионального распределения температуры и осадков во внетропических широтах [Попова и др., 2018].

В главе также рассмотрены основные характеристики построенных моделей, приведены количественные оценки связи реконструированных и фактических значений, произведена оценка долгопериодной динамики изменения восстановленного речного стока и индекса scPDSI для того, чтобы сравнить реконструкции между собой, выявить общие периоды избытка и недостатка увлажнения. В разделах 5.1 и 5.2 представлен анализ возможных причин пониженных или повышенных значений реконструированных параметров, основанный на опубликованных результатах предыдущих исследований в Поволжье и на территории северного полушария в целом. В разделе 5.2 особое внимание уделено сравнению полученных данных с опубликованными косвенными палеоархивами температуры [Moberg et al., 2005, Esper et al., 2006], индекса

североатлантического колебания NAO [Cook et al., 2002] и арктического колебания АО [D'Arrigo, 2003].

5.1.1 Реконструкция речного стока

Для реконструкции речного стока малых рек Поволжья методом дендрохронологии нами проведен подробный анализ связи каждой отдельной хронологии ширины годичных колец (таблица 3.1, глава 3) со стоком исследуемых рек. На основании дендроклиматического анализа (глава 2) построена региональная хронология по ширине годичных колец MasterTY (по площадкам T01S, T02S, Y02S, T08S, T06S). Процедура построения мастер-хронологии описана подробно в главе 2 настоящей работы. Мастер-хронология рассмотрена на предмет использования для реконструкции речного стока и индекса суровости засухи scPDSI, описанной в следующем разделе настоящей главы.

Как было показано в главе 4 (раздел 4.2), большинство хронологий по живой древесине сосны демонстрируют значимую положительную связь ($r \leq 0,50$, $p < 0,01$) с речным стоком в течение всего гидрологического года, в особенности, в период межени - с мая по сентябрь (T01S, T06S, T07S, T08S, Y01S), в то время как в период половодья (с апреля по май) связи не обнаружено (рис. 4.2.2.2).

Несмотря на высокую статистически значимую связь меженного стока всех рек, кроме р. Суры, с приростом древесины, достоверные значения коэффициентов, необходимых для построения модели линейной регрессии (таблица 5.1.1.1), получены лишь для стока реки Илеть и дендрохронологической площадки Y01S. Это может быть обусловлено удаленностью других гидрологических постов от дендрохронологических площадок, а также индивидуальными особенностями древостоев, различием в физико-географических, в частности, орографических условиях местообитаний. Поэтому, региональная мастер-хронология MasterTY не показала значимых корреляций с величинами речного стока.

Таблица 5.1.1.1 Результаты статистических тестов калибровки и верификации модели реконструкции речного стока (по Y01S) за период с 1965 по 2013 гг. (июль-август)

	Y01S		
	Калибровочный период, 1965-1989	Верификационный период, 1989-2013	Полный период, 1965-2013
Коэффициент корреляции, R	-	-	0,53*
Коэффициент детерминации, R ²	0,33	-	-
скорректированный R ²	0,36	0,02	0,27
Коэффициент эффективности	-	-	0,13
Ошибка восстановления	-	-	0,49
Критерий Дурбана-Уотсона	-	-	1,91
Уравнение линейного тренда, полный период	$y = 0.0857x + 15.733$		
* - уровень значимости $p < 0,05$			

Для оценки устойчивости корреляций во времени использован метод плавающего окна с шагом в 31 год [Zang, 2015] как для фактических, так и сглаженных рядов стока и ШГК. Как видно из рис. 5.1.1.1, максимально устойчивые и высокие корреляции ($r \geq 0,56$) наблюдаются для летних месяцев (июль-август), в остальные месяцы, за исключением апреля, мая и июня, корреляции не так велики ($r \geq 0,23$). Неустойчивые связи прироста с речным стоком в апреле и мае, вероятно, обусловлены периодом половодья, к которому деревья в умеренных широтах не проявляют чувствительность в связи с физиологической реакцией на достаточное или избыточное увлажнение почвогрунтов в это время года.

Это предположение подтверждает обратный знак корреляций между параметрами в апреле – на приросте сосны избыточное увлажнение сказывается негативно, особенно, в первые месяцы вегетационного сезона, когда протекают основные биологические процессы и начинается камбиальная активность, рост побегов. Как было показано в главе 4, избыток влаги в корнеобитаемом слое негативно сказывается на приросте древесины, что подтверждают отрицательные, статистически незначимые корреляции стока для площадок T24S, T25S, T10S, T19S в апреле.

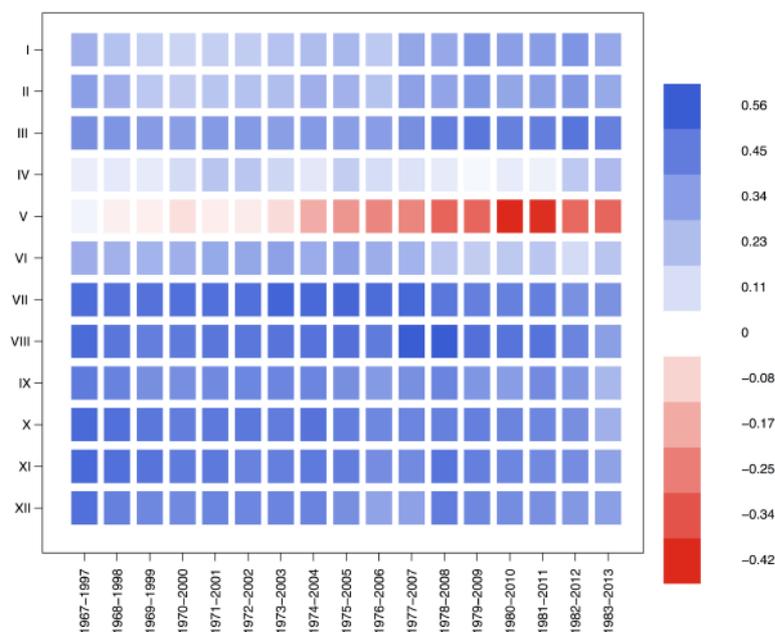


Рисунок 5.1.1.1 – Устойчивость корреляций ширины годичных колец сосны Y01S со стоком р. Илеть за период с 1967 по 2013 г.

На основании данных древесно-кольцевой хронологии Y01S, нами построена модель, которая позволила реконструировать сток реки Илеть. Модель отвечает стандартным статистическим критериям, описанным в главе 2 (ошибка восстановления (reduction of errors, RE), коэффициент эффективности построенной модели (coefficient of efficiency, CE) положительны, коэффициент Дурбана-Уотсона (DW) близок к 2,0 (табл. 5.1.1.1). Коэффициент корреляции r между речным стоком и приростом древесины для периода с июля по сентябрь составил 0,55 (при уровне значимости $p < 0,05$), что может быть обусловлено схожими условиями, влияющими на формирование стока реки и прирост годичных колец – как на сток, так и на ширину колец значительное влияние в период межени оказывает поступающее на территорию водосбора количество атмосферных осадков (коэффициент корреляции для стока реки в период межени и осадков составляет 0,5 ($p < 0,05$), для ШГК и осадков корреляция ниже и составляет 0,3 ($p < 0,05$)). Модель объясняет 27% изменчивости речного стока ($r^2 = 0,27$) с июля по сентябрь.

Основные достоинства и недостатки модели хорошо иллюстрирует рис. 5.1.1.2, на котором показаны ряды фактических и реконструированных значений речного стока. Очевидным преимуществом реконструкции является воспроизведение моделью трендов фактического ряда значений. Также модель отражает основную динамику речного стока, в том числе, долгопериодную. Так, например, реконструкция с высокой точностью воспроизводит значения стока в 1976, 1977, 1981, 1983, 1990, 2006, 2008 гг.

Однако, у модели имеется ряд недостатков. Основной недостаток заключается в том, что в отдельные годы с экстремальными значениями стока, как положительными, так и отрицательными, реконструкция не передает высокую амплитуду изменения значений ряда (например, модель не отражает минимумы 1975, 1977, 2009 гг. и максимумы 1978, 1980, 1994, 2003, 2013 гг.).

Несмотря на перечисленные достоинства и недостатки построенной модели, статистические характеристики свидетельствуют о возможности ее использования в целях реконструкции стока р. Илеть.

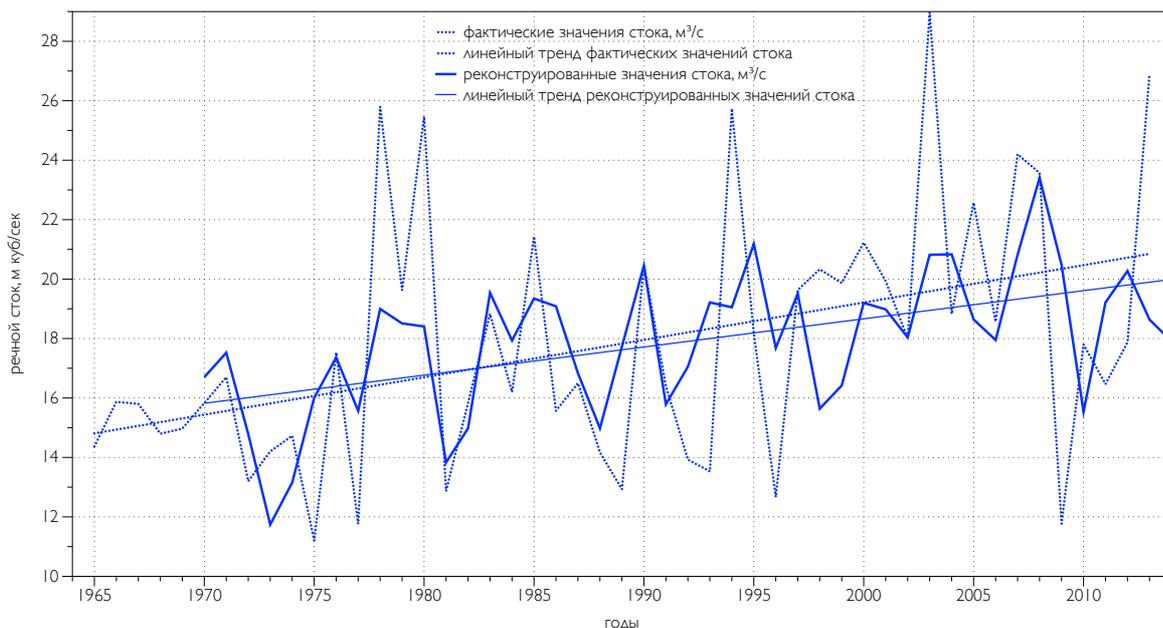


Рисунок 5.1.1.2 – Фактические и реконструированные значения стока р. Илеть (июль-сентябрь) за период с 1965-2013 гг. на основании данных о ширине годовых колец площадки Y01S

На рис. 5.1.1.3 показаны реконструированные значения стока р. Илеть (июль-сентябрь) с 1827 по 2013, в том числе, сглаженные 11-летним скользящим осреднением. Причина выбора именно 11-летнего сглаживания изложена в главе 2 настоящей работы.

Так как одной из задач работы является реконструкция условий увлажнения на территории Поволжья, нами рассмотрены периоды с минимальными и максимальными значениями речного стока, а также отдельные годы-экстремумы (подробно методика также изложена в главе 2). За периоды с минимальным стоком приняты значения ряда, которые находятся ниже медианы ($Q=0.5$) и первого квартиля ($Q=0.25$), за отрицательные экстремумы – значения, расположенные ниже 5-го перцентиля ($Q=0.05$) (рис. 5.1.1.3). Положительные экстремумы расположены выше 95 перцентиля, а периоды избыточного увлажнения – выше медианы и квантиля $Q=0.75$. Аналогичная методика применена и к реконструкции индекса scPDSI (п. 5.1.2 настоящей главы).

Особенностью реконструкции речного стока является сложность верификации полученных результатов с помощью длинного ряда наблюдений. Если для температуры и осадков существуют отдельные метеостанции с длиной ряда наблюдений 150 и более лет, то для стока малых рек таких продолжительных наблюдений не существует (максимальная длина ряда данных о речном стоке в нашей работе составляет 54 года – р. Меша, см. табл. 2.3.2.1 главы 2). Длинные ряды наблюдений за речным стоком доступны для р. Волги [Георгиади и др., 2016] и будут использованы ниже для сравнения с полученными реконструкциями. Кроме того, как было показано в главе 2, у речного стока выявлена высокая достоверная связь с индексом суровости засухи Палмера, который доступен для Поволжья за период с 1901 по 2017 гг. [Harris et al., 2014] и будет использован для проверки полученных реконструированных данных о стоке. К этому вопросу мы вернемся в заключительной части раздела 5.1 (раздел 5.1.3).

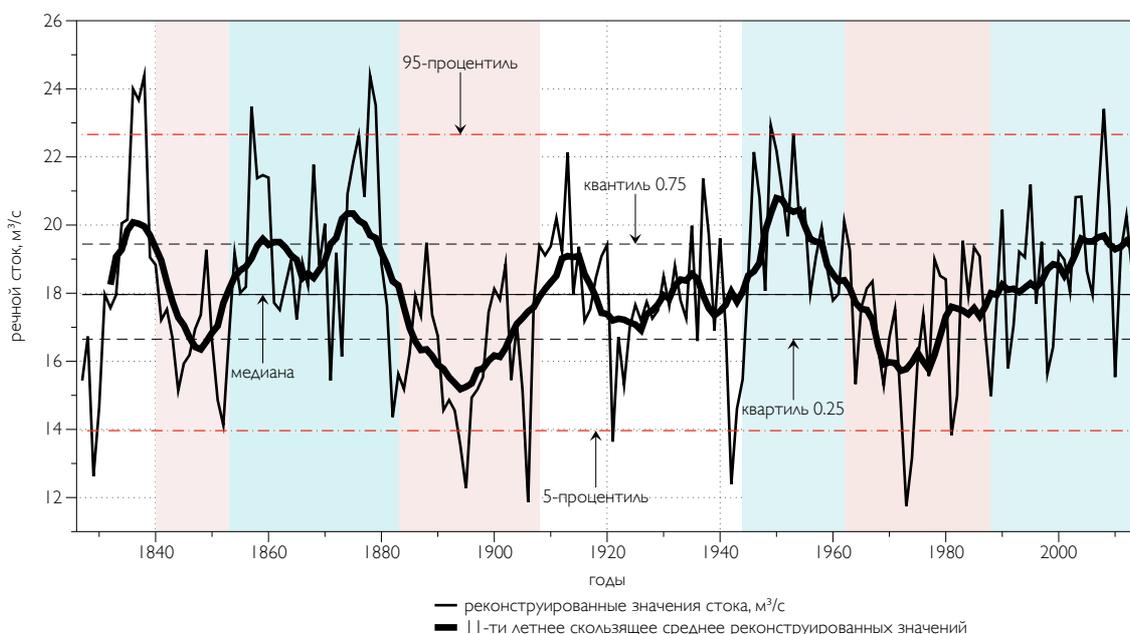


Рисунок 5.1.1.3 – Реконструированные фактические и сглаженные значения речного стока (июль-август) за период с 1827 по 2013 гг. Черная жирная линия – 11-летнее скользящее среднее, персиковым цветом обозначены периоды с минимальным объемом речного стока, голубым – с максимальным

Обсуждение полученных результатов. Таким образом, на основании данных о реконструированном стоке р. Илеть с 1827 по 2013 гг. нами выделены 3 периода с минимальными значениями речного стока (ниже медианы и первого квантиля $Q=0.25$) – с 1841 по 1853 гг (12 лет), с 1883 по 1909 гг (26 лет) и с 1962 по 1988 (26 лет) и 3 периода с максимальными значениями речного стока (выше медианы и квантиля $Q=0.75$) – с 1853 по 1883 гг. (30 лет), с 1944 по 1962 гг. (18 лет) и с 1988 по настоящее время (рис. 5.1.1.3,

таблица 5.1.3.1). Подобные чередования периодов повышения и понижения речного стока, длиной в несколько десятилетий, получены не впервые и лишь подтверждают выводы из работ гидрологов, в которых рассмотрена многолетняя динамика стока рек Русской равнины и Поволжья в частности [Георгиади, Кашутина, 2011, Георгиади и др., 2008; 2011; 2012; 2013; 2014; Коронкевич и др., 2013 Георгиади и др., 2016]. Так, в работах авторов отмечено, что длина фаз повышения и понижения стока составляет 20-30 лет и более [Георгиади и др., 2016] и колеблется в зависимости от конкретной реки, что в целом согласуется с полученными нами результатами. Подобные изменения стока связаны, в первую очередь, с естественной климатической изменчивостью, а также с антропогенными факторами, которые в меньшей степени влияют на малые реки, приведенные в нашей работе.

Рассмотрим обозначенные выше периоды изменения стока р. Илеть и сравним с данными, представленными в работах других исследователей.

Выделенная в нашей реконструкции фаза пониженного стока в 40-х – 50-х годах XIX века (1841-1853 гг.) также характерна для большинства рек Евразии [MacDonald et al., 2007, Guan et al., 2018]. Подобные периоды низкого речного стока связаны, чаще всего, с похолоданием, о котором, в данном случае, свидетельствуют пониженные реконструированные значения северо-атлантического (NAO) и арктического колебания (AO) за указанный период [D'Arrigo et al., 2003]. Известно, что эти индексы хорошо отражают климатическую изменчивость в северном полушарии (главу 2). Высокие значения индекса согласуются с ростом полушарной температуры и увеличением речного стока за счет, в том числе, изменения времени снеготаяния, а низкие их значения соответствуют фазам пониженного стока [Hurrell, 1995; Shindell et al., 1999, D'Arrigo et al., 2003, Yang et al., 2002, 2004; Ye et al., 2003; McClelland et al., 2004; Gedney et al., 2006].

За периодом с пониженным стоком 40-х – 50 х гг. XIX столетия последовала фаза увеличения стока р. Илеть, которая началась в 50-х, а закончилась в конце 70-х годов XIX столетия (рис. 5.1.1.3). В работах МакДоналда с соавт. (2007), Георгиади с соавт. (2016) для рассмотренных рек также характерно повышение речного стока в этот период, согласованное с ростом индексов Североатлантического и арктического колебаний (NAO и AO).

На смену периоду с повышенным стоком в конце XIX (1853-1983 гг.) вновь приходит фаза сокращения стока, которая также характерна для большинства рек Евразии и отражена в работах Георгиади (2016) и МакДоналда (2007).

Однако, не все фазы повышенного и пониженного стока однозначно согласуются с динамикой стока других рек Поволжья и Евразии. Например, понижение стока для таких

крупных рек, как Волга, Обь, Енисей и Лена начинается в 20-х годах XX века [Agafonov et al., 2016], а для р. Илеть эта фаза практически отсутствует – в начале XX века меженный сток реки Илеть не превышает среднего многолетнего значения и остается в пределах нормы, а с 40-х по 60-е годы снова наблюдается увеличение этого параметра (рис. 5.1.1.3). В это же время сток основных евразийских рек сокращается, что продолжает тенденцию несогласованности между стоком р. Илеть и более крупными реками ЕТР. Подобные противоположные фазы динамики речного стока вполне объяснимы разницей в локальных условиях увлажнения, а также могут быть связаны с тем, что на крупные реки в XX веке существенное воздействие оказывает хозяйственная деятельность, в то время как малые реки остаются незарегулированными, из них не осуществляется забор воды для промышленных нужд и т.д.

С первой половины 60-х годов XX века сток р. Илеть вновь сокращается и достигает своего минимума в 1973 году, через год после обширной засухи 1971-1972 гг., охватившей всю ЕТР [Дроздов, 1980]. В 1973 г. засухой были охвачены 16% площади Поволжья [Соломина и др., 2017], а также север Казахстана. С начала 70-х годов XX века сток большинства рек ЕТР, в том числе р. Илеть (рис. 5.1.1.3), начинает увеличиваться, что, вероятно, вызвано наступлением периода современного потепления, о котором свидетельствуют данные инструментальных наблюдений и сравнение полученных результатов с индексами широкомасштабной атмосферной циркуляции – повторяемостью западной формы атмосферной циркуляции Г.Я. Вангенгейма (W), северно-атлантическим (NAO) и арктическим (AO) колебаниями [MacDonald et al., 2007, Георгади и др., 2016, 2017, Попова, 2018].

5.1.2 Реконструкция индекса суровости засухи Палмера (scPDSI)

Как и в случае с речным стоком, для составления реконструкции индекса scPDSI нами были проанализированы связи всех поволжских хронологий со значениями индекса и выделены те площадки, связь с которыми оказалась наилучшей (T01S, T02S, T06S, T08S, Y02S) (глава 2, глава 4). Статистически значимые корреляции указанных площадок обнаружены для периода с июня по октябрь текущего года (глава 4, рис. 4.2.1.1, 4.2.1.2), значимой связи с индексом за предыдущий год не обнаружено. Региональная хронология MasterTY (с 1825 по 2013 гг.) продемонстрировала наиболее устойчивые и значимые связи с индексом ($p < 0,05$) за период с июля по сентябрь ($r = 0,4-0,7$).

Нами произведена оценка устойчивости связи прироста древесины мастер-хронологии MasterTY со значениями индекса scPDSI. На рис. 5.1.2.1 хорошо видны устойчивые во времени корреляции, наиболее высокие ($r \leq 0,56$) в период с июня по сентябрь, в остальные месяцы корреляции также устойчивы, но на порядок ниже ($r \leq 0,31$).

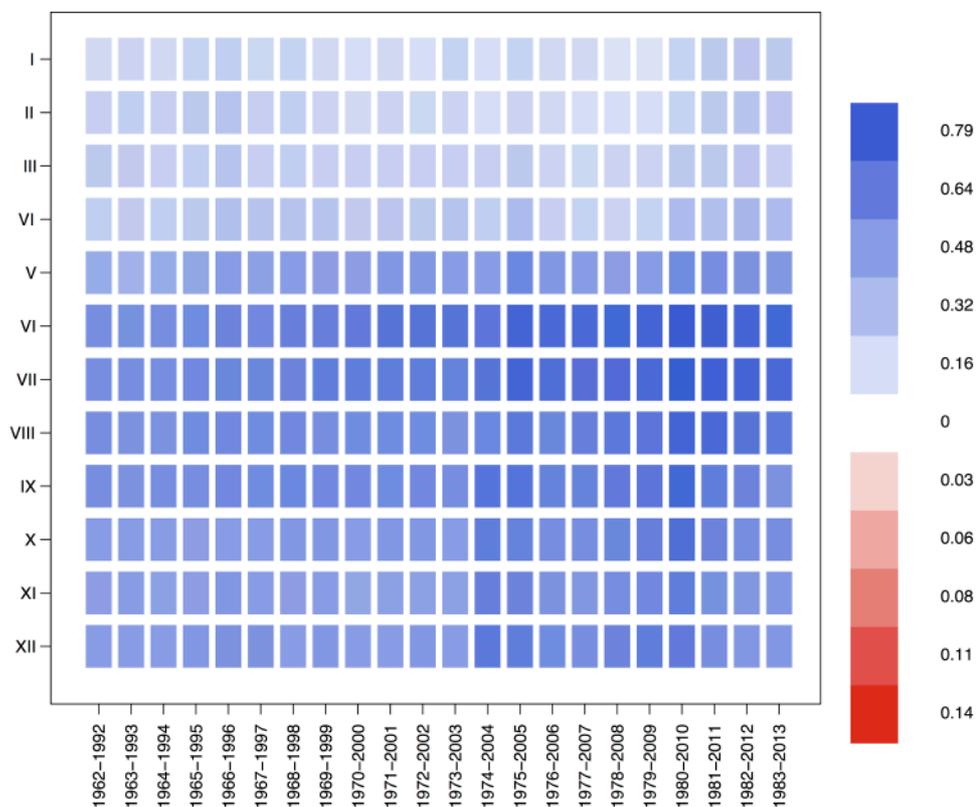


Рисунок 5.1.2.1 – Устойчивость корреляций ширины годичных колец сосны MasterTY с scPDSI за период с 1962 по 2013 г.

Как и для речного стока, нами построена модель линейной регрессии, на основании которой произведена реконструкция фактических рядов значений scPDSI за период с июня по сентябрь в 1825 по 2013 г. Коэффициент корреляции r между рядом фактических значений scPDSI и ШГК составляет 0,6 (при уровне значимости $p < 0,05$), моделью объясняется 34% изменчивости ряда данных (таблица 5.1.2.1).

Таблица 5.1.2.1. Результаты статистических тестов калибровки и верификации модели реконструкции индекса scPDSI (по MasterTY) за период с 1962 по 2013 гг.

	MasterTY		
	Калибровочный период, 1962-1986	Верификационный период, 1986-2013	Полный период, 1962-2013
Коэффициент корреляции, R	-	-	0,6*
Коэффициент детерминации, R ²	0,23	-	-
скорректированный R ²	0,2	0,46	0,34
Коэффициент эффективности	-	-	0,16
Ошибка восстановления	-	-	0,22
Критерий Дурбана-Уотсона	-	-	1,38
Уравнение линейного тренда, полный период	$y = -0.0095x + 0.1505$		
	* - уровень значимости $p < 0,05$		

На рис. 5.1.2.2 представлено сравнение фактических рядов данных scPDSI с реконструированными. Полученная реконструкция обладает очевидными достоинствами – реконструированные данные хотя и занижают амплитуду изменчивости ряда, хорошо воспроизводят динамику значений индекса. В целом модель воспроизводит основные положительные и отрицательные аномалии, что подтверждает рис. 5.1.2.3, на котором, по аналогии с рис. 5.1.1.3 помимо реконструкции нанесены статистические характеристики распределения полученных значений scPDSI (медиана, квартиль, квантиль, процентиля).

Однако, реконструкция scPDSI, произведенная по мастер-хронологии MasterTY, имеет ряд очевидных несоответствий фактическим значениям индекса (в 1963, 1967, 1998 гг. и др.). Что касается трендов, фактические данные имеют незначительный отрицательный линейный тренд, который модель воспроизводит, но с заниженной амплитудой (рис. 5.1.2.2).

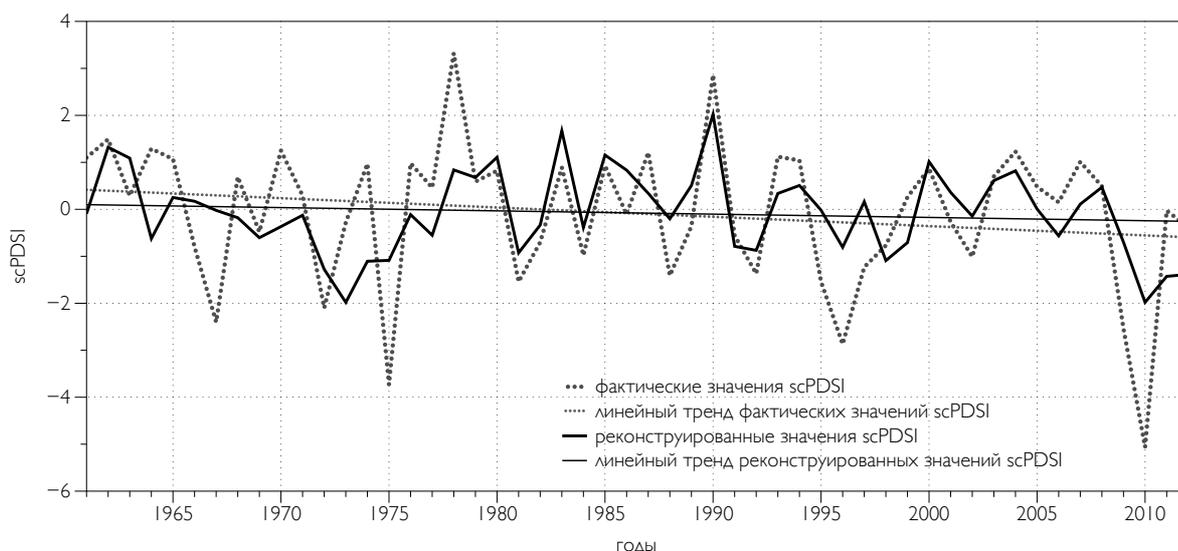


Рисунок 5.1.2.2 – Фактические и реконструированные значения scPDSI (июнь-сентябрь) за период с 1962-2013 гг.

На рисунке 5.1.2.3 представлены реконструированные значения индекса scPDSI за период с 1825 по 2013 гг., жирной черной линией показано 11-летнее скользящее среднее. Так же, как и для речного стока, для индекса scPDSI характерны фазы пониженных и повышенных значений, которым соответствуют периоды избыточного и недостаточного увлажнения (таблица 5.1.3.1). Ниже рассмотрены эти периоды и произведено сравнение с опубликованными данными об условиях засушливости на территории Русской равнины.

Отметим, что в данном случае нас интересуют не отдельные годы с экстремальными значениями реконструированного индекса, о которых речь пойдет позже (раздел 5.1.3 настоящей главы), а именно долговременные тенденции увеличения/снижения значений индекса.

На протяжении периода с 1825 по 2013 гг. нами выделены 3 фазы с повышенными значениями scPDSI летних месяцев (выше медианы и квантиля $Q=0.75$): 1845-1872 гг. (27 лет), 1909-1917 (8 лет) и 1942-1967 гг. (25 лет), которым соответствуют периоды с избыточным увлажнением и 2 фазы с пониженными значениями scPDSI (ниже медианы и квантиля $Q=0.25$) – засушливые периоды: 1885-1942 гг. (57 лет) и с 2003 г. по настоящее время. Далее термин «засушливый период» будет применен только к тем годам, для которых scPDSI будет опускаться ниже указанных значений.

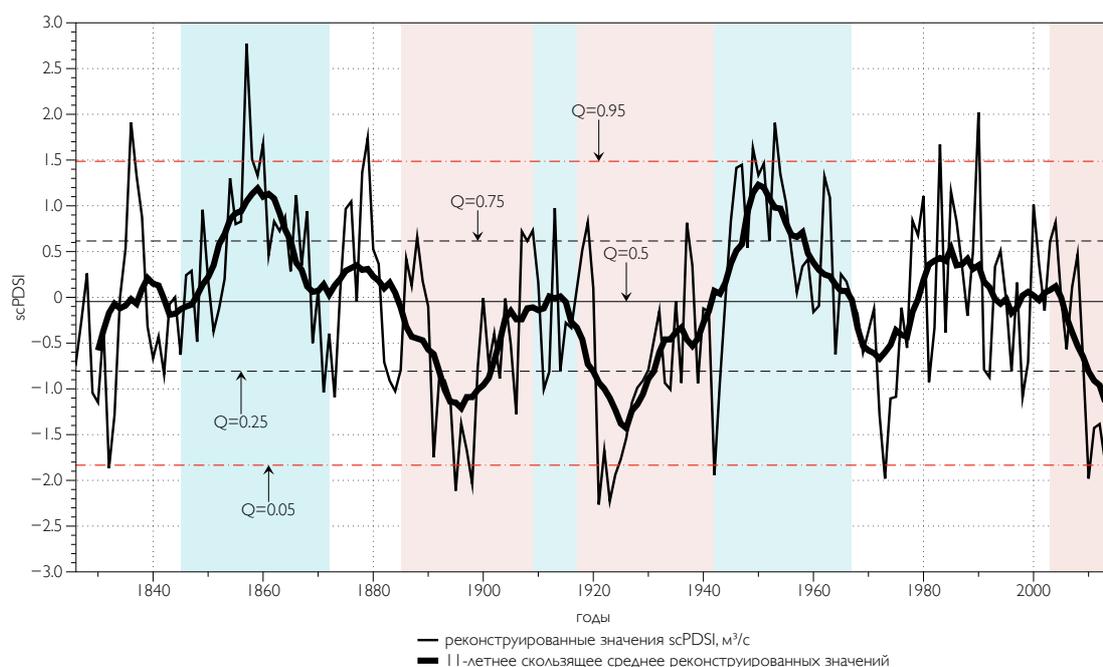


Рисунок 5.1.2.3 – Реконструированные значения индекса scPDSI за период с 1825 по 2013 гг. по данным хронологии MasterTY (июнь-сентябрь). Черная жирная линия – 11-летнее скользящее среднее, персиковым цветом обозначены периоды с минимальными значениями scPDSI, голубым – с максимальными

Рассмотрим перечисленные фазы избытка и дефицита увлажнения.

Середине 40-х – началу 70-х годов XIX (1845-1872 гг.) века соответствует период избыточного увлажнения в летние месяцы (выше третьего квартиля, $Q \geq 0.75$), что согласуется с косвенными свидетельствами о пониженных значениях североатлантического и арктического колебания - NAO и AO (см. раздел 5.1., [MacDonald et al., 2007]). Как было показано выше, эти индексы хорошо отражают интенсивность зональной циркуляции в северной Евразии и, соответственно, изменения климатических условий в северном полушарии. Пониженные значения индекса, как правило, отражают ослабление зонального переноса и усиление межширотного обмена воздушных масс, с которым связано прохождение циклонов на юго-востоке Русской равнины [Попова, 2018].

Затем, с начала 70-х годов до середины 80-х следует период, когда увлажнение на территории было в пределах нормы (не превосходило первый ($Q=0.25$) и третий ($Q=0.75$) квантили, рис. 5.1.2.3). Но с середины 80-х XIX века по начало 40-х годов XX века значения индекса вновь сокращаются и наступает ряд засушливых десятилетий (1885-1942) с перерывом в 8 лет (с 1909 по 1917 гг.), когда увлажнение приходит в норму и затем снова опускается ниже первого квартиля ($Q \leq 0.25$). Подобные свидетельства чередования фаз высокого и низкого увлажнения согласуются с реконструированными в работах [Esper et al., 2006, Moberg et al., 2005] температурами, а также с данными инструментальных

наблюдений, о которых подробнее будет изложено в следующем разделе настоящей главы.

5.1.3 Сравнение полученных реконструкций с палеоклиматическими и инструментальными данными

Как было показано в главе 2 (рис. 2.3.2.2), фактические значения стока большинства рек Поволжья имеют высокие достоверные связи с индексом суровости засухи Палмера scPDSI ($r \geq 0,29$, $p < 0,05$). Подобная связь характерна для большинства рек Евразии [Yang et al., 2002, 2004; Peterson et al., 2002; Ye et al., 2003, 2004; Dai et al., 2004; McClelland et al., 2004, MacDonald et al., 2007] и обусловлена тем, что гидрологический режим рек в период межени тесно связан с увлажненностью почвы и эвапотранспирацией, которые учтены и хорошо отражены в значениях индекса scPDSI [Wells et al., 2004].

В данном разделе произведено сравнение двух полученных реконструкций с опубликованным палеоархивами по северному полушарию:

- с величиной зимнего (декабрь-март) североатлантического колебания (North Atlantic Oscillation, NAO), реконструированного с 1400 г. в работе [Cook et al., 2002] с помощью ШГК в комплексе с данными гренландского ледникового керна;
- с величиной арктического колебания (Arctic Oscillation, AO) с апреля по сентябрь за период с 1650 г. по 1975 гг., восстановленного в работе [D'Arrigo et al., 2003] с помощью данных о ШГК.

Помимо сравнения с перечисленными палеоархивами, полученные реконструкции сопоставлены с данными сеточных архивов CRU TS 4.03 о температуре, осадках [Harris et al., 2014] и scPDSI за период с 1901 г. по 2013 гг. [Osborn et al., 2017].

Сравнение реконструкций стока р. Ильть и индекса scPDSI между собой показало, что колебания параметров во многом схожи (таблица 5.1.3.1, рис. 5.1.3.1), что подтверждает наличие общих периодов синхронного повышения и понижения значений, причем с сохранением амплитуды. Следует отметить, что общие периоды, выделенные при сравнении реконструкций, практически совпадают с аналогичными фазами для каждого из параметров (разделы 5.1.1 и 5.1.2, таблица 5.1.3.1). Однако, для оценки динамики режима увлажнения территории, обе реконструкции все еще требуют верификации относительно инструментальных наблюдений и опубликованных палеоклиматических реконструкций, исторических свидетельств.

Таблица 5.1.3.1 Периоды с избыточным и недостаточным увлажнением, выделенные отдельно для каждой из реконструкций scPDSI и стока р. Илеть и объединенные в один общий период

	периоды для scPDSI	периоды для стока р. Илеть	общий период		
повышенные значения параметра, выше медианы и квантиля $Q=0.75$	1845-1872	1853-1883	1853-1883	увлажнения	избыток
	1909-1917	1944-1962			
	1942-1967	1988-по настоящее время	1943-1967		
пониженные значения параметра, ниже медианы и квантиля $Q=0.25$	1885-1942	1841-1853	1883-1909	увлажнения	дефицит
	с 2003 по настоящее время	1883-1909	1917-1943		
		1962-1988	1967-1980		

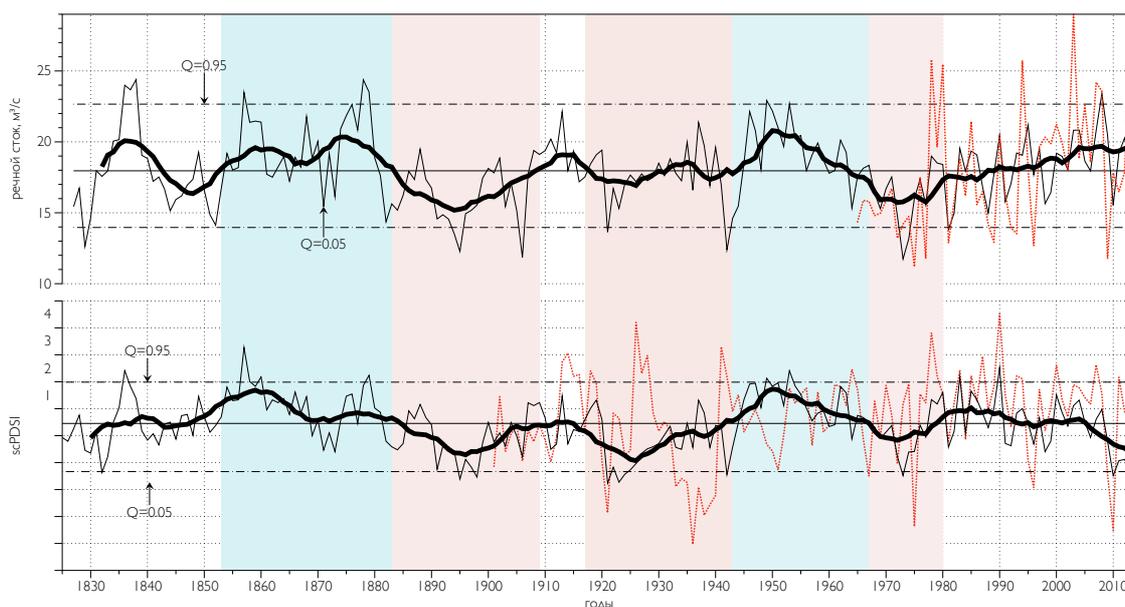


Рисунок 5.1.3.1 – Реконструированные значения стока р. Илеть (верхний график, июль-сентябрь, 1827-2013) и индекса суровости засухи Палмера scPDSI (нижний график, июнь-сентябрь, 1825-2013). Красная пунктирная линия – фактические значения стока р. Илеть (верхний график) и индекса scPDSI (нижний график) за соответствующий период. Черная жирная линия – 11-летнее скользящее среднее, персиковым цветом обозначены периоды с минимальными значениями scPDSI, голубым – с максимальными. Цветной заливкой отображены только периоды со схожей динамикой параметров

Сравнение реконструкций с инструментальными данными. Реконструированный индекс scPDSI имеет ряд несоответствий в конкретные годы относительно полного ряда

его фактических значений (1901-2013): 1927, 1939, 1975, 1996. Как показано на рис. 5.1.3.1 и в разделе 5.1.2, модель не всегда воспроизводит амплитуду экстремальных значений индекса, но повторяет его динамику. В отдельные периоды, например, с 40-х по конец 60-х годов XX столетия реконструированные значения scPDSI превосходят пределы нормы (верхний квантиль $Q=0.75$), что согласуется с фактическими данными. В этот же период наблюдается фаза повышенного стока. Реконструированные ряды scPDSI отражают некоторые отдельные экстремально засушливые годы, засухи 1921, 1996 г., волну жары 2010 г. [Мещерская и др., 2011; Савин и др., 2011; Черенкова, 2012; Золотокрылин и др., 2013].

Рис. 5.1.3.1 хорошо иллюстрирует связь фактических значений индекса scPDSI с фактическими и реконструированными данными о стоке р. Илеть. Однако, несмотря на выраженную тенденцию к увеличению частоты засух за последние десятилетия XX – начало XXI века, о чем свидетельствуют многочисленные публикации [Мохов и др., 2005, Мещерская и др., 2011; Савин и др., 2011; Черенкова, 2012; Золотокрылин и др., 2013, Соломина и др., 2017] и инструментальные данные, показанные на рис. 5.1.3.1, начиная с 1990 г. для стока р. Илеть характерен слабый положительный тренд. Подобная положительная динамика, по всей видимости, обусловлена современным потеплением климата и присуща большинству рек Русской равнины и связана с ростом зимнего и летне-осеннего стока [Георгиади и др., 2016].

Рассмотрим связь полученных реконструкций с температурами и осадками за летний период (июнь-сентябрь, CRU TS 4.03 [Harris et al., 2014], см. главу 2) с 1901 по 2013 г. в соответствии с выделенными в таблице 5.1.3.1 периодами избытка и дефицита увлажнения. Исходя из рис. 5.1.3.2 сложно выделить однозначную связь реконструированной динамики увлажнения с температурой и осадками, что подтверждает отсутствие прямого влияния этих параметров на комплексные характеристики – сток и индекс scPDSI (см. главу 2). Например известно, что на сток летней межени оказывает влияние количество зимних осадков, снегозапас, температура в зимне-весенний период, а также условия половодья, уровень грунтовых вод, испарение и другие параметры. В полученных нами данных можно также выделить очевидную закономерность – годам дефицита увлажнения (1917-1943 и 1967-1980) соответствуют периоды пониженного количества летних осадков.

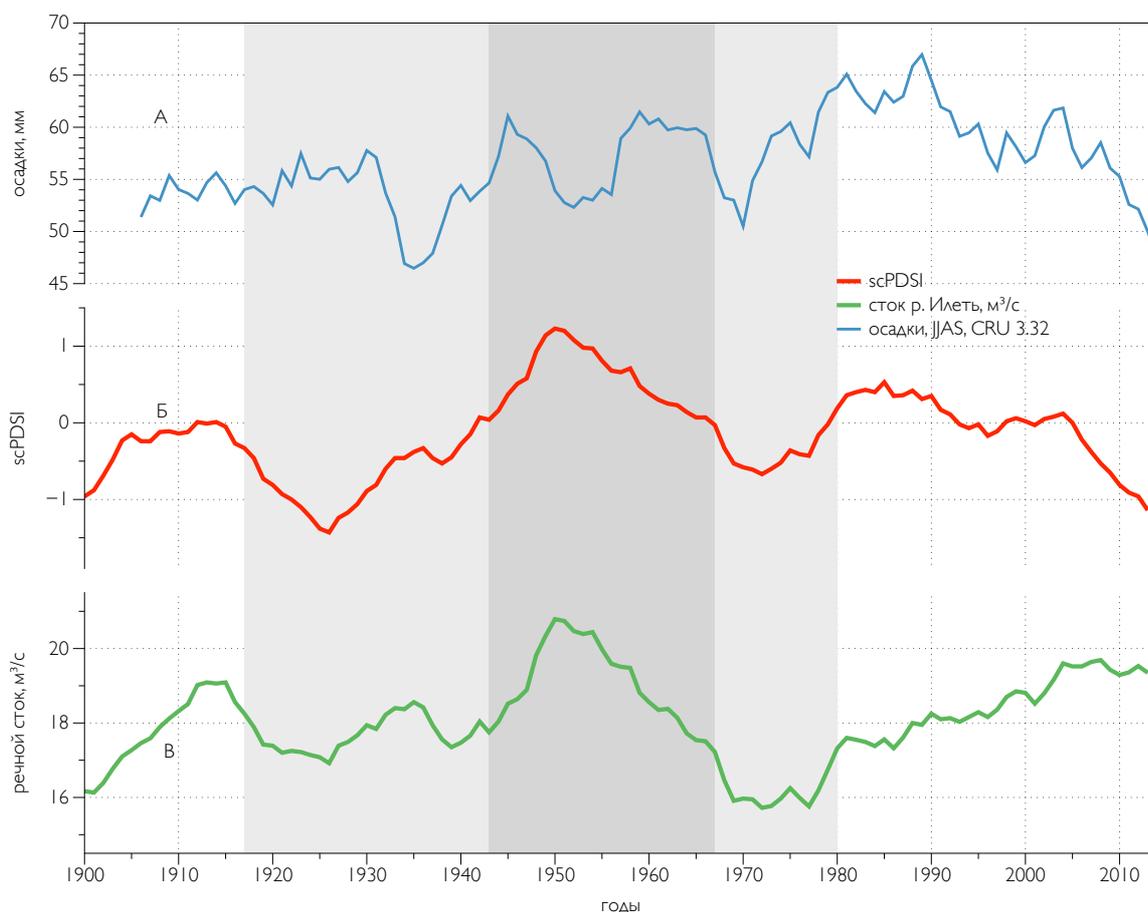


Рисунок 5.1.3.2 – 11-летние скользящие средние значения данных (июнь-сентябрь) сеточного архива CRU TS 4.03 [Harris et al., 2014] осадкам (А), реконструированные значения scPDSI (Б) (июнь-сентябрь) и сток р. Илеть (В) (июль-август) за период с 1901 по 2013 гг. Темно-серой заливкой обозначен общий для реконструкций период избытка увлажнения (1943-1967), светло-серой заливкой – дефицита увлажнения (1917-1943 и 1967-1980) в соответствии с таблицей 5.1.3.1

С конца 60-х годов XX столетия и до начала 2000-х средние реконструированные значения индекса суровости засухи Палмера находились в пределах многолетней нормы, хотя, инструментальные данные фиксируют ряд экстремумов в отдельные годы, которые не внесли существенного вклада в общую динамику индекса (рис. 5.1.2.2, 5.1.3.1).

В начале 2000-х годов реконструкция отражает существенный отрицательный тренд инструментальных значений индекса, вызванных современным потеплением климата, что соответствует росту температур и сокращению осадков на территории Поволжья с июня по сентябрь.

Сравнение реконструкций scPDSI и стока р. Илеть с опубликованными палеоархивами показало, что для выделенных периодов с недостаточным и избыточным увлажнением характерен ряд закономерностей.

NAO и AO. Глобальные климатические изменения тесно связаны с интенсивностью зонального переноса, который в северном полушарии отражается в индексах

крупномасштабной атмосферной циркуляции – NAO и АО: фазы пониженных значений индексов совпадают с периодом падения средней температуры, а фазы повышенных значений – с периодом ее роста, также ослабление зональной циркуляции может оказывать влияние на увеличение изменчивости увлажнения территории [Попова, 2018, Семенов и др., 2016].

Из работ [Попова и др., 2017] известно, что сток рек в северном полушарии также связан с глобальными циркуляционными индексами в силу того, что NAO и АО наилучшим образом отражают формирование зональной циркуляции атмосферы, в том числе, циклональной и антициклональной активности в умеренных и арктических широтах. Однако, эта связь не подтверждается линейными корреляциями [Родионов, 1989, Алексеевский и др., 2013, Попова, 2017] и отражена лишь в некоторых качественных закономерностях, которые, в частности, удалось установить и в нашей работе. Например, характерный для обеих реконструкций минимум значений 1883-1909 гг. (таблица 5.1.3.1, рис. 5.1.3.1, 5.1.3.3) совпадает с динамикой индексов NAO и АО в эти годы, а увеличение речного стока и индекса scPDSI за периоды с 1853 по 1883 и с 1943 по 1967 гг. совпадает с ростом индексов NAO и АО, а также с увеличением температуры как северной Европы [Esper et al., 2006], так и всего северного полушария [Moberg et al., 2005] (рис. 5.1.3.3). Несмотря на выявленные закономерности, современный период дефицита увлажнения с 1967 по 1980 в меньшей степени совпадает с сокращением значений циркуляционных индексов. Подобные несовпадения случаются и связаны, как показано в работе В.В. Поповой (2018), с усилением межширотного обмена.

Сравнение отдельных реконструированных лет - экстремумов с историческими данными показало, что в целом, реконструкции корректно воспроизводят отдельные засушливые годы (глава 5, раздел 5.1.1 и 5.1.2).

В таблице 5.1.3.2 показаны выявленные для каждой реконструкции экстремумы (ниже 25-го перцентиля) и приведены инструментальные значения лет с экстремально низким стоком или индексом scPDSI. Сравнение этих лет показало, что для периода с 1901 по 2013 (scPDSI) и с 1965 по 2013 (сток р. Илеть), за который у нас имеются данные наблюдений, реконструкции воспроизводят практически все основные фактические экстремумы значений речного стока: для р. Илеть это 1972, 1973, 1974, 1975, 1981, 1988; для scPDSI это 1906, 1911, 1921, 1924, 1925, 1933, 1934, 1936, 1939, 1972, 1975, 1996, 2010 (фактические годы ниже 25-го перцентиля).

Таблица 5.1.3.2 Реконструированные и фактические экстремально низкие (ниже 5 процентиля, $Q<0.25$) значения индекса scPDSI (июнь-сентябрь) и стока р. Илеть (июль-сентябрь) за период с 1901 по 201 гг. В рамке выделены годы с общими экстремумами для имеющихся фактических и реконструированных значений

годы	Сток р. Илеть, $Q<0.25$	реконструкция стока р. Илеть, $Q<0.25$	scPDSI, $Q<0.25$	реконструкция scPDSI, $Q<0.25$
1906		11.86	1.44	-1.28
1911			1.47	-1.01
1912				-0.81
1920			1.42	
1921		13.64	3.36	-2.26
1922				-1.67
1923		15.30		-2.23
1924			1.20	-1.94
1925			1.06	-1.77
1926				-1.54
1927				-1.15
1928				-0.99
1929				-0.91
1933			2.39	-0.94
1934			2.09	-1.01
1935			2.24	
1936		16.60	4.53	-0.94
1937			2.41	
1938			3.45	
1939			3.06	-0.94
1940			2.72	
1942		12.39		-1.94
1943		14.61		-0.93
1944		15.46		
1949			0.82	
1950			1.07	
1951			1.77	
1957			0.86	

1963					
1964		15.33			
1965	14.37				
1966					
1967			2.00	-	
1968		16.39			
1969		15.29			
1972	13.20	14.79	1.55	-	-1.28
1973	14.20	11.74			-1.98
1974	14.73	13.15			-1.11
1975	11.20	16.01	3.87	-	-1.09
1977		15.57			
1981	12.87	13.83			-0.93
1982		14.98			
1988	14.17	14.98			
1989	12.93				
1991		15.79			
1992	13.93				-0.87
1993	13.53				
1995			1.42	-	
1996	12.67		2.42	-	-0.81
1998		15.64			-1.09
2009	11.77		1.93	-	
2010		15.54	4.01	-	-1.98
2011					-1.43
2012					-1.38
2013					-1.80
2014			0.92	-	

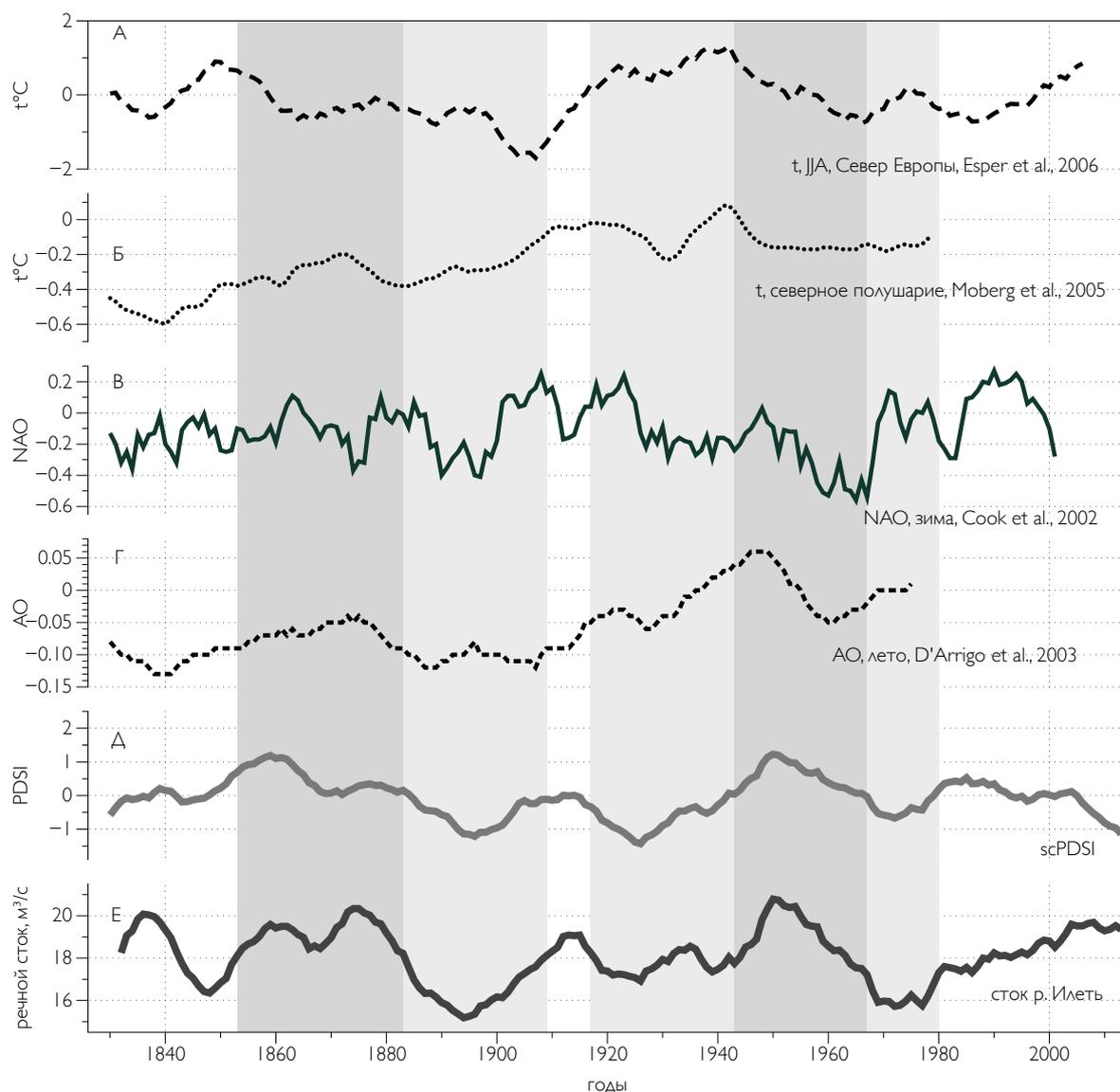


Рисунок 5.1.3.3 – Сравнение 11-летних скользящих средних значений реконструированных летних (июнь-август) температур для севера Европы (А) [Esper et al., 2006], реконструированных среднегодовых температур для северного полушария (Б) [Moberg et al., 2005], реконструированного значения NAO для зимних месяцев (декабрь-март) (В) [Cook et al., 2002], реконструированных значений АО для летних месяцев (апрель-сентябрь) [D'Arrigo et al., 2003] (Г), реконструированных в настоящей работе значений scPDSI (Д) и стока р. Илеть (Е). Темно-серой заливкой обозначены общие для реконструкций период избытка увлажнения (1853-1883, 1943-1967), светло-серой заливкой – дефицита увлажнения (1883-1909, 1917-1943 и 1967-1980) в соответствии с таблицей 5.1.3.1

Реконструированные значения стока также находятся ниже 5-го перцентиля в 1921 г, но в 2010 г. – нет, что связано с запаздыванием реакции радиального прироста на засухи, случившиеся во второй половине вегетационного сезона, как в 2010 г. (август) [Соломина и др., 2017]. Аналогично, 1895 год, когда обе реконструкции фиксируют экстремальные значения, в списке сильных засух [Страшная и др., 2011] не значится, но многие хронологии ЕТР также демонстрируют угнетения прироста в этот год [Соломина и др.,

2017]. Этот год является показательным примером задержки реакции радиального прироста на засуху предыдущего года. Так, в списке сильно засушливых лет в Поволжском районе выделены 1891, 1892, 1897, тогда как поволжские хронологии показывают угнетения приростов в 1895 и 1898 гг. (таблица 5.1.3.2).

5.2 Палеоклиматическая информация в длинной хронологии Volga

При построении хронологии ко всем образцам применен метод «очищенной от сигнала» стандартизации региональной кривой, sc-RCS для выявления низкочастотной изменчивости (подробно метод построения хронологий описан в главе 2).

На рис. 5.2.1 показана sf-RCS хронология Volga, которая отражает долгопериодную динамику индексов радиального прироста древесины. Так, можно выделить периоды с положительными и отрицательными отклонениями прироста от медианы ($Q=0.5$). Рассмотрим такие периоды, начиная с 1640 г., когда единый популяционный сигнал EPS выше 0,85.

За весь ряд с 1640 по 2014 можно выделить два периода с отрицательными отклонениями от средних значений – 1680-1755 и 1855-1939 и два – с положительными – 1755-1855 и 1939 по настоящее время. В этом разделе мы предпримем попытку связать долгопериодную динамику с естественными природными процессами, а именно, с климатическими параметрами. Из главы 4 следует, что на прирост сосны в Поволжье влияет комплекс факторов, среди которых основным являются условия увлажнения.

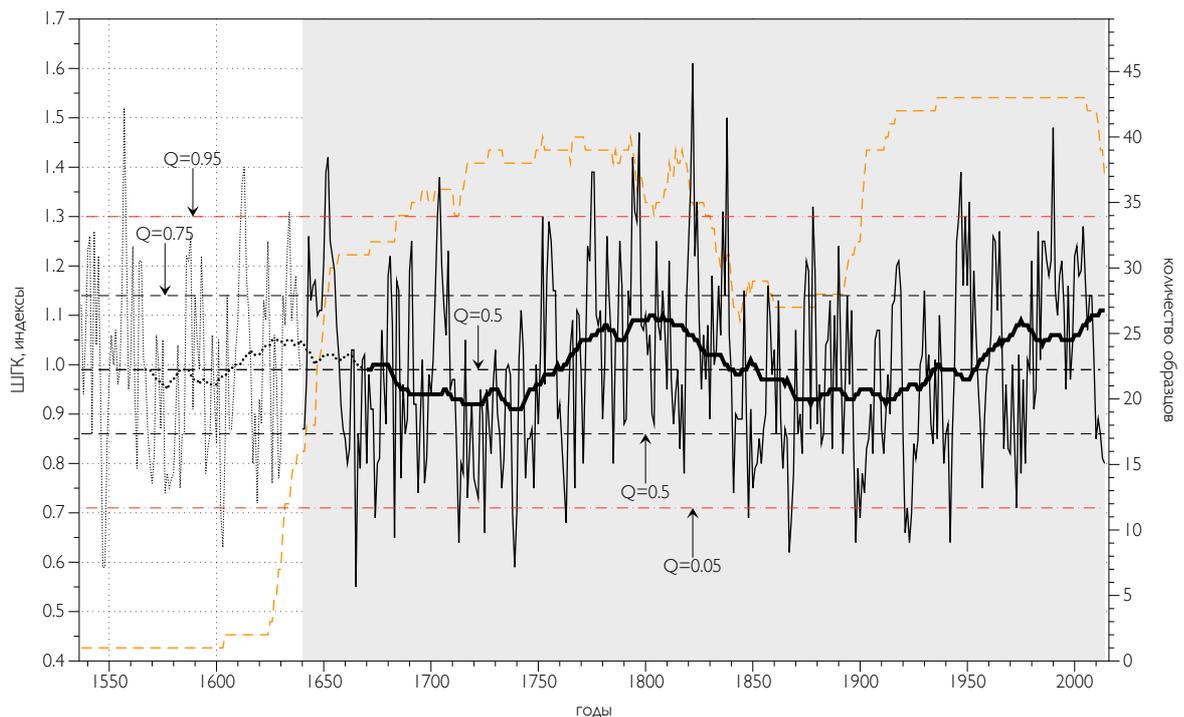


Рисунок 5.2.1 – sf-RCS хронология по ширине годичных колец Volga, 1640 – год, с которого единый популяционный сигнал (EPS) $\geq 0,85$, жирная кривая, переходящая в точечный пунктир – 60-ти летнее скользящее среднее sf-RCS хронологии Volga, мелкий точечный пунктир – sf-RCS хронология, для которой $EPS \leq 0,85$, рыжий пунктир – наполненность хронологии образцами

Вейвлет-анализ показал наличие колебаний с периодом в 50-60 лет и 14-22 года в хронологии Volga и отсутствие низкочастотных ритмов в хронологии (рис. 5.2.2).

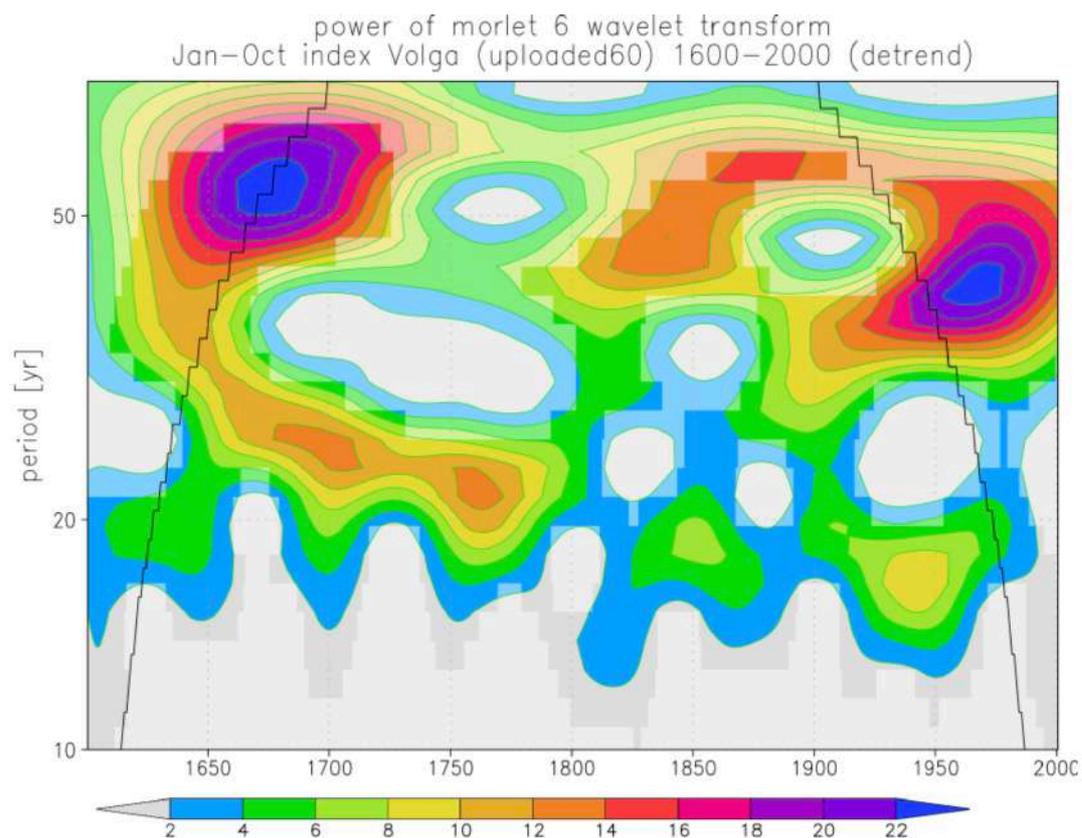


Рисунок 5.2.2 – Непрерывное вейвлет-преобразование RCS хронологии Volga

Сравним прирост сосны хронологии Volga с уже использованными нами выше палеоклиматическими реконструкциями – NAO, AO и scPDSI. Но перед этим сравним нашу хронологию с хронологией KAZ, построенной Д.В. Тишиным (2006) на основании архитектурной древесины г. Казань. Как было показано в главе 1, ДКХ KAZ состоит лишь из 9 образцов, что недостаточно для палеоклиматических реконструкций. Выводы о динамике прироста древесины по хронологии с низкой наполненностью также делать затруднительно, но для сравнения с нашими результатами этот материал подходит – во-первых, хронология KAZ до настоящего момента была единственной в своем роде для Поволжья, во-вторых, нам важно попытаться верифицировать результаты по уже имеющемуся материалу.

Из рис. 5.2.3 видно, что две ДКХ Volga и KAZ практически совпадают на протяжении всего общего периода в 220 лет с 1630 по 1850 гг. ($R=0.9$, $p<0.01$) – значит, в хронологиях с большой долей вероятности отсутствуют пропущенные кольца. Этот вывод, несмотря на небольшую наполненность KAZ образцами, очень важен для нас: в случае, когда для региона строится первая длинная хронология, высока вероятность ошибок, которые не всегда удастся выявить в силу отсутствия материала для верификации.

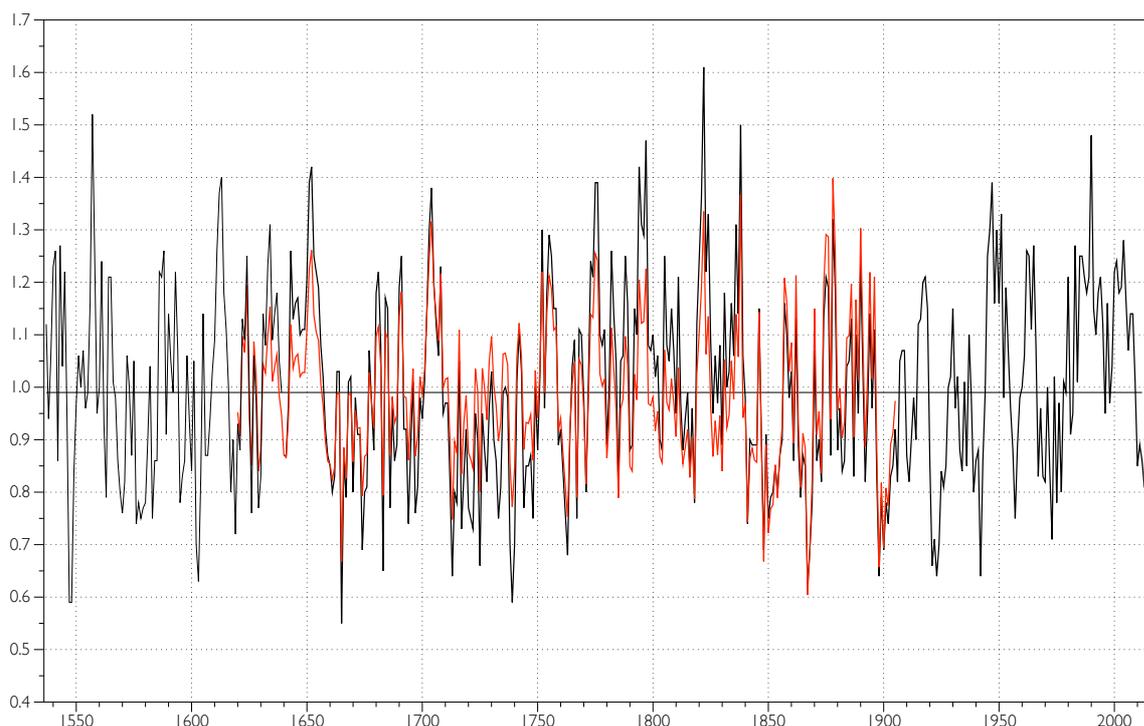
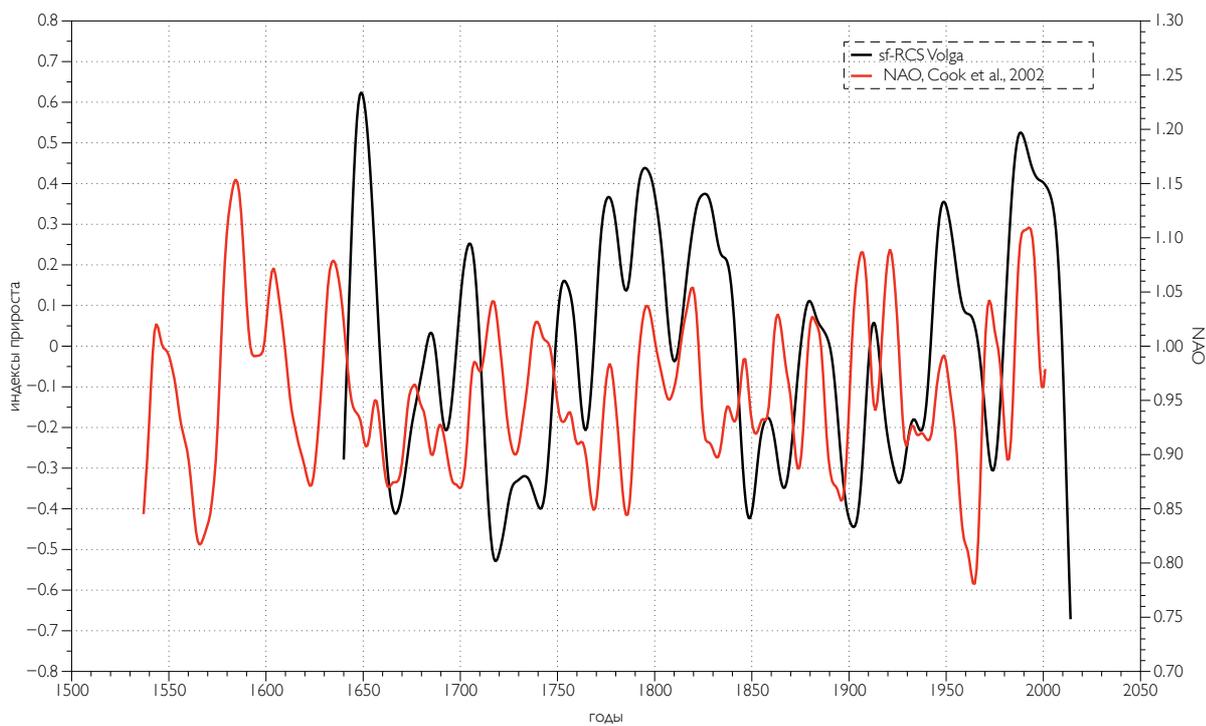


Рисунок 5.2.3 – sf-RSC хронология Volga (черная линия) и хронология KAZ (Тишин, 2006)

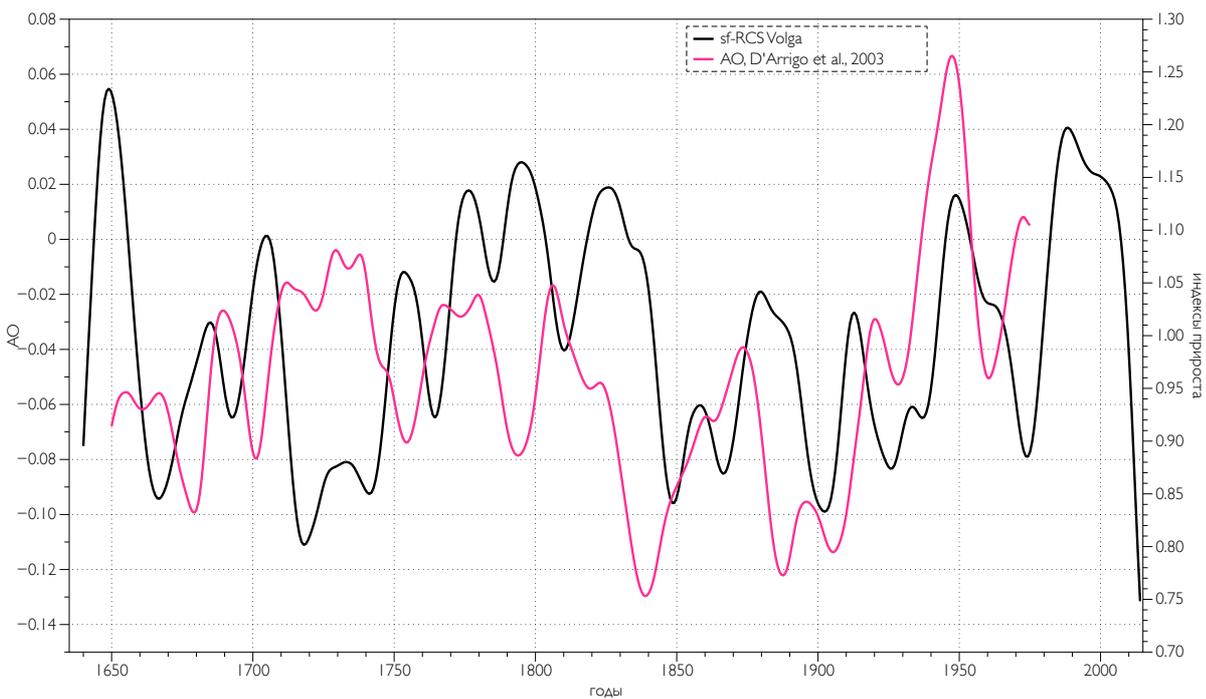
Сравнение sf-RCS хронологии Volga с индексом NAO (рис. 5.2.4 а) не показало значимой количественной связи, однако, можно выделить некоторые качественные совпадения минимумов значений, для которых характерно запаздывание. За минимумом NAO (60-е годы 17 века, конец 18 – начало 19 века) следует сокращение прироста, что может быть связано с похолоданием и недостатком увлажнения, о котором свидетельствуют пониженные значения индекса североатлантического колебания [Wallace and Gutzler, 1981; Chen and Hellström, 1999].

Похожая ситуация наблюдается и с индексом АО (рис. 5.2.4 б): за минимальными значениями индекса следуют падения прироста (60-е годы 17 века, 40-е годы 19 века, конец 18 – начало 19 века).

Как правило, более значимая связь между NAO, АО и шириной годичных колец характерна для северных районов Евразии, где фактором, лимитирующим радиальный прирост, является температура [Linderholm et al., 2010, Ols et al., 2018]. Для Поволжья эта связь минимальна, но все же прослеживается, пусть и на качественном уровне.



а



б

Рисунок 5.2.4 – Сравнение хронологии sf-RCS Volga (черная линия) и (а) индекса NAO (красная линия) [Cook et al., 2002], (б) индекса AO [D'Arrigo, 2003] – розовая линия

Из приведенного выше сравнения радиального прироста сосны ДКХ Volga с индексами арктического и атлантического колебания можно сделать предположение о том, что отрицательные отклонения прироста от среднего значения связаны с

похолоданием и недостатком увлажнения, а максимумы прироста, напротив, с потеплением и ростом увлажнения.

Для более детального анализа связи прироста с климатическими условиями прошлых столетий мы сравним реперные годы хронологии Volga с известными палеоклиматическими свидетельствами – летописями и другими историческими архивами.

5.4 Реперные годы в хронологии

Для деревьев, вошедших в хронологию Volga, были выявлены реперные годы за период с 1640, когда образцов было больше 10 и EPS превышал 0.85, по 1901 гг. (за период с 1901 по 2017 мы сравнили реперные годы хронологий с данными инструментальных наблюдений, глава 4).

К методике, изложенной в главе 2, мы сделали допущение, как и в главе 4: реперными считались те годы, за которые у 65% деревьев наблюдается отклонение от прироста более, чем на 20%. Результаты анализа представлены на рис. 5.4.1, 5.4.2, а также в таблице 5.4.1.

Для хронологии Volga выделены следующие реперные годы (с максимальным угнетением прироста): 1665, 1713, 1739, 1826, 1841, 1848, 1867, 1898. За каждый год из исторических источников мы собрали доступную информацию об экстремальных климатических событиях или неурожаях, голоде и т. д. (таблица 5.4.1).

Угнетению прироста в 1826 году соответствует сильная жара и засуха, которые наблюдались по всей России. В Воронежской области 1826 г. был также засушливым, о чем свидетельствует реконструкция SPEI и PDSI, выполненная В.В. Мацковским и соавт. (2016) на основании хронологий по радиальному приросту годичных колец. В 1841 году, согласно проанализированным нами источникам, экстремальных явлений не наблюдалось, но известно, что предыдущий 1840 г., был засушливым на всей территории России, что вызвало неурожай.

Зима и лето 1867 года были очень холодными – согласно данным (Борисенков, Пасецкий, 2003), от Волги до Вислы лето было холодным и дождливым, ураганы мешали сбору урожая и жатве, на территории западных губерний, к которым относится Поволжье, летом наблюдались наводнения, градобития. Сочетание этих условий негативно сказались на приросте сосны у большинства Поволжских хронологий.

Узкое кольцо 1898 г. могло сформироваться в результате сочетания сразу нескольких факторов: оба года, 1897 и 1898 были засушливыми на всей территории

России, причем известно, что зима 1897-1898 гг. была малоснежной, а весна в юго-западных губерниях - запоздалой, в апреле и мае наблюдалась сильная засуха в верхнем течении Волги. Июль 1897 г. был засушливым, а в августе наступила волна холода. В целом за этот год наблюдалась положительная аномалия температуры с осадками меньше 80% от нормы (как и в 1898 г.). Засуха 1898 г. наблюдалась и на территории Воронежской области – в работе В.В. Мацковского (2016) этот год выделен также как аномально засушливый.

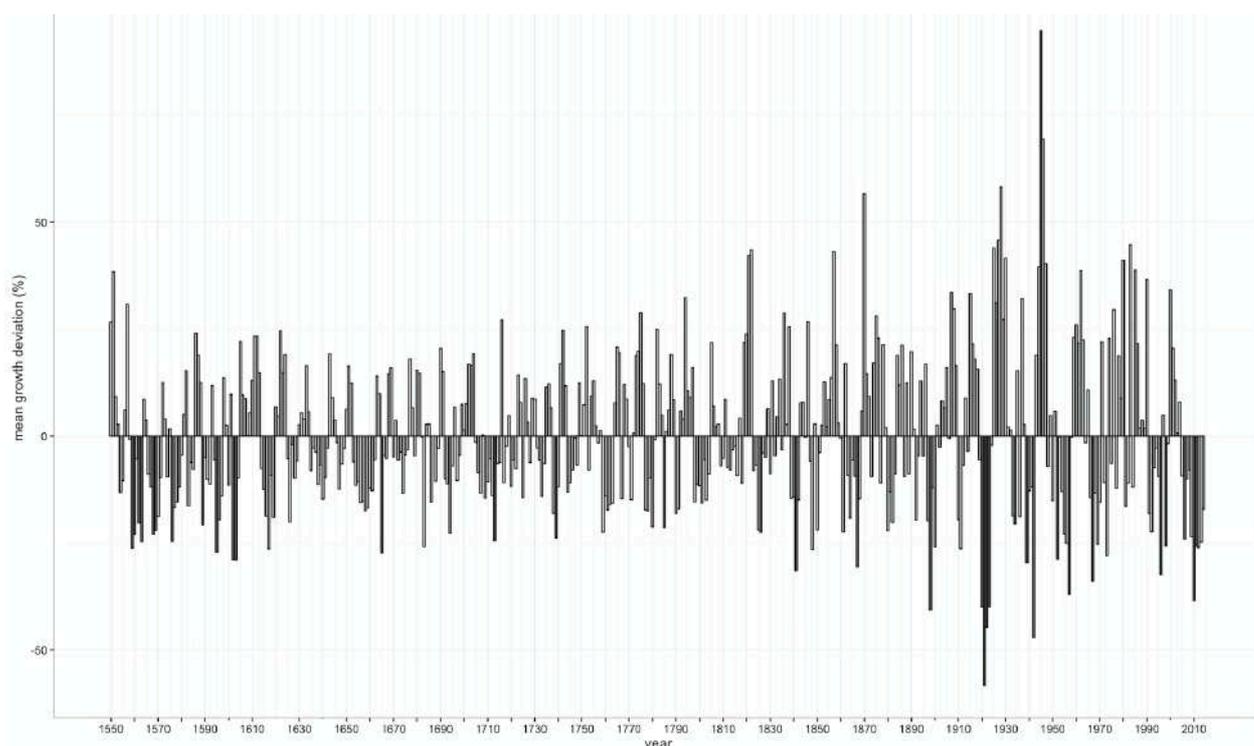


Рисунок 5.4.1 – Реперные годы для хронологии Volga. Темно-серым цветом показаны годы, за которые наблюдались отклонения прироста более, чем на 20% от среднего значения ШГК за период с 1640 по 1901 гг.

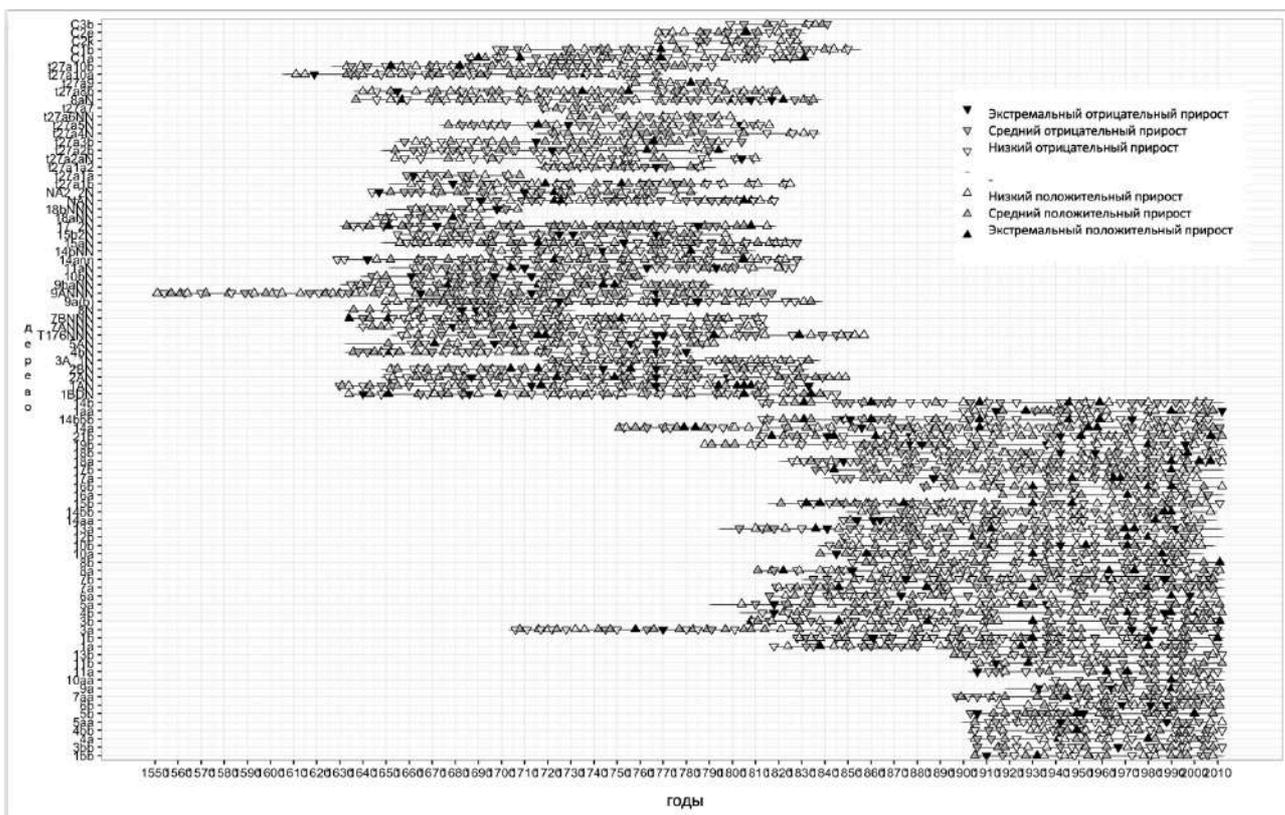


Рисунок 5.4.2 – Реперные годы для хронологии Volga. Темными треугольниками показаны отклонения прироста более, чем на 30% от среднего значения ШГК за период с 1640 по 1901 гг., направление треугольника характеризует положительный (вверх) и отрицательный (вниз) прирост

Таблица 5.4.1 Реперные годы и исторические источники, 1640-1901 гг.

реперный год	период, год в соответствии с историческим источником	регион	событие	источник
1665				
1713				
1739				
1826	1826	Бесснежная зима		Борисенков, Пасецкий, 2002
		Россия. Вологодская, Новгородская, Смоленская, Калужская, Пензенская губернии	сильная жара и засуха, неурожай	Борисенков, Пасецкий, 2003
1841	1840		Засуха, неурожай	Щепкин, 1886
1848				

1867	1867	Западные губернии России	лето не только не жаркое, но и не теплое, дожди и ураганы мешали сбору урожая и жатве, наводнения, ураганы и град. Бури и градобития от Вислы до Волги	Борисенков, Пасецкий, 2003
		Петербург	май имел температуру 2°C, самый холодный май за 120 лет	Борисенков, Пасецкий, 2003
	1867-1868	северная и средняя Россия	Зима была необыкновенно богата снегом	Борисенков, Пасецкий, 2003
		Западные губернии России	От постоянных холодов урожай был самый ничтожный, осенью 1867 снег пал на талую землю, а весной 1868 посевы пострадали от "жаров" и градобитий	Борисенков, Пасецкий, 2003
1898	1897	юго-восток России	засуха	Борисенков, Пасецкий, 2003
		Петербург	с 1743 г в П. Не наблюдалось столь теплого мая, в Тверской губернии с середины мая начала колоситься рожь	Борисенков, Пасецкий, 2003
		от Петербурга до Курска, Калуги, Воронежа, Уфы, Дагестана	засуха в июле	Борисенков, Пасецкий, 2003
		средняя Россия	волна холода в августе	Борисенков, Пасецкий, 2003
		ЕТС (45-55 ° Сш, 30-50 ° вд)	Засушливый год, положительная аномалия температуры $\geq 1,5\sigma$	Логинов, Неушкин, Рочева, 1976
		Засуха в ЦЧО, в бассейнах Дона, Волги, к югу от Казани	Осадки холодного периода меньше нормы на 10-38%, в период вегетации на 39%, осадки меньше 80% нормы на 38% ЕТС	Дроздов, 1980
		Россия	Холодная зима, засуха на юго-западе России	Борисенков, Пасецкий, 2003
		Россия	холодный и малоснежный декабрь 1897 г. В конце месяца морозы сменялись сильными оттепелями и наоборот, запоздалые весны в юго-западных губерниях. В апреле засуха	Борисенков, Пасецкий, 2003

			и голод на юге. В мае засуха в верхнем течении Волги.	
	1897-1898 1898	Владимирская, Калужская губернии, среднее течение Волги	засуха в июне и июле	Борисенков, Пасецкий, 2003
		север и запад России	дожди и наводнения в июле, погода напоминала глубокую осень	Борисенков, Пасецкий, 2003
		европейская Россия	засуха продолжалась полгода	Борисенков, Пасецкий, 2003
		Россия	неурожай в 18 губерниях	Борисенков, Пасецкий, 2003
	1898	Засуха в Среднем Поволжье, ЕТС	Осадки 40-90% от нормы, 22% площади ЕТС занято осадками меньше 80% от нормы	Дроздов, 1980

За 1665, 1713, 1739 и 1848 годы исторических свидетельств об экстремальных климатических событиях не найдено.

В результате сравнения реперных лет с данными исторических источников, показано, что на угнетение прироста влияют условия как текущего, так и предыдущего года, что подтверждают наши выводы из главы 4, а также предшествующие работы коллег (рассмотрены в главе 1). Причем негативное влияние оказывают не только продолжительные засухи в начале вегетационного сезона, но и малоснежные зимы, а также обильные летние осадки, в результате которых сосна испытывает избыток увлажнения и, как следствие, дефицит кислорода в корнеобитаемом слое. Интересно, что количество лет с экстремальными значениями неодинаково на протяжении 478 лет: оно максимально в конце 19-начале 20 в.

Выводы:

1. Реконструирован сток реки Илеть за период с 1827 по 2013 гг. по данным древесно-кольцевой хронологии Y01S. На основании реконструкции удалось установить периоды с высоким (1853-1883, 1944-1962 гг., с 1988 г. по настоящее время) и низким (1841-1853, 1883-1909, 1962-1988 гг.) стоком, которые согласуются с колебаниями индексов NAO и AO;

2. Реконструированы значения индекса суровости засухи Палмера scPDSI в Поволжье за период с 1825 по 2013 гг. по данным региональной мастер-хронологии MasterTY. Для реконструкции также выделены периоды с минимальными (1885-1942 гг., с 2003 г. по настоящее время) и максимальными (1845-1872, 1909-1917, 1942-1967 гг.) значениями индекса, которые в целом совпадают по временным интервалам и амплитуде с аналогичными периодами реконструированного стока р. Илеть;

3. Построенные модели воспроизводят практически все экстремумы ($Q=0.25$) ежегодного стока и scPDSI. Поэтому, с помощью полученных реконструкций можно оценить не только долгопериодную, но и высокочастотную естественную изменчивость увлажнения на территории района работ, что представляет особый интерес с точки зрения палеоклиматологии;

4. В хронологии Volga за период с 1640 по 2013 гг. выделяются фазы отрицательных (1680-1755, 1855-1939 гг.) и положительных (1755-1855, с 1939 г. по настоящее время) отклонений прироста от средних значений, которые, скорее всего связаны с динамикой увлажненности территории.

5. Для хронологии Volga годы с максимальным угнетением прироста: 1665, 1713, 1739, 1826, 1841, 1848, 1867, 1898.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы автором построены 22 новые древесно-кольцевые хронологии по живой (15 хронологий для республик Татарстан, Чувашия, Марий Эл, Пензенской и Самарской областей) и архитектурной древесине (7 хронологий для Республики Татарстан, Ульяновской и Самарской областей). Хронологии по живой древесине объединены в несколько региональных мастер-хронологий для северо-запада (на широте 54-56 N) и юго-востока (на широте 52-54 N), для которых проведен анализ связи прироста с гидрометеорологическими параметрами.

Датирование «плавающих» хронологий по архитектурной древесине с помощью древесно-кольцевых хронологий по живым деревьям позволило построить новую длинную ДКХ Volga продолжительностью в 478 лет (1537-2014 гг.). Для хронологии за период с 1640 по 2013 выявлены фазы отрицательных (1680-1755, 1855-1939) и положительных (1755-1855, с 1939 по настоящее время) отклонений прироста от средних значений, связанных, скорее всего, с динамикой увлажненности территории. Также, для ДКХ Volga выделены годы с максимальным угнетением прироста: 1665, 1713, 1739, 1826, 1841, 1848, 1867, 1898, большая часть которых связана с продолжительными засухами в начале вегетационного сезона и малоснежными зимами.

Пространственно-временной анализ климатического сигнала региональных мастер-хронологий по живой древесине сосны по трансекту северо-запад-юго-восток Поволжья позволил сделать выводы о следующих закономерностях:

1. В целом для района работ обратная связь древесно-кольцевых хронологий с *температурой* вегетационного сезона текущего (май-август) и предыдущего (май-август) года прослеживается для большинства хронологий и различается лишь по интенсивности и значимости коэффициента корреляции. По мере продвижения с СЗ на ЮВ связь радиального прироста сосны с температурой усиливается, что проявляется в увеличении коэффициентов корреляции и их достоверности. Аналогичная связь характерна для большинства хронологий ЕТР и Европы.

2. Большинство хронологий по сосне демонстрируют положительную связь с *осадками* всего текущего и предыдущего вегетационных сезонов (май-август). Для древостоев северо-запада Поволжья характерны положительные корреляции радиального прироста с осадками за май-июнь текущего года, тогда как для юго-востока – за весь вегетационный сезон текущего (май-август) и за вторую половину предыдущего года (июль-август).

3. Поволжские хронологии обладают высокой чувствительностью к индексу суровости засухи Палмера scPDSI, причем положительные достоверные корреляции в течение всего года характерны практически для всех рассмотренных площадок. Связь хронологий с индексом усиливается на юго-востоке района работ, в условиях аридного климата, который способствует увеличению чувствительности древостоев к засухам. Подобная связь прослеживается в хронологиях на всей территории Европы.

4. Радиальный прирост сосны в Поволжье, как и во многих регионах северного полушария, имеет положительную связь с речным стоком. Причем, в отличие от температуры, осадков и scPDSI, связь хронологий с речным стоком не изменяется по трансекту СЗ-ЮВ, а остается значимой и высокой для всех рассмотренных рек вне зависимости от географического положения. Радиальный прирост сосны значимо коррелирует с речным стоком на протяжении всего гидрологического года: в особенности, в период летне-осенней межени, с июня по сентябрь как текущего, так и предыдущего года. В период половодья (апрель-май), достоверной связи стока с радиальным приростом не обнаружено, но наблюдается качественная обратная зависимость, которая обусловлена избытком увлажнения, негативно отражающимся на радиальном приросте сосны в начале вегетационного периода.

Выявлены некоторые закономерности связи линейного и радиального прироста сосны для влажного, свежего и сухого биотопов с осадками разного генезиса (на примере Керженского заповедника):

1. Линейный прирост сосны на территории Керженского заповедника во всех биотопах – влажном, свежем и сухом демонстрирует прямые значимые связи с ливневыми осадками текущего и предыдущего года. Наиболее вероятной причиной этого является относительно низкая влагоемкость почв свежих и сухих местообитаний Керженского заповедника, вследствие которой древостои разово получают необходимый запас воды, но переувлажнения не образуется.

2. Обложные осадки связаны с линейным приростом сосны обратной зависимостью: длительное поступление влаги в фитоценозы вызывает переувлажнение и дефицит кислорода в корнеобитаемом слое, что снижает величину прироста сосны текущего года и качество почек возобновления предыдущего вегетационного сезона.

3. Радиальный прирост сосны обыкновенной демонстрирует меньший отклик на осадки разного генезиса, показывая значимую положительную связь с ливневыми осадками текущего и предыдущего года, характерную для фенофаз формирования ранней

(в текущем году) и поздней (в предыдущем году) древесины. Для обложных осадков как текущих, так и предыдущих лет статистически значимой связи с радиальным приростом не обнаружено.

В нашем исследовании выделены «реперные» годы в региональных мастер-хронологиях, что позволило сделать следующие выводы:

1. Хронологии юго-востока Поволжья обнаруживают большее количество «реперных» лет, чем хронологии северо-запада, что свидетельствует об усилении чувствительности древостоев, произрастающих в более аридном климате к факторам, лимитирующим прирост.

2. Основной причиной угнетений прироста сосны являются засухи текущего и предыдущего года, хотя, как показано в других работах, на прирост также влияют холодные малоснежные зимы предыдущего года.

В работе выполнены *реконструкции* стока р. Илеть и индекса суровости засухи Палмера, scPDSI практически на два столетия назад, что позволяет сделать некоторые выводы о динамике увлажнения региона:

1. Реконструированные на основании ДКХ данные о стоке р. Илеть и индекса scPDSI имеют схожую динамику и амплитуду на протяжении всего периода реконструкции (1825-2013 гг.). Нами выделены общие фазы дефицита (1883-1909, 1917-1943, 1967-1980 гг.) и избытка (1853-1883, 1943-1967 гг.) увлажнения, чередующиеся между собой и произведена их верификация относительно опубликованных палеоклиматических реконструкций. Показано, что эти фазы качественно согласуются с динамикой реконструированных в других работах индексов атмосферной циркуляции – североатлантическим колебанием NAO и с арктическим колебанием АО, что позволяет сделать вывод о корректности нашей реконструкции.

2. Сравнение реконструкций с историческими данными показало, что угнетения прироста сосны в историческом прошлом связаны не только с засухами, но и с аномальными условиями летних и зимних месяцев текущего и предыдущего года – малоснежными зимами, летними холодами.

Несмотря на широкий пространственно-географический охват и значительное объем новых данных, полученных в результате нашего исследования, данная работа будет продолжена. В ближайшей перспективе запланировано продление хронологии Volga за счет новых образцов из архитектурных сооружений Поволжья как минимум на одно столетие, а также применение новых параметров, способных улучшить качество

реконструкций – измерение оптической плотности древесины, некоторых параметров ее анатомической структуры.

Дендрохронологический метод – важный инструмент для изучения глобальных климатических изменений [IPCC, 2013] и уточнения их региональных оценок [Wilson et al., 2016, Соломина и др., 2017, Ols et al., 2018, Cook et al., 2020 и др.]. В нашей работе изучены засухи в Поволжье и реконструированы условия увлажнения на два столетия назад, что проливает свет на динамику климата в прошлом, а созданная нами новая реконструкция Volga на 478 лет создает хороший задел для продления существующих реконструкций с помощью новых данных, которые будут получены в перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алисов Б. П. Климат СССР. М. – 1956. – 128 с.
2. Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Антонова М.М., Игонина М. И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // Вода: химия и экология. 2013. № 4. С. 3–12
3. Андреев Е. М., Дарский Л. Е., Харьковская Т. Л. Население Советского Союза 1922 —1991. — М.: Наука, 1993. — С. 10.
4. Бабкин В. И. и др. Северо-Атлантическое колебание и многолетняя динамика стока рек Европы //СПб, Изд-во РГГМУ. – 1999. – №. 123. – С. 114.
5. Багалеи Д.И. Стихийные бедствия и борьба с ними в России в старину // Исторический вестник, 47(1), 1892, 177-521
6. Баженов Н. «Статистическое описание соборов, монастырей, приходских и домашних церквей Симбирской епархии по данным 1900 г.», Приложение к Симбирским Епархиальным Ведомостям за 1903 год, Симбирск
7. Бекетов А.Н. О влиянии климата на возрастание сосны и ели. – В кн.: Труды 1-го съезда русских естествоиспытателей. СПб., 1868.
8. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. Наука, 1983. 416 с.
9. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Летопись необычайных явлений природы. М., 1988 — С. 524
10. Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Летопись необычайных явлений природы за 2, 5 тысячелетия (V в. до н. э.-XX в. н. э.). – СПб : Гидрометеиздат, 2002. — С. 534
11. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швеиц Н.В. «Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394
12. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швеиц Н.В. «Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России» Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485
<http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных>
13. Бучинский И.Е. О засухах на русской равнине за последнее тысячелетие // Суховеи, их происхождение и борьба с ними: Сб. М., 1957. с. 29–34.

14. Быков Н. И. и др. Дендрохронологическая и геодезическо-астрономическая оценка последовательности сооружения курганов в могильниках пазырыкской культуры Алтая // В: Комплексные исследования древних и традиционных обществ Евразии. Барнаул, Издательство АГУ. – 2004. – С. 258-264.
15. Быков Н. И., Малышева Н. В. Дендрохронологический анализ исторического объекта горно-добывающего производства на Алтае // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2012. – Т. 5. – №. 1.
16. Быков Н. И. и др. Дендрохронологический анализ археологической древесины из памятников Северо-Западного Алтая // Вестник алтайской науки. – 2014. – №. 1. – С. 267-272.
17. Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа В. С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике. – Новосибирский филиал Федерального государственного унитарного предприятия " Академический научно-издательский и книгораспространительский центр" Наука", 1996. – 244 с.
18. Вихров В.Е., Протасевич Р.Т. Прирост древесины сосны в связи с условиями обитания и условиями погоды. – В сб.: Пути повышения продуктивности лесов. Минск, 1966
19. Волкова Г.Л., Позднякова Е.А., Волков А.А., Кухта А.Е. Воздействие климатических факторов на линейный прирост лесокultur и естественного возобновления сосны обыкновенной в Пензенской области // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. № 2. С. 107-108.
20. Гвоздецкий Н.А. (ред.) Физико-географическое районирование СССР. Характеристика региональных единиц. – М.: Издательство МГУ, 1968. – 575 с.
21. Георгиади А. Г., Милюкова И. П. Особенности речного стока в бассейне р. Волги в теплые климатические эпохи прошлого и при глобальном потеплении климата в будущем. Труды VI Всероссийского гидрологического съезда // сентября-1 октября 2004 г., г. Санкт-Петербург, Секция 3, часть 2, Метеоагентство Росгидромета. — Т. 20. — 2008. — С. 191–198.
22. Георгиади А. Г., Кашутина Е. А. Региональные особенности изменений во времени притока речных вод в Северный Ледовитый океан //Полярная криосфера и воды суши. – 2011. – С. 252-264.
23. Георгиади А. Г., Милюкова И. П. Сценарная оценка изменений стока рек Волги и Дона, возможных в первой трети ххi века // Вопросы географии. — 2012. — № 133. — С. 224–236.

24. Георгиади А. Г. и др. Климатические и антропогенные факторы в многолетних изменениях стока реки Волги //Водное хозяйство России. – 2013. – №. 4. – С. 4-19.
25. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 2. Бассейны рек Волги и Дона / А. Г. Георгиади, Н. И. Коронкевич, И. П. Милюкова и др. — МАКС Пресс Москва, 2014. — 214 с.
26. Георгиади А. Г. и др. Природно-климатические и антропогенные изменения стока Волги и Дона //Фундаментальная и прикладная климатология. – 2016. – Т. 2. – С. 55-78.
27. Георгиади А. Г. и др. Современные и сценарные изменения стока Волги и Дона //Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2017. – №. 3. – С. 6-23.
28. Герасимов И. П. и др. (ред.). Физико-географический атлас мира. – 1964
29. Гусев Н. Н. Летопись жизни и творчества ЛН Толстого. – Академия, Ленинград, 1936. – 874 с
30. Демаков Ю. П. Структура ксилофильных энтомокомплексов в период массового размножения сосновой вершинной смолевки //Лесоведение. – 1998а. – №. 4. – С. 43-51.
31. Демаков Ю. П., Мазуркин П. М. Выделение волновых этапов во временных рядах хода роста деревьев //Материалы VI Междунар. конф. «Циклы природы и общества». Ч. – 1998б. – Т. 2. – С. 176-179.
32. Демаков Ю. П., Смыков А. Е. Динамика сосновых лесов Республики Марий Эл за последние полвека //Хвойные бореальной зоны. – 2009. – Т. 26. – №. 2.
33. Демаков Ю. П., Исаев А. В. Динамика породного состава лесов Республики Марий Эл //Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – 2015а. – №. 7. – С. 86-100.
34. Демаков Ю. П., Исаев А. В. Влияние аэрального поступления веществ на их круговорот в лесных экосистемах //Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2015б. – №. 1 (25).
35. Демаков Ю. П., Майшанова М. И. Влияние пылевых выбросов завода силикатного кирпича на годичный прирост деревьев сосны //Эко-потенциал. – 2015в. – С. 25-32.

36. Демежко, Д. Ю., Соломина, О.Н. Изменения температуры земной поверхности на о. Кунашир за последние 400 лет по геотермическим и древесно-кольцевым данным. // Доклады Академии наук. 2009. 426(2). С. 1–4.
37. Демитрова, И.П. Влияние гелиофизических, климатических и биологических факторов на радиальный прирост ели в условиях Среднего Поволжья: диссертация ... кандидата биологических наук: 03.00.16. – Йошкар-Ола, 2000. – 217 с.
38. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. – Москва, 2019. – 79 стр.
39. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. – Санкт-Петербург. 2017. – 106 с.
40. Дроздов О.А. Засухи и динамика увлажнения. – Гидрометеиздат, Л., 1980. – 93 с.
41. Ермолов А.С. Неурожай и народное бедствие. СПб.: Тип. В. Киришбаума, 1892. 270 с.
42. Ермолаев О. П. Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ // Под редакцией профессора ОП Ермолаева/Ермолаев О. П, Игонин МЕ, Бубнов АЮ, Павлова СВ—Казань: «Слово».—2007.—411 с. – 2007.
43. Ефимова О.А., Мацковский В.В., Краснобаев Ю.П., Краснобаева Т.П. Влияние погодных условия на рост сосны обыкновенной, произрастающей в Жигулевских горах // Проблемы природопользования, сохранения биоразнообразия и культурного наследия на особо охраняемых при- родных территориях России: сб. материалов Всерос. науч.-практ. юбилейной конф. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2017. С. 57-64.
44. Заозерский С. Г. К методике ретроспективного выявления климатических условий путем исследования хода роста деревьев //Вопросы ирригации. Самарканд. – 1934. – №. 1. – С. 75
45. Золина О.Г., Булыгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. Т. 6, С. 84-103.
46. Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В., Черенкова Е.А. динамика засух в европейской россии в ситуации глобального потепления // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. т. 21. СПб.: гидрометеиздат, 2007. с. 160–181.
47. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б. Спутниковый индекс климатических экстремумов увлажнения засушливых земель // аридные экосистемы. 2012. т. 18. № 4. с. 5–12.

48. Золотокрылин А. Н., Титкова Т. Б., Черенкова Е. А., Виноградова В. В. сравнительные исследования засух 2010 и 2012 гг. на европейской территории России по метеорологическим и MODIS данным // современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. т. 10. № 1. с. 246–253
49. Исаченко А. Г. Ландшафты СССР. – Л.: изд //Ленинградского ун-та. – 1985 – 320 с.
50. Карпухин А. А. абсолютные дендрохронологические шкалы археологических памятников европейской части россии // археология, этнография и антропология Евразии. 2009. № 1 (37). с. 62–70
51. Ключников В.Д. Ход роста в Крапивенском лесничестве Тульской губ. – Лесной жур., 1902, вып. 2
52. Клименко В. В., Мацковский В. В., Пахомова Л. Ю. Колебания климата высоких широт и освоение Северо-Восточной Европы в Средние века //История и современность. – 2012. – №. 2.
53. Котов, М. М. Засухоустойчивость и быстрота роста сосны в Среднем Поволжье. Лес. хоз-во 2 (1981): 46-49.
54. Клименко В. В., Мацковский В. В., Дальманн Д. Комплексная реконструкция температуры российской Арктики за последние два тысячелетия //Арктика: экология и экономика. – 2013. – Т. 4. – №. 12. – С. 84
55. Колобов Н. В. Климат Татарской АССР. – Изд-во Казанского университета, 1983.
56. Колчин Б.А. Дендрохронология Новгорода. – «Советская археология», 1962, № 1, с.113-139
57. Колчин Б.А. Дендрохронология. – «Природа», 1964, № 5, с. 31-41.
58. Колчин Б.А. Дендрохронология Восточной Европы. М., «Наука», 1965, с. 62-85.
59. Кондрашин В. В. Голод 1932—1933 годов. Трагедия российской деревни.: научное издание — М.: «Росспэн», 2008. — 520 с. — ISBN 978-5-8243-0987-4. — Гл. 6. «Голод 1932—1933 годов в контексте мировых голодных бедствий и голодных лет в истории России — СССР», С. 331.
60. Костин С.И. Связь колебаний прироста деревьев с солнечной активностью. – «Лесное хозяйство», 1965, № 4, с. 12-14.
61. Котов М. М. Засухоустойчивость и быстрота роста сосны в Среднем Поволжье //Лес. хоз-во. – 1981. – №. 2. – С. 46-49.

62. Краснобаева К.В. Динамика прироста в толщину древостоев ельника-кисличника в зависимости от климатических факторов // Лесоведение. – 1972. – № 4. – С. 51–56.
63. Краснобаева К.В. Прогнозирование урожая семян сосны обыкновенной на лесосеменных участках и плантациях // Лесное хозяйство. 1986. № 11. С. 60-68
64. Краснобаева К.В., Митяшина С.Ю. Дендроклиматологический анализ роста сосны обыкновенной в географических культурах // Лесоведение. 2006. № 4. С. 45-51.
65. Коронкевич Н. И. и др. Экстремальные гидрологические ситуации //М., Медиа-ПРЕСС. – 2010.
66. Коронкевич Н. И. и др. Изменения условий формирования стока в бассейне Волги и их гидрологические последствия //Водная стихия: опасности, возможности прогнозирования, управления и предотвращения угроз. – 2013. – С. 121-127.
67. Кузнецова В. В., Пожидаева Д. С. Возможности и ограничения реконструкции стока рек и условий засушливости Поволжья методами дендрохронологии // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2017. – Т. 4. – С. 46-65.
68. Кузнецова В.В., Чернокульский А.В., Козлов Ф. А, Кухта А.Е. Связь линейного и радиального прироста сосны обыкновенной с осадками разного генезиса в древостоях Керженского заповедника // Изв. РАН. Сер. Геогр. – 2020. № 1– принято в печать
69. Кухта А.Е. Влияние температуры и осадков на годичный линейный прирост сосны обыкновенной на берегах Кандалакшского залива// Лесной вестник. Изд-во МГУЛ, 2009. № 1(64). С. 61-67.
70. Кухта А.Е., Титкина С.Н. Климатогенные колебания линейного прироста ювенильных растений сосны обыкновенной в модельных древостоях в Пензенской области // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. Т. XX. С. 251-261
71. Кухта А. Е., Румянцев Д. Е. Линейный и радиальный приросты сосны обыкновенной в Волжско-Камском и центрально-лесном государственных природных заповедниках // Лесной вестник (Forestry bulletin). 2010. №. 3.
72. Липаков Е. В., Афолина Е. В., Долгов Е. Б., Серeda Г. И., Якимов И. В. «Республика Татарстан: Православные памятники (середина XVI — начало XX веков)» — Казань: Издательство «Фест», 1998
73. Лопатин Е. В., Алексеев А. С. Сравнительный анализ идентификации трендов в приростах по диаметру и высоте ели сибирской и сосны обыкновенной в

республике Коми // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2009. № 189. с. 24–31.

74. Л. Н. Толстой в Самарской губернии: (указ. лит.) / [сост. Пурьгина Г. Д.]; Куйбышев. обл. науч. б-ка им. В. И. Ленина [и др.]. - Куйбышев: [б. и.], 1984. – 29

75. Мазепа В. С. Дендрохронология и дендроклиматология // Дендрохронология и дендроклиматология. – 1986. – С. 49.

76. Малышева Н. В., Быков Н. И. Дендрохронологические исследования ленточных боров юга Западной Сибири. – 2011

77. Мазуркин П. М., Тишин Д. В. Волновая динамика ширины годичных слоев дуба // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – №. 5. с. 214-224

78. Матвеев С.М. Дендроиндикация состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. – 272 с.

79. Матвеев С.М. Цикличность прироста сосновых древостоев Центральной лесостепи в 11-летнем цикле солнечной активности // Известия ВУЗов. Лесной Журнал. 2005. № 2. С. 14-21.

80. Матвеев С.М., Матвеева С.В., Шурыгин Ю.Н. Повторяемость сильных засух и многолетняя динамика радиального прироста сосны обыкновенной в Усманском и Хреновском борах Воронежской области // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2012a. № 5. с. 27–42.

81. Матвеев С. М., Таранков В. И., Шурыгин Ю. Н. Дендроклиматический анализ естественных и искусственных древостоев сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в свежих лесорастительных условиях Хреновского бора // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. №. 75. С. 1–12.

82. Матвеев С.М., Румянцев Д.Е. Дендрохронология. Воронеж: ВГЛТА, 2013. 140 с.

83. Мацковский В.В. Климатический сигнал в ширине годичных колец хвойных деревьев на севере и в центре Европейской территории России. – М.: ГЕОС, 2013. – 148 с.

84. Мацковский В. В., Соломина О. Н. Климатический сигнал в ширине годичных колец хвойных деревьев на севере и в центре Европейской России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2011. – Т. 24. – С. 256-270

85. Мещерская А. В., Блажевич В. Г., Житорчук Ю. В. Гидротермический коэффициент и его связь с урожайностью сельскохозяйственных культур // труды ГГО. 1978. Вып. 400. с. 134–149

86. Мещерская А. В., Болдырева Н. А., Шапаева Н. Д. Средние областные запасы продуктивной влаги в почве и высота снежного покрова. Статистический анализ и примеры использования. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 243 с.
87. Мещерская А.В., Мирвис В.М., Голод М.П. Засуха 2010г. на фоне многолетнего изменения засушливости в основных зерносеющих районах европейской части России // труды ГГО. 2011. Вып. 563. с. 94–122.
88. Мильков Ф.Н., Гвоздецкий Н.А. Физическая география СССР. Общий обзор. Европейская часть СССР. Кавказ. Изд. 4-е, испр. и доп. Учебник для студентов геогр. фак. ун-тов. - М.: Мысль, 1976. - 448 с.
89. Мохов И.И., Рекнер Э., Семенов В.А., Хон В.Ч. Экстремальные режимы осадков в регионах Северной Евразии в XX веке и их возможные изменения в XXI веке // Доклады Академии наук. 2005. Т. 402. № 6. С. 818-821.
90. Молчанов А.А. Лес и климат. – М.: Изд-во АН СССР, 1961а. – 279 с.
91. Молчанов А.А. Рост и плодоношение древесных пород в связи с метеорологическими условиями. – «Труды лаборатории лесовед. АН СССР», 1961б, 3, с. 5-50.
92. Молчанов А. А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды // М.: Наука, 1976. – 168 с.
93. Мыглан, В. С. Влияние климатических изменений на хозяйственную деятельность населения Южной Сибири в «малый ледниковый период» / В.С. Мыглан, Д. В. Овчинников, Е. А. Ваганов, Д. Ф. Жирнова // География и природные ресурсы. – 2007. – № 1. – С. 90–96.
94. Мыглан, В. С. Построение 1772-летней древесно-кольцевой хронологии для территории республики Алтай / В. С. Мыглан, Д. В. Овчинников, Е. А. Ваганов, Н. И. Быков, О. В. Герасимова, О. В. Сидорова, П. П. Силкин // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2009. – № 6. – С. 70–77.
95. Мыглан, В. С. Построение древесно-кольцевой хронологии и реконструкция летней температуры воздуха юга Алтая за последние 1500 лет / В. С. Мыглан, О. А. Жарникова, Н. В. Малышева, О. В. Герасимова, Е. А. Ваганов, О. В. Сидорова // География и природные ресурсы. – 2012. – № 3. – С. 22–30.
96. Мыглан, В. С. Климат и социум Сибири в малый ледниковый период / В. С. Мыглан. – Красноярск: Сиб. федерал. ун-т, 2010. – 230 с.
97. Мыглан, В. С. Построение тысячелетних древесно-кольцевых хронологий Koksui и Тага для территории Алтая / В. С. Мыглан, В. В. Баринов, А. Н. Назаров // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2015. – Т. 8, № 3. – С. 319–332.

98. Основы лесной биоценологии. Под ред. Н.В. Сукачева. – М.: Наука, 1964. – 574 с.
99. Нестеров Е. С. О возможности прогноза опасного волнения в Северной Атлантике с повышенной заблаговременностью //Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2013. – №. 350. – С. 5-12
100. Овчинникова Д.В., Ваганов Е.А. Дендрохронологические характеристики лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb.) на верхней границе леса в Горном Алтае // Сиб. экол. журн.. 1999. № 2. Т.6. С. 145-152.
101. Педь Д.А. о показателе засухи и избыточного увлажнения // труды Гидрометцентра СССР. 1975. Вып. 156. с. 19–39.
102. Петрова И. В., С.Н. Санников. Генетическая дифференциация болотных и суходольных популяций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на Русской равнине //Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. – №. 6 (336)
103. Попова В. В. Современные изменения климата на севере Евразии как проявление вариаций крупномасштабной атмосферной циркуляции // Фундаментальная и прикладная климатология. — 2018. — № 1. — С. 84–112.
104. Попова В. В., Георгиади А. Г. Спектральные оценки связи изменчивости стока Волги и Североатлантического колебания в 1882-2007 гг // Известия Российской академии наук. Серия географическая. — 2017. — № 2. — С. 73–85.
105. Пушин А.В., Чернавская М.М., Черных Н.Б. Климатические экстремумы и аномалии прироста древесины (по историческим данным и материалам памятников XVI-XIX вв. севера Русской равнины). Российская археология. 2000. - №4. - С. 86-108.
106. Раунер Ю. Л. Климат и урожайность зерновых культур. М.: Наука, 1981. 163 с.
107. Романовская А.А., Волкова Г.Л., Кухта А.Е. и др. Изменчивость линейного прироста посадок и естественного возобновления сосны обыкновенной на территории Пензенской области // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2017. № 1, С. 4-13.
108. Родионов С. Н. Современные изменения климата Каспийского моря. М.: Гидрометеиздат, 1989. 123 с.
109. Рудаков В.Е. Метод изучения колебаний климата на толщину годовичных колец. – «Доклады АН АрмССР», 1951, с. 75-79.
110. Рудаков В.Е. Возможность восстановления хода колебаний стока рек на примере р. Волги. – «Известия АН СССР. Сер. геогр.», 1953, № 4, с. 101-103.

111. Румянцев Д. Е. и др. Возможности перекрестного датирования хронологий сосны обыкновенной и ели европейской в центральной части Восточно-европейской равнины // *Лесной вестник/Forestry bulletin*. – 2010. – № 3.
112. Рысин, Л.П. Сосновые леса России / Л.П. Рысин, Л.И. Савельева. М.: Товарищество научн. изданий КМК, 2008. 289 с.
113. Савин И. Ю., Барталев С. А., Лупян Е. А., Толпин В. А., Медведева М. А., Плотников Д. Е. спутниковый мониторинг воздействия засухи на растительность (на примере засухи 2010 г. в России) // *современные проблемы зондирования Земли из космоса*. 2011. т. 8. № 1. с. 150–162.
114. Самарова З.С. Сравнительный дендроклиматический анализ ели и дуба в Брянском лесном массиве. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МСХА им. К.А. Тимирязева, 1992. 28 с
115. Семенов В. А., Чернокульский А. В., Соломина О. Н. Влияние атлантического долгопериодного колебания на формирование засух в северной евразии // *доклады академии наук*. 2016. Т. 471. № 3. с. 354–357.).
116. Седьмое национальное сообщение Российской Федерации, представленное в соответствии со статьями 4 и 12 РКИК ООН и статьей 7 Киотского протокола
117. Селянинов Г. Т. о сельскохозяйственной оценке климата // *труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1928. Вып. 20. с. 165–177.
118. Соломина О.Н., Долгова Е.А., Максимова О.Е. 2012. Реконструкция гидрометеорологических условий последних столетий на Северном Кавказе, Крыму и Тянь-Шане по дендрохронологическим данным: Монография. М-СПб. «Нестор-История», 232 с.
119. Соломина О. Н., Мацковский В. В., Жуков Р. С. дендрохронологические «летописи» «Вологда» и «соловки» как источник данных о кли- мате последнего тысячелетия // *доклады академии наук*. 2011. т. 439. № 4. с. 539–544.
120. Соломина О.Н., Кузнецова В.В., Мацковский В.В., Долгова Е.А. От чего зависит ширина годичных колец деревьев в центральной части Восточно-Европейской равнины? // *Известия РАН. Серия географическая*. 2016. № 3. С. 47– 64.
121. Соломина О. Н. и др. Засухи Восточно-европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным. — М. ; СПб. : Нестор-История, 2017. — 360 с.
122. Старкова В.Н. Влияние метеорологических факторов и уровня грунтовых вод на прирост по диаметру дуба черешчатого и ясеня обыкновенного и пенсильванского

в условиях каменной степи. Автореферат дисс. на соискание учен. степени канд. геогр. наук., 1968

123. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет // Труды Гидрометцентра России. 2011. Вып. 345. С. 171-188.

124. Страшная А.И., Тищенко В.А., Береза О.В., Богомолова Н.А. о возможности использования стандартизированного индекса осадков для выявления засух и в прогнозах количественной оценки урожайности зерновых и зернобобовых культур // труды гидрометцентра России. 2015. Вып. 357. с. 81–97.

125. Сукачев В.Н. О принципах генетической классификации в биоценологии // Журн. общ. биологии. 1944. Т. 5, № 4. С. 213–227.

126. Сухов М.Н. Анализ формирования смешанных разновозрастных ельников в природно-климатических условиях Республики Татарстан: диссертация ... кандидата биологических наук: 11.00.11. – Казань, 1998. 208 с.

127. Тимофеев А. В. Влияние засух на рост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в различных сосняках Жигулевского заповедника // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2007. – Т. 16. – №. 4 (22).

128. Тимофеев А. В. Специфика действия засух на рост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесопарках и пригородных лесах Тольятти // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2008. – Т. 17. – №. 1.

129. Тишин Д.В. Влияние природно-климатических факторов на радиальный прирост основных видов деревьев Среднего Поволжья : диссертация ... кандидата биологических наук : 03.00.16. - Казань, 2006. - 151 с

130. Тишин Д.В. Влияние экстремальных климатических явлений на формирование минимумов прироста сосны (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Среднего Поволжья / Д.В. Тишин // Принципы и способы сохранения биоразнообразия. Сб. материалов II Всероссийской научной конференции. – Йошкар-Ола: Мар. Гос. ун-т. 2006. – С. 50-51.

131. Тишин Д. В. Дендроклиматические исследования ели финской (*Picea x fennica* (Regel) Kom.) на южной границе ареала // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2008. – Т. 150. – №. 4.

132. Тишин Д. В., Чижикова Н. А., Мацковский В. В. Дендрохронологические исследования *pinus sylvestris* l. Жигулевского государственного природного биосферного заповедника имени им. Спрыгина // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2018. – Т. 27. – №. 4-2

133. Тольский А.П. К вопросу колебаний климата по анализам хода роста деревьев. – Труды НИИ с/х метеорологии, 1934, вып. 24
134. Тюрин А.В. Основы хозяйства в сосновых лесах. М., «Новая деревня», 1925
135. Черенкова Е. А. анализ особенностей обширных атмосферных засух на юге европейской России // аридные экосистемы. 2012. т. 18. № 4 (53). с. 13–21.
136. Черенкова Е.А., Попова В.В. Динамика почвенного увлажнения весной и летом 2010 г. на европейской территории России на основе анализа данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 4. С. 119-130.
137. Чернавская М. М. и др. Изменчивость климата Европы в историческом прошлом //Браздил и др.,–М.: Наука. – 1995.
138. Чернавская М. М. Реконструкция термических условий малого ледникового периода на севере Евразии (по дендрохронологическим данным) //Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1985. – №. 1. – С. 99-103.
139. Черногаева Г.М., Кухта А.Е. Отклик бореальных древостоев на современные изменения климата на севере Европейской части России // Метеорология и гидрология. М.: Изд. «Планета», 2018. № 6, С. 111-119
140. Чернокульский А. В., Ф. А. Козлов, О. Г. Золина и др. Климатология осадков разного генезиса в Северной Евразии // Метеорология и гидрология. 2018. № 7. С. 5–18.
141. Черных Н. Б. дендрохронология и археология. м.: NOX, 1996. 216 с.
142. Шакиров З. Г. Исследования в округе Билярского городища, на территории острова Свяжск и Арском городище //Археологические открытия. – 2010. – Т. 2007. – С. 398-399.
143. Шведов Ф.Н. Дерево как летопись засух. Метеорологический вестник, 1892, 5.
144. Швец Г.И. Многовековая изменчивость стока Днепра. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 82 с.
145. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методич. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
146. Щепкин В.Н. Голода в России // Исторический вестник. 1886. № 24 (2). С. 489–521
147. Якуткин И.А. О взаимоотношении дуба и ели в Среднем Поволжье // Лесоведение. – 1968. – № 5. – С. 24-31.

148. Яркуткин И.А. Влияние состава опада, подстилки и почвы на всхожесть семян и рост сеянцев ели // Лесоведение. – 1974. – № 2. – С. 50-56.
149. Allen C D et al 2010 A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests *Forest Ecology and Management, Adaptation of Forests and Forest Management to Changing Climate* vol 259 (Umea °: Sweden) 660–84
150. Agafonov L. I., Meko D. M., Panyushkina I. P. Reconstruction of Ob River, Russia, discharge from ring widths of floodplain trees // *Journal of hydrology*. – 2016. – Т. 543. – С. 198-207.
151. Agafonov LI, Gurskaya MA (2013) The influence of the lower Ob river runoff on radial growth of trees. *Contemp Probl Ecol* 6:779–787
152. Askeev, O., Tischin, D., Sparks, T., Askeev, I. 2005. The effect of climate on the phenology, acorn crop and radial increment of pedunculate oak (*Quercus robur*) in the middle Volga region, Tatarstan, Russia. *Int. J. Biometeorol.*; 49; 262-266
153. Babushkina E. A. et al. Variation of the hydrological regime of Bele-Shira closed basin in Southern Siberia and its reflection in the radial growth of *Larix sibirica* // *Regional Environmental Change*. – 2017. – Т. 17. – №. 6. – С. 1725-1737.
154. Babst F. et al. Site-and species-specific responses of forest growth to climate across the E uropean continent // *Global Ecology and Biogeography*. – 2013. – Т. 22. – №. 6. – С. 706-717
155. Baillie M. G. L., Pilcher J. R. A simple crossdating program for tree-ring research. – 1973
156. Baillie M. G. L., Munro M. A. R. Irish tree rings, Santorini and volcanic dust veils // *Nature*. 1988. Vol. 332. №. 6162. P. 344.
157. Barber V. A., Juday G. P., Finney B. P. Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress // *Nature*. – 2000. – Т. 405. – №. 6787. – С. 668.
158. Bunn A. G. A dendrochronology program library in R (dplR) // *Dendrochronologia*. 2008. Vol. 26. P. 115–124.
159. Büntgen U., Bellwald I., Kalbermatten H., Schmidhalter M., Frank D., Freund H., Bellwald W., Neuwirth B., Nusser M. and Esper J. 700 Years of Set- tlement and Building History in the Lotschental, Switzerland // *Erdkunde*. 2006. Bd. 60. H. 2. P. 96–112.
160. Büntgen U., Trouet V., Frank D., Leuschner H.H., Friedrichs D., Luterbacher J. and Esper J. Tree-ring indicators of German summer drought over the last millenium // *Quat. Sci. Rev.* 2010. Vol. 29. P. 1005–1016.

161. Büntgen U., Brazdil R., Heussner K.-U., Hofmann J., Kontic R., Kyncl T., Pfister C., Chroma K. and Tegel W. Combined dendro-documentary evidence of Central European hydroclimatic springtime extremes over the last millennium // *Quat. Sci. Rev.* 2011. Vol. 30. P. 3947–3959. doi:10.1016/j.quascirev. 2011.10.010
162. Büntgen U., Frank D.C., Kaczka R.J., Verstege A., Zwijacz-Kozica T., Esper J. Growth responses to climate in a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains, Poland and Slovakia // *Tree Physiol.* 2007. Vol. 27. P. 689–702.
163. Buras A. et al. Tuning the voices of a choir: detecting ecological gradients in time-series populations // *PLoS One.* – 2016. – T. 11. – №. 7. – C. e0158346.
164. Bradley R. S. *Paleoclimatology. Reconstructing climates of the Quaternary.* Third edition. 2015. UK. Elsevier. P. 667
165. Brazdil R., Štěpánková P., Kyncl T., Kyncl J. Fir tree-ring reconstruction of March–July precipitation in southern Moravia (Czech Republic), 1376–1996 // *Clim. Res.* 2002. Vol. 20. P. 223–239.
166. Brázdil R. et al. European climate of the past 500 years: new challenges for historical climatology // *Climatic Change.* – 2010. – T. 101. – №. 1-2. – C. 7-40.
167. Briffa K. R. et al. European tree rings and climate in the 16th century // *Climatic Change.* – 1999. – T. 43. – №. 1. – C. 151-168.
168. Briffa K. R., Osborn T. J., Schweingruber F. H., Harris I. C., Jones P. D., Shiyatov S. G., Vaganov E. A. Low-frequency temperature variations from a Northern Tree-Ring Density Network // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres.* 2001. Vol. 106. P. 2929–2941.
169. Briffa K. R., Osborn T. J., Schweingruber F. H., Jones P. D., Shiyatov S. G., Vaganov E. A. Tree-ring width and density data around the Northern Hemisphere: Part 1, local and regional climate signals // *The Holocene.* 2002a. Vol. 12 (6). P. 737–757.
170. Briffa K. R., Osborn T. J., Schweingruber F. H., Jones P. D., Shiyatov S. G., Vaganov E. A. Tree-ring width and density data around the Northern Hemisphere: Part 2, spatio-temporal variability and associated climate patterns // *The Holocene.* 2002b. Vol. 12 (6). P. 759–789.
171. Cailleret M et al 2017 A synthesis of radial growth patterns preceding tree mortality *Glob. Change Biol.* 23 1675–90
172. Case R. A., MacDonald G. M. Tree ring reconstructions of streamflow for three Canadian prairie rivers 1 // *Jawra Journal of the American Water Resources Association.* – 2003. – T. 39. – №. 3. – C. 703-716.

173. Camuffo D., Jones P. Improved understanding of past climatic variability from early daily European instrumental sources // Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European Instrumental Sources. – Springer, Dordrecht, 2002. – С. 1-4.
174. Carson C. E., Jeffrey S. M. Tree-ring based streamflow reconstruction for Ashley Creek, northeastern Utah: implications for paleohydrology of the southern Uinta Mountains // The Holocene. 2005. P. 602–6011.
175. Chen, D., Hellström, C., 1999. The influence of the North Atlantic Oscillation on theregional temperature variability in Sweden: spatial and temporal variations. Tellus A51, 505–516
176. Chernavskaya M. M., Pushin A. V., Zemtsov D. Y. Growth response to circulation processes over the North-Western part of the Russian Plane // Dendrochronologia. 1996. Vol. 14. P. 181–191
177. Chernokulsky A.V., Kozlov F.A., Zolina O.G., Bulygina O.N., Mokhov I.I., Semenov V.A. Observed changes in convective and stratiform precipitation over Northern Eurasia during the last decades // Environmental Research Letters, 2019. Doi: 10.1088/1748-9326/aafb82.
178. Climate Change 1995, The Science of Climate Change [Электронный ресурс] / IPCC.- 1995.- Режим доступа: http://ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_I/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf. (Дата обращения 11.10.2018 г.)
179. Cook, E.R., D'Arrigo, R.D., and Mann, M.E., 2002, Well Verified Winter North Atlantic Oscillation Index Reconstruction. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2002-059. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
180. Cook E. R., Holmes R. L. Guide for computer program ARSTAN //The international tree-ring data bank program library version. – 1996. – Т. 2. – №. 0. – С. 75-87.
181. Cook, E.R., Esper J., D'Arrigo R. Extra-tropical northern hemisphere land temperature variability over the past 1000 years // Quaternary Science Reviews. 2004. Vol. 23 (20). P. 2063–2074
182. Cook, E.R., Kairiukstis L. A. Methods of Dendrochronology: applications in the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer, 1990. 394 p.
183. Cook, E.R., Meko, D.M., Stahle, D.W., Cleaveland, M.K., 1999. Drought reconstructions for the continental United States. J. Clim. 12, 1145–1162.

184. Cook E., Peters K. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies // *Tree-Ring Bulletin*. 1981. Vol. 41. P. 45–53
185. Cook, E.R., K.J. Anchukaitis, B.M. Buckley, R.D. D'Arrigo, G.C. Jacoby, and W.E. Wright, 2010a: Asian monsoon failure and megadrought during the last millennium. *Science*, 328, 486-489.
186. Cook E.R., Anchukaitis K.J., Buckley B.M., D'Arrigo R.D., Jacoby G.C., Wright W.E. Monsoon Asia Drought Atlas (MADA). IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series 2010b 037. NOAA/NCDC Paleoclimatology Program. Boulder CO. USA, 2010.
187. Cook, E.R., R. Seager, Y. Kushnir, K.R. Briffa, U. Buntgen, D. Frank, P.J. Krusic, W. Tegel, G. van der Schrier, L. Andreu-Hayles, M. Baillie, C. Baittinger, N. Bleicher, N. Bonde, D. Brown, M. Carrer, R. Cooper, K. Cufar, C. Dittmar, J. Esper, C. Griggs, B. Gunnarson, B. Gunther, E. Gutierrez, K. Haneca, S. Helama, F. Herzig, K-U. Heussner, J. Hofmann, P. Janda, R. Kontic, N. Kose, T. Kyncl, T. Levanic, H. Linderholm, S. Manning, T. M. Melvin, D. Miles, B. Neuwirth, K. Nicolussi, P. Nola, M. Panayotov, I. Popa, A. Rothe, K. Seftigen, A. Seim, H. Svarva, M. Svoboda, T. Thun, M. Timonen, R. Touchan, V. Trotsiuk, V. Trouet, F. Walder, T. Wazny, R. Wilson, and C. Zang, 2015: Old World megadroughts and pluvials during the Common Era. *Science Advances*, 1, doi: 10.1126/sciadv.1500561
188. Cook E.R., Palmer J.G., Ahmed M., Woodhouse C.A., Fenwick P., Zafar M.U., Muhammad Wahab M., Khan N. Five Centuries of Upper Indus River Flow from Tree Rings // *Journal of Hydrology*. 2013. Vol. 486. P. 365–375. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.02.004.
189. Cook E. R. et al. The European Russia Drought Atlas (1400–2016 CE) // *Climate Dynamics*. – 2020. – C. 1-19.
190. D'Arrigo R. D. et al. Tree-ring reconstructions of temperature and sea-level pressure variability associated with the warm-season Arctic Oscillation since AD 1650 // *Geophysical Research Letters*. – 2003. – T. 30. – №. 11.
191. D'Arrigo R. D. et al. Tree-ring reconstructions of temperature and sea-level pressure variability associated with the warm-season Arctic Oscillation since AD 1650 // *Geophysical Research Letters*. – 2003. – T. 30. – №. 11.
192. D'Arrigo R., Wilson R., Tudhope A. The impact of volcanic forcing on tropical temperatures during the past four centuries // *Nature Geoscience*. – 2009. – T. 2. – №. 1. – C. 51.
193. Dai A., K. Trenberth E., Qian T. A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming // *Journ. of Hydrometeorology*. 2004. No 5. P. 1117–1130.

194. Dai A. Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900–2008 // *Journal of Geophysical Research*. 2011. Vol. 116. D12115. Doi:10.1029/2010JD015541.
195. De Rossi G. G. L. da Vinci. Trattato della pittura di Leonardo da Vinci: tratto da un codice della Biblioteca Vaticana. – 1817. 396 P.
196. Dendroclimatology and historical climatology of voronezh region, european russia, since 1790s / V. Matskovsky, E. Dolgova, N. Lomakin, S. Matveev // *International Journal of Climatology*. — 2016. — P. 4896–4896.
197. Dengel S., Aeby D., Grace J. A relationship between galactic cosmic radiation and tree rings // *New Phytologist*. 2009. Vol. 184. №. 3. C. 545-551.
198. Distribution map of Scots pine (*Pinus Sylvestris*) EUFORGEN 2009, www.euforgen.org
199. Dobrovolny P., Brazdil R., Trnka M., Kotyza O., Valašek H. Precipitation reconstruction for the Czech Lands, AD1501–2010 // *International Journal of Climatology*. 2015. Vol. 35 (1). P. 1–14.
200. Douglass, A. E. Weather cycles in the growth of big trees / A. E. Douglass // *Month. Weath. Rev.* – 1909. – Vol. 37.
201. Douglass A. E. Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. / A. E. Douglass. – Washington: Carnegie Inst., 1919. – Vol. 1. – 127 p.
202. Douglass A. E. Climatic cycles and tree-growth: A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. / A. E. Douglass. – Washington: Carnegie Inst., 1928. – Vol. 2. – 166 p.
203. Douglass, A. E. The central Pueblo chronology / A. E. Douglass // *Tree-Ring Bulletin*. – 1936. – No. 2(4). P. 29–34.
204. Douglass, A. E. Historical climatology / A. E. Douglass // *Carnegie Institution of Washington Year Book*. – 1938. – No. 37. – P. 235–237
205. Drobyshev I., Niklasson M. Linking tree rings, summer aridity, and regional fire data: an example from the boreal forests of the Komi Republic, East European Russia // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2004. – T. 34. – №. 11. – C. 2327-2339
206. Eilmann B, Buchmann N, Siegwolf R, Saurer M, Cherubini P and Rigling A 2010 Fast response of Scots pine to improved water availability reflected in tree-ring width and $\delta^{13}\text{C}$ *Plant Cell Environ*. 33 1351–60
207. Elektronik, Cybis, 2016. CDendro and CooRecorder. <https://www.cybis.se/forfun/dendro/index.htm>.

208. Eckstein D., Bauch J. Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit //Forstwissenschaftliches Centralblatt. – 1969. – T. 88. – №. 1. – C. 230-250.
209. Esper J., Cook E.R., Schweingruber F.H. Low-frequency signals in Long Tree-ring Chronologies for reconstructing Past Temperature Variability // Science. 2002. Vol. 295. P. 2250-2253.
210. Fang K., Davi N., Gou X., Chen F., Cook E., Li J., D'Arrigo R. Spatial drought re- constructions for central High Asia based on tree rings // Climate Dynamics. 2010. Vol. 35 (6). P. 941–951.
211. Fritts H. C. 1976: Tree rings and climate. London: Academic Press. – 1976.
212. Gavrikov V. L., Karlin I. V. A dynamic model of tree terminal growth// Canadian Journal of Forest Research. 1993. Vol.. 23. №. 2. P. 326-329.
213. Gedney, N., P. M. Cox, R. A. Betts, O. Boucher, C. Huntingford, and P. A. Scott (2006), Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records, Nature, 439, 838–841, doi:10.1038/nature04504.
214. Glock W. S. Tree growth II. Growth rings and climate //Botanical Review. – 1955. – Vol. 21. – №. 1/3. – P. 73-188.
215. Gou X. et al. Streamflow variations of the Yellow River over the past 593 years in western China reconstructed from tree rings //Water Resources Research. – 2007. – T. 43. – №. 6.
216. Grissino-Mayer H. D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. – 2001.
217. Groisman P. Y., Knight R. W., Easterling D. R., Karl T. R., Hegerl G. C., Razuvaev V. N., Trends in Intense Precipitation in the Climate Record Journal of Climate. 2005. 18. 1326–50.
218. Guan, B. T., Wright, W. E., Chiang, L. H., & Cook, E. R. (2018). A dry season streamflow reconstruction of the critically endangered Formosan landlocked salmon habitat. Dendrochronologia, 52, 152-161.
219. Güner, H.T., Köse, N., Harly, G.T., 2017. A 200-year reconstruction of Kocasu River (Sakarya River Basin, Turkey) streamflow derived from a tree-ring network. Int. J. Biometeorol. 61, 427–437. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1223-y>.
220. Gut U. et al. No systematic effects of sampling direction on climate-growth relationships in a large-scale, multi-species tree-ring data set //Dendrochronologia. – 2019. – T. 57. – C. 125624.

221. Harris I. et al. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3.10 Dataset // *International journal of climatology*. – 2014. – T. 34. – №. 3. – С. 623-64
222. Helama S., Timonen M., Holopainen J., Ogurtsov M. G., Mielikainen K., Eronen M., Lindholm M. and Merilainen J. Summer temperature variations in Lapland during the Medieval Warm Period and the Little Ice Age relative to natural instability of thermohaline circulation on multi-decadal and multi-centennial scales // *Journal of Quaternary Science*. 2009. Vol. 24(5). P. 450–456.
223. Lena Hellmann et al 2016 *Environ. Res. Lett.* 11 074021
224. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // *Tree-Ring Bulletin*. 1983. Vol. 43. P. 69–78.
225. Huber B. Über die Sicherheit jahrringschronologischer Datierung // *Holz als Rohund Werkstoff*. – 1943. – T. 6. – №. 10-12. – С. 263-268.
226. Hurrell, J. W., Decadal trends in the North Atlantic Oscillation regional temperatures and precipitation, *Science*, 269, 676–679, 1995.
227. IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D.Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi: 10.1017/CBO9781107415324.
228. Jones, P. D. and Hulme, M.: 1997, 'The Changing Temperature of Central England' in Hulme, M. and Barrow, E., (eds.) *Climates of the British Isles: Present, Past and Future*, Routledge, London, pp. 173–196.
229. Karanitsch-Ackerl S. et al. A 400-year reconstruction of spring–summer precipitation and summer low flow from regional tree-ring chronologies in North-Eastern Austria // *Journal of Hydrology*. – 2019. – T. 577. – С. 123986
230. Klimenko V., Solomina O. Climatic variations in the East European Plain during the last Millennium: state of the art // *The Polish Climate in the European Context: An Historical Overview*. – Springer, Dordrecht, 2010. – С. 71-101.
231. Kononov Y. M., Friedrich M., Boettger T. Regional summer temperature reconstruction in the Khibiny Low Mountains (Kola Peninsula, NW Russia) by means of tree-ring width during the last four centuries // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2009. Vol. 41 (4). P. 460–468.

232. Kosareva L. R. et al. The integrated exploration of Raifa lake sediments and dendrochronological analysis of Raifa forestry pines //ARPN J. Eng. Appl. Sci. – 2017. – T. 12. – №. 7. – C. 2192-2206
233. Koprowski M., Przybylak R., Zielski A., Pospieszyńska A. Tree rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a source of information about past climate in northern Poland // International journal of biometeorology. 2012. Vol. 56 (1). P. 1–10.
234. Kress A. et al. A 350 year drought reconstruction from Alpine tree ring stable isotopes //Global Biogeochemical Cycles. – 2010. – T. 24. – №. 2.
235. Larsen C. P. S., MacDonald G. M. Relations between tree-ring widths, climate, and annual area burned in the boreal forest of Alberta //Canadian Journal of Forest Research. – 1995. – T. 25. – №. 11. – C. 1746-1755.
236. Legrand J. P., Le Goff M. Les observations météorologiques de Louis Morin. – Direction de la météorologie nationale, 1992
237. Li J. et al. Drought reconstruction for north central China from tree rings: the value of the Palmer drought severity index //International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society. – 2007. – T. 27. – №. 7. – C. 903-909.
238. Linderholm H.W. et al. (2010) Dendroclimatology in Fennoscandia – from past accomplishments to future potential // Clim. Past, 6, pp. 93–114
239. Liang E., Shao X., Kong Z., Lin J. The extreme drought in the 1920s and its effect on tree growth deduced from tree ring analysis: a case study in North China // Annals of Forest Science. 2003. Vol. 60 (2). P. 145–152.
240. Lopatin E., Kolström T., Spiecker H. Determination of forest growth trends in Komi Republic (northwestern Russia): combination of tree-ring analysis and remote sensing data // Boreal Environment Research. 2006. Vol. 11. P. 341–353.
241. Lloret, F., Keeling, E.G., Sala, A., 2011. Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos* 120, 1909–1920.
242. McClelland, J. W., R. M. Holmes, B. J. Peterson, and M. Stieglitz (2004), Increasing river discharge in the Eurasian Arctic: Consideration of dams, permafrost thaw, and fires as potential agents of change, *J. Geophys. Res.*, 109, D18102, doi:10.1029/2004JD004583.
243. MacDonald G. M., K. V. Kremenetski, L. C. Smith, H. G. Hidalgo, Recent Eurasian river discharge to the Arctic Ocean in the context of longer-term dendrohydrological records, *J. Geophys. Res.*, 112. 2007.
244. Manley, G. 1974. Central England Temperatures: Monthly Means 1659 to 1973. quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 100: 389-40S

245. Meko D. M., Stockton C. W., Boggess W. R. The tree-ring record of severe sustained drought // *Water Resources Bulletin*. 1995. Vol. 31 (5). P. 789–801.
246. Meshcherskaya A. V., Blazhevich V. G. The drought and excessive moisture indices in a historical perspective in the principal grain-producing regions of the former Soviet Union // *Journal of Climate*. 1997. Vol. 10 (10). P. 2670–2682.
247. Mitchell T. D., Jones P. D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids // *International journal of climatology*. 2005. Vol. 25 (6). P. 693–712.
248. Moberg, A., et al. 2005. 2,000-Year Northern Hemisphere Temperature Reconstruction. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2005-019. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
249. Mundo I. A. et al. Multi-century tree-ring based reconstruction of the Neuquén River streamflow, northern Patagonia, Argentina // *Climate of the Past*. – 2012. – T. 8. – №. 2. – C. 815-829
250. Myglan, V. S. 1929-year tree-ring chronology for the Altay-Sayan Region (Western Tuva) / Myglan, V. S., Oidupaa, O. C., Kirdynov, A. V., Vaganov, E. A // *Archaeol. Ethnol. Anthropol. Eurasia*. – 2008. – No. 36. – P. 25–31.
251. Myglan, V. S. A 2367-year tree-ring chronology for the Altai-Sayan region (Mongun-Taiga mountain massif) / Myglan, V.S., Oidupaa, O.Ch., Vaganov, E.A. // *Archaeol. Ethnol. Anthropol. Eurasia*. – 2012. – No. 40. – P. 76–83.
252. Neuwirth, B., Schweingruber, F.H., Winiger, M., 2007. Spatial patterns of central European pointer years from 1901 to 1971. *Dendrochronologia* 24, 79–89.
253. Oberhuber W and Gruber A 2010 Climatic influences on intra-annual stem radial increment of *Pinus sylvestris* (L.) exposed to drought *Trees* 24 887–98
254. Ols C. et al. Post-1980 shifts in the sensitivity of boreal tree growth to North Atlantic Ocean dynamics and seasonal climate: Tree growth responses to North Atlantic Ocean dynamics // *Global and planetary change*. – 2018. – T. 165. – C. 1-12.
255. Osborn TJ, Barichivich J, Harris I, van der Schrier G and Jones PD (2018) Drought [in "State of the Climate in 2017"]. *Bulletin of the American Meteorological Society* 99, S36-S37. (doi:10.1175/2018BAMSStateoftheClimate.1)
256. Palmer, J.G., E.R. Cook, C.S.M. Turney, K. Allen, P. Fenwick, B.I. Cook, A. O'Donnell, J. Lough, P. Grierson, and P. Baker, 2015: Drought variability in the eastern Australia and New Zealand summer drought atlas (ANZDA, CE 1500-2012). *Environmental Research Letters*, 10, doi: 10.1088/1748-9326/10/12/124002.

257. Parker D. E., Legg T. P., Folland C. K. A new daily central England temperature series, 1772–1991 // *International Journal of Climatology*. – 1992. – T. 12. – №. 4. – C. 317-342
258. Pfister C., Bareiss W. The climate in Paris between 1675 and 1715 according to the *Meteorological Journal of Louis Morin* // *Climatic trends and anomalies in Europe*. – 1994. – C. 1675-1715
259. Pederson N., Jacoby G. C., D'Arrigo R. D., Cook E. R., Buckley B. M. Hydrometeorological reconstructions for Northeastern Mongolia derived from tree rings: 1651–1995 // *Journal of Climate*. 2001. Vol. 14 (5). p. 872–881.
260. Perşoiu, A., Ionita, M., and Weiss, H.: Atmospheric blocking induced by the strengthened Siberian High led to drying in west Asia during the 4.2 ka BP event – a hypothesis, *Clim. Past*, 15, 781-793, <https://doi.org/10.5194/cp-15-781-2019>, 2019.
261. Pichler P and Oberhuber W 2007 Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003 *Forest Ecol. Manage.* 242 688–99
262. Rinn F., Jäkel S. TSAP reference manual // Frank Rinn, Heidelberg, Germany. – 1996. – C. 262.
263. Semenov V. A., Bengtsson L. Secular trends in daily precipitation characteristics: greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM *Clim. Dyn.* 2002 .19 . 123–4
264. Shindell, D. T., R. L. Miller, G. A. Schmidt, and L. Pandolfo, Simulation of recent northern winter climate trends by greenhouse-gas forcing, *Nature*, 399, 452–455, 1999.
265. Schulman, E. *Dendroclimatic changes in Semiarid America* / E. Schulman. – Tucson, Arizona: University of Arizona Press, 1956. – 142 p.
266. Schulman, E. *Tree Ring Hydrology of the Colorado Basin* / E. Schulman. – Tucson: University of Arizona Bulletin, 1945. – Vol. 16. – No. 4. – 51 p.
267. Schweingruber F. H. *Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology*. D. Reidel, Dordrecht, The Netherlands, 1988. 276 p.
268. Schweingruber F. H., Briffa K. R. Tree-ring density networks for climate reconstruction // *Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years* / P. D. Jones, R. S. Bradley, J. Jouzel (ed.) Berlin; N.Y., 1996. P. 43–66.
269. Siwkcki R., Ufnalski K. Review of oak stand decline with special reference to the role of drought in Poland // *Forest Patology*. 1998. Vol. 28 (2). P. 99–112.
270. Slonosky V. C., Jones P. D., Davies T. D. Atmospheric circulation and surface temperature in Europe from the 18th century to 1995 // *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*. – 2001. – T. 21. – №. 1. – C. 63-75
271. Solomina, O., Maximova, O., Cook E. *Picea Schrenkiana* ring width and density at the upper and lower tree limits in the Tien Shan mts (Kyrgyz republic) as a source of

paleoclimatic information. *Geography. // Environment. Sustainability.* 2014. № 01. Vol. 07. P. 66-79

272. Stahle D.W., Cook E.R., Cleaveland M.K., Therrell M.D., Meko D.M., Grissino-Mayer H.D., Watson E., Luckman B.H. Tree-ring data document 16th century megadrought over North America // *EOS.* 2000. Vol. 81 (12). P. 121–125. doi:10.1029/00EO00076

273. Stahle D. W. The Mexican Drought Atlas: Tree-ring reconstructions of the soil moisture balance during the late pre-Hispanic, colonial, and modern eras / D. W. Stahle, E. R. Cook, D.J. Burnette, J. Villanueva, J. Cerano, J.N. Burns, D. Griffin, B.I. Cook, R. Acuna, M. C. A. Torbenson, P. Sjezner, I. M. Howard // *Quaternary Science Reviews.* – 2016. – Vol. 149. – P. 34–60.

274. Stockton, C.W., Meko, D.M. (1975). A long-term history of drought occurrence in Western United States as inferred from tree-rings. *Weatherwise*, 25(6), 244-249.

275. Studhalter R. A. Tree growth // *The Botanical Review.* – 1955. – T. 21. – №. 1-3. – C. 1.

276. Szeicz J. M., MacDonald G. M. A 930-year ring-width chronology from moisture-sensitive white spruce (*Picea glauca* Moench) in northwestern Canada // *The Holocene.* – 1996. – T. 6. – №. 3. – C. 345-351.

277. Tishin D. et al. Acclimation of *Juglans mandshurica* Maxim. and *Phellodendron amurense* Rupr. in the Middle Volga region // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* – IOP Publishing, 2018. – T. 107. – №. 1. – C. 012094

278. Thompson, D. W. J., and J. M. Wallace. 1998. The arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. – *Geophys. Res. Lett.*, vol. 25, pp.1297–1300.

279. Vaganov E. A. et al. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia // *Nature.* – 1999. – T. 400. – №. 6740. – C. 149.

280. Van der Maaten-Theunissen M., van der Maaten E., Bouriaud O. pointRes: An R package to analyze pointer years and components of resilience // *Dendrochronologia.* – 2015. – T. 35. – C. 34-38

281. Vitas A. Tree rings of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) in Lithuania as drought indicators: dendroecological approach // *Polish Journal of Ecology.* 2004. Vol. 52 (2). P. 201–210.

282. Vitas A. Tree-ring chronology of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for Lithuania // *Baltic forestry.* – 2008. – T. 14. – №. 2. – C. 110-115.

283. Wales-Smith, B. G.: 1971, 'Monthly and Annual Totals of Rainfall Representative of Kew, Surrey, from 1697 to 1970', *Met. Mag.* 100, 345–362.

284. Wells N., Goddard S., Hayes M. J. A self-calibrating Palmer drought severity index // *Journal of Climate*. – 2004. – T. 17. – №. 12. – C. 2335-2351.
285. Wallace, J.M., Gutzler, D.S., 1981. Teleconnections in the geopotential heightfield during the northern hemisphere winter. *Mon. Weather Rev.* 109, 784–812. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1981\)](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1981)109<784-1.0.CO;2)
286. Wigley, T. M. L., Briffa, K.R., Jones, P.D. (1984). "On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology." *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23: 201-213.
287. Wilson, R., Anchukaitis, K., Briffa, K.R., Büntgen, U., Cook, E., D'arrigo, R., Davi, N., Esper, J., Frank, D., Gunnarson, B. and Hegerl, G., 2016. Last millennium northern hemisphere summer temperatures from tree rings: Part I: The long term context. *Quaternary Science Reviews*, 134, pp.1-18.
288. Woodhouse C. A., Overpeck J. T. 2000 years of drought variability in the central United States // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1998. Vol. 79. P. 2693–2714.
289. Woodhouse C.A., Gray S.T., Meko D.M. Updated streamflow reconstructions for the Upper Colorado River Basin. *Water Resour. Res.* 42. 2006
290. Yang, D., D. L. Kane, L. D. Hinzman, X. Zhang, T. Zhang, and H. Ye (2002), Siberian Lena River hydrologic regime and recent change, *J. Geophys. Res.*, 107(D23), 4694, doi:10.1029/2002JD002542.
291. Ye, B., D. Yang, and D. L. Kane (2003), Changes in Lena River streamflow hydrology: Human impacts versus natural variations, *Water Resour. Res.*, 39(7), 1200, doi:10.1029/2003WR001991.
292. Ye H., Fetzer E. J., Wong S., Behrangi A. Increasing atmospheric water vapor and higher daily precipitation intensity over northern Eurasia // *Geophysical Research Letters* . 2015. 42. 9404–10
293. Zang C., Biondi F. Treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships // *Ecography*. – 2015. – T. 38. – №. 4. – C. 431-436
294. Zolina O, Simmer C, Belyaev K, Gulev SK, Koltermann P. Changes in the Duration of European Wet and Dry Spells during the Last 60 Years. // *Journal of Climate*. 2013. Vol. 26. No. 6. P. 2022–2047. DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00498.1.

Приложение

Приложение 1 Результаты датирования образцов исторической древесины

номер п/п	название серии	первый год	после дний год	1600	1625	1650	1675	1700	1725	1750	1775	1800	1825	1850	1875	1900	1925	1950	1975
				1649	1674	1699	1724	1749	1774	1799	1824	1849	1874	1899	1924	1949	1974	1999	2024
1	10a	1936	2014														0.7	0.73	0.77
2	16a	1914	2014													0.77	0.75	0.84	0.8
3	1b	1903	2014													0.37	0.5	0.66	0.72
4	3b	1903	2014													0.52	0.52	0.56	0.61
5	4a	1901	2014													0.62	0.58	0.75	0.79
6	4b	1902	2014													0.4	0.59	0.68	0.63
7	5b	1901	2014													0.66	0.59	0.7	0.63
8	6b	1912	2014													0.44	0.37	0.46	0.56
9	9a	1917	2014													0.54	0.54	0.66	0.56
10	11a	1901	2014													0.71	0.5	0.53	0.63
11	11b	1902	2014													0.56	0.43	0.53	0.69
12	5a	1898	2014												0.62	0.63	0.68	0.66	0.61
13	7a	1895	2014												0.43	0.57	0.36	0.45	0.54
14	1a	1893	2014												0.44	0.47	0.51	0.68	0.76
15	13b	1894	2014												0.39	0.39	0.57	0.57	0.59
16	16b	1880	2014												0.47	0.73	0.78	0.83	0.77
17	18b	1853	2014											0.5	0.43	0.48	0.58	0.67	0.66
18	8b	1850	2014											0.41	0.6	0.71	0.74	0.68	0.58
19	7b	1829	2014										0.53	0.57	0.63	0.55	0.61	0.68	0.57
20	17b	1834	2014										0.6	0.68	0.65	0.73	0.74	0.77	0.67
21	1b	1825	2014										0.44	0.52	0.65	0.76	0.72	0.69	0.62
22	10a	1836	2005										0.38	0.49	0.64	0.75	0.75	0.72	0.66

23	10b	1836	2010										0.65	0.66	0.6	0.68	0.79	0.64	0.57
24	12b	1846	2014										0.71	0.66	0.68	0.71	0.7	0.56	0.55
25	14a	1845	2011										0.52	0.4	0.46	0.75	0.74	0.76	0.68
26	14b	1848	2011										0.38	0.37	0.61	0.75	0.8	0.78	0.77
27	17a	1838	2014										0.74	0.73	0.8	0.8	0.73	0.63	0.58
28	14b	1811	2014									0.5	0.45	0.45	0.54	0.57	0.5	0.56	0.59
29	1a	1816	2014									0.51	0.48	0.56	0.62	0.71	0.72	0.68	0.7
30	3a	1821	2014									0.53	0.62	0.5	0.5	0.66	0.68	0.7	0.66
31	3b	1805	2014									0.44	0.5	0.41	0.51	0.72	0.64	0.58	0.58
32	4b	1802	2014									0.41	0.58	0.58	0.55	0.73	0.76	0.72	0.74
33	6a	1814	2014									0.35	0.45	0.58	0.73	0.53	0.59	0.8	0.67
34	7a	1817	2014									0.39	0.46	0.52	0.66	0.73	0.65	0.65	0.64
35	8a	1808	2014									0.76	0.72	0.49	0.53	0.74	0.76	0.72	0.61
36	15b	1814	2013									0.39	0.58	0.66	0.67	0.79	0.7	0.39	0.38
37	18a	1819	2014									0.57	0.59	0.65	0.61	0.68	0.7	0.74	0.73
38	21b	1809	2014									0.42	0.6	0.68	0.63	0.76	0.78	0.79	0.67
39	14b	1811	2014									0.53	0.48	0.46	0.55	0.57	0.49	0.58	0.62
40	5a	1789	2014							0.4	0.34	0.41	0.48	0.59	0.7	0.68	0.62	0.57	
41	13a	1793	2013							0.44	0.54	0.64	0.6	0.49	0.53	0.66	0.59	0.46	
42	19b	1786	2014							0.36	0.6	0.73	0.75	0.75	0.75	0.7	0.69	0.69	
43	14a	1749	2014					0.34	0.35	0.36	0.37	0.42	0.51	0.5	0.51	0.48	0.44	0.5	
44	2AN	1647	1852		0.42	0.4	0.47	0.54	0.66	0.71	0.7	0.63	0.65						
45	T176NNN	1651	1859			0.58	0.68	0.65	0.68	0.71	0.61	0.4	0.36						
46	C1b	1696	1857				0.45	0.4	0.49	0.43	0.36	0.36	0.37						
47	1BDN	1632	1848		0.5	0.6	0.56	0.51	0.52	0.6	0.66	0.62							
48	1AN	1627	1836		0.59	0.61	0.45	0.35	0.44	0.55	0.66	0.51							
49	2BN	1647	1834		0.71	0.72	0.71	0.63	0.66	0.74	0.65	0.54							
50	3A IN	1717	1839					0.28A	0.36	0.44	0.31A	0.38							

51	9a(b)	1647	1840		0.54	0.54	0.72	0.66	0.7	0.81	0.69	0.5							
52	11aN	1650	1828			0.59	0.67	0.66	0.64	0.65	0.61	0.61							
53	14ann	1627	1832		0.61	0.72	0.71	0.53	0.54	0.72	0.69	0.61							
54	15aN	1647	1830		0.73	0.75	0.69	0.46	0.43	0.6	0.54	0.45							
55	t27a1b	1650	1827			0.53	0.42	0.42	0.5	0.35	0.42	0.48							
56	8aN	1635	1840		0.39	0.52	0.54	0.42	0.43	0.57	0.43	0.41							
57	C1a	1684	1836				0.56	0.55	0.5	0.54	0.56	0.6							
58	C2k	1766	1832							0.38	0.42	0.41							
59	C2e	1766	1833							0.34	0.38	0.34							
60	t27a4N	1714	1839					0.41	0.48	0.37	0.35	0.21A							
61	7ANNN	1636	1817		0.44	0.56	0.51	0.56	0.66	0.61	0.45								
62	7BNNN	1632	1815		0.47	0.51	0.63	0.59	0.64	0.55	0.37								
63	9ANNN	1537	1820	0.33	0.34	0.62	0.67	0.47	0.5	0.79	0.65								
64	14bNN	1691	1811				0.34	0.39	0.51	0.67	0.73								
65	15b2N	1653	1801			0.59	0.69	0.52	0.46	0.68	0.68								
66	17 2N	1629	1820		0.59	0.56	0.55	0.49	0.63	0.71	0.57								
67	NAN	1684	1820				0.56	0.71	0.59	0.55	0.52								
68	t27a2aN	1651	1814			0.37	0.33	0.35	0.36	0.35	.33A								
69	3a	1702	1818					0.47	0.45	0.45	0.43								
70	t27a3b	1653	1807			0.34	.32A	0.35	0.4	0.6	0.55								
71	t27a5N	1672	1819			0.45	0.45	0.43	0.34	0.37	0.39								
72	t27a6NN	1727	1803						0.36	0.39	0.39								
73	t27a8b	1635	1822		0.44	0.56	0.55	0.41	0.5	0.6	0.35								
74	t27a9	1752	1798							0.33A									
75	C3b	1797	1843								0.34								
76	4bN	1631	1784		0.43	0.48	0.47	0.39	0.56	0.61									
77	5AN	1631	1795		0.57	0.64	0.55	0.51	0.52	0.51									
78	9baNN	1629	1793		0.5	0.57	0.68	0.64	0.58	0.6									

79	NA2 2N	1642	1786		0.29A	0.35	0.52	0.48	0.45	0.5									
80	t27a1a2	1714	1794					0.59	0.63	0.63									
81	t27a2b	1647	1799		0.4	0.42	0.41	0.37	0.43	0.45									
82	t27a10b	1625	1795		0.42	0.44	0.5	0.39	0.41	0.56									
83	10bN	1638	1764		0.38	0.47	0.59	0.53	0.44										
84	t27a10a	1604	1771	0.48	0.52	0.5	0.55	0.45	0.43										
85	8N	1631	1733		0.35B	0.56	0.63	0.64											
86	t27a7	1716	1752					0.38											
87	t27a1a	1657	1710			0.5	0.55												
88	18bNNN	1649	1710		0.34	0.35	0.31A												
89	18aNN	1642	1698		0.30A	0.33													
Av	segment co	rrel	ation	0.41	0.47	0.52	0.54	0.49	0.51	0.55	0.49	0.48	0.54	0.55	0.58	0.64	0.64	0.65	0.64