ЗАСУХИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ И ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

ЗАСУХИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ И ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

О. Н. Соломина, И. С. Бушуева, Е. А. Долгова,
А. Н. Золотокрылин, В. В. Кузнецова, Т. О. Кузнецова,
А. Е. Кухта, Л. И. Лазукова, Н. А. Ломакин, В. В. Мацковский,
С. М. Матвеев, А. Ю. Михайлов, В. Н. Михаленко,
Д. С. Пожидаева, Д. Е. Румянцев, Г. А. Сакулина, В. А. Семёнов,
Б. Ф. Хасанов, Е. А. Черенкова, А. В. Чернокульский

ЗАСУХИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ И ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Нестор-История
Москва • Санкт-Петербург
2017

УДК 551.577.38
ББК 40.2
С 60

Монография подготовлена при поддержке Российского научного фонда
по проекту № 14–17–00645
Монография печатается на основании решения Ученого совета
Института географии РАН

Ответственный редактор:
О. Н. Соломина

Рецензенты:
Ведущий научный сотрудник ФГБУН Институт экологии растений
и животных УрО РАН, доктор биологических наук *Л. И. Агафонов*
Заведующий лабораторией эволюционной географии ФГБУН Институт географии
РАН, профессор географического факультета МГУ
им. М. В. Ломоносова доктор географических наук *А. В. Панин*

С 60 Соломина О. Н. и др.
Засухи Восточно-европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным. — М. ; СПб. : Нестор-История, 2017. — 360 с.

Solomina O. et al. Droughts of the East European Plain according to hydrometeorological and tree-ring data. — M . ; SPb. : Nestor-Historia, 2017. — 360 p.

ISBN 978-5-4469-1126-4

В результате исследований последних лет было построено 59 хронологий ширины годичных колец сосны, ели и дуба для территории ЕТР продолжительностью 120–250 лет, что значительно превышает длину инструментальных наблюдений. Используя древесину из археологических раскопок и старых строений, с помощью перекрестного датирования были получены хронологии хвойных большей продолжительности для отдельных регионов. В центральной и южной частях ЕТР прирост зависит от сочетания тепла и увлажнения. При этом сигнал усиливается при движении на юг и юго-восток, по мере роста засушливости и континентальности климата. Использование нелинейных методов анализа позволило установить, что хронологии центральной части ЕТР (нечерноземная зона) наиболее устойчиво откликаются на засуху в мае и июне, а для Центрально-Черноземного района и Поволжья понижение прироста колец связано с сочетанием длительной летней засухи с сильной засухой в мае. Анализ реперных годов показывает, что не все годы с угнетенным приростом сопряжены с засушливыми условиями. Угнетения могут быть связаны с поздневесенними заморозками и вспышками численности листогрызущих насекомых. У ели засухи вызывают вспышки численности стволовых вредителей. Реперные годы сосны в центральной части ЕТР связаны с жаркими летними сезонами и дефицитом осадков. Получена реконструкция температуры воздуха летнего периода на основе хронологии оптической плотности сосны для Калужской области. С 1831 по 2013 г. в Калужской области в реконструкции выделяются относительно теплые периоды в 1830–1890, 1900–1970, 1990–2013 гг. и холодные — в 1890–1895, 1970–1990 гг.

Монография хорошо иллюстрирована фотографиями и рисунками, содержит обширный список литературы. Она будет не только интересна специалистам, но и полезна ученым смежных дисциплин, а также аспирантам и студентам.

УДК 551.577.38
ББК 40.2

© Авторы, 2017
© Институт географии, 2017

ВВЕДЕНИЕ

О.Н. Соломина

Климатические модели воспроизводят увеличение вероятности и интенсивности засух при глобальном потеплении, что связано, помимо общего роста температуры, с изменениями циркуляционного режима атмосферы (IPCC, 2013). В то же время существует значительная неопределенность относительно роли естественной климатической изменчивости, в частности долгопериодных циклов, в формировании засух. Для статистически достоверных оценок изменений частоты и интенсивности засух, связанных с внутренней динамикой климата, валидации и сравнения с результатами климатических моделей необходимы эмпирические данные о засухах продолжительностью в несколько столетий, что далеко выходит за временные рамки инструментальных наблюдений. Увеличение длины ряда до нескольких столетий за счет древесно-кольцевых данных позволяет установить частоту, интенсивность и ритмичность засух в прошлом позволяет оценить пространственно-временную изменчивость климатических процессов (Fritts, 1976; Meko et al., 1995; Woodhouse, Overpeck, 1998; Stahle et al., 2000; Cook et al., 2004, 2015), в том числе во время разных в климатическом отношении эпох, таких как «малый ледниковый период» и «средневековая аномалия» (Grove, 1988; Bradley et al., 2016). На основе дендрохронологических данных может быть увеличена и географическая представительность гидрометеорологических рядов. Дендрохронологические реконструкции сравнивают с результатами численных экспериментов с использованием глобальных моделей климата, в частности экспериментов по моделированию естественных долгопериодных колебаний. Это позволяет исследовать механизмы формирования засух, оценить вклад антропогенного воздействия и естественных колебаний климата. Продление рядов интенсивности частоты засух имеет важнейшее значение для понимания функционирования как климатической системы в целом, так и для анализа региональных климатических процессов. Прогноз климата именно на уровне внутривековых масштабов является в настоящее время одной из самых сложных и насущных проблем, поскольку эти процессы очень слабо поддаются прогнозированию, а между тем именно они имеют важнейшее значение для хозяйственной деятельности человека.

В последние годы в разных районах земного шара наблюдаются аномально высокие летние температуры: в 2003 г. — в Западной Европе (Beniston, Diaz, 2004), в 2010 г. — в Москве и других районах центральной части европейской территории России (далее ЕТР) (Мещерская и др., 2011; Савин и др., 2011; Черенкова, 2012; Золотокрылин и др., 2013), в 2012–2014 гг. — в Калифорнии (Griffin, Anchukaitis, 2014), в 2013–2015 гг. — в Корее (Kwon et al., 2016). Эти события сказались пагубно на здоровье многих тысяч людей, привели к потере урожаев, возникновению лесных и торфяных пожаров. Согласно модельным экспериментам, по мере глобального потепления такие экстремальные события, как волны жары, станут нормой (Beniston, Diaz, 2004). Есть основание полагать, что при прогнозируемом потеплении многие леса планеты окажутся под угрозой исчезновения в связи с усилением засушливости климата (Allen et al., 2010). Уже сегодня видно, что на территории России в связи с потеплением происходит перераспределение осадков: наблюдается увеличение экстремальных осадков, с одной стороны, и увеличиваются периоды без осадков — с другой (Золина, Булыгина, 2016). Московская жара, по данным инструментальных наблюдений, была беспрецедентной за последние 120 лет (Мещерская и др., 2011; Савин и др., 2011; Черенкова, 2012; Золотокрылин и др., 2013). Наблюдались ли такие гидрометеорологические явления в предшествующие столетия? Насколько события такого рода характерны для природной климатической изменчивости, или они могут быть связаны с другими причинами, в частности с возросшим влиянием на климат человека? На эти вопросы помогает ответить дендрохронология — метод, при помощи которого можно продлить инструментальные данные о климатических изменениях в глубь веков.

Принципы дендрохронологии

На годичный прирост деревьев влияют множество биотических и абиотических факторов. Однако, если группа деревьев демонстрирует сходный паттерн прироста во времени, скорее всего, это — влияние какого-то общего фактора среды, как правило колебаний климата. Этот общий паттерн в ходе приростов для группы деревьев называется климатическим сигналом и является основным предметом интереса дендроклиматологии. Именно он используется для па-

леоклиматических реконструкций, в то время как индивидуальные особенности прироста каждого дерева сглаживаются путем осреднения ширины колец отдельных деревьев в серии древесно-кольцевых хронологий (ДКХ). Деревья со слишком яркими индивидуальными особенностями динамики приростов обычно исключаются из рассмотрения в дендроклиматических исследованиях.

Продолжительность хронологий, составленных на основе измерений параметров колец живых деревьев, может достигать нескольких тысяч лет (остистая сосна, секвойя на юго-западе США, разные виды можжевельников в Центральной Азии). В большинстве стран умеренного пояса продолжительность жизни деревьев и, соответственно, длина основанных на этих данных хронологий, ограничена несколькими последними столетиями (рис. 1). Однако и это существенно, так как ряды инструментальных наблюдений за климатом обычно короче. Кроме того, длина хронологий может быть увеличена при помощи перекрестного датирования годичных колец живых деревьев с кольцами погребенной, строительной и археологической древесины.

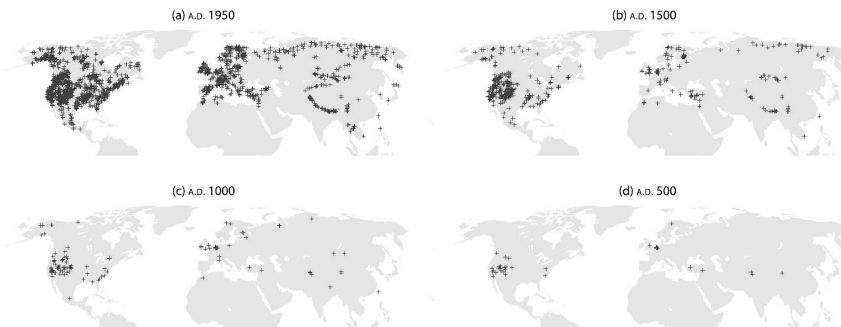


Рис. 1. Распределение в пространстве хронологий ширины годичных колец разной продолжительности (по St. George, 2014)
Fig. 1. Maps showing the distribution of tree-ring width records of different length (from St. George, 2014)

На рис. 1, где показано распределение ДКХ в пространстве и их длина, видно, что европейская территория России, за исключением ее северной части, представляет собой белое пятно: даже хронологии продолжительностью в несколько десятилетий в этом районе

практически отсутствуют. Частично это связано с использованием автором карты в качестве источника информации сведений из международного банка дендрохронологических данных (International Tree-Ring Databank (ITRDB)) (Grissino-Mayer and Fritts, 1997), где, естественно, представлены не все имеющиеся хронологии. Однако само по себе отсутствие в этом крупнейшем всемирном дендрохронологическом хранилище данных по Русской равнине симптоматично и свидетельствует об актуальности поставленной в нашем исследовании задачи. Эту задачу мы видели в создании сети ДКХ на территории Европейской России и в последующем исследовании дендроклиматического потенциала этих хронологий.

Наиболее часто радиальный прирост деревьев коррелирует с одним из трех климатических параметров — с зимними осадками, летними осадками или летними температурами (рис. 2).

Положительная связь приростов с зимними осадками обычно объясняется более обильным и равномерным снабжением растений водой в результате снеготаяния весной и в начале лета, когда это деревьям особенно необходимо. Однако связь приростов с зимними осадками может быть и отрицательной, если снежный покров не сходит слишком долго, что способствует понижению температуры почвы и препятствует всасыванию воды корнями растений. В результате начало камбиальной активности задерживается и образуется узкое кольцо (Vaganov et al., 1999). В засушливых областях, по понятным причинам, часто наблюдается положительная связь приростов с летними осадками (Fritts, 1976). Иногда такая связь наблюдается даже в районах, где нет недостатка влаги, так как рост осадков приводит к увеличению в верхнем слое почвы количества растворенного кислорода и питательных веществ (Stahle et al., 1985). В холодных районах связь приростов с летними осадками может быть отрицательной, но такие случаи встречаются редко (St. George, 2014).

Положительная связь приростов с летними температурами в холодных районах объясняется увеличением интенсивности фотосинтеза и удлинением сезона вегетации при потеплении. Однако, если температура поднимается выше некоторой оптимальной для данного вида, связь с приростами становится отрицательной, так как в этом случае интенсивность фотосинтеза снижается из-за потерь воды в ходе эвапотранспирации (Fritts,1976; Vaganov et al., 2006).

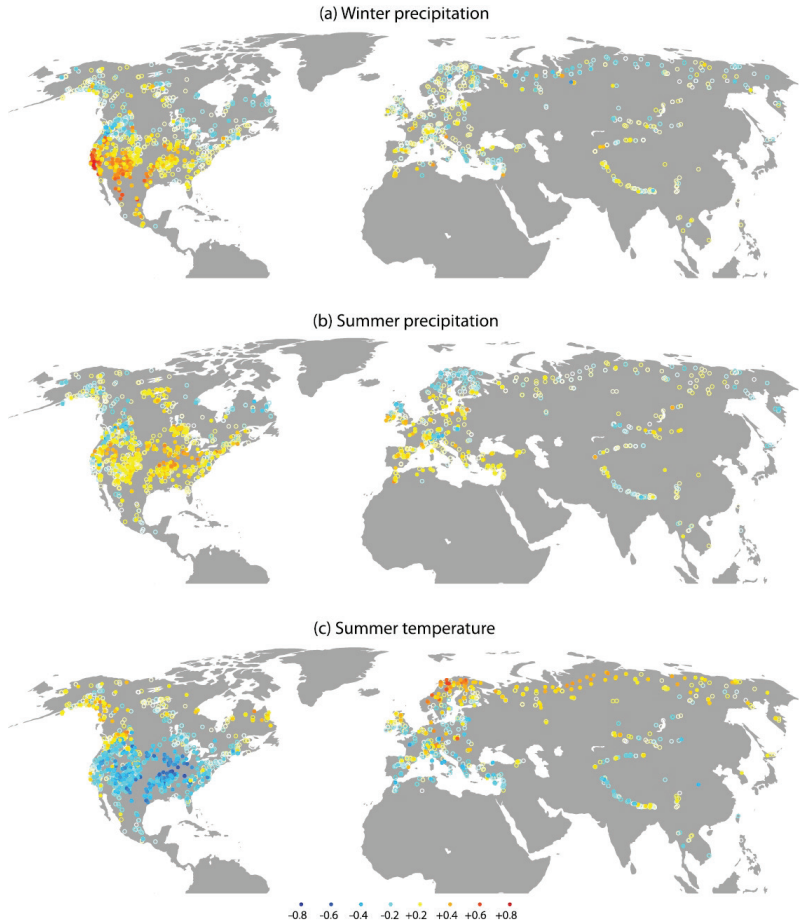


Рис. 2. Климатический сигнал, отраженный в ширине колец деревьев в Северном полушарии. Кружками отмечены коэффициенты корреляции между хронологиями ширины годичных колец и (a) — зимними осадками, (b) — летними осадками, (c) — летними температурами (St. George, 2014).

Fig. 2. Maps showing the magnitude and sign of correlation coefficients between seasonal climate variables and tree-ring widths at sites across the Northern Hemisphere. Circles represent coefficients at each location between ring-width and (a) total winter (DJF) precipitation, (b) total summer (JJA) precipitation, (c) mean summer temperature (St. George, 2014)

В умеренных широтах, где находится область нашего исследования, обычно наблюдается отрицательная связь приростов с летней температурой и положительная — с осадками (St. George, 2014).

Мировой опыт реконструкции засух по дендрохронологическим данным

Обширный опыт реконструкции засух с помощью дендрохронологии имеется в разных странах. Особенно подробно проблема изучена на юго-западе Соединенных Штатов Америки, где работы по созданию таких реконструкций были начаты еще в 1970-х гг. (Stockton, Meko, 1975) и продолжаются по сей день (Hughes, Brown, 1992; Cook et al., 1999, 2014; Herweijer et al., 2007; Griffin, Anchukaitis, 2014). Здесь есть деревья, продолжительность жизни которых достигает нескольких тысячелетий, а их прирост отчетливо зависит от условий увлажнения. В результате этих работ было, например, установлено, что засухи в 1750-х, 1820-х и 1850–1860-х гг. были сходными по масштабам, продолжительности и территориальному охвату с засухой 1950-х гг., однако мегазасуха XVI в. была более суровой, чем любая из случившихся в XX в. (Meko et al., 1995; Woodhouse, Overpeck, 1998; Stahle et al., 2000). В Канадских прериях (штат Альберта) наиболее засушливые условия за последние 500 лет наблюдались в 1720-х гг., тогда как аналог мегазасухи XVI в. здесь не обнаружен (St. George et al., 2009). Недавняя засуха 2012–2014 гг. в Калифорнии, вызванная уменьшением количества осадков и высокими температурами, выглядит суровой, но также не беспрецедентной на фоне изменений климата последнего тысячелетия (Griffin, Anchukaitis, 2014).

На основе данных хронологии, построенной для живых и погребенных дубов в «кукурузном поясе» США для периода 992–2004 гг. было установлено, что более суровые засухи, чем та, что была зафиксирована инструментально как самая экстремальная в 1934 г. (“Dust-Bowl year”), случались трижды за последнее тысячелетие (Stambaugh et al., 2011). Всего за весь период реконструкции выделено 13 эпизодов засух продолжительностью больше десятилетия, причем самая длинная продолжительностью 61 год отмечалась в конце XII в. Засухи здесь случались с периодичностью, близкой к 20 и 128 годам. В Австралии за последнее тысячелетие рекон-

струировано восемь мегазасух, включая одну продолжительностью в 39 лет в 1174–1212 гг. (Vance et al., 2015). На Австралийском континенте наиболее засушливым также было XII столетие.

На севере Китая сильнейшая засуха за последние два столетия отмечалась в 1920-х гг. (Liang et al., 2003; Li et al., 2007). Спектральный анализ показал наличие некоторой цикличности в наступлении засушливых лет (11,4; 9,1; 6,8; 4,0; 2,7 и 2,1–2,0 лет). В Тибете реконструкция индекса сухости за последние пять столетий показывает, что самыми засушливыми были условия в XVII в., а в XVIII–XX вв. увлажненность была близкой к многолетней норме (Wang et al., 2008). Выделены устойчивые периоды в 2–7 и 130–200 лет для всей длины ряда и продолжительностью 16–24 лет для малого ледникового периода (1520–1720 гг.). В Центральной Азии на основе дендрохронологического анализа построены пространственные реконструкции засух с конца XVI в. Они показывают, что эпоха самого высокого увлажнения отмечалась здесь в 1940–1950-х гг., а самое засушливое время было в 1640–1650-х гг., и оно совпало с коллапсом династии Мин (Fang et al., 2010). Во Вьетнаме наиболее суровые засухи за вторую половину тысячелетия отмечались в середине XVIII и в конце XIX в. (Sano et al., 2009).

В Средиземноморье на основе 165 дендрохронологических серий построена пространственная реконструкция индекса сухости Палмера с разрешением 2,5° × 2,5° для апреля–сентября за 1500–2000 гг. (Nicault et al., 2008). Установлено, что в западной части региона XVI в. и первая половина XVII в. характеризовались сильными засушливыми эпизодами, сходными по масштабам с XX в., а XVIII и XIX вв. были преимущественно влажными. В Восточном Средиземноморье засуха конца XX в. была самой значительной за последние 500 лет. Дендрохронологические реконструкции засух построены также для многих других районов мира, в частности для Марокко (Esper et al., 2007), Тасмании (Cook et al., 2000), Монголии (Pederson et al., 2001; Davi et al., 2006), Юго-Восточной Азии (Cook et al., 2010), Фенноскандии (Seftigen et al., 2014) и многих других. Эти реконструкции дают возможность не только установить региональные особенности изменений климата, но имеют непосредственное отношение к анализу таких масштабных климатических процессов, как муссоны, Южная осцилляция, Северо-Атлантическое колебание, Тихоокеанская декадная осцилляция,

а также важны для анализа дальних связей и других особенностей глобального климата. Так, например, частота и интенсивность засух в Юго-Западной Австралии имеет отрицательную корреляцию с осадками в береговой зоне Восточной Антарктиды, которые в последние десятилетия достигают максимальных за последние 750 лет значений (Ommen, Morgan, 2010). С. Хелама с соавторами (Helama et al., 2009) установили, что мегазасуха в Северной Европе совпадала с засухами в районах, находящихся под воздействием Эль-Ниньо в период средневековой климатической аномалии. Авторы этой работы полагают, что причина этой засухи — результат взаимодействия Южной осцилляции и Северо-Атлантического колебания. Э. Кук и соавторы (Cook et al., 2010) указывают на важность пространственной реконструкции засух в Юго-Восточной Азии для исследования изменчивости муссонной активности в прошлом.

Опыт показывает, что реконструкции засух по дендрохронологическим данным возможны не только в районах с ярко выраженным дефицитом увлажнения. Правильный выбор местообитания при отборе образцов дает возможность получить сигнал для увлажненности. Например, успешная реконструкция «гидроклимата» за последнее тысячелетие была выполнена недавно в Германии на материалах годичных колец дуба (Büntgen et al., 2010). В сопредельных с ЕТР районах также обнаружены деревья, ширина колец которых коррелирует с увлажненностью. В частности, такие чувствительные к увлажненности хронологии построены в Литве (Vitas, 2004), Польше (Siwkcki and Ufnalski, 1998; Büntgen et al., 2007; Koprowski et al., 2012), Швеции (Linderholm, 2001), Болгарии (Panayotov et al., 2010), Германии (Büntgen et al., 2010; 2011a), Чехии (Brazdil et al., 2002), Швейцарии (Büntgen et al., 2006), Австрии (Dobrovolny et al., 2015).

В Фенноскандии реконструкция поля SPEI (Standardized precipitation evapotranspiration index — стандартизированный индекс осадков-эвапотранспирации) для июня–августа основана на ширине, максимальной плотности и анализе стабильных изотопов углерода (δ13C) и кислорода (δ18O) (Seftigen et al., 2014). Многолетний опыт исследования периодического высыхания болот во второй половине голоцена в Дании, Финляндии, Германии, Великобритании, Ирландии, Нидерландах, Польше, Швеции, Лит-

ве и Канаде был обобщен недавно в работе Эдвардсона с коллегами (Edvardsson et al., 2016). Рост деревьев на болоте в большой степени регулируется степенью обводненности: во влажные периоды деревья страдают от кислородного голодания. Когда болото пересыхает, прирост древесины, наоборот, увеличивается (Boggie, 1972; Linderholm et al., 2002; Leuschner et al., 2002). В болотах сохраняются горизонты старых деревьев, которые позволяют построить хронологии высыхания болота продолжительностью в несколько тысячелетий и таким образом оценить динамику обводнения-иссушения болот. Помимо большого значения для палеоклиматологии, эти данные незаменимы для оценки баланса углерода, поскольку предполагается, что в засушливых условиях болота могут превратиться из поглотителей углерода в его источник (MacDonald et al., 2006). Перекрестное датирование деревьев из «пневых» горизонтов дает возможность установить конкретные хронологические рубежи этих этапов. В Литве, например, высыхание болот произошло около 300–600 гг. н. э. и после 800 г. (Pukienė, 1997; Edvardsson et al., 2016). Во время средневекового оптимума деревья на болотах имели высокий прирост и в Канаде, что, по-видимому, также свидетельствует об усилении засушливости климата (Arseneault and Payette, 1997). В малом ледниковом периоде распространение деревьев на болотах было ограниченным. Новый этап колонизации болот древесной растительностью начался после конца малого ледникового периода в Эстонии (Smiljanić et al., 2014), Латвии (Edvardsson et al., 2015a), Польше (Cedro and Lamentowicz, 2011) и Швеции (Linderholm and Leine, 2004; Edvardsson and Hansson, 2015). При понижении уровня воды в болотах у деревьев часто формируются придаточные корни (Stoffel and Bollschweiler, 2008). Их дендрохронологическое исследование может дать важный материал для динамики болотных ландшафтов и климата.

В районах со слабым климатическим сигналом для палеоклиматических реконструкций в последнее время все чаще используется анализ стабильных изотопов кислорода и углерода в годичных кольцах (McCarroll and Loade, 2004; Masson-Delmotte et al., 2005; Brugnoli et al., 2010; Panyushkina et al., 2016). Так, например, частота и интенсивность летних засух во Франции за период с 1326 по 2000 г. была оценена на основе анализа изотопов кислорода в годичных кольцах дуба и статистической зависимости этого

показателя от индекса SPEI (r = –0,70). Реконструкция показывает, что в последние десятилетия засушливость усиливается как на юге, так и на севере страны (Labuhn et al., 2016).

Представление о возможностях и ограничениях дендрохронологического метода дает изучение реакции деревьев на «волны тепла», которые все чаще случаются в последние годы. Такая «волна», охватившая Западную Европу летом 2003 г., привела к повреждениям и гибели многих деревьев. Установлено, в частности, что это событие сильно повлияло на водный баланс ели: многие деревья погибли, а выжили те, которые имели существенно более высокую, чем в среднем в популяции, плотность древесины и ширину колец (Martinez-Meier et al., 2008). В Тироле сосна (Pinus sylvestris L.) и ель (Picea abies (L.) Karst.), росшие в разных условиях (экспозиция склонов, увлажненность субстрата и пр.), по-разному отреагировали на климатический экстремум 2003 г. Радиальный прирост сильнее всего уменьшился у угнетенных деревьев сосны из самых сухих местообитаний: в этот год он сократился на 35% по сравнению с периодом 1998–2002 гг. В целом эффект от этой «волны тепла» в Тироле оказался менее значительным, чем ожидалось, скорее всего, потому, что он был сглажен большим количеством осадков поздней весной, которые существенно влияют на прирост деревьев в этих условиях (Pichler, Oberhuber, 2007). С другой стороны, основываясь на дендрохронологическом анализе, Касти с соавторами (Casty et al., 2005) пришел к выводу, что 1540, 1921 и 2003 гг. были в Западной Европе самыми засушливыми за последние 500 лет.

В результате многолетних широкомасштабных работ, связанных с дендрохронологическими реконструкциями в разных районах мира, были составлены Атласы засух Северной Америки (Cook et al., 2004), муссонных районов Азии (Cook et al., 2010) и Старого Света (Cook et al., 2015), которые состоят из серий карт индексов PDSI, реконструированных по дендрохронологии для каждого года. По этим данным можно представить себе пространственную изменчивость PDSI за значительный промежуток времени, сопоставить ее с современными паттернами, оценить масштабы засух в прошлом, в том числе и по отношению к современным. По понятной причине — из-за отсутствия дендрохронологического материала на ЕТР — карты Атласа Старого Света обрываются на границе Польши и России.

С засухами часто связано увеличение частоты лесных пожаров, которая также может быть независимым образом реконструирована по дендрохронологическим данным на основе датирования шрамов, остающихся после низовых пожаров (например, Swetnam, 1993). После засушливых лет деревья более уязвимы для вредителей (Маслов, 1972). Засухи наносят огромный вред сельскому хозяйству. В прошлом засухи и вызванные ими неурожаи часто являлось причиной коллапса средневековых и более ранних цивилизаций. Так, например, в Мексике дендрохронологическая реконструкция с 1474 по 2001 г. показала, что семь главных сельскохозяйственных кризисов в истории страны связаны с засухами и неурожаем кукурузы (Therrell et al., 2006).

Обзор российских работ и основные проблемы дендрохронологии в центре ЕТР

На европейской территории России динамику атмосферных и почвенных засух изучают больше столетия, как на основании непосредственных гидрометеорологических наблюдений (Воейков, 1887; Дроздов, 1980; Золотокрылин, 2013; Фролов, Страшная, 2011; Schubert et al., 2014), так и по историческим источникам (Боголепов, 1907; Бучинский, 1957; Борисенков, Пасецкий, 1988; Изменчивость климата Европы, 1995; Клиге и др., 1998), а также при помощи стратиграфических (Раунер, 1981; Изменчивость климата Европы, 1995; Попова, 2001) и биоиндикационных методов, в частности дендрохронологии (Шведов, 1892; Чернавская, 1985; Кренке, Чернавская, 2002; Матвеев, 2003; Матвеев и др., 2012а; Мацковский, 2013; Соломина и др., 2016).

Многочисленные работы наших предшественников показывают, что прирост древесины основных пород в центральной части Восточно-Европейской равнины зависит от многих гидрометеорологических факторов. Так, А. А. Молчанов (1976) пришел к выводу об отсутствии однозначного соответствия между приростами ели (Смоленская обл.), сосны (Московская обл.) и дуба (Тульская обл.) и среднегодовыми метеорологическими характеристиками. По всей вероятности, это связано с тем, что при подобном анализе важно использовать сезонные, среднемесячные и даже декадные, а не среднегодовые параметры климата. Т. Т. Битвинскас (1984)

проанализировал климатический сигнал в 260 хронологиях сосны и дуба по профилю Мурманск–Карпаты и отметил, что на прирост оказывает существенное влияние температура зимних месяцев (преимущественно января и февраля) и температура начала периода вегетации (март-апрель). Подробный дендроклиматологический анализ приростов ели и дуба был проведен З. Н. Самаровой (1992) в Брянском лесном массиве на основе 32 пробных площадей. Она установила, что благоприятные условия для прироста ели создаются в случае, если в начале сезона вегетации в мае выпадает мало осадков в связи с тем, что ель, как правило, произрастает в условиях верховодки и поэтому ранней весной получает достаточно влаги. Дуб, напротив, отрицательно реагирует на недостаток воды в мае, сравнительно терпим к меньшему увлажнению в июне и положительно реагирует на его повышение в августе. Прирост обеих пород отрицательно коррелирует с температурой января, поскольку в условиях теплой зимы физиологические процессы в деревьях ускоряются и запас питательных веществ расходуется больше, чем в холодные зимы, что отражается на приросте древесины в вегетационный период. А. Н. Кренке и М. М. Чернавской (Изменчивость климата Европы, 1995) отмечена положительная связь прироста ранней древесины сосны и температур воздуха в декабре предшествующего года и марте текущего года, а также показано, что фактором, ограничивающим рост сосны на территории центра ЕТР, является высокая температура начала лета.

Очевидно, что на ЕТР при движении на юг и юго-восток происходит усиление климатического сигнала, отраженного в ширине годичных колец. С. М. Матвеев и др. (2012б) показали, что основным метеорологическим фактором, влияющим на годичный прирост сосны в Воронежской области, является сумма осадков с апреля по октябрь, причем сильные засухи (1939, 1972 и 2010 гг.) наблюдались только после нескольких (2–3) лет с дефицитом осадков и обязательно в комбинации с высокими температурами воздуха.

Наиболее подробное и систематическое исследование отклика ширины колец хвойных на ЕТР на климатические колебания было выполнено В. В. Мацковским (2013). Анализ показал, что в целом граница между деревьями (сосна, ель, лиственница и дуб), чувствительными к изменениям температур и зависящими от гидротермического режима, проходит на Русской равнине примерно на уровне

55°–60° с. ш. Теоретически, южнее этих широт по ширине годичных колец хвойных в некотором приближении можно восстановить изменения засушливости климата.

К сожалению, в этих староосвоенных районах перестойные леса почти не сохранились. Наш опыт показывает, что возраст живых деревьев здесь редко превосходит 100–150 лет. 200-летние деревья уже являются большой удачей для дендрохронолога. Таким образом, поиск деревьев старше столетия в этом регионе представляет собой самостоятельную нетривиальную задачу. Наибольшее число наших пробных площадей, о которых пойдет речь в этой работе, расположено в заповедниках и национальных парках, а также вблизи монастырей и кладбищ, где вырубка деревьев была, фактически, многие годы табуирована. Для продления некоторых хронологий мы использовали древесину из старых строений и археологических источников. Особенности работы с этим источником палеоклиматических данных описаны в главе 4 части 4.

Работа по созданию длинных древесно-кольцевых хронологий в районах умеренного климата, где возраст деревьев невелик, а древесина плохо сохраняется, обычно продолжается десятилетиями (см., например, работы по созданию Новгородской шкалы Б. А. Колчина (1963), Н. Б. Черных (1996) и др.). В 1990-х гг. масштабный проект по отбору образцов древесины и построению ДКХ современного образца был проведен международной экспедицией с участием британских, швейцарских и российских ученых (Schweingruber and Briffa, 1996; Briffa et al., 2001, 2002; Ваганов, 1996), но он проводился на северной границе леса и умеренную зону не захватывал. Эти данные были выложены в открытый доступ (ITRDB) и являются фактически единственным доступным дендрохронологическим источником на ЕТР. Американские исследователи (M. Hughes и др.) проводили работы в центральной части ЕТР, однако основная цель их проекта состояла в изучении влияния CO_2 на прирост деревьев, а результаты этих исследований пока не опубликованы. Хронологии, созданные российскими исследователями для территории ЕТР (например, Битвинскас, 1974; Молчанов, 1976; Ловелиус, 1979; Chernavskaya et al., 1996; Пушин и др., 2000; Лопатин, Алексеев, 2009; Lopatin et al., 2006; Kononov et al., 2009; Румянцев, 2010; Матвеев и др., 2012а, б и др.), обычно не включены в международные базы данных и недоступны

в цифровом виде, а потому не могут быть использованы в настоящее время для пространственно-временных реконструкций.

Таким образом, несмотря на почти вековую историю, которая началась с работы Шведова (1892) об исследовании засух в г. Одессе, уровень дендрохронологической изученности европейской части России остается низким. Достоверных пространственно-временных реконструкций, выходящих за пределы периода инструментальных наблюдений, для Русской равнины пока нет. Для этого имеются как объективные, так и субъективные причины. Создание длинных хронологий и на их основе пространственно-временных дендрохронологических реконструкций требует систематических, долгосрочных программ и объединения усилий специалистов разного профиля — географов, биологов, лесоведов, археологов, искусствоведов, реставраторов и широкой публики. Результаты исследований, изложенные в этой книге, являются частью такой долгосрочной программы, которая осуществляется в Институте географии РАН с партнерским участием других организаций, в первую очередь Института археологии РАН, Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Московского государственного университета леса, многих заповедников и национальных парков.

Методика дендрохронологических исследований

Согласно протоколу дендрохронологических исследований (см., например, Cook and Kairiukstis, 1990), образцы древесины (керны и спилы) на дендроклиматический анализ отбираются на некоторой ограниченной территории с однородными орографическими, почвенными и микроклиматическими условиями — пробной площади. Координаты выбранных площадок фиксируются при помощи GPS и отмечаются на космическом снимке или карте. Деревья на площадках выбираются наиболее старые, отдельно стоящие, не угнетенные, не поврежденные (Schweingruber, 1988; Cook and Kairiukstis, 1990). Для уменьшения вероятности выпавших или ложных колец с одного ствола обычно отбираются по два керна по двум произвольным радиусам (Stokes and Smiley, 1968) на высоте 1–1,5 м от поверхности земли. Образцы, использованные в этой работе, отбирались возрастным буром Пресслера (рис. 3). Транспортировка собранных

образцов древесины осуществлялась в контейнерах, чтобы исключить поломку кернов. Каждый образец древесины был закодирован уникальным цифровым и буквенным кодом. В некоторых случаях на тех же пробных площадях были сделаны спилы с пней или сухих деревьев. Особенности отбора и анализа образцов древесины, отобранных из архитектурных памятников и археологических раскопок, описаны в главе 4 части 4.

Рис. 3. Возрастной бур Пресслера (фирмы Haglöf) с экстрактором
Fig. 3. Pressler increment borer (Haglöf) with extractor

Дальнейшая обработка образцов проводилась в дендрохронологической лаборатории Института географии РАН в соответствии с общепринятыми методическими требованиями древесно-кольцевого анализа (Шиятов и др., 2000; Cook and Kairiukstis, 1990). Керны были вклеены в деревянные подложки и отшлифованы для увеличения контрастности колец. Далее на боковые поверхности деревянной основы был нанесен шифр образца для исключения ошибки в идентификации образцов. Для увеличения контрастности колец керны полировались с помощью шлифовальной бумаги различной зернистости (Orvis and Grissino-Mayer, 2002). Затем, зная точную календарную дату отбора образца, проводили разметку и предварительную датировку колец (Шиятов и др., 2000). Годичные кольца были посчитаны и размечены по десять, пятьдесят и сто лет.

Годичное кольцо — это слой древесины, образовавшийся за один год (рис. 4). Оно подразделяется на слой ранней и поздней древесины. Как правило, измерения ширины годичных колец

производились на полуавтоматической установке Lintab v 3.0 (Rinn, 1996), состоящей из стереомикроскопа, измерительного стола, с помощью которого осуществляется равномерная подача керна или спила по направлению измерений, а также компьютера как накопителя измеренных данных. Точность измерений — 0,01 мм. При работе на этой установке, при нажатии мыши величина ширины годичных колец автоматически фиксируется компьютерной программой. В нашем случае это программа TSAP (Time Series & Analysis Presentation — программа анализа и перекрестной датировки дендрохронологических серий и графического представления результатов обработки данных). Другой способ, который также применялся здесь в ряде случаев, — измерение ширины колец при помощи специализированных программ CooRecorder® и CDendro® (http://www.cybis.se/forfun/dendro/). Для этого образцы предварительно

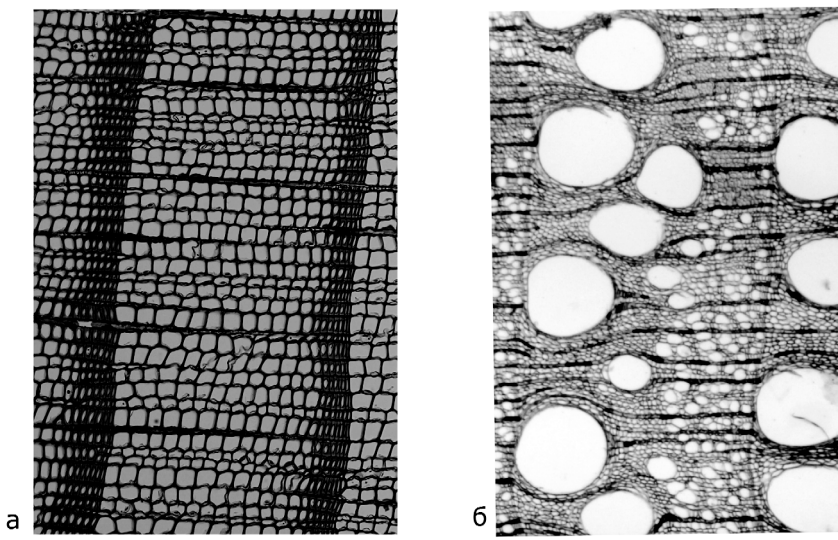


Рис. 4. Поперечный срез (а) — хвойного дерева, где показаны годичное кольцо, светлая часть кольца — ранняя древесина, темная часть кольца — поздняя древесина; (б) — дуба, где ранняя древесина — слой с крупными сосудами, поздняя — полоса более плотной древесины

Fig. 4. Transverse sections of conifer tree (a) where light part — earlywood, dark — latewood and (b) ring-porous oak where large vessels — early wood, small vessels — late wood

сканируются с высоким разрешением (свыше 1200 dpi), а ширина колец определяется полуавтоматически. Оператор проверяет корректность выделения границ и вносит необходимые поправки.

После измерения ширины колец проводился контроль качества измерений и поиск выпадающих и ложных колец методом перекрестного датирования (Fritts, 1976). Этот метод основан на том, что в районе с климатически однородными условиями изменения ширины годичных колец происходят синхронно. Чередование узких и широких колец неповторимо во времени, поэтому совместить графики изменения ширины годичных колец у сравниваемых образцов можно лишь в пределах строго определенного участка дендрохронологической шкалы. Фактически производится сравнение рисунка ширины колец у дерева неизвестного возраста с мастер-хронологией (древесно-кольцевой хронологией известного временного интервала) и выбор точного участка, где соответствие между ними наибольшее. Именно таким способом можно связать ширину колец живых деревьев и древесины неизвестного возраста и определить время формирования последней с точностью до года. В нашем случае на первом этапе анализировались керны с живых деревьев, когда год формирования последнего кольца известен. Каждый датированный образец последовательно добавляется к хронологии, и с добавлением каждого нового ряда достоверность мастер-хронологии увеличивается.

Датирование проводилось в программе COFECHA, которая позволяет произвести контроль качества полученных древесно-кольцевых серий. Для проверки правильности датировки программа COFECHA преобразовывает серии измерений с помощью короткого кубического сплайна, а затем сравнивает все полученные серии и выявляет проблемные участки (Holmes, 1983). Каждая индивидуальная серия делится на сегменты по 50 лет, каждый сегмент имеет общий интервал продолжительностью 25 лет с соседним сегментом и т. д. Значения коэффициентов корреляции определяются программой для каждого сегмента серии, что наиболее точно может указать на ошибку датирования. Статистически значимым считается коэффициент корреляции, значение которого более чем 0,3281. Отсутствие значимой корреляции указывает на ошибку датирования отдельного фрагмента керна либо всего образца. Программа COFECHA позволяет определить абсолютный возраст

погребенной древесины, спилов с пней и других объектов неизвестного возраста относительно имеющихся хронологий.

Величина прироста древесины зависит не только от колебаний климата, но и от многих других причин, в частности, от возраста дерева и конкурентных отношений в древостое. Поэтому в дендрохронологии принято оперировать не абсолютными значениями ширины колец, а безразмерными индексами, которые рассчитываются для каждого образца в отдельности путем соотношения значения ширины кольца к значению на кривой, аппроксимирующей биологический тренд роста дерева.

Обычно при индексировании для каждого образца подбирают индивидуальную биологическую кривую роста, и индексы рассчитываются путем деления или вычитания значения ширины (плотности) кольца из соответствующего значения на аппроксимирующей кривой:

$$I_t = R_t / G_t, \quad (1)$$

где I_t — индекс годичного кольца, R_t — фактическая ширина годичного кольца, G_t — норма прироста.

Предполагается, что молодое дерево в первые годы жизни наиболее устойчиво к внешним стрессам, таким как недостаток тепла или влаги. В связи с этим вначале кривая имеет положительный уклон. С возрастом абсолютный годовой прирост уменьшается и может быть описан убывающей экспоненциальной кривой. В результате индексирования получаются так называемые «индивидуальные» серии. Как правило, для индексирования в нашем случае использовалось деление, а для получения обобщенной хронологии по пробной площади отдельные древесно-кольцевые серии усреднялись специальным методом робастно устойчивого двухвесового среднего (Cook, 1985). Использование робастного среднего необходимо, поскольку изменчивость ширины колец в хронологиях меняется во времени и зависит от количества включенных в хронологию образцов.

В этой работе для индексирования большинства серий мы использовали программу ARSTAN (AutoRegressive STANdardization) (Cook, 1985) версия 3.02V. Она предоставляет возможность подбора кривой роста для каждой отдельной древесно-кольцевой се-

рии в интерактивном режиме. При стандартизации ширины годичных колец применялась негативная экспонента, линейная функция с отрицательным или нулевым уклоном или кривая Хугерсхофа (Hugershoff) (Warren, 1980; Bräker, 2002). Эта кривая включает в себя функции полинома и отрицательной экспоненты (рис. 5). В некоторых случаях для выявления высокочастотных ритмов более рациональным было использование отклонений значения прироста за год от среднего за несколько лет (см. часть 2, глава 2).

Ширина колец, так же как и индексированные данные, обладают инерционностью или автокорреляцией в виду физиологических особенностей роста дерева (Fritts, 1976). Это означает, что климат в год t влияет на прирост дерева не только в этот год, но и в последующие годы t+1, t+k. Именно поэтому прирост года t коррелирует с приростом предыдущих лет. Э. Кук (Cook, 1985) для удаления автокорреляционной составляющей предложил использовать модель авторегрессии, которой моделируется каждый из индивидуальных рядов индексов, после чего вычисляется ряд остатков. Далее полученные ряды усредняются, в результате чего получаются так называемые «выбеленные» остаточные хронологии (Residuals — RES). Этот процесс позволяет усилить сигнал высокочастотной составляющей климатической изменчивости в хронологиях. В программе ARSTAN также вычисляются стандартная хронология (Standard — STD) без удаления авторегрессии и арстановская хронология (Arstan), в которую возвращается климатически обусловленный низкочастотный сигнал, удаленный из остаточных серий. Если в процессе стандартизации неклиматический сигнал в сериях удален корректно, арстановская хронология должна не слишком отличаться от стандартной. Выбор способа индексирования зависит от задачи исследования. Для выявления высокочастотного сигнала обычно используют остаточные хронологии, в то время как стандартные хронологии лучше отражают декадную изменчивость. В этой работе мы использовали все три типа хронологий (RES, ARSTAN, STD).

Известно, что в результате индексирования существует опасность искажения трендов долгопериодной климатической изменчивости в дендрохронологических рядах. Эта проблема является предметом многолетних дискуссий дендрохронологов (Fritts, 1976; Cook and Kairiukstis, 1990; Briffa et al., 1992; Melvin et al., 2007;

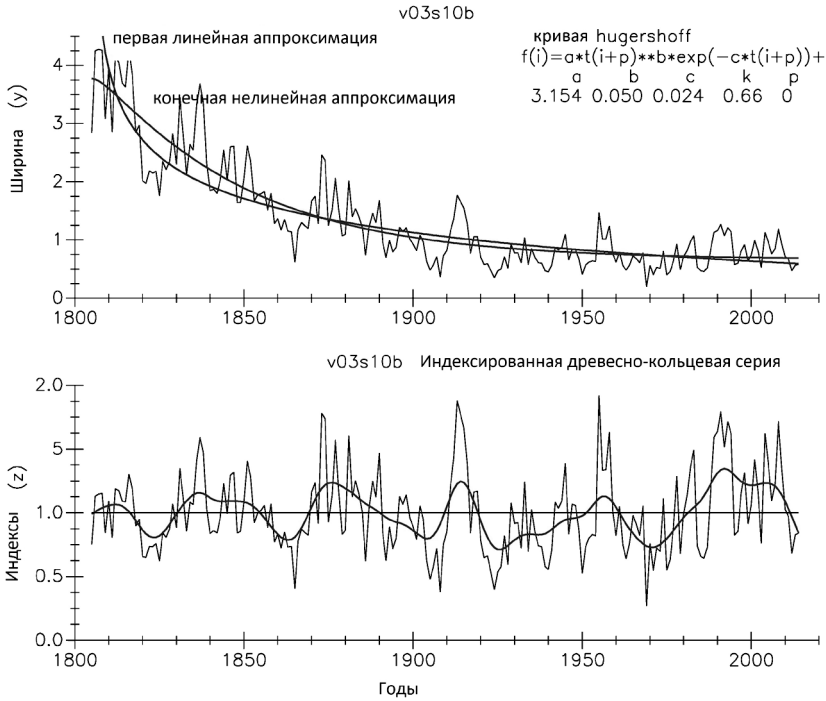


Рис. 5. Пример индексирования образца ширины колец в программе ARSTAN
Fig. 5. Example of tree-ring width standardization procedure using ARSTAN software

Briffa, Melvin, 2011; Matskovsky, Helama, 2014). Для сохранения долгопериодной изменчивости в рядах в последние годы многими исследователями (Esper et al., 2003; Frank et al., 2005) возрастной тренд удаляется при помощи так называемой стандартизации региональной кривой (Regional Curve Standardization — RCS). Суть метода основывается на предположении, что все деревья, растущие в сходных климатических условиях, имеют одинаковую кривую роста. Для ее определения все древесно-кольцевые серии упорядочивают по камбиальному возрасту, который потом аппроксимируют некоторой сглаживающей функцией и используют для стандартизации (Esper et al., 2003; Melvin et al., 2007). Известно, что этот метод является ненадежным в случае использования выборки, со-

стоящей только из живых деревьев, которое приводит к ошибкам на концах хронологии. В связи с этим в данной работе метод RCS не был применен ввиду отсутствия субфоссильной древесины с датами гибели, существенно отличными от времени жизни современных живых деревьев. К тому же опасность потери долгопериодного сигнала в меньшей степени относится к дендрохронологическим реконструкциям засух, так как в динамике засух преобладают высокочастотные колебания, которые меньше деформируются при процедуре индексирования.

Для оценки качества дендроклиматических рядов использовались коэффициент чувствительности и стандартное отклонение рядов относительного прироста, в которых исключены различия в величине прироста, обусловленные индивидуальными и возрастными особенностями деревьев. Коэффициент чувствительности оценивает величину межгодовой изменчивости прироста, а стандартное отклонение — амплитуду его изменчивости. Чем выше коэффициент чувствительности и стандартное отклонение, тем более сильный климатический сигнал содержится в хронологии (Cook and Kairiukstis, 1990). Средняя чувствительность хронологий рассчитывается как отношение разности индексов прироста двух соседних колец к их среднему значению. Значения средней чувствительности варьируют от 0 до 2. Чем выше значение, тем, предположительно, сильнее оказывал влияние лимитирующий фактор (факторы) (Fritts, 1976).

Качество хронологии оценивается с помощью разных показателей, в том числе EPS (Expressed Population Signal — выраженный популяционный сигнал) (Briffa, 1995). Значения EPS в нашем случае были рассчитаны для каждой хронологии с помощью 30-летнего «плавающего» окна с 29-летним перекрытием. Значение индекса EPS0,85 гарантирует, что ширина кольца за данный год адекватно отражает прирост всей совокупности (Wigley et al., 1984).

Связь между хронологиями оценивалась с помощью корреляционного анализа. Дополнительно применялся метод главных компонент и кластерный анализ, главная цель которого — нахождение групп схожих объектов в выборке (Айвазян, 1985).

Для определения статистических связей между различными климатическими параметрами и индексами древесно-кольцевых хронологий также использовался корреляционный анализ.

Рассчитывались коэффициенты корреляции Пирсона дендрохронологических данных с ежемесячными или ежегодными параметрами за период январь–октябрь текущего года прироста и май–декабрь предыдущего года (Fritts, 1976).

Для палеоклиматических реконструкций на основе дендрохронологических данных выбирают месяцы, для которых связи дендрохронологических и метеорологических параметров являются статистически значимыми и объяснимыми с экологической точки зрения. Обычно используют метод линейной или, реже, множественной регрессии и, в случае если связи оказываются недостаточно сильными, метод главных компонент. Идея метода состоит в том, чтобы преобразовать множество объясняющих переменных в новое множество попарно некоррелированных переменных, среди которых первая соответствует максимально возможной дисперсии, а другая — максимально возможной дисперсии в подпространстве, ортогональном первому, и т. д. То есть происходит ортогональное преобразование, что, с геометрической точки зрения, представляет собой вращение p-мерного векторного пространства вокруг начала координат (где p — количество объясняющих переменных). Таким образом, в результате данного преобразования возникают новые объясняющие переменные (количество которых, кстати, не изменяется), которые в свою очередь являются линейными комбинациями исходных переменных. В этой работе мы использовали как метод линейной регрессии, так и метод главных компонент (Айвазян, 1985).

После того как установлена связь метеорологических показателей с древесно-кольцевыми хронологиями, строится регрессионная модель, позволяющая перейти от показателей ширины и плотности кольца к климатическим параметрам. При создании статистической модели, описывающей связь дендрохронологических показателей с метеорологическими, калибровочный ряд обычно делят на две части: собственно, калибровочную и верификационную для того, чтобы проверить устойчивость модели.

Для выявления ритмической составляющей в сериях дендрохронологических и метеорологических данных мы использовали преобразование Фурье и вейвлет-анализ. Вейвлет-анализ проведен в интерактивном режиме на сайте http://ion.researchsystems.com/IONScript/wavelet/ (Torrence and Compo, 1998).

Для оценки устойчивости климатического сигнала во времени была использована климатическая функция отклика, которая, в отличие от корреляционных связей, рассчитывается как регрессия на главные компоненты. При таком расчете учитывается взаимная корреляция климатических параметров и, следовательно, уменьшается вероятность обнаружения случайных корреляционных связей с приростом деревьев. Для этого в работе использовалась программа DendroClim (Biondi and Waikul, 2004), в которой корреляция Пирсона и климатическая функция отклика были посчитаны для 15 месяцев, а именно с мая по декабрь предшествующего приросту года, а также с января по октябрь текущего года.

В работе также представлен анализ отдельных лет с положительными и отрицательными аномалиями прироста у значимой части деревьев (реперные годы) (Schweingruber et al., 1990; Neuwirth et al., 2004, 2007). При анализе аномалий прироста реперными считались годы, когда больше 30% деревьев имели прирост больше (меньше) одного стандартного отклонения. Расчет производился после высокочастотной фильтрации исходных рядов измерений 13-летним скользящим средним. Это позволило устранить влияние возраста и локальных факторов. Для определения реперных лет была использована программа PointerYears, которая находится в свободном доступе (http://paleoglaciology.org/ru/TreeRingLab/). Для анализа реперных лет дуба использовалось несколько подходов, в частности, метод Беккера (Becker et al, 1994; Merian and Lebourgeois, 2011), метод Кроппера (Cropper, 1979) и метод Швайнгрубера (Schweingruber et al, 1990). При наличии нескольких лимитирующих факторов такой анализ может дать дополнительную информацию об их влиянии на синхронный аномальный прирост деревьев. Метод «наложенных эпох» (Lough and Fritts, 1987) был использован для анализа экстремальных гидрометеорологических событий в Воронежской области (см. часть 3, глава 3).

Массив использованных гидрометеорологических данных

Для выявления связей ширины и оптической плотности годичных колец с метеорологическими показателями мы использовали разные архивы, в том числе, например, архив метеоданных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (http://meteo.ru/) по 600 метеостанциям

на территории бывшего СССР (Razuvayev et al., 1993). Архив содержит суточные данные по минимальным, максимальным, средним температурам воздуха и осадкам, в котором содержатся данные до 2010 г. включительно. Ряды измерений на некоторых станциях архива начинаются с 1881 г. Для данного архива В. В. Мацковским была разработана специальная программа для проверки на ошибочные значения и их исправления, исправлено более 3000 ошибочных значений. Для анализа мы также использовали ежемесячные значения минимальной, максимальной, средней температуры воздуха и атмосферных осадков и агроклиматические характеристики: годовые суммы температур больше 0 °C ($T > 0$), 5 °C ($T > 5$), 10 °C ($T > 10$) и 15 °C ($T > 15$), суммы осадков за период с отрицательной температурой P ($T < 0$), с температурами больше 0 °C P($T > 0$), 5 °C P($T > 5$), 10 °C P($T > 10$) и 15 °C P($T > 15$) и гидротермический коэффициент Селянинова, полученные по суточным данным.

Кроме того, привлекались срочные (3-часовые) данные по 493 станциям (117 станция для исследуемой территории), охватывающие период с 1966 по 2010 гг.

В работе использованы также следующие сеточные архивы:

1) CRU TS3.27 (http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/) с ежемесячными значениями за период 1901–2012 гг. и с разрешением 0,5 градуса по широте и долготе (Harris et al., 2013). Сеточные данные получены интерполяцией измерений на метеостанциях (Mitchell et al., 2004; Mitchell and Jones, 2005). В них содержатся следующие параметры: минимальные, максимальные и средние температуры воздуха, осадки, облачность (в процентах), амплитуда суточных температур, частота морозных дней, частота дней с осадками и давление водяного пара.

2) University of Delaware Precipitation and Air Temperature (http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.UDel_AirT_Precip.html) с ежемесячными значениями за период 1901–2010 гг. и с разрешением 0,5 градуса по широте и долготе. В нем содержатся данные о среднемесячной температуре и месячной сумме осадков. Особенностью архива является большое количество метеостанций, использованных для интерполяции в регулярную сетку.

Для непосредственного анализа связи характеристик годичных колец деревьев с характеристикой засушливости использованы также следующие архивы:

1) Индекс суровости засухи Палмера (Palmer Drought Severity Index, PDSI; http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.pdsi.html), являющийся интегральной характеристикой температуры и осадков. Индекс PDSI отражает не только засушливые условия, но и условия переувлажнения. Имеется глобальный архив данных с ежемесячными значениями индекса PDSI с 1850 по 2010 г. в узлах сетки с разрешением 2,5 градуса по широте и долготе (Dai, 2011).

2) Архив модельных данных по глобальной влажности почв CPC Soil Moisture (Fan and van den Dool, 2004), NOAA (http://www.esrl.noaa.gov/psd/). Архив представляет собой ежемесячные модельные данные с разрешением 0,5 градуса по широте и долготе за период с 1948 г. и постоянно обновляемый до текущего года.

3) Архив индекса увлажнения (Willmott and Feddema's Moisture Index Archive, http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2011/Precip_revised_3.02/README.GlobalImTs2011.html; (Willmott and Feddema, 1992)) с ежемесячными данными за 1901–2010 гг. в узлах сетки с разрешением 0,5 градуса по широте и долготе.

В дополнение к вышеперечисленным архивам, мы использовали данные реанализа за XX в. (20th Century Reanalysis V2), охватывающие на сегодняшний день наиболее длительный период времени (Compo et al., 2011). В него, в частности, входят влажность почвы, толщина снежного покрова, влагосодержание воздуха, облачность, суммарная транспирация и другие величины, ежемесячные значения которых будут использованы в нашей работе. Пространственное разрешение данных — около двух градусов по широте и долготе. Хотя точность воспроизведения этими моделями многих условий пока далека от идеала, сравнение древесно-кольцевых данных с ними представляет определенный интерес, так как все эти параметры могут напрямую или косвенно влиять на рост деревьев. Учитывая, что реанализ XX в. основан только на данных об атмосферном давлении (без привлечения других метеорологических параметров), нами также были использованы другие реанализы (охватывающие более короткие периоды): ERA-Interim (Dee et al., 2011), NCEP-CFSR (Saha et al., 2010), NASA-MERRA (Rienecker et al., 2011).

Помимо сетевых данных, мы пользовались рядами наблюдений на отдельных метеостанциях и гидропостах, расположенных в непосредственной близости от мест отбора образцов.

Для сопоставления прироста деревьев с характеристиками циркуляции атмосферы мы использовали 5 индексов циркуляции для Северного полушария с веб-сайта NOAA (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml): North Atlantic Oscillation (NAO) — Североатлантическое колебание, East Atlantic (EA) — Западноатлантическая, East Atlantic/Western Russia (EAWR) — Западноатлантическая/Восточнороссийская, Scandinavia (SCAND) — Скандинавская и Polar/Eurasia (POLAR) — Полярная дальние связи.

Использованные древесные породы

Массовый дендрохронологический материал для этой работы был получен для трех пород — ель европейская (*Picea abies (L.) H. Karst.*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*) и дуб черешчатый (*Quercus robur L.*). Их распространение показано на картах (рис. 6).

Северная граница ели европейской проходит по Кольскому полуострову, далее идет южнее Полярного круга к Уралу. Южная граница близка к северной границе чернозема. Ель растет на свежих супесчаных и суглинистых, предпочтительно слегка влажных почвах. Сухость почвы и воздуха переносит плохо. Устойчива к затенению и к морозам, боится ветровалов.

Дуб черешчатый — одна из самых распространенных пород широколиственных лесов. На востоке его ареал доходит до водораздела рек Волги и Урала, на севере — до южной Финляндии. Дуб теплолюбив, страдает от поздних весенних заморозков. Лучше всего растет на мощных серых лесных суглинистых почвах и деградированных черноземах.

Сосна обыкновенная имеет самый широкий ареал, распространена от лесотундры до степной зоны и характеризуется большим количеством экотипов. Эта порода светолюбива, устойчива к холоду и жаре, а также к недостатку влаги, нетребовательна к плодородию (олиготроф) и влажности почвы (мезоксерофит). Она растет на песчаных, супесчаных, подзолистых, каменистых, реже черноземных почвах, на скалах, на болотах. Благодаря своему широкому распространению именно сосна обыкновенная стала основным объектом нашего исследования.

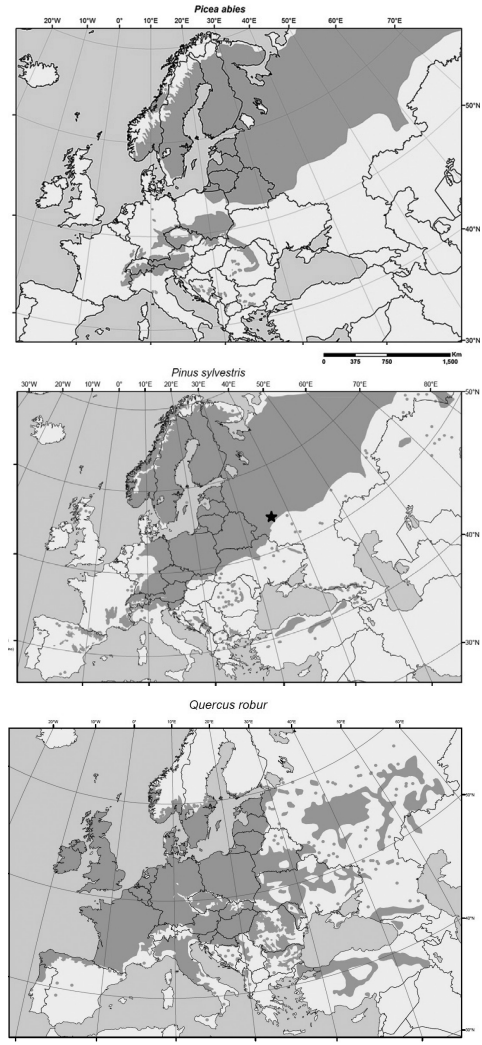


Рис. 6. Естественное распространение ели, сосны и дуба в Евразии. Звездочкой отмечено расположение дендрохронологической площадки сосны, используемой в главе 1 части 4 для анализа плотности годичных колец. (По: EURORGEN2009, www.euforgen.org)

Fig. 6. Natural distribution area of spruce, pine and oak in Eurasia (EUFORGEN2009, www.euforgen.org). Asterisk indicates tree-ring site location used in Part 4 Chapter 1 for Blue Intensity analysis

Помимо трех указанных выше пород, дендрохронологическому анализу были подвергнуты такие виды, как пихта сибирская (*Abies sibirica Ldb.*), бархат или амурское пробковое дерево (*Phellodendron amurense Rupr.*), сосна румелийская (*Pinus peuce Griseb.*), дуб красный (*Quercus rubra L.*), сосна веймутова (*Pinus strobus L.*), ель восточная или кавказская (*Picea orientalis(L.) Link*), туя западная (*Thuja occidentals L.*), ясень пенсильванский (*Fraxinus pensylvanica*), ель Шренка или Тянь-Шанская (*Picea SchrenkianaFischet. C.A. Mey*), псевдотсуга Мензиса или Дугласова пихта (*Pseudotsuga menziesii*), произрастающие на территории Подмосковья в условиях интродукции.

Структура монографии

В этой работе мы представляем результаты исследований климатического сигнала в ширине и оптической плотности годичных колец в центральной части Восточно-Европейской равнины. Для этого нами были построены 59 хронологий ширины колец сосны обыкновенной, ели европейской и дуба черешчатого, а также некоторых интродуцентов. Кроме того, отдельно проведены измерения и построены хронологии ранней и поздней древесины и хронологии оптической плотности древесины сосны в Калужской области. Проведен корреляционный анализ ширины и плотности годичных колец с климатическими параметрами по данным регулярной метеорологической сети и реанализа и выявлены климатические характеристики, влияющие на радиальный прирост и плотность древесины в этом районе.

В написании монографии принимали участие специалисты разного профиля. Каждая глава имеет авторство и представляет собой законченное исследование, однако все они подчинены единой цели: исследовать возможности реконструкции гидрометеорологических параметров в центральной части ЕТР на основе дендрохронологии. Монография разбита на 4 части, которые, в свою очередь, делятся на главы. Рисунки и таблицы пронумерованы в отдельности для каждой главы. Заключительная глава является синтезом полученных знаний и сопоставлением представленных результатов с выводами других исследователей.

В первой главе представлен анализ инструментальных данных о засухах на ЕТР. Во второй рассматриваются физиологические основы формирования засухозависимого климатического сигнала

в хронологиях. В третьей приводится обзор массового дендрохронологического материала, использованного нами для пространственно-временного анализа и статистические данные по отклику ширины колец деревьев на ЕТР. К этой главе в конце монографии имеются обширные приложения в виде рисунков и таблиц, отражающие климатическую функцию отклика для каждой использованной в работе ДКХ. В четвертой главе рассматриваются возможности нелинейных статистических методов для оценки влияния климатических условий на ДКХ. Пятая глава рассказывает о возможностях использования для древесно-кольцевых реконструкций на ЕТР оптической плотности древесины, а также ширины кольца ранней и поздней древесины. В шестой — рассматриваются возможности реконструкции индексов засушливости и речного стока на ЕТР с помощью дендрохронологии на примере Поволжья. Седьмая рассказывает о перспективах сочетания аэрокосмических и дендрохронологических методов. Восьмая посвящена возможностям продления хронологий с помощью археологической и строительной древесины. В заключительной главе обсуждаются результаты работ в контексте результатов, полученных другими исследователями в этой области.

Благодарности

Мы благодарим наших коллег-археологов, которые оказали неоценимую помощь в этой работе — А. А. Карпухина, И. В. Болдина, Г. И. Массалитину, И. Н. Ершова, А. Н. Смирнова, Г. Н. Пронина, Б. Е. Янишевского, Д. А. Седова, А. В. Алексеева, А. Л. Каретникова, Д. (Чижа) Давыдова, А. С. Лазарева, П. Г. Дервица. Особая признательность — Н. А. Кренке, который фактически инициировал нашу работу по созданию сверхдлинной древесно-кольцевой хронологии Русской равнины и предоставил важнейшие материалы для ее создания.

В отборе образцов, помимо авторов этой книги, принимали участие М. Ю. Александрин, А. В. Батов, О. Ю. Вавер, Е. А. Грабенко, А. В. Долгих, Р. С. Жуков, М. Н. Иванов, А. В. Кудиков, Т. М. Кудерина, Н. А. Ломакин, Л. О. Максименков, О. Е. Максимова, В. Н. Михаленко, П. А. Морозова, И. О. Павлова, П. Д. Полумиева, Е. С. Пугачева, П. Г. Родимцев, Т. Сильцова, Б. Я. Франкштейн,

Ю. Черникова и многие другие наши коллеги и друзья, студенты и аспиранты. Отдельное спасибо Д. В. Тишину (Казанский университет) за помощь в полевых исследованиях восточной части ЕТР. Мы благодарны К. Е. Смирнову, который нас возил по необъятным просторам Русской равнины.

Измерения и перекрестное датирование образцов осуществляли В. В. Грязнова, Ю. З. Мацковская, Л. И. Лазукова, С. М. Суслова, П. Д. Полумиева, В. Н. Кузнецова, Р. С. Жуков.

Благодаря важной информации, предоставленной В. П. Чичаговым, А. Ю. Клоковым, М. И. Шереметьевым, А. Г. Морозовым, В. Н. Вдовиным, Л. Е. Борисовой, нам удалось найти старовозрастные деревья и деревянные архитектурные памятники, которые позволили существенно расширить пределы наших хронологий. М. В. Ермохин предоставил важные данные для перекрестного датирования образцов. М. А. Локощенко любезно предоставил нам уникальные метеорологические данные по Москве.

Мы от души благодарим за содействие сотрудников Государственного историко-литературного музея-заповедника А. С. Пушкина в усадьбе Большие Вяземы и других музеев и национальных парков, где нам пришлось работать, Э. Э. Фомченко и других организаторов конференции «Оки связующая нить», а также Д. Седова и участников конференции «Саввинские чтения», которые помогли нам в поиске важной информации.

В сборе и обработке материалов для третьей главы принимали участие Р. С. Жуков, А. А. Епишков, А. В. Черакшев и Д. В. Пучинская. Авторы приносят искреннюю благодарность сотруднику ИПЭЭ РАН А. А. Крыловичу за помощь в сборе образцов древесины дуба, Г. А. Саккулиной, которая участвовала в обработке данных изучения древесины ясеня и выделения вспышек численности листогрызущих насекомых.

Успешность этой работы во многом зависела от содействия сотрудников заповедников «Козельские засеки», Белогорье, Волжско-Камский, «Приволжская лесостепь», Жигулевский, Бузулукский бор, Керженский, Воронинский, «Кологривский Лес», Мордовский, Большая Кокшага, национального парка Марий Чодра, музеев-усадеб Кусково, Полотняный Завод, Кузьминки. Мы приносим им искреннюю благодарность и надеемся на сотрудничество в будущем.

ЧАСТЬ 1. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЗАСУХАМИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ И АНАЛИЗ ИХ ПРИЧИН

Глава 1. Засухи Восточно-Европейской равнины: инструментальные наблюдения

Общие положения. Методические вопросы

А. Н. Золотокрылин

Значение феномена засухи состоит в том, что в современную эпоху она воспринимается не только как природное событие, но скорее как результат взаимодействия между природными событиями (недостатки осадков вследствие природной климатической изменчивости разных временных масштабов) и требованием водных запасов для человеческой деятельности и окружающей среды. Иными словами, засуха есть результат взаимодействия изменчивости осадков и уязвимости человеческих систем. При этом вероятность засухи часто осложнена действиями людей. В истории России имеются ссылки на обширные периоды засухи, результатом которых были истощение запасов продовольствия, голода, народных восстаний.

Существует несколько характерных черт засухи, отличающих ее от других природных опасностей, таких как наводнения, ураганы, землетрясения. Во-первых, засуха — «ползучий феномен», так как начало и конец засухи трудно точно определить. Эффекты засухи аккумулируются медленно за значительный период времени и могут затягиваться на несколько лет после окончания засухи. Во-вторых, точные и универсальные общепринятые определения засух отсутствуют, что порождает использование большого количества индексов засух, характеризующих ее разные стороны. В-третьих, воздействия засух распространяются на большую территорию, чем ущербы, возникающие от других природных опасностей.

Засуха — комплексное природное явление с сильнейшими региональными аномалиями температуры и влажности (осадков, влагосодержания почвы) (Гидрометеорологические опасности, 2001). В общих чертах засуха означает временное понижение влажности окружающей среды по отношению к ее среднему состоянию. Ввиду сложной природы засухи обычно ограничиваются изучением одной из ее сторон, проявляющейся или в атмосфере, или в почве. При этом основными характеристиками засухи являются интенсивность, продолжительность и пространственное распространение.

Засуха возникает, если количество осадков за некоторый период становится ниже среднего уровня. Она относится к периоду времени, когда баланс между осадками и эвапотранспирацией на территории становится меньше доступной для жизни воды, чем количество, отмечаемое как норма. Значение засухи заключается в ее последствиях, которые часто осложняются расширяющейся деятельностью человека, требующей увеличения на местах локальных и региональных запасов воды и других природных ресурсов.

В практике Росгидромета различают в основном засухи, в зависимости от среды их проявления (атмосферная, почвенная, атмосферно-почвенная или общая). Известно, что большинство районов России наиболее часто подвергается негативному воздействию атмосферных засух. Почвенные засухи, как правило, являются следствием атмосферных засух, то есть длительного отсутствия осадков или их незначительного количества.

Классификация засух, ориентированная в основном на последствия, применяется в США. Она включает метеорологическую засуху (meteorological drought), гидрологическую засуху (hydrological drought), засуху с воздействием на сельское хозяйство и экономику (agriculture and economic impact drought) и социально-экономическую засуху (socioeconomic drought) (Wilhite, 2004). Метеорологическая засуха может быть отождествлена с атмосферной, хотя она имеет некоторые признаки почвенной. Следует отметить более высокую практичность американской классификации, чем используемой в Росгидромете, но российская классификация более полезна в понимании физической природы засух.

Количественные показатели засухи

А.Н. Золотокрылин, Е.А. Черенкова

Подходы к идентификации засухи развивалась от простых индексов, рассматривающих этот феномен как следствие недостатка осадков и дефицита почвенной влаги, к более сложным, учитывающим составляющие водного баланса, влагоперенос в почве и в итоге количественным оценкам влажности окружающей среды и ее отклонения от нормы (Steila, 1987). В России в качестве индексов засушливости чаще всего используются индикаторы увлажнения (Логинов и др., 1976; Дроздов, 1980; Раунер, 1981; Золотокрылин, 2013). Например, в системе агрометеорологического мониторинга засух применяются гидротермический коэффициент Селянинова и запасы продуктивной влаги в пахотном и метровом слое почвы (Мещерская и др., 1978; Мещерская и др., 1982; Уланова, Страшная, 2000; Зоидзе, 2004; Страшная, Богомолова, 2004; Страшная и др., 2011; Зоидзе и др., 2012). В последнее десятилетие, наряду с абсолютным значением ГТК, оценивается его отрицательная аномалия, нормированная на среднеквадратическое отклонение (Золотокрылин и др., 2007; Золотокрылин, Черенкова, 2012). Сохраняет свое значение подход к мониторингу условий увлажнения (в частности засух), основанный на анализе аномалий месячных значений температуры воздуха и осадков и оценке площади их распространения (Мещерская, Блажевич, 1977; Мещерская и др., 2000; Мещерская и др., 2011). Часто при оценке и мониторинге засух обращаются к индексу Педя (Педь, 1975; Страшная, 1993; Садоков и др., 2008; Мещерская и др., 2011; Оганесян, 2011; Черенкова, 2013). Перечисленные индексы обладают заметным недостатком, так как с их помощью только с точностью до месяца можно определить продолжительность засухи, но проблематично оценить начало и конец засухи.

Список перечисленных выше индексов дополняется опасной атмосферной засухой (Гидрометеорологические опасности, 2001). Известны два способа для ее оценки: 1) число суток с суточной суммой осадков менее 5 мм при максимальной температуре воздуха более 25 °С в районах умеренных и северных широт и более 30 °С —

в южных (Семенов и др., 2012) или 2) — период в сутках, в течение которого не менее 30 дней подряд при среднесуточной температуре воздуха 25 °С (30 °С) осадки не превышают 5 мм в сутки (Черенкова, 2007; Черенкова, 2012).

Доступность глобальных данных индекса суровости засухи Палмера (Palmer Drought Severity Index, PDSI) с разрешением 2,5° × 2,5° (Palmer, 1965) открыла возможность его использования в России (Хлебникова и др., 2012; Золотокрылин, Черенкова, 2012; Черенкова, 2013). Вскоре глобальные данные других известных индексов, как, например, стандартизованный индекс осадков (Standardized Precipitation Index, SPI) (Heim, 2002) и индекс SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) (Vicente-Serrano et al., 2010), также стали применяться для исследований засух в России (Страшная и др., 2015; Черенкова, Попова, 2015; Уткузова и др., 2015).

Со второй половины 1980-х гг. в мировой практике мониторинга засух стали использоваться индексы, рассчитанные на основе спутниковой информации (Remote..., 2012). Опыт применения спутниковых биофизических параметров для идентификации засух в региональном и глобальном масштабах очень полезен и плодотворен. Известные многочисленные спутниковые индексы засух не рассматриваются в данной работе из-за короткой истории наблюдений.

Обзор используемых показателей засух

А.Н. Золотокрылин, Е.А. Черенкова

Воздействие засух на окружающую среду зависит от их охвата территории, интенсивности и продолжительности. Анализ распространения засух на территории ЕТР показывает, что обширные засухи, охватывающие не менее трех экономических районов, чаще всего по интенсивности бывают сильными и очень сильными, наиболее продолжительными (2 месяца и более) и начинаются весной или в начале лета (Золотокрылин и др., 2014).

Засухи в земледельческой зоне регистрируются созданной в Гидрометцентре России Оперативной системой мониторинга

агрометеорологических условий и засух (агрометеорологического мониторинга) (Фролов, Страшная, 2011). Земледельческая зона дифференцируется в соответствии с административными экономическими районами. Земледельческая зона поделена на семь экономических районов: Центральный, Центрально-Черноземный, Северо-Кавказский, Поволжский, Волго-Вятский, Уральский, Западно-Сибирский. Помимо синоптической сети метеостанций, в этих районах создана сеть агрометеорологических станций, информация с которых ежедекадно поступает в Гидрометцентр России по каналам связи и автоматически обрабатывается для составления агрометеорологических обзоров и прогнозов.

Система агрометеорологического мониторинга России идентифицирует засухи по количеству осадков в миллиметрах и процентах, гидротермическому коэффициенту увлажнения Г. Т. Селянинова (ГТК), по запасам продуктивной влаги в почве (мм). Осадки, температура, запасы влаги измеряются с достаточно большой точностью на станциях и считаются наиболее доступными для дальнейших расчетов. Таким образом, агрометеорологический мониторинг засух направлен на идентификацию засух, возникающих в разных средах (атмосфере и почве) в период активной вегетации зерновых и технических культур. Начало и конец засухи фиксируется на станциях с точностью до декады.

В качестве примера ниже приведены критерии определения сильной и очень сильной засухи, негативно влияющей не только на урожайность сельскохозяйственных культур, но и в целом на биоту и водный режим. Критерием очень сильной атмосферной засухи считается количество осадков менее 50% нормы, а 50–70% осадков от нормы — сильной атмосферной засухи. Градации интенсивности засух, идентифицированной по данным ГТК, представлены в табл. 1.1.1. Запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы менее 10 мм, а в метровом слое — менее 50 мм показывают сильную почвенную засуху. Количество дней с суховеями, аномалии температуры, данные по урожайности зерновых культур дополнительно используются для идентификации интенсивности засух.

Перечисленные выше критерии засухи использованы для оценки охвата территории сильной засухой продолжительностью не менее двух месяцев (Страшная и др., 2011). Очевидно, что в этом случае рассматриваются не только сильные весенне-летние засухи,

начало которых может быть в апреле или мае, но и летние засухи. Возникающие повторно засухи в сезон активной вегетации также включаются в это рассмотрение. Если сильная засуха продолжительностью не менее двух месяцев покрывала 30% конкретного экономического района, то она считалась обширной для данного района. Адекватная сводка таких засух по каждому из 7 экономических районов в зерновом поясе страны составлена в Отделе агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра России за период 1891–2010 гг. (Страшная и др., 2011).

Сложная физическая природа перечисленных в сводке засух не позволяет уверенно классифицировать их в зависимости от среды (атмосферная, почвенная). По данным исследования (Садоков и др., 2002), атмосферно-почвенная засуха чаще образуется вследствие длительной атмосферной засухи и с последующим развитием почвенной. Наблюдались годы, когда почвенная засуха усиливалась атмосферной, а атмосферно-почвенная засуха характеризовалась сочетанием почвенной и атмосферной засух. Скорее всего, перечисленные в сводке засухи можно рассматривать как атмосферно-почвенные (общие).

По негативным последствиям для общества и природной среды эти засухи можно классифицировать не только как сельскохозяйственные, но и как гидрологические, социально-экономические.

Были рассмотрены следующие показатели атмосферных засух. Отметим, что в общем случае с помощью каждого из рассмотренных показателей можно определить, каковыми были наблюдаемые условия увлажнения. В данном исследовании рассмотрены только характеристики, относящиеся к засухам. Широко используемый в отечественной практике Гидрометслужбы гидротермический коэффициент Селянинова характеризует соотношение тепла и влаги. Для летних месяцев сумма средних суточных температур за период между датами перехода температуры через 10 °С, уменьшенная в 10 раз, тесно коррелирует с испарением с оптимально увлажненного поля и может быть принята за величину максимально возможного испарения при существующих атмосферных условиях (т. е. испаряемость) (Селянинов, 1928). Расчет значений ГТК в мае, июне и июле в период 1936–2012 гг. выполнен по формуле:

$$ГТК = P / 0{,}1 \times T > 10\ ^\circ C \qquad (1.1),$$

где $T > 10$ °C — сумма средних суточных температур воздуха за период с температурами воздуха выше 10 °C, P — количество осадков за тот же период.

Недостатком ГТК является то, что его неопределенность возрастает в сухой и избыточно влажной зонах. Поэтому предпочтительнее применение ГТК в засушливой зоне. Кроме того, зональные критерии ГТК для определения засухи и ее интенсивности изменчивы по территории. Чтобы уменьшить зависимость ГТК от зональной увлажненности, целесообразно оценивать отрицательные аномалии ГТК по отношению к его среднему значению (Золотокрылин др., 2007). Тогда превышение отрицательными аномалиями одного, полуторного и двойного среднеквадратического отклонения будет характеризовать соответственно слабую, умеренную и сильную засуху.

Индекс суровости засухи Палмера (PDSI, Palmer Drought Severity Index) рассчитывается по метеорологическим данным (месячным значениям температуры и осадков), а также локальным константам влагоемкости почвы. Данные используются для оценки составляющих водного баланса на поверхности почвы по упрощенной схеме влагопереноса в почве. При этом потенциальная эвапотранспирация определяется в оригинале по методу Пенмана (Penman, 1948), в котором кроме приземной температуры воздуха используются радиационный баланс, а также скорость ветра и дефицит водяного пара на высоте 2 м. Расчет PDSI основан на применении совокупности эмпирических зависимостей, отражающих региональные запасы влаги, стандартизированные по отношению к локальной климатической норме. Для учета кумулятивного эффекта продолжительных периодов дефицита влаги используется рекурсивная двухэтапная процедура построения индекса, то есть его значение на определенном временном интервале зависит от его значения на предыдущем шаге. Полученный в итоге стандартизованный индекс Палмера оценивает 11 градаций увлажнения выбранной территории от избыточного увлажнения до экстремальных засух, перечисленных в табл. 1.1.1. Более подробное описание процедуры получения индекса, а также сравнение индекса Палмера с отечественными показателями засухи приведено в работе (Черенкова, 2013). Так, между частотой засух, выявленной по данным ГТК, и частотой засух, полученной на основе индекса суровости

засухи Палмера, наблюдается достаточно тесная связь (коэффициенты корреляции 0,81 для слабой засухи, 0,83 для умеренной и 0,76 для сильной засухи).

Стандартизованный индекс осадков SPI, рекомендованный Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО) для мониторинга засух (WMO, 2009), в отличие от имеющего месячное разрешение индекса PDSI, может быть рассчитан с разрешением от одного месяца и более. Тем самым появляется возможность выявления различных типов засух по их последствиям.

Алгоритм получения индекса SPI состоит в следующем (более подробное описание приведено в (Edwards and McKee, 1997)). Для каждой точки исследуемой территории (для метеостанции или узла сетки) по данным сумм осадков (наблюденных или смоделированных, в зависимости от задачи) на основе эмпирической функции распределения строится функция гамма-распределения (которая наилучшим образом характеризует функцию распределения количества осадков), имеющая вид:

$$0f_{\alpha,\beta}(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\,\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta},$$

$$x > 00f_{\alpha,\beta}(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\,\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, x > 0 \qquad (1.2),$$

где $\alpha > 0$ — параметр формы, $\beta > 0$ — параметр масштаба, $x > 0$ — количество осадков, Γ — гамма-функция Эйлера, по определению равная:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \;\; \Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \qquad (1.3).$$

Параметры функции плотности вероятности гамма-распределения (α и β) оцениваются для каждой метеостанции и выбранного временного шага с помощью уравнений, предложенных в работе (Thorn, 1966):

$$\tilde{\alpha} = \frac{1}{4A}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right); \; \tilde{\beta} = \frac{\bar{x}}{\tilde{\alpha}} \qquad (1.4),$$

где

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(\bar{x})}{n}$$

n — число наблюдений за осадками, участвующих в расчетах.

Полученные параметры используются для нахождения кумулятивной вероятности наблюдаемых осадков для заданного периода (месяца или более) и выбранного временного шага для каждой участвующей в расчетах метеостанции (или для каждого узла сетки в случае, если расчет индекса проводится по данным сеточного архива). При этом кумулятивная вероятность определяется по формуле:

$$G(x) = \int_0^x f(x)dx \qquad (1.5).$$

Поскольку гамма-распределение не определено для x = 0, кумулятивная вероятность преобразуется по формуле:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \qquad (1.6),$$

где q = P (x = 0) > 0, P (x = 0) — вероятность нулевых осадков.

Полученная кумулятивная вероятность $H(x)$ преобразуется далее с использованием обратной функции Гаусса к вероятности нормально распределенной случайной величины Z с нулевым средним и дисперсией, равной единице, которая и является значением SPI (Guttman, 1998). Отметим, что примененная процедура представляет собой равновероятностное преобразование (Panofsky and Brier, 1958). Характерной чертой трансформации равновероятности является то, что вероятность случайной величины быть меньше заданного значения, полученного при помощи кумулятивной вероятности, должна быть такой же, как вероятность случайной величины быть меньше, чем соответствующее значение, полученное при помощи нормального распределения. Проведенные преобразования позволяют сделать данный показатель сравнимым в любой точке его расчета (McKee et al., 1993). Интенсивность засухи по данным SPI определяется согласно приведенным в табл. 1.1.1 градациям. Необходимо отметить, что вопрос выявления типа распределения, наилучшим образом характеризующего функцию распределения количества осадков, по-прежнему остается открытым, поскольку математическая статистика не дает

однозначного ответа на этот вопрос. Так, в исследованиях для описания осадков были использованы различные функции распределения, такие как экспоненциальное, Вейбулла, Пуассона (например, Madsen et al.; 1998, Thorn, 1966). В работе (Guttman, 1999) на основе сравнения различных функций распределения сделан вывод, что распределение количества осадков наилучшим образом описывает функция распределения Пирсона III типа (или гамма-распределение).

Для расчета значений SPEI оценивается функция плотности лог-логистического распределения (которое наилучшим образом характеризует функцию распределения значений разности осадков и испаряемости):

$$F_{\alpha,\beta,\gamma}(D) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{D-\gamma}\right)^{\beta}\right]^{-1} \qquad (1.7),$$

где α — параметр формы, β — параметр масштаба, γ — параметр местоположения, D — разность (P–E_0), P — сумма осадков за выбранный период, E_0 — суммарная потенциальная испаряемость (по методу Пенмана (Penman, 1948)) за тот же период. Более подробное описание алгоритма расчета индекса приведено в работе (Beguería et al., 2014). Отметим, что процедуры получения индексов SPI и SPEI аналогичны.

SPEI, рассчитываемый для периодов различной длины, начиная от 1-го месяца, показывает, насколько трехпараметрическая функция лог-логистического распределения (наилучшим образом характеризующая функцию распределения значений разности осадков и испаряемости) отклоняется от нормального распределения. В общем случае лог-логистическое распределение является распределением вероятности переменной, логарифм которой имеет логистическое распределение. В исследовании использованы средние за месяц значения одномесячного стандартизованного индекса осадков и испаряемости SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) в период 1901–2012 гг. из архива Пиренейского института экологии (Instituto Pirenaico de Ecologia, Beguería et al., 2014). Более подробное описание индексов SPI и SPEI, а также их сравнительный анализ приведен в работе (Черенкова, Золотокрылин, 2016).

Таблица 1.1.1. Классификация засух на основе индексов ГТК, нормированного ГТК, SPI, SPEI и PDSI

Table 1.1.1. Drought classification according to SHC, normalized SHC, SPI, SPEI and PDSI

Интенсивность засухи	**ГТК**	**Нормированный ГТК**	**SPI, SPEI**	**PDSI**
Слабая	$0{,}8 < \text{ГТК} \leqslant 1$	$-1{,}25 < \text{ГТК}_{norm} \leqslant -1$	$-1 < \text{SPI, SPEI} \leqslant 0$	$-2 < \text{PDSI} \leqslant -1$
Умеренная	$0{,}6 < \text{ГТК} \leqslant 0{,}8$	$-1{,}5 < \text{ГТК}_{norm} \leqslant -1{,}25$	$-1{,}5 < \text{SPI, SPEI} \leqslant -1$	$-3 < \text{PDSI} \leqslant -2$
Сильная	$0{,}3 < \text{ГТК} \leqslant 0{,}6$	$-1{,}75 < \text{ГТК}_{norm} \leqslant -1{,}5$	$-2 < \text{SPI, SPEI} \leqslant -1{,}5$	$-4 < \text{PDSI} \leqslant -3$
Экстремальная	$\text{ГТК} \leqslant 0{,}3$	$\text{ГТК}_{norm} \leqslant -1{,}75$	$\text{SPI, SPEI} \leqslant -2$	$\text{PDSI} \leqslant -4$

Распространение и динамика засух на территории

Е.А. Черенкова, А.Н. Золотокрылин

Территория исследования, методика расчета

В данной работе фокус исследования направлен на регион ЕТР, ограниченный 50,5°–59° с. ш. и 32°–53° в. д., в котором проводился отбор дендрохронологического материала на площадках (рис. 1.1.1, пунктирная линия). Регион в основном представлен степными, лесостепными, широколиственно-лесными суббореальными ландшафтами, а также подтаежными и южнотаежными бореальными ландшафтами.

В регион исследования полностью или частично вошли Центральный экономический район (Тверская, Ярославская, Костромская, Московская, Смоленская, Калужская, Тульская области); Центрально-Черноземный экономический район (Курская, Липецкая, Воронежская, Тамбовская, Белгородская области); Поволжский экономический район (Пензенская, Ульяновская, Самарская области, Республика Татарстан); Волго-Вятский экономический район (Нижегородской область, Республика Мордовия, Республика Чувашия, Республика Марий Эл). На территории Центрального экономического района сосредоточено 37 площадок отбора дендрохронологического материала, в Центрально-Черноземном и Волго-Вятском районе сосредоточено по 8 площадок, Поволжский район представлен 11 площадками.

Стандартизованный индекс осадков SPI (Standardized Precipitation Index) за май, июнь и июль, а также 2-месячный индекс SPI за июнь и июль в период 1901–2012 гг. был рассчитан по данным месячных сумм осадков из архива Университета Восточной Англии (Climatic Research Unit, CRU TS3.21, Harris et al., 2013).

В исследовании также использован стандартизованный индекс испаряемости и осадков SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) в период 1901–2012 гг. из архива Пиренейского института экологии (Instituto Pirenaico de Ecologia, Begueria et al., 2014) с временным разрешением в один месяц. Значения потенциальной испаряемости при расчете индекса SPEI получены по методу Пенмана (Penman, 1948).

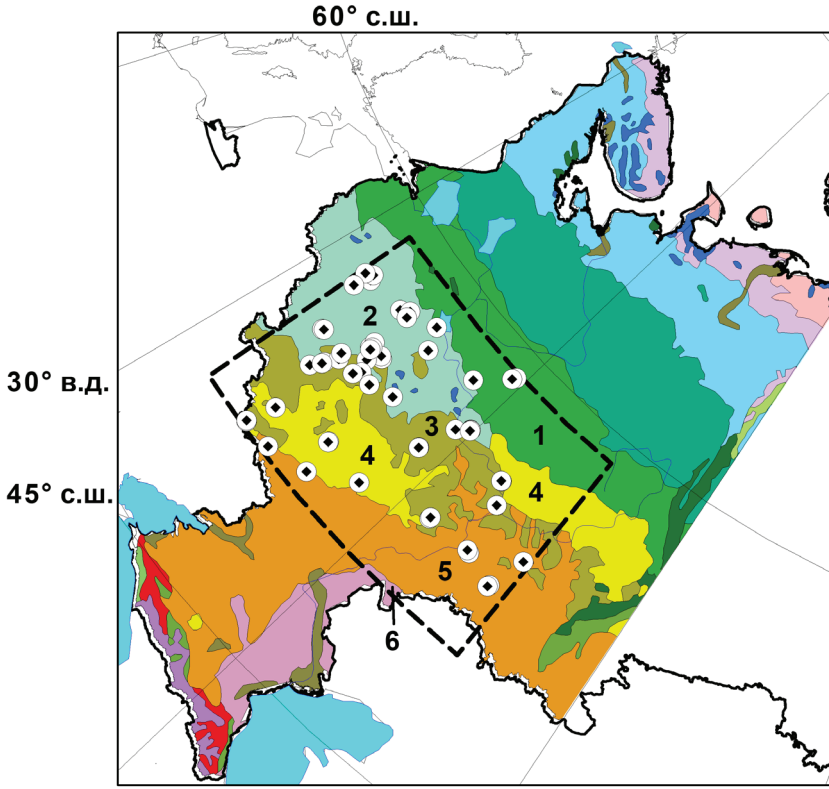


Рис. 1.1.1. Пространственное распределение площадок отбора дендрохронологического материала (показаны кругами) в исследуемом регионе Восточно-Европейской равнины (очерчен пунктирной линией) на фоне обобщеной ландшафтной карты СССР (Ландшафтная карта СССР, 1988). Равнинные ландшафты: 1 — южные таежные, 2 — подтаежные, 3 — широколиственно-лесные, 4 — лесостепные, 5 — степные, 6 — полупустынные. Автор карты — Соколов Игорь Александрович (http://www.igras.ru/staff/397)

Fig. 1.1.1. The spatial distribution of dendrochronological sites (shown in circles) on the East European Plain (outlined with dotted line) on the generalized landscape map (Landscape map of the USSR, 1988). The landscapes: 1 — southern taiga, 2 — subtaiga, 3 — broad-leaved forest, 4 — typical and southern forest steppe, 5 — northern steppe, 6 — typical steppe

Изменения среднемесячного «самокалибрующегося» индекса суровости засухи Палмера (PDSI, Palmer Drought Severity Index) в период 1901–2012 гг. анализировались по данным из глобального сеточного архива Университета Восточной Англии (van der Schrier et al., 2006). Все использованные сеточные архивы имеют пространственное разрешение 0,5° × 0,5°.

Расчет гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) в мае, июне и июле (в месяцы наиболее активной вегетации растений), а также в мае–июне и мае–июле в период 1936–2012 гг. производился на основе данных среднесуточных температур воздуха и суточных сумм осадков из архива наблюдений на метеорологических станциях сети Росгидромета (доступных на официальном интернет-сайте Росгидромета http://www.meteo.ru). В исследуемом регионе расположено 56 метеостанций. В расчет принимались временные ряды, в которых пропуски составили не более 10%. В качестве показателя засух рассмотрены также нормированные на значения среднеквадратического отклонения аномалии ГТК (Золотокрылин и др., 2007; Золотокрылин, Черенкова, 2012). Аномалии ГТК вычислялись для каждой метеостанции относительно климатической нормы периода 1961–1990 гг.

Интенсивность рассмотренных показателей засух была вычислена по данным метеостанций и данным в узлах сетки, находящимся в районе исследования (рис. 1.1.1). Расчет частоты засух производился для каждой метеостанции и в каждом узле сетки как отношение суммы лет с засухой к числу лет периода. Площадь засухи на определенной территории оценивалась как доля метеостанций (узлов сетки), где наблюдалась засуха в общем количестве метеостанций (узлов сетки), локализованных на территории. Использование нормированного ГТК, SPI и SPEI для оценки площади (частоты) сильных засух обусловлено наибольшей теснотой связи этих показателей в исследуемом регионе (табл. 1.1.2). Из-за высокой корреляции показателей SPI и SPEI целесообразно рассматривать только показатель SPI. Как видно из табл. 1.1.2, индекс суровости засухи Палмера имеет менее сильную связь с остальными сравниваемыми показателями. На других шкалах (от 2 до 3 месяцев) соотношение коэффициентов корреляции между рассмотренными показателями сохраняется, значения коэффициентов меняются незначительно.

Таблица 1.1.2. Коэффициенты корреляции между временными рядами разных показателей засух, осредненных в пределах исследуемого региона (рис. 1.1.1) в мае (1), июне (2) и июле (3) в период 1936–2012 гг.

Table 1.1.2. The correlation coefficients between the time series of various indicators of drought, averaged within the study area (Fig. 1.1.1) in May (1), June (2), July (3) during the period 1936–2012

	Нормированный ГТК			SPI			SPEI			PDSI		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Нормированный ГТК	1	1	1	0,77	0,82	0,83	0,71	0,85	0,83	*0,35*	*0,51*	0,49
SPI	0,77	0,82	0,83	1	1	1	0,89	0,88	0,87	*0,44*	0,53	0,52
SPEI	0,71	0,85	0,83	0,89	0,88	0,87	1	1	1	*0,48*	0,58	0,57
PDSI	*0,35*	*0,51*	*0,49*	*0,44*	*0,53*	*0,52*	*0,48*	0,58	0,57	1	1	1

Статистически незначимые результаты отмечены курсивом.

При сравнении характеристик засух в период XX — начала XXI в. основной акцент был сделан на рассмотрении периода исследования, начиная с 1936 г. Его выбор объясняется увеличением густоты сети метеорологических станций на европейской части страны во второй половине 30-х годов XX в.

Так как официальная сводка Гидрометцентра сильных, обширных и продолжительных засух с мая по июль по экономическим районам принималась в качестве основного надежного фиксатора засух, то, соответственно, для нормированного ГТК и SPI рассчитывалась также частота засух сильной интенсивности продолжительностью не менее двух месяцев.

Рассмотренная в работе временная шкала с шагом в один месяц позволяет трактовать выявленные засухи как атмосферные по всем используемым показателям. Анализ более длительных временных интервалов позволяет с помощью некоторых из рассмотренных показателей обнаружить и исследовать и другие типы засух (атмосферно-почвенную и гидрологическую).

Изменения частоты засух для двух климатических периодов 1936–1960 гг. и 1991–2012 гг. рассматривались по сравнению с базовым тридцатилетием 1961–1990 гг., рекомендованным ВМО. При этом более пристальное внимание было уделено вопросу изменения частоты засух в период продолжающегося глобального потепления.

Статистическая значимость результатов определялась на основе *t*-критерия Стьюдента для временных рядов разной длины.

Анализ пространственно-временного изменения засух, идентифицированных разными способами

Согласно сводке Гидрометцентра России (Страшная и др., 2011) в трех экономических районах ЕТР можно выделить следующие годы с сильными, обширными и продолжительными засухами в период активной вегетации:

Центральный район: 1920, 1921, 1924, 1936, 1946, 1963, 1979, 1981, 1995, 1998, 1999, 2010 гг.;

Центрально-Черноземный район: 1891, 1892, 1897, 1901, 1920, 1921, 1924, 1931, 1936, 1938, 1939, 1946, 1948, 1949, 1951, 1954, 1963, 1972, 1975, 1979, 1981, 1984, 1995, 1998, 1999, 2010 гг.;

Поволжский район: 1891, 1892, 1897, 1901, 1906, 1911, 1920, 1921, 1924, 1931, 1936, 1938, 1939, 1946, 1948, 1949, 1951, 1954, 1955, 1957, 1963, 1965, 1972, 1975, 1979, 1981, 1984, 1991, 1995, 1998, 1999, 2010 гг.

Частота засух (1/год) за период 1891–2010 гг. составила в Центральном районе 0,10, в Центрально-Черноземном — 0,22, в Поволжском — 0,27.

Обширная засуха с охватом всех трех районов наблюдалась в 1920, 1921, 1924, 1936, 1946, 1963, 1979, 1981, 1995, 1998, 1999, 2010 гг. (вероятность события: 0,10). Засуха два года подряд отмечалась в 1920–21 и 1998–99 гг.

Вероятность засухи с охватом Центрально-Черноземного и Поволжского районов повышается до 0,22. Число засух два года подряд возрастает от 2 в Центральном районе до 5 в Центрально-Черноземном и до 6 в Поволжском районе. Изменение частоты засух по десятилетиям представлено в табл. 1.1.3.

Таблица 1.1.3. Частота сильных и обширных засух за десятилетие (число случаев/год) в экономических районах Восточно-Европейской равнины в мае–июле за период 1891–2010 гг. по данным статистики Гидрометцентра РФ (1), нормированного ГТК (2) и SPI (3)

Table 1.1.3. The frequency of strong and extensive droughts per decade (cases/year) in the economic regions of the East European plain in May-July for the period 1891–2010 according to statistics of Hydrometeorological Center RF (1), normalized SHC (2) and SPI (3)

Декады	Экономические районы РФ								
	Центральный			Центрально-Черноземный			Поволжский		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1891–1900	0	–	–	0,3	–	–	0,3	–	–
1901–1910	0	–	0,1	0,1	–	0,2	0,2	–	0,2
1911–1920	0,1	–	0,2	0,1	–	0,2	0,2	–	0,1
1921–1930	0,2	–	0,1	0,2	–	0,2	0,2	–	0,2
1931–1940	0,1	–	0,2	0,4	–	0,3	0,4	–	0,4
1941–1950	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0	0,1
1951–1960	0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1
1961–1970	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,2	0	0
1971–1980	0,1	0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0	0,2
1981–1990	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0	0,1
1991–2000	0,3	0,2	0,2	0,3	0	0,2	0,4	0	0,1
2001–2010	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1

Как видно из таблицы 1.1.3 (колонки под номерами 1), максимальная частота засух (0,4) наблюдалась только в одной декаде 1931–1940 гг. в Центрально-Черноземном районе и в трех декадах (1931–1940, 1951–1960 и 1991–2000 гг.) в Поволжском районе. В Центральном районе максимальная частота засух, равная 0,3, отмечалась только в декаду 1991–2000 гг.

Детальный анализ характеристик засух в регионе проведен также по показателям нормированного ГТК и SPI. Для этого по каждому показателю фиксировались месяцы с засухами для периода с мая по август. Затем выделялись годы, в которые с мая по август было больше двух месяцев с засухой. Частоты засух, вычисленные за декаду по показателям нормированного ГТК и SPI для трех экономических районов, представлены в табл. 1.1.3.

Сравнение частоты сильных обширных засух с мая по июль по десятилетиям в период 1891–2010 гг. показал, что нормированный ГТК недооценивает частоту сильных засух в Центрально-Черноземном и Поволжском районах, в нескольких десятилетиях выявляя на одну засуху меньше, по сравнению с данными статистики Гидрометцентра (табл. 1.1.3). Напротив, с помощью индекса SPI обнаружена более высокая частота сильных засух в год (отличие на 2–4 случая) по сравнению с данными Гидрометцентра и по нормированному ГТК во всех рассмотренных районах.

Как следует из табл. 1.1.3, данные SPI демонстрируют увеличение среднего числа случаев сильной засухи за десятилетие в Центральном районе в период 1921–1930 гг. до максимума (5 случаев за десятилетие) в 1961–1970 гг., которое сменилось тенденцией понижения частоты засух с локальным повышением в период 1991–2000 гг. Следует отметить, что анализ данных нормированного ГТК демонстрируют сходную с данными SPI тенденцию.

По данным сводки Гидрометцентра РФ, среднее число случаев сильной засухи за десятилетие в Центральном районе увеличивалось в период 1921–1930 гг., затем, уменьшившись в 1951–1960 гг., вновь возрастало до максимального значения в десятилетие 1991–2000 гг. с дальнейшим уменьшением в следующее десятилетие. Важно подчеркнуть, что рост средней частоты сильных засух в Центральном районе в 1991–2000 гг. зафиксирован всеми рассмотренными показателями.

В Центрально-Черноземном районе по сводкам Гидрометцентра РФ и SPI наблюдается тенденция роста средней частоты сильных засух к 1931–1940 гг., затем по всем показателям (включая нормированный ГТК) прослеживается общая тенденция к ее понижению, на фоне которой выделяется локальное увеличение в периоды 1971–1980 гг. и 1991–2000 гг. По данным всех показателей засух, во всех рассмотренных районах выявляются основные мак-

симумы частоты сильных засух в десятилетия 1931–1940 и 1991–2000 гг., обусловленные группировкой в течение нескольких лет обширных сильных засух.

Сравнение сводки Гидрометцентра РФ со сводками месячных значений площадей сильной засухи по показателям нормированного ГТК и SPI (табл. 1.1.4 и 1.1.5) показывает, что наибольшее согласование между ними отмечается в годы обширных засух с длительностью не менее 2 месяцев и с охватом более 30% площади территории хотя бы одного района. Как следует из таблиц 1.1.4 и 1.1.5, к наиболее согласованным годам относятся: 1901, 1906, 1920, 1921, 1924, 1931, 1936, 1938, 1946, 1951, 1972, 1979, 1981, 1999, 2010 гг.

Проведенная по площади охвата классификация засух не противоречит известным каталогам засушливых лет, составленным на основе различных методов и подходов к определению засух (Каменькова, 1964; Обухов, 1949; Раунер, 1981; Утешев, 1972), а также наиболее современным каталогам, составленным А. В. Мещерской (Мещерская и др., 2011) на основе применения индекса, учитывающего площадь распространения засушливых явлений, в основных зерносеющих районах европейской части СНГ за период 1891–2010 гг. и А. И. Страшной (Фролов, Страшная, 2011) с применением гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) за последние 60 лет. Наибольшее согласование наблюдается в совпадении лет с крупномасштабными засухами. Случаи различия в определении приоритета засушливых лет обусловлены, прежде всего, методологическими аспектами при выявлении засух, неполным соответствием границ рассмотренных территорий, а также особенностями используемых показателей. Основные расхождения возникают при анализе многолетних изменений площадей охвата территории засухами, их группировок и интенсивности.

Таблица 1.1.4. Каталог площади сильной засухи (%) по экономическим районам РФ, включающим административные области локализации дендроплощадок, по данным нормированного ГТК с мая по июль в период 1936–2012 гг.

Годы экстремальных по площади охвата засух выделены полужирным шрифтом

Table 1.1.4. Areas of severe drought (%) in the economic regions of Russia, according to the normalized SHC from May to July in the period 1936–2012. Years of extreme drought coverage in bold

Годы	Центральный район			Центрально-Черноземный район			Поволжский район			Волго-Вятский район		
	май–июнь	июнь–июль	май–июль	май–июнь	июнь–июль	май–июль	май–июнь	июнь–июль	май–июль	май–июнь	июнь–июль	май–июль
1936	20,0	**85,7**	**80,0**	28,6	16,7	**71,4**	25	8,3	12,5	25,0	0,0	25,0
1937	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0
1938	0,0	28,6	20,0	0,0	14,3	14,3	0	23,1	0,0	0,0	**50,0**	0,0
1939	0,0	**42,9**	20,0	0,0	**57,1**	28,6	12,5	15,4	12,5	0,0	25,0	**50,0**
1940	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1941	20,0	**50,0**	**60,0**	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0
1942	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1943	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1944	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1945	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1946	**33,3**	0,0	16,7	**71,4**	28,6	**42,9**	12,5	0,0	0,0	**33,3**	0,0	0,0
1947	0,0	0,0	0,0	28,6	28,6	28,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1948	0,0	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

1949	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	7,7	12,5	0,0	0,0	0,0
1950	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1951	12,5	**33,3**	0,0	0,0	28,6	14,3	0	23,1	0,0	0,0	20,0	0,0
1952	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1953	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0
1954	0,0	11,1	12,5	0,0	0,0	0,0	0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0
1955	12,5	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1956	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1957	0,0	0,0	0,0	14,3	14,3	14,3	25	15,4	**37,5**	0,0	0,0	0,0
1958	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1959	10,0	22,2	14,3	11,1	**71,4**	**45,5**	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1960	0,0	11,1	14,3	18,2	14,3	18,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,7
1961	14,3	11,1	0,0	0,0	14,3	0,0	0	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0
1962	0,0	0,0	7,1	9,1	0,0	9,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1963	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1964	20,0	**33,3**	20,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1965	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0
1966	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1967	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1968	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1969	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1970	17,6	0,0	17,6	0,0	28,6	18,2	0	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0
1971	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0

Продолжение табл. 1.1.4

Годы	Центральный район			Центрально-Черноземный район			Поволжский район			Волго-Вятский район		
	май–июнь	июнь–июль	май–июль	май–июнь	июнь–июль	май–июль	май–июнь	июнь–июль	май–июль	май–июнь	июнь–июль	май–июль
1972	0,0	22,2	23,5	9,1	14,3	9,1	0	23,1	8,3	0,0	20,0	**33,3**
1973	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16, 7	0,0	0,0	16,7	0,0	16,7
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1975	5,9	0,0	5,9	10,0	0,0	10,0	25	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1979	18,8	0,0	0,0	**45,5**	0,0	0,0	0	0,0	0,0	**33,3**	0,0	0,0
1980	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1981	0,0	**55,6**	**43,8**	**40,0**	14,3	**30,0**	27, 3	8,3	27,3	0,0	**40,0**	**33,3**
1982	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1984	0,0	0,0	0,0	18,2	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1985	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1986	0,0	0,0	0,0	9,1	14,3	18,2	0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0
1987	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	20,0	16,7
1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	15,4	25,0	0,0	0,0	16,7
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	7,7	8,3	0,0	0,0	0,0
1992	17,6	**33,3**	**35,3**	0,0	0,0	18,2	16, 7	7,7	8,3	16,7	0,0	16,7
1993	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1995	0,0	11,1	11,8	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	16,7	20,0	0,0
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1997	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16, 7	0,0	16,7	0,0	0,0	0,0
1999	**35,3**	22,2	**35,3**	9,1	14,3	9,1	0	0,0	8,3	16,7	20,0	**33,3**
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2002	0,0	**33,3**	**35,3**	0,0	28,6	0,0	0	0,0	0,0	0,0	**40,0**	**50,0**
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2006	0,0	11,1	5,9	0,0	14,3	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2007	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0
2010	0,0	**55,6**	23,5	9,1	**57,1**	**36,4**	**50**	**84,6**	**100,0**	0,0	**80,0**	**83,3**
2011	11,8	11,1	17,6	0,0	0,0	9,1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0

Таблица 1.1.5. То же, что в таблице 1.1.4, по данным двухмесячного SPI за июнь и июль в период 1901–2012 гг.
Table 1.1.5. Same as in Table 1.1.4, according to the two-month SPI June and July during the period 1901–2012

годы	Центральный район		Центрально-Черноземный район		Поволжский район		Волго-Вятский район	
	июнь	июль	июнь	июль	июнь	июль	июнь	июль
1901	6,3	**31,1**	5,9	**47,1**	27,1	**45,2**	26,2	**47,6**
1902	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1903	29,5	4,7	8,6	4,3	0,0	**35,6**	4,8	**62,0**
1904	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1905	6,3	2,1	**32,1**	23,0	21,8	15,4	10,2	0,0
1906	0,5	5,8	2,1	0,0	22,9	9,0	27,8	14,4
1907	0,0	1,1	1,1	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0
1908	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	5,3	0,0	5,3
1909	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1910	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1911	0,0	0,0	0,0	0,0	27,1	0,0	27,3	0,0
1912	0,0	7,9	0,0	8,0	0,0	3,2	0,0	3,2
1913	11,1	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1914	**53,7**	**69,5**	27,8	**55,1**	2,1	**35,6**	1,1	**49,2**
1915	10,0	0,0	15,0	0,0	2,7	0,0	0,0	1,1
1916	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

1917	**57,4**	10,0	**50,3**	14,4	27,7	11,7	27,3	9,1
1918	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1919	10,5	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1920	0,5	4,2	0,5	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0
1921	0,0	0,5	0,0	0,0	**55,9**	1,6	**57,2**	1,6
1922	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1923	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1924	1,1	0,0	**39,0**	1,6	**56,4**	1,6	**33,2**	0,0
1925	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1926	1,1	0,0	0,5	4,3	0,0	4,3	0,0	0,0
1927	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1928	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1929	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	2,1	0,0
1930	**57,9**	0,0	**47,1**	0,0	24,5	0,0	**42,8**	0,0
1931	12,6	15,3	7,0	11,8	3,2	**33,5**	0,0	28,3
1932	0,0	11,1	0,0	0,5	0,0	1,1	0,0	1,1
1933	0,0	3,7	0,0	0,0	1,6	16,0	1,6	16,0
1934	0,0	0,0	4,3	0,0	4,3	0,0	1,1	0,5
1935	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1936	**40,0**	**50,0**	**50,8**	**40,6**	**39,9**	8,0	**47,1**	9,1
1937	16,3	8,9	11,2	9,1	1,1	0,0	0,0	0,0
1938	0,0	26,8	0,5	28,9	1,6	**46,8**	1,6	55,6
1939	0,5	23,7	2,7	**51,3**	**41,0**	**45,7**	**45,5**	**43,3**

Продолжение табл. 1.1.5

годы	Центральный район		Центрально-Черноземный район		Поволжский район		Волго-Вятский район	
	июнь	июль	июнь	июль	июнь	июль	июнь	июль
1940	**48,4**	3,2	**54,0**	3,2	4,8	0,0	0,5	0,0
1941	11,1	**41,6**	5,9	21,4	0,0	0,0	0,0	5,3
1942	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1943	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,1
1944	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1945	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1946	24,2	4,2	**58,3**	15,0	**53,7**	7,4	**36,9**	0,0
1947	0,0	1,1	4,8	24,6	2,7	21,3	0,0	0,0
1948	0,0	0,0	0,5	0,0	13,8	0,0	28,9	0,0
1949	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	7,0
1950	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	0,0	18,7	0,0
1951	0,0	11,1	0,5	21,9	2,7	**50,5**	2,1	**45,5**
1952	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1953	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	0,0
1954	6,8	5,3	4,3	5,3	1,1	0,0	0,0	0,0
1955	1,6	0,0	1,6	1,1	0,0	1,6	0,0	0,5
1956	0,0	0,0	2,1	0,0	9,6	0,0	2,7	0,0
1957	0,0	0,0	3,7	5,9	23,9	5,9	20,3	0,0
1958	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	1,6

1959	12,1	**30,0**	17,6	**48,7**	7,4	17,6	0,0	0,0
1960	12,1	14,7	18,2	19,8	17,0	6,4	9,1	2,7
1961	0,0	4,2	0,0	18,2	4,3	12,8	8,0	1,1
1962	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1963	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
1964	8,9	**59,5**	8,6	**43,9**	2,1	0,0	1,1	3,7
1965	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	6,4
1966	17,9	8,4	8,6	0,0	1,6	1,6	27,8	3,7
1967	8,4	15,3	6,4	18,7	16,0	1,6	**38,5**	0,0
1968	29,5	0,0	11,8	0,0	1,1	0,0	2,7	0,0
1969	1,1	4,2	0,5	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0
1970	14,2	0,5	14,4	25,7	1,1	22,3	0,0	0,0
1971	5,8	0,0	3,2	0,0	10,1	0,5	18,7	1,1
1972	16,8	**47,9**	17,6	24,6	11,2	26,1	9,1	**44,9**
1973	6,8	9,5	0,5	0,0	22,3	0,0	13,4	0,5
1974	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1975	8,4	7,4	23,0	0,0	**81,9**	10,6	**78,1**	14,4
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1979	**75,3**	0,0	**90,9**	0,0	**39,9**	0,0	**38,5**	0,0
1980	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1981	26,3	**62,1**	**38,5**	**49,7**	**69,1**	**50,5**	**52,4**	**67,9**

Окончание табл. 1.1.5

годы	Центральный район		Центрально-Черноземный район		Поволжский район		Волго-Вятский район	
	июнь	июль	июнь	июль	июнь	июль	июнь	июль
1982	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,5	0,0
1983	1,1	0,0	1,1	1,1	0,0	1,1	0,0	0,0
1984	0,0	0,0	6,4	0,0	9,6	0,5	9,6	0,5
1985	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1986	2,1	0,0	2,1	10,2	1,1	11,7	8,0	7,0
1987	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,1	0,5
1988	1,1	0,0	0,0	0,0	3,7	14,4	3,7	11,8
1989	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1991	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	2,1	1,1	1,6
1992	**61,1**	**87,9**	**50,3**	**49,7**	28,2	4,3	28,3	7,0
1993	13,7	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1994	0,0	10,0	0,0	16,0	0,0	4,8	0,0	0,0
1995	0,0	5,3	0,0	4,8	26,6	0,0	**30,5**	3,2
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1997	0,0	1,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
1998	0,0	0,0	2,7	0,0	**33,5**	16,0	**31,0**	16,6
1999	**75,3**	**63,7**	**51,3**	**31,6**	0,0	26,6	1,6	**36,9**
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

2001	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	12,8
2002	**37,4**	**57,4**	10,2	29,4	0,0	10,6	17,1	18,7
2003	0,0	0,0	4,3	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2006	0,0	15,3	0,0	12,3	0,0	4,8	0,0	0,5
2007	10,0	0,0	10,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	13,8	4,8	13,9	4,8
2010	0,0	**35,3**	2,1	**46,0**	**65,4**	**83,5**	**58,8**	**98,4**
2011	8,4	0,0	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0

Помимо официальной статистики засух Росгидрометслужбы полезно рассмотреть изменение повторяемости сильной засухи в центре ЕТР в различные климатические периоды по данным количественных показателей засухи. Из-за достаточно близкого сходства результатов, полученных при анализе данных SPI и SPEI, ограничимся рассмотрением индекса SPI. Как показано на рис. 1.1.2, сильная засуха в период 1961–1990 гг. на территории исследования чаще отмечалась в мае и июне. При этом частота сильной засухи в мае, по данным нормированного ГТК, была наибольшей в Заволжье (до 4–6 засух/100 лет, рис. 1.1.2а). По данным SPI, в мае в тот же период сильная засуха наиболее высокой повторяемости наблюдалась на обширной территории Центрального экономического района (от 1 засухи/10 лет на юго-западе до 16 засух/100 лет в центре и 2 засух/10 лет на востоке), Волго-Вятского района (до 2 засух/10 лет на юго-западе) и Поволжского района (до 16 засух/100 лет на территории Самарской области) (рис. 1.1.2б). В июне область наблюдения наибольшей повторяемости сильной засухи располагалась на северо-западе территории: по данным нормированного ГТК, ее максимальная частота составила 4–6 засух/100 лет (рис. 1.1.4.2в), а по данным SPI она варьировалась от 13 засух /100 лет на западе до 16 засух/100 лет на северо-востоке Центрального района (рис. 1.1.2г). По данным нормированного ГТК в июле два локальных эпицентра наблюдения максимальной повторяемости сильной засухи (6 засух/100 лет, рис. 1.1.2д) расположены на западе и на востоке исследуемого региона. Наибольшая частота сильной засухи в июле, по данным SPI, не превысила одной засухи за 10 лет и наблюдалась в расположенной в центре исследуемого региона меридианально ориентированной полосе (рис. 1.1.2е).

При сравнении результатов оказалось, что частота сильной засухи и область распространения, выявленные по данным индекса SPI, несколько больше, чем по данным нормированного ГТК. Области наибольшей повторяемости сильной засухи, обнаруженной по данным нормированного ГТК, расположены на западе и востоке территории. Помимо этих областей данные индекса SPI выявили области с аналогичными характеристиками и в центре исследуемого региона. Отличия связаны с различными типами соответствующих индексам функций распределения, следствием чего явилось принятие в расчет большей экстремальности при определении сильной засухи нормированным ГТК.

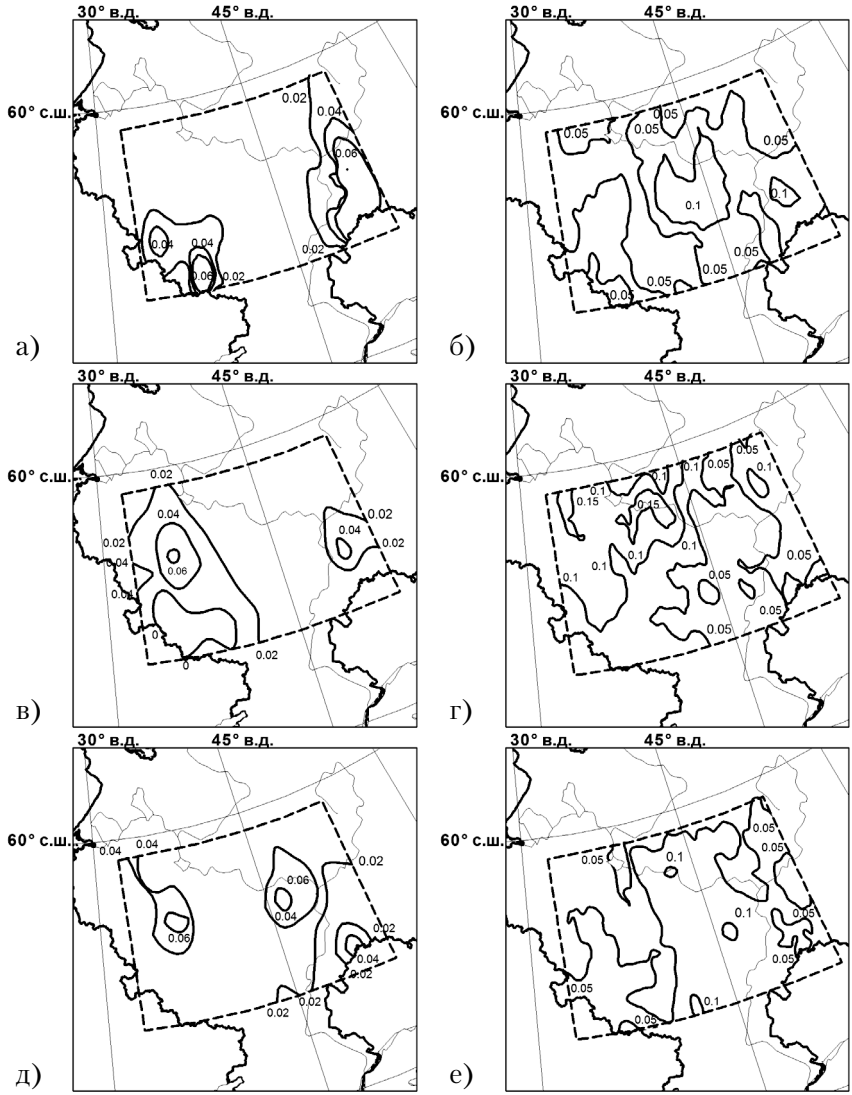


Рис. 1.1.2. Частота сильной засухи в центре Восточно-Европейской равнины по данным нормированного ГТК (рисунки слева) и SPI (рисунки справа) в мае (а, б), июне (в, г) и июле (д, е) в период 1961–1990 гг.
Fig. 1.1.2. The frequency of severe drought in the center of the East European Plain, according to the normalized SHC (on the left) and the SPI (on the right) in May (a, b), June (c, d) and July (e, f) in the period 1961–1990.

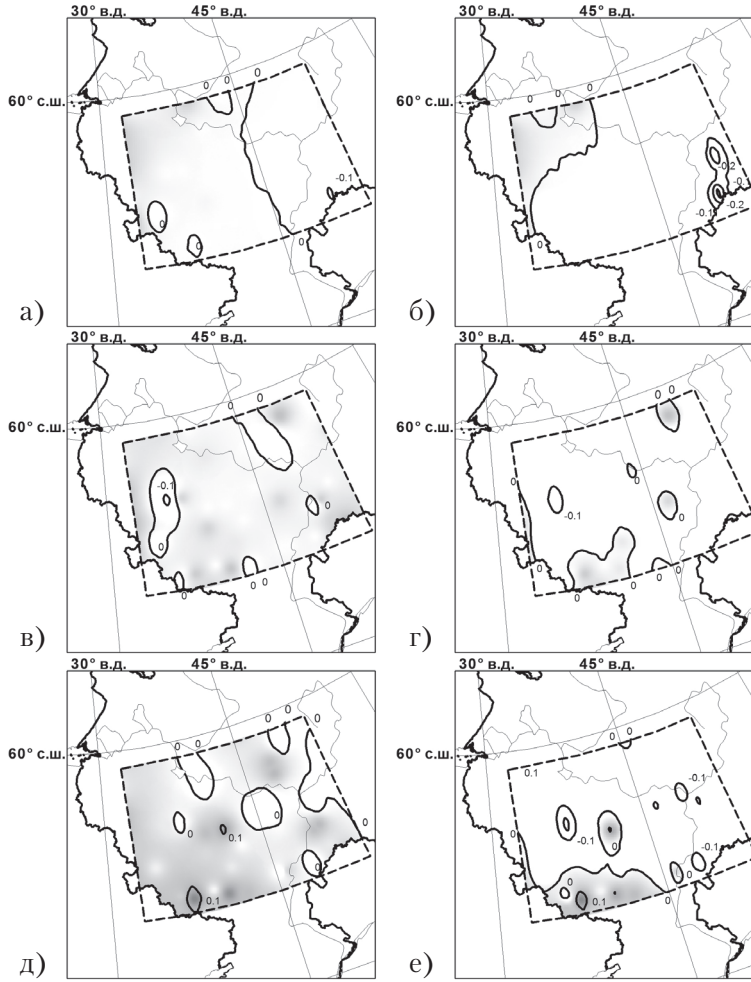


Рис. 1.1.3. Изменение среднемноголетней частоты сильной засухи в центре Восточно-Европейской равнины по данным нормированного ГТК в мае (а, б), мае–июне (в, г) и мае–июле (д, е) в период 1936–1960 гг. (рисунки слева) и 1991–2012 гг. (рисунки справа) по сравнению с 1961–1990 гг. Заливкой градациями серого цвета обозначены области увеличения частоты сильной засухи

Fig. 1.1.3. Change of frequency of severe drought in the center of the East European Plain in May (a, b), May-June (c, d) and May-July (e, f) in the periods 1936–1960 (on the left) and 1991–2012 (on the right) as compared with 1961–1990 according to the SHC data. Area of the increase of severe drought frequency is shaded

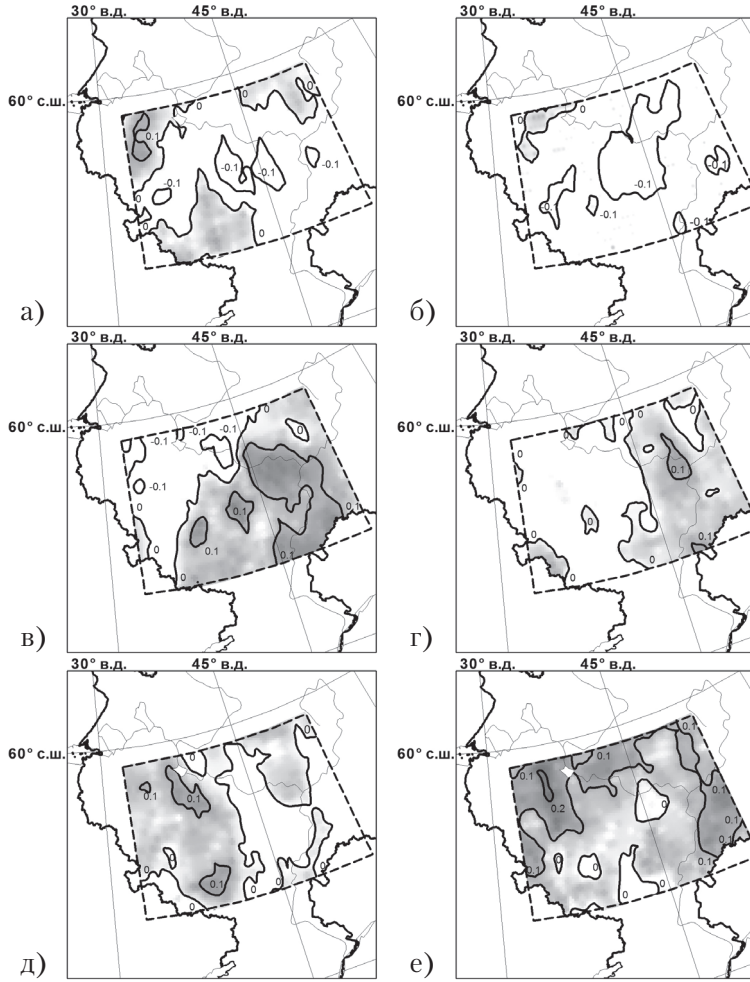


Рис. 1.1.4. Изменение среднемноголетней частоты сильной засухи в центре Восточно-Европейской равнины в мае (а, б), июне (в, г) и июле (д, е) в период 1936–1960 гг. (рисунки слева) и 1991–2012 гг. (рисунки справа) по сравнению с 1961–1990 гг. по данным SPI. Заливкой градациями серого цвета обозначены области увеличения частоты сильной засухи

Fig. 1.1.4. Change of frequency of severe drought in the center of the East European Plain in May (a, b), June (c, d) and July (e, f) in the periods 1936–1960 (on the left) and 1991–2012 (on the right) as compared with 1961–1990 according to the SPI data. Area of the increase of severe drought frequency is shaded

Согласно результатам, полученным при анализе данных нормированного ГТК и SPI, в мае в оба периода 1936–1960 гг. и 1991–2012 гг., по сравнению с 1961–1990 гг., на большей части территории исследования наблюдалось снижение частоты сильных засух. Это уменьшение было статистически незначимым, по данным нормированного ГТК, на всей территории (рис. 1.1.3а и 1.1.3б) и статистически значимым в центре исследуемого региона по данным SPI (рис. 1.1.4а и 1.1.4б). По тем же данным, локальная область значимого роста частоты сильной засухи на северо-западе отмечена в мае в период 1936–1960 гг. (рис. 1.1.4а).

В июне и июле в период 1936–1960 гг., по сравнению с базовым тридцатилетием, на значительной части территории наблюдалось увеличение частоты сильной засухи (рис. 1.1.3в, 1.1.3д, 1.1.4в и 1.1.4д), статистически значимое только по данным SPI в июне на территории Поволжья и в июле в двух небольших областях — в Центрально-Черноземном районе и в центре Центрального района. По данным SPI, в период 1991–2012 гг. тенденция повышения частоты засух в июне (рис. 1.1.4г) и июле (статистически значимая на северо-западе и юго-востоке, рис. 1.1.4е) на большей части территории, по сравнению с климатической нормой, сохранилась. Данные нормированного ГТК показали незначимое увеличение повторяемости сильной засухи на исследуемой территории в тот же период.

Глава 2. Причины и условия возникновения засух

В.А. Семенов, А.Н. Золотокрылин, Е.А. Черенкова, А.Ю. Михайлов

Обширные засухи ассоциируются с крупномасштабными стационарными антициклонами. В начале 1980-х гг. была разработана концепция атмосферных блокирующих образований (блокингов), объясняющая корреляцию явлений блокирования и засух в средних широтах, в частности в зерновом поясе России (Обухов и др., 1984). Концепция подчеркивала, что адекватное изучение генезиса засух невозможно без понимания условий формирования и эволюции атмосферных блокингов (Агаян, Мохов, 1989; Мохов, Петухов, 1989, 1997; Груза, Коровкина, 1991а, б; Mokhov and Tikhonova, 2000; Wiedenmann et al., 2002; Мохов, 2006, 2011; Barriopedro et al., 2006; Climate Change 2007a, b; Tyrlis, Hoskins, 2008; Рочева, 2012; Золотокрылин и др., 2014). Проблема атмосферного блокирования еще далеко не может считаться решенной, хотя наметился прогресс в понимании климатологии блокирующих антициклонов.

Основные результаты разных работ по атмосферным блокингам согласуются в качественном отношении. Так, максимум повторяемости блокирования в Северном полушарии был получен над Восточной Атлантикой и Европой, вторичный максимум — над центральной и восточной частями Тихого океана. Годовой ход характеристик блокирования сложен, межгодовая изменчивость высока. Максимум интенсивности блокингов над Европой отмечен зимой и осенью. В Северном полушарии обнаружены долговременные тренды блокингов, мониторинг которых ведется с 1948 г. (Неушкин и др., 2012). В Европейско-Азиатском секторе Северного полушария (20°–140° в. д.) линейный тренд числа блокингов за период май–август 1948–2010 гг. достоверно отрицательный, хотя количество блоков возрастало в интервалы 1950–1960 и 1979–1986 гг.

Получены результаты, указывающие на связь интенсивности и локализации блокирующих антициклонов с такими режимами общей циркуляции атмосферы, как квазидвухлетнее, Северо-Атлантическое колебания и событие Эль-Ниньо (Wiedenmann et al., 2002; Мохов, 2006).

Отмечена повышенная повторяемость блокингов в годы Ла-Нинья в сравнении с Эль-Ниньо в Северном полушарии. В Атлантико-Европейском секторе проявляется увеличение общей длительности блокингов (блоко-дней) и в годы Эль-Ниньо, и в годы Ла-Нинья относительно обычных лет. Особенно заметное увеличение общей длительности блокингов отмечено в годы Эль-Ниньо, когда повышена и средняя продолжительность отдельных блокингов (Mokhov, Tikhonova, 2000; Мохов, 2006). Риск формирования засух в мае–июле на европейской территории России (ЕТР) в год формирования достаточно сильного Ла-Нинья с максимальным индексом засушливости (в частности в 2010 г.) значительно возрастает, а в последующем году (в частности в 2011 г.) существенно понижается (Мохов, 2006, 2011).

Различные моды изменений индексов засух, от циклов с периодом несколько десятков лет до квазидвухлетней цикличности, выявлены с помощью спектрального анализа и вейвлет-анализа. При этом отмечены существенные различия между европейскими и азиатскими регионами России (Mokhov et al., 2004). Значительные внутри — и междесятилетние региональные вариации климата связаны, в частности, с квазидвухлетней цикличностью, явлениями Эль-Ниньо/Ла-Нинья, Северо-Атлантическим и Арктическим колебаниями (Mokhov, Smirnov, 2006). В связи с этими явлениями изменяется зональный перенос с соответствующими изменениями влагопереноса с Атлантики в глубь Евразии и осадков, в частности, в европейской части России. При этом выявлены нелинейные эффекты влияния событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

Засуха на европейской части территории России возникает при преобладающем антициклоническом режиме атмосферной циркуляции. Формирование антициклона над территорией чаще всего связано с распространением отрога азорского антициклона на юг ЕТР и вторжением сухих, быстро прогревающихся над континентом арктических масс воздуха. Исследование связи атмосферных засух на территории ЕТР в мае и июне с повторяемостью центров антициклонов, выявленной на основе срочных (четыре срока) данных высоты геопотенциала 500 гПа реанализа NCEP/NCAR (пространственное разрешение 2,5° × 2,5°), показало, что наиболее тесную связь с повторяемостью центров антициклонов демонстрируют индексы SPI и SPEI.

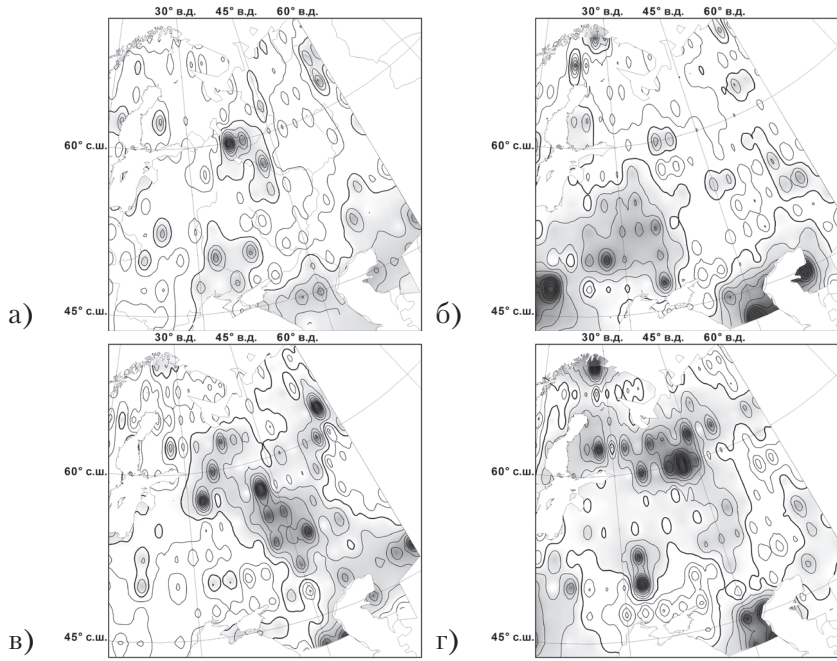


Рис. 1.2.1. Изменение повторяемости центров антициклонов (%) над ЕТР в мае (а) и в июне (в) в период 1949–1960 гг. и в мае (б) и в июне (г) в период 1991–2012 гг. по сравнению с 1961–1990 гг. на основе данных высоты геопотенциала 500 гПа. Заливкой градациями серого цвета обозначены области увеличения повторяемости центров антициклонов. Жирной линией отмечена изолиния со значением 0. Изолинии проведены с шагом 20

Fig. 1.2.1. Change of repeatability of anticyclones centers (%) over European Russia in May (a) and in June (c) during the period 1949–1960 and in May (b) and in June (d) during the period 1991–2012 compared with the period 1961–1990 using the 500 hPa geopotential height data. Area of the increase of the repeatability of anticyclones centers is shaded. The thick line indicates a contour with a value of 0. Contours interval is 20 gpm

Повторяемость центров антициклонов в мае в периоды 1949–1960 гг. и 1991–2012 гг., по сравнению с 1961–1990 гг., уменьшилась практически на всей европейской территории России (рис. 1.2.1а и 1.2.1б). В исследуемом регионе (рис. 1.1.1) уменьшение составило в среднем 30% в период 1949–1960 гг. и 15,6%

в период 1991–2012 гг. Как видно из рис. 1.2.1в и 1.2.1г, в июне в аналогичные временные интервалы наблюдалось увеличение повторяемости центров антициклонов. В период 1949–1960 гг. в районе исследования наблюдался рост в среднем на 53%, по сравнению с 1961–1990 гг. Увеличение повторяемости центров антициклонов в период 1991–2012 гг. составило 16%. Полученные результаты согласуются с изменениями частоты засух в центре ЕТР, по данным SPI, согласно которым частота сильных атмосферных засух в исследуемом регионе понизилась в мае в период 1936–1960 гг. и 1991–2012 гг., по сравнению с 1961–1990 гг. (рис. 1.1.4а–1.1.4г) и увеличилась в июне и в июле в то же время. Закономерность изменений может быть обусловлена термическим состоянием Северной Атлантики, на теплые фазы которой приходились периоды 1926–1962 гг. и 1995–2012 гг. (Sutton and Dong, 2012).

Ярким примером продолжительного блокинга стало событие лета 2010 г. Июль и август 2010 г. на ЕТР характеризовались аномальной жарой с рекордной температурой (Мохов, 2011; Гинзбург, 2011) (рис. 1.2.2а). Аномальный режим летней жары 2010 г. на европейской части России был связан с очень длительным — около двух месяцев — блокированием западного переноса в тропосфере средних широт Северного полушария антициклоном с центром примерно на широте 60° с. ш. и долготе 45° в. д. (рис. 1.2.2б) (Lupo et al., 2012; Schneidereit et al., 2012). При этом формированию экстремального регионального режима, инициированного блокирующим атмосферным антициклоном, способствовала, как свидетельствуют модельные оценки, адвекция теплого и сухого воздуха с юго-востока из регионов с пониженным влагозапасом почвы (Володин, 2011). Исследование наземных данных метеорологических наблюдений и спутниковых данных влажности почвы весной и летом 2010 г. на территории европейской части России и Казахстана подтвердило этот результат (Черенкова, Попова, 2015).

Численные эксперименты с моделями общей циркуляцией атмосферы с использованием предписанных граничных условий не воспроизвели наблюденную в 2010 г. аномалию (Dole et al., 2011), что говорит о важности внутренней динамики атмосферы. При этом стоит отметить, что климатические модели в принципе способны воспроизводить подобные события в численных экспериментах с учетом антропогенных воздействий (Мохов и др.,

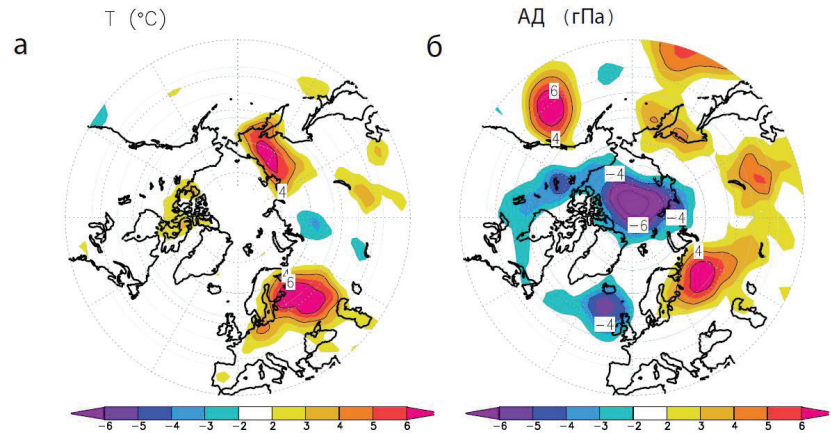


Рис. 1.2.2. Наблюдавшиеся в июле 2010 г. (а) аномалии приземной температуры Т (°С), (б) атмосферного давления АД (гПа) (относительно периода 1948–2012 гг.) по данным реанализа NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996)
Fig. 1.2.2. The surface temperature anomalies T (°C) (a) and the atmospheric pressure (hPa) (compared with the period 1948–2012) (b) observed in July 2010 according to the reanalysis NCEP / NCAR (Kalnay et al., 1996)

2013). Изменения климата должны приводить к изменению условий стационирования волн Россби с проявлением эффектов пространственного резонанса планетарных волн (Мохов и др., 1998; Petoukhov et al., 2012), что согласуется с волновой структурой аномалий приземного давления, проявляющейся в чередовании аномалий разного знака вдоль широтного круга (рис. 1.2.2б). Отмечается также значимое влияние аномальной конвекции в тропической Атлантике на процессы во внетропических широтах с учетом распространения волн Россби и формированием, например, пары циклон (над Средиземным морем) и антициклон (над ЕТР) (Trenberth and Fasullo, 2012).

Анализ характеристик атмосферных блокингов в Северном полушарии для последних десятилетий с использованием, в частности, данных ВНИИГМИ–МЦД и данных NCEP/NCAR реанализа указывает на общее увеличение времени жизни летних блокингов, их количества и длительности при общем потеплении Северного полушария (Мохов и др., 2013; Мохов, Петухов, 1997). Тенденция увеличения характерного времени жизни блокингов

Северного полушария при общем приповерхностном потеплении отмечена, например, в (Мохов, Петухов, 1997), по эмпирическим данным для последних десятилетий XX в.

С современными тенденциями в целом согласуются результаты модельных оценок изменений характеристик блокингов при антропогенном потеплении. В целом для Северного полушария при глобальном потеплении, связанном с увеличением содержания CO_2 в атмосфере, получено общее увеличение частоты блокирующих режимов и среднего времени жизни блокингов (Lupo et al., 1997). Региональные изменения могут иметь различные тенденции. В частности, для летних блокирований в Европейском секторе при антропогенном потеплении в целом отмечается уменьшение частоты блокирований, но при этом максимум частоты блокирований смещается на восток (Masato et al., 2013), в регион, где находился блокинг лета 2010 г., что также согласуется с результатами, представленными на рис. 1.2.1.

Глава 3. Влияние Атлантического долгопериодного колебания на формирование засух в Северной Евразии

В.А. Семенов, А.В. Чернокульский

Глобальное потепление, характеризующееся ускоренными темпами над территорией Северной Евразии (СЕ), должно способствовать увеличению вероятности и магнитуды положительных аномалий приземной температуры. Такие тенденции наблюдаются в последние десятилетия во многих регионах Северной Евразии (Второй оценочный доклад, раздел 1.7). Потепление также может способствовать формированию устойчивых антициклонических аномалий атмосферной циркуляции — режимов блокирования, которые в теплый сезон приводят к волнам жары (Мохов, Семенов, 2016). С начала XXI в. был отмечен ряд беспрецедентных температурных аномалий в Северной Евразии, например, аномальная жара 2003 г. в Западной Европе и в 2010 г. на европейской территории России. Продолжительные волны жары, как правило, приводят к засухам — периодам с аномально низким влагосодержанием почвы. Формирование засух зависит от аномалий как температуры, так и увлажнения, и более сложным образом связано с климатическими изменениями (Мохов и др., 2005; Trenberth et al., 2013). В западной части Северной Евразии в последние 30 лет не отмечается увеличения засушливости (Черенкова, 2013). При этом следует отметить, что использование различных индексов засух может приводить к разным выводам (Dai, 2011). Относительно короткий период современного потепления не позволяет достоверно оценить тенденции изменения характеристик засух и их связь с глобальным потеплением только на основе эмпирических данных (Trenberth et al., 2013). Помимо тренда глобального потепления, на формирование погодно-климатических аномалий, в том числе засух, влияют и естественные квазициклические процессы в климатической системе (Мохов, Семенов, 2016). Одним из важных факторов, имеющих большое влияние на климат Евразии, является Атлантическое долгопериодное колебание (АДК) — значительные долгопериодные колебания температуры поверхности океана

(ТПО) с характерным периодом около 60 лет. АДК связано с изменениями меридионального океанического круговорота в Северной Атлантике и соответствующими изменениями океанического переноса тепла из низких широт в высокие (Latif et al., 2004). Период с 1970-х до начала 2000-х гг. характеризовался переходом АДК от отрицательной фазы к положительной на фоне глобального потепления. Вклад АДК в изменения глобальной температуры по модельным оценкам в этот период может составлять до 50% (Semenov et al., 2010) и еще больше — в западной части Северной Евразии (Семенов, 2015). Помимо влияния на средние значения климатических характеристик, АДК может оказывать воздействие и на аномальные режимы температуры и осадков (Семенов и др., 2014).

Проведен анализ влияния АДК на условия засушливости в регионах СЕ в вегетационный период (май-июнь-июль) (Семенов и др., 2016). Использовалась модификация индекса засушливости Dm (Meshcherskaya and Blazhevich, 1997), который определяется среднемесячными значениями температуры T и осадков P (табл. 1.3.1), при этом положительные значения Dm характеризуют условия засушливости, а отрицательные — условия избыточного увлажнения. Среднее значение индекса за вегетационный период (май-июнь-июль) DmMJJ рассчитывалось как арифметическое среднее месячных значений Dm. Индекс Dm достаточно хорошо согласуется с более сложными индексами засушливости, такими как нормированный индекс осадков (SPI), нормированный индекс осадков и испарения (SPEI) (Vicente-Serrano et al., 2010) и индекс суровости засухи Палмера (PDSI) (Dai, 2011) (рис. 1.3.1).

Таблица 1.3.1. Расчет индекса Dm в зависимости от аномалий среднемесячной температуры воздуха (δT) и месячной суммы осадков (δP) (относительно средних многолетних Tm и Pm). Адаптировано из (Семенов и др., 2016)

Table 1.3.1. Drought index Dm calculation in depend on surface air temperature anomalies (δT) and monthly precipitation rate (dδP) (relative to their longterm means)

δT=T −Tm	δT⩽−2K	−2K<δT⩽−1K	−1K<δT<1K	1K⩽δT<2K	δT⩾2K
δP=P/Pm	δP⩾1,4	1,4>δP⩾1,2	1,2>δP>0,8	0,8⩾δP>0,6	δP⩽0,6
Dm	**−2**	**−1**	**0**	**1**	**2**

Корреляция долей европейской территории России, охваченных условиями засушливости и определяемых по разным индексам за последние 100 лет, положительна и статистически значима (табл. 1.3.2).

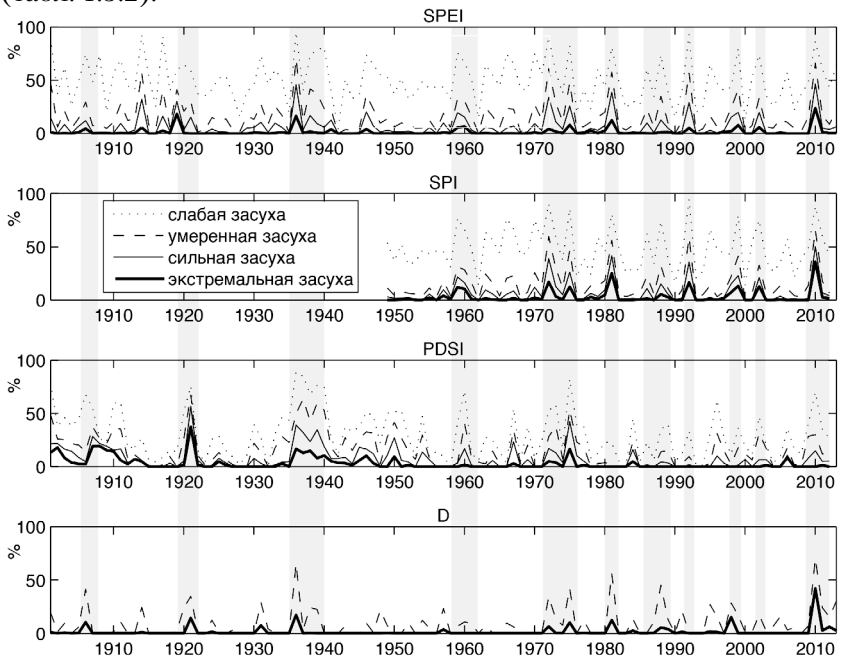


Рис. 1.3.1. Доля европейской территории России, подверженная засухе разной интенсивности (черный пунктир — слабая засуха, черная штриховая линия — умеренная засуха, тонкая черная линия — сильная засуха, толстая черная линия — экстремальная засуха), по данным наблюдений CRU (Harris et al., 2014) на основе различных индексов засушливости. Вертикальные линии соответствуют годам с наибольшим развитием засух (отмечаемым по разным индексам)

Fig. 1.3.1. Fraction of the European part of Russia (50–65N, 30–60E), which suffered drought with different intensity (dotted line – weak drought, dashed line – moderate drought, solid line – intense drought, thick solid line – extreme drought) based on CRU data and different drought indices. Vertical lines correspond to years with the most severe droughts (which noted from several indices)

Таблица 1.3.2. Коэффициент корреляции долей европейской территории России (50–65° с. ш., 30–60° в. д.) с условиями умеренной (или сильной) засухи в мае-июне-июле, определенных по индексу Dm и по индексам SPI, SPEI и PDSI для 1901–2012 гг. (рассчитаны по данным (Harris et al., 2014)). Все коэффициенты корреляции статистически значимы на уровне 5%. Адаптировано из (Семенов и др., 2016)

Table 1.3.2. Correlation coefficient between different drought indices for the European part of Russia (50–65N, 30–60E) in May-June-July for 1901–2012 years based on CRU data. All coefficients are statistically significant at 5% rate

Умеренная засуха	SPEI < –1	SPI < –1	PDSI < –1
Dm > 1	**0,69**	**0,68**	**0,46**
Сильная засуха	SPEI < –2	SPI < –2	PDSI < –3
Dm > 2	**0,69**	**0,76**	**0,28**

Для оценки влияния АДК на условия засушливости использовались результаты численных экспериментов с совместной моделью общей циркуляции атмосферы (МОЦА) ECHAM5 (Roeckner et al., 2003) и термодинамической моделью верхнего перемешанного слоя океана (50 м). В такой модели температура океана определялась уравнением баланса радиационных и турбулентных потоков тепла на поверхности океана со среднеклиматическими предписанными значениями конвергенции океанического потока тепла (КОПТ), связанного с его трехмерной динамикой (Семенов и др., 2014). Для моделирования эффектов, связанных с АДК, в модели, в добавление к КОПТ, задавался аномальный поток тепла в СА и Арктике, величина и пространственное распределение которого были получены из анализа данных численных расчетов с совместной моделью общей циркуляции атмосферы, океана и морского льда, результаты которой хорошо согласуются с данными наблюдений (Semenov et al., 2010) (рис. 1.3.2). Среднегодовая амплитуда аномальных потоков тепла при переходе от отрицательной к положительной фазе АДК составляла 0,09 ПВт, что согласуется с эмпирическими оценками (Семенов и др., 2014). Аномальные потоки тепла задавались как гармонические колебания с периодом 60 лет, что примерно соответствует максимуму в спектре колебаний индекса АДК, по данным наблюдений.

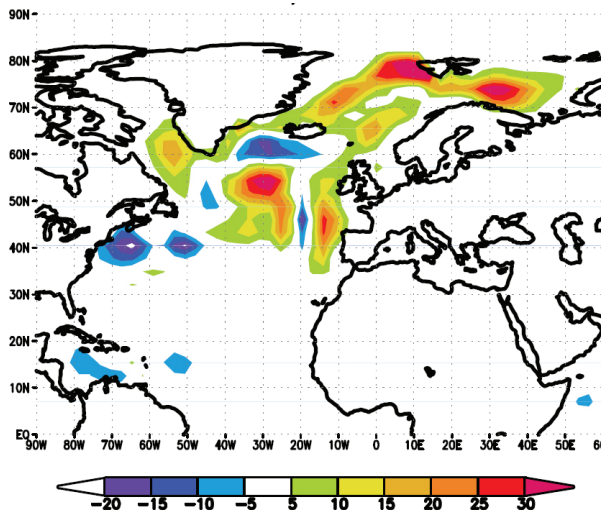


Рис. 1.3.2. Аномальные среднегодовые потоки турбулентного тепла с поверхности океана (Вт/м^2), соответствующие разности между высокой и низкой фазами АДК (положительные — направлены из океана в атмосферу), по данным контрольного эксперимента с совместной моделью климата ECHAM5/MPI-OM, реалистично воспроизводящей АДК, и использовавшиеся в анализируемых модельных экспериментах

Fig. 1.3.2. Heat fluxes (Wm^{-2}) pattern related to Atlantic Multidecadal Oscillation that is used to force the climate model

Помимо эксперимента «АДК» с аномальными потоками реалистичной амплитуды был выполнен контрольный эксперимент («КОНТР», без аномальных потоков), в котором изменения ТПО связаны исключительно с реакцией на внутреннюю динамику атмосферы, а также эксперимент «АДК2» с удвоенной амплитудой аномальных потоков. Такой эксперимент позволяет оценить линейность отклика климата на АДК. Длительность модельных экспериментов составляла 500 лет (также проведен эксперимент с 40-летним циклом АДК, «АДК40») (рис. 1.3.3). Отметим, что описанные эксперименты являются идеализированными, поскольку не учитывают других внутренних мод изменчивости океана, равно как и двухсторонних обратных связей АДК (и динамики океана в целом) с изменчивостью атмосферы. Преимущество таких

экспериментов в том, что они позволяют выделить эффекты, связанные исключительно с АДК, поскольку, согласно постановке экспериментов, это единственное «внешнее воздействие» на климатическую систему. Используемая версия МОЦА имеет спектральное горизонтальное разрешение T31 (примерно 3,85° × 3,85° по широте и долготе) и 19 вертикальных уровней. Несмотря на относительно

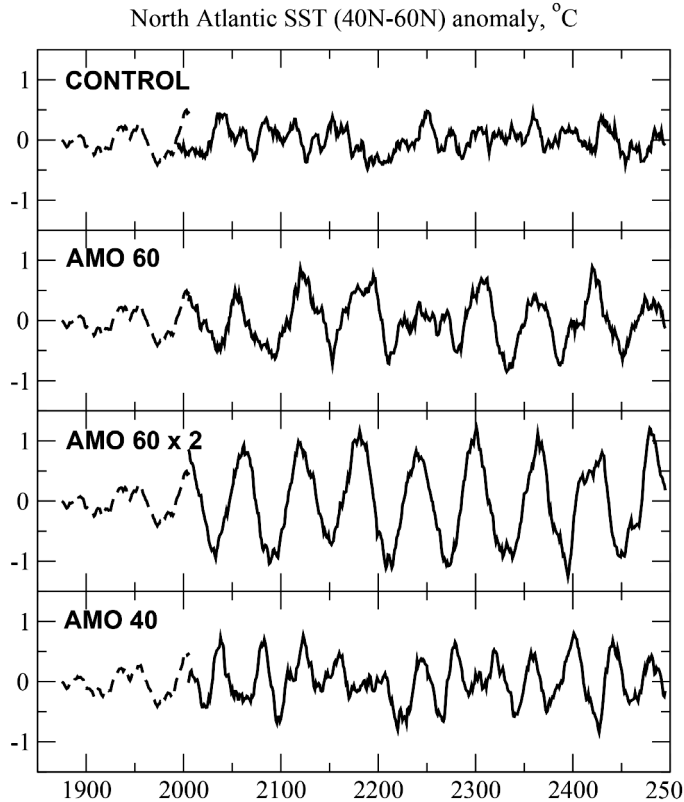


Рис. 1.3.3. Аномалии среднегодовой температуры поверхности океана в Северной Атлантике (40–60° с. ш., черные кривые) в разных численных экспериментах (сверху вниз: КОНТР, АДК, АДК2, АДК40) и по данным наблюдений HadSST1. Ряды сглажены 11-летним скользящим осреднением

Fig. 1.3.3. Sea surface temperature anomalies in North Atlantic (40–60N) serving as an index of Atlantic Multidecadal Oscillation in different numerical simulations (CONTR, AMO, AMO2, AMO40)

низкое пространственное разрешение модели, она способна реалистично воспроизводить главные моды естественной климатической изменчивости и климатические тренды (см. литературу в Semenov et al., 2010, Семенов и др., 2014). В качестве индекса АДК использовалась ТПО, осредненная в регионе 40–60° с. ш., 50–10° з. д. за период с мая по август. Следует отметить, что взаимодействие атмосферы с верхним слоем океана в контрольном эксперименте приводит к значительным аномалиям ТПО, часто сравнимым по амплитуде с изменениями ТПО, связанными с АДК (не показано). Стандартное отклонение декадных колебаний индекса АДК составило 0,25, 0,41 и 0,70°С для контрольного эксперимента, экспериментов «АДК» и «АДК2» соответственно.

На рис. 1.3.4 приведены коэффициенты корреляции между индексом АДК и долей европейской территории России (ЕТР, 50–65° с. ш., 30–60° в. д.), охваченной засухами ($Dm_{MJJ} > 1$) для различных периодов с мая по август в контрольном эксперименте и экспериментах с воздействием АДК. Ряды предварительно сглажены 11-летним скользящим осреднением. Индекс АДК положительно коррелирует с индексом засушливости на ЕТР в летний период в экспериментах «АДК» и «АДК2» (за исключением июня, когда получена статистически незначимая отрицательная корреляция). В целом за май–июль корреляция достигает 0,35 (статистически значимое значение) с максимальным значением в мае (0,43), ключевом для вегетации месяце. То есть около 10% долгопериодной изменчивости засух на ЕТР можно объяснить динамикой АДК. Важно отметить, что в контрольном эксперименте корреляции индекса АДК с площадью засух на ЕТР отрицательны, достигая статистически значимых значений в мае и в мае-июне в целом. Это говорит о качественно разной связи индекса засушливости с аномалиями ТПО в Северной Атлантике, вызванными исключительно внутренней стохастической динамикой атмосферы (в контрольном эксперименте), и в экспериментах «АДК» и «АДК2», где аномалии ТПО формируются также под воздействием независимого от атмосферы фактора — динамики океана, описываемой аномальными потоками океанической конвергенции тепла.

Полученные результаты для корреляций площади засух на ЕТР объясняются пространственной картиной корреляций индекса АДК с индексом засушливости DmMJJ в СЕ (рис. 1.3.5). Помимо

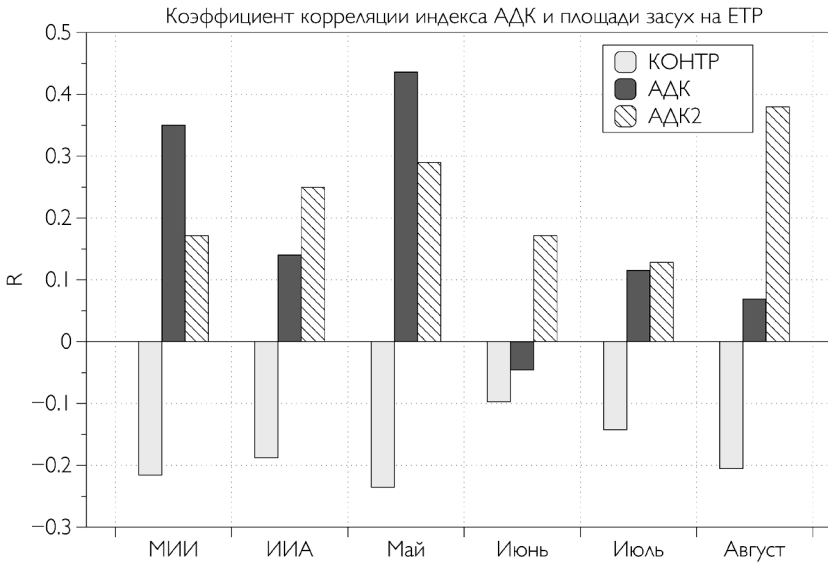


Рис. 1.3.4. Корреляции между индексом АДК и площадью засух на европейской территории России (50–65° с. ш., 30–60° в. д.) в контрольном эксперименте и в экспериментах по моделированию АДК с реалистичной (АДК) и удвоенной (АДК2) амплитудой. Все ряды предварительно сглажены 11-летним скользящим осреднением. Адаптировано из (Семенов и др., 2016)

Fig. 1.3.4. Correlation coefficient between AMO index and area of drought in the European part of Russia (50–65N, 30–60E) in control experiment (CONTR) and in experiments with realistic and doubled AMO amplitude (AMO and AMO2). Data were smoothed with 11-year running means

модельных результатов показаны корреляции, рассчитанные по эмпирическим данным (CRU (Harris et al., 2014)) для периода 1901–2013 гг. Отметим, что этот период включает в себя менее 2-х полных циклов АДК, что обуславливает существенную неопределенность эмпирических оценок. В целом можно отметить достаточно хорошую согласованность пространственного распределения корреляций в эксперименте АДК с эмпирическими результатами. Как и в модели, для данных наблюдений области с максимальными положительными корреляциями расположены в Западной Европе, на севере Северной Евразии и Дальнем Востоке, с минималь-

ными значениями вдоль широтной полосы 45° с. ш. На усиление засушливости в Западной Европе в весенний период указывают и результаты эмпирического анализа (Sutton and Hodson, 2005). Отмечаются и региональные отличия, в частности на Балканском полуострове и в районе Причерноморья, где данные наблюдений показывают высокие положительные корреляции АДК и DmMJJ, а в модели (в обоих экспериментах «АДК» и «АДК2») отмечен локальный минимум значений коэффициента корреляций. Помимо отмеченной ранее неопределенности, связанной с относительно

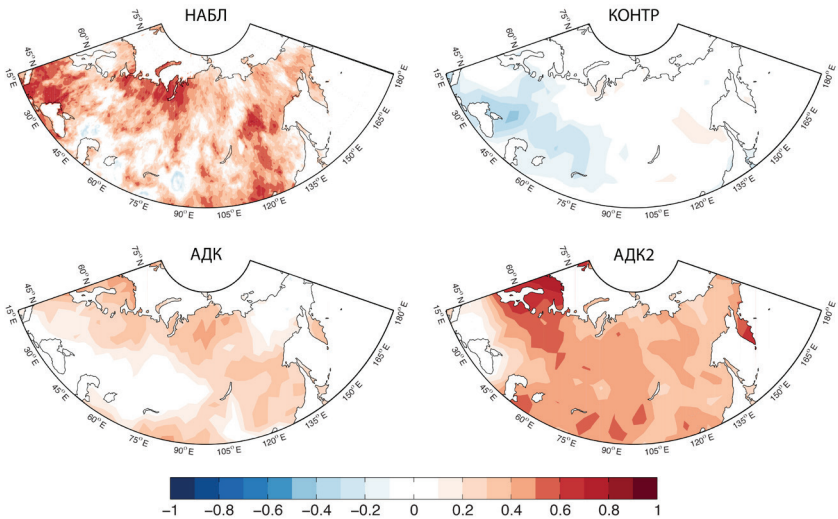


Рис. 1.3.5. Коэффициенты корреляции между 11-летними скользящими средними значениями индекса АДК и индекса Dm в мае-июне-июле, по данным наблюдений CRU за 1901–2013 гг. (НАБЛ), по результатам контрольного эксперимента (КОНТР) и по результатам экспериментов по моделированию АДК с реалистичной (АДК) и удвоенной (АДК2) амплитудами воздействия. Контуры проведены через 0,1. Корреляции, по модулю превышающие 0,34, являются статистически значимыми на уровне 10%. Адаптировано из (Семенов и др., 2016)

Fig. 1.3.5. Correlation coefficient between 11-year running means of AMO index and drought index Dm in May-June-July based on: observations (CRU) for 1901–2013 (upper left panel), control model simulations (upper right panel), model simulations with realistic AMO amplitude (lower left panel), model simulations with doubled AMO amplitude (lower right panel). Correlation coefficients that exceed 0.34 are statistically significant

короткой длиной ряда наблюдений, это расхождение может быть связано с влиянием аномалий ТПО в Средиземном и Черном морях. По данным наблюдений, эти аномалии в целом синхронны с индексом АДК, в то время, как в модели они практически отсутствуют (не показано). В контрольном эксперименте ТПО в Северной Атлантике отрицательно коррелируют с индексом засушливости в Восточной Европе и южных регионах Центральной Сибири с минимальными (статистически значимыми) значениями в регионе Северного Кавказа. В эксперименте с удвоенной амплитудой АДК вся Северная Евразия, за исключением Причерноморского и Балканского региона, характеризуется значимыми положительными корреляциями.

Полученные результаты указывают на значимый вклад АДК в долгопериодные изменения индекса засушливости Dm в весенне-летний период на территории Северной Евразии, объясняя более 15% изменчивости Dm в некоторых регионах (рис. 1.3.5). Наиболее сильная связь при этом отмечается в мае. В том числе на ЕТР корреляция доли подверженной засухам регионов с АДК в мае достигает 0,45 (рис. 1.3.4). Это говорит о возможном вкладе АДК, находящегося вблизи максимума положительной фазы в последнее десятилетие, в формирование засух 2010 и 2012 гг. на территории России.

ЧАСТЬ 2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАСУХ ПО ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Глава 1. Засухозависимый климатический сигнал в ширине годичных колец разных видов древесных растений

Физиологические основы формирования засухозависимого климатического сигнала в хронологиях

Д.Е. Румянцев

Глобальное изменение климата выражается как в изменении температур воздуха и количества атмосферных осадков, так и в увеличении частоты возникновения экстремальных метеоявлений, среди которых первое место по значимости для экономики составляют засухи. Прежде всего, засухи оказывают негативное влияние на метаболизм растений, определяют их низкую фотосинтетическую продуктивность, что, с одной стороны, ведет к снижению урожайности, а с другой — к их ослаблению, снижению иммунитета и зачастую к гибели в год засухи либо в последующие годы. Засуха как явление всегда присутствовала в жизни растений; у многих видов выработались специфичные и неспецифичные адаптации к засухам, обозначаемые термином «засухоустойчивость». Проблема заключается в том, что многие естественные для такой глобальной экосистемы, как биосфера, процессы оказываются пагубными для хозяйства и экономики. Другая проблема заключается в том, что частота засух может увеличиваться относительно уровня, к которому существующие природные экосистемы адаптированы в результате длительной эволюции. В итоге мы будем наблюдать дестабилизацию их состояния и, как следствие, нарушение привычных для экономики традиционных механизмов природопользования. Одной из первых отечественных работ,

посвященных засухоустойчивости растений, был труд К. А. Тимирязева «Борьба растения с засухой» (1893). В этой работе Тимирязев указал на основную проблему, порождающую неустойчивость растений к засухам. Растение путем движения устьиц может регулировать процесс испарения воды со своей поверхности, однако стать полностью непроницаемым для воды на период засухи растение не может, так как через устьица, помимо транспирации, происходит еще и газообмен: поступают необходимая для фотосинтеза углекислота и кислород, необходимый для дыхания. Таким образом, испарение воды в период засухи является для растения «неизбежным злом», связанным с необходимостью в газообмене.

Воздействие засухи на организм растения, как правило, отрицательно, и традиционно этот вопрос исследовался преимущественно с позиций засухоустойчивости растений, то есть способности растения существовать в режиме засухи с минимальным снижением продуктивности и устойчивости. Противоположной методологической установкой, ориентированной на выявления «засухочувствительности» растений, руководствуется дендроклиматология, исследования которой направлены на выявление в древесно-кольцевых хронологиях возможно более сильного засухозависимого сигнала (высокой «засухочувствительности»), что важно для реконструкции и прогноза частоты засух на основе дендрохронологической информации.

Рассматривая историю и современное состояние вопроса о физиологических основах засухоустойчивости (засухочувствительности) растений, мы сталкиваемся с гигантским объемом научного материала. Подробный обзор истории исследований засухоустойчивости растений приведен в диссертации Н. Л. Гудскова (1985). Краткий очерк начальных этапов развития учения о засухоустойчивости растений содержит работа О. В. Чернышенко и Д. Е. Румянцева (2006), выдержками из которой мы воспользуемся далее.

Учение о водном режиме и о влиянии засухи на растения всегда интересовало русских ученых, так как Россия часто страдала от засух. Уже в XVIII в. М. В. Ломоносов (1986) мечтал о том времени, когда людям удастся «нивы в день, палящий жажды дождем прохладным напоить».

П. А. Ильенков в 1865 г. в Петровско-Разумовской академии поставил первые опыты по определению потребности в воде у куль-

турных растений. Сравнивая количество израсходованной воды с количеством накопленного сухого вещества, он впервые подошел к понятию о транспирационном коэффициенте. Ф. И. Шведов (1892), используя годичные кольца спиленных деревьев как «летопись засух», установил зависимость между шириной годичного прироста деревьев и метеорологическими условиями года.

Агроном С. М. Богданов в 1886 г. установил понятие о «мертвом запасе» воды в почве. Он определил, что количество недоступной воды в почве соответствует приблизительно двойной величине максимальной гигроскопичности почвы. Эта работа была выполнена на 23 года раньше исследований американских ученых Л. Д. Бригса и Г. Шанца, выдвинувших в 1911–1912 гг. представление о «коэффициенте завядания» (Чернышенко, Румянцев, 2006).

В 1891 г. Россию постигло страшное бедствие, вызванное засухой, и, как следствие, — неурожай хлебов на значительной территории. В 1892 г. К. А. Тимирязев выступил со знаменитой лекцией «Борьба растения с засухой», в которой разобрал физиологические основы устойчивости и методы их повышения (в виде отдельного издания была опубликована в 1893 г.). Он писал: «Засуха способствует выработке целого ряда приспособлений, ограждающих от вредного влияния засухи». Тимирязев отметил важную роль системы приспособлений, которыми располагают листья степных растений в виде различной формы волосков и, точно войлок, защищающие живые клетки листа от чрезмерной инсоляции и перегрева. Такое же влияние оказывает заглубление устьиц.

В. Р. Заленский в 1904 г. опубликовал исследование об анатомическом строении листьев разных ярусов (Чернышенко, Румянцев, 2006). Он обнаружил, что верхние листья, находящиеся в условиях более сильного испарения воды и более затрудненного водоснабжения, чем нижние, имеют более мелкие клетки, большее число устьиц на единицу поверхности и более густую сеть жилок. Связав эти наблюдения с анатомическими особенностями листьев различных ярусов, Заленский показал, что чем выше точка прикрепления листа по стеблю, тем более свойства этого листа приближаются к свойствам листьев растений, обитающих в открытых сухих местах. Верхние листья имеют большее количество устьиц на единицу поверхности, более развитую систему проводящих воду элементов, у них мельче клетки, более развита палисадная

паренхима. Верхние листья обладают большей сосущей силой, более интенсивной транспирацией, но содержание воды в них меньше, они более долговечны при засухе. Впоследствии эти закономерности были названы «законом Заленского».

Русский агрометеоролог П. И. Броунов на основе многолетних экспериментов, начатых в 1897 г., установил важное понятие о «критических периодах» у растений. В эти периоды растение наиболее чувствительно к недостатку влаги. Например, пшеница особенно чувствительна к засухе в период стеблевания и колошения.

Однако работы Заленского не привлекали к себе должного внимания, и в конце XIX и начале XX в. в Западной Европе получила распространение теория немецкого ботаника-географа А. Шимплера, который считал, что растения засушливых мест обитания должны характеризоваться не только пониженной транспирацией, но и слабой ассимиляцией и медленным ростом. «Образцом» засухоустойчивых растений были признаны кактусы и другие суккуленты. Исследования по водному обмену Шимплер проводил только на суккулентах, и эти закономерности перенес на всю группу ксерофитов в целом.

В. В. Колкунов (Чернышенко, Румянцев, 2006) в работах 1900–1905 гг. опубликовал результаты изучения засухоустойчивости культурных растений, показывающие, что к этим растениям, помимо требования экономной транспирации, должно быть предъявлено требование высокой ассимиляции. Он выдвинул идею отбора засухоустойчивых растений на основе изучения анатомических приспособлений их против засухи.

В 1916 г. Н. А. Максимов (Чернышенко, Румянцев, 2006) выступил против теории Шимпера. Он наблюдал, что многие засухоустойчивые растения в Тбилиси при достаточном водоснабжении обнаруживают высокую интенсивность транспирации, при этом они быстро растут. Наиболее высокой интенсивностью транспирации из всех обладали густоопушенные ксерофиты типа резака (*Falcaria rivini*), испарявшие воду в среднем в три раза сильнее теневых мезофитов. По мнению Максимова, засухоустойчивые растения — не «сухолюбы», но они лучше переносят обезвоживание и способны использовать для роста даже малое количество влаги. Он дал новое определение засухоустойчивости как основной способности растений сухих мест обитания (ксерофитов) и указал

на их способность «переносить без вреда длительные засушливые периоды, губительные для мезофитов».

Современные представления о засухоустойчивости древесных растений изложены в работе Крамера и Козловского (1983). Авторы отмечают, что в течение многих лет термин «засухоустойчивость» использовался для обозначения способности растений переносить засуху. Однако этот термин имеет недостаток: при обсуждении так называемой «засухоустойчивости» часто смешивают фактор внешней среды, засуху, с реакцией растений на недостаток воды, который лучше описывать как «водный дефицит» или «водный стресс». Поэтому было предложено пользоваться термином «засуховыносливость», потому что он более точно характеризует реакцию растений на засуху.

Согласно определению вышеназванных авторов, засуха — это метеорологическое явление, обычно описываемое как период без осадков, достаточно продолжительный для того, чтобы вызвать истощение запасов почвенной влаги и ослабление роста растений. Засуха может быть долговременной — как в засушливых районах, сезонной — как в областях со строго определенными влажными и сухими временами года или случайной — в наиболее влажных зонах. Продолжительность периода без дождей, необходимая для создания засушливых условий, зависит от влагоемкости почвы и скорости эвапотранспирации; в меньшей степени — от типа растительности.

Засуха — это фактор внешней среды, вызывающий водный дефицит или водный стресс в растениях. В физиологии растений термин «водный стресс» используют как для характеристики водного дефицита во внешней среде, так и в отношении водного дефицита растений. Водный стресс, или водный дефицит растений, начинает развиваться при водном потенциале листьев минус 2 или минус 3 бар или когда тургор клеток становится значительно ниже его максимальной величины.

Водный дефицит растений и стресс всегда сопровождают засуху, но встречаются они и в другое время — вследствие слишком быстрой транспирации или, когда поглощению воды препятствуют холодная почва, избыток солей в почвенном растворе или повреждение корневых систем. Большинство растений подвергаются действию временного водного дефицита и стресса в полдень

при жаркой солнечной погоде даже в тех случаях, когда они растут на почве с влажностью близкой к полевой влагоемкости или на разбавленном питательном растворе. Верхние, более освещенные части древесных крон обычно подвергаются действию более сильного стресса, чем нижние. Последствия водного дефицита, вызываемого засухой или другими причинами, так же важны для роста лесных, фруктовых и декоративных древесных растений, как и для однолетних травянистых сельскохозяйственных культур. Способность переносить засуху зависит от ряда фенологических, морфологических и физиологических факторов. Деревья одних видов переносят засуху с меньшим ущербом, чем другие.

Растения выживают в районах с недостаточным количеством осадков благодаря тому, что они обладают морфологическими или физиологическими особенностями, дающими им возможность не подвергаться обезвоживанию или удлинять этот срок, либо потому, что они могут выносить высыхание.

Повреждающая степень обезвоживания при пониженном поступлении воды в корни может быть отсрочена несколькими путями:

1) Наиболее понятный способ заключается в запасании большого количества воды в корнях или стеблях. Однако, несмотря на то что в стволах деревьев запасается много воды, ее масса незначительна по сравнению с транспирационными потерями древесных растений.

2) У многих растений из засушливой зоны или из районов с продолжительной летней засухой имеются сильно кутинизированные листья и наблюдается очень низкая интенсивность транспирации после закрывания устьиц.

3) Глубокие, широко простирающиеся корневые системы имеют большое значение для отсрочки повреждения от высыхания.

4) При понижении содержания воды до критического уровня выживание растений зависит от степени обезвоживания, которую способна выдержать протоплазма, не претерпевая необратимых повреждений.

5) Высокое осмотическое давление также считалось важным приспособлением к водному стрессу. Благоприятное влияние осморегуляции на водный стресс было показано на сельскохозяйственных культурах, но оно может иметь значение и для некоторых

древесных растений. Например, по сообщению Осонуби и Дэвиса (1978; цит. по: Крамер, Козловский, 1983), накопление солей является важным фактором поддержания тургора у испытывающего водный стресс дуба черешчатого, но не у березы.

6) Известно, что растения, подвергавшиеся действию водного стресса, меньше повреждаются засухой, чем растения, не испытавшие до этого недостатка воды.

Рассматривая вопрос на более обобщенном уровне, можно отметить, что более высокая степень засухоустойчивости обуславливается, с одной стороны, способностью растений сохранять нормальный уровень метаболизма при более широком интервале значений напряженности этого фактора, то есть обеспечивается повышенной биологической буферностью организма, а с другой стороны — большой скоростью выработки у него защитных изменений метаболизма, когда напряженность стресса выходит за пределы этих значений (Гончарова, Бекузарова, 2015). Изменения физиологических параметров у растений в условиях засухи эти авторы характеризуют следующим образом: растет концентрация ионов в тканях; падает активность воды в клетке; растет осмотический потенциал клеток; падает интенсивность транспирации листьев; растет интенсивность дыхания; снижается интенсивность фотофосфорилирования; растет стабилизация ядерной ДНК; снижается функциональная активность ДНК; растет концентрация белка пролина; подавлены синтетические реакции; подавлено поглощение ионов корнями; подавлен транспорт веществ; падает концентрация пигментов; тормозится деление клеток; подавлено растяжение клеток; ускорено старение органов и как следствие вышеизложенного — снижается биологический урожай.

Немаловажно, что засуха всегда сопровождается воздействием повышенных температур на растения. Высокие температуры усиливают действие атмосферной и почвенной засух. Это способствует нарушению водного баланса у растений и нагреванию листьев до летальной температуры (Любимов, Котов, 2010). Циркуляция воды в системе: почва–растение–атмосфера позволяет поддерживать температуру листьев, побегов и всего организма близкую к температуре окружающей среды благодаря водному балансу.

Рассматривая отличия разных видов древесных растений по засухоустойчивости (засухочувствительности), имеет смысл

упомянуть об их эволюционных корнях. Эта проблема рассматривалась, например, А. Г. Юсуфовым (1996). Необходимость в регуляции водного баланса возникла у первых растений, начавших заселение суши. Прежде всего, это привело к возникновению системы тканей, предохраняющей тело растения от обезвоживания. Формирование такой ткани затруднило диффузию углекислого газа в фотосинтезирующие ткани растения. До настоящего времени перед современными видами растений стоит противоречивая задача, связанная, с одной стороны, с необходимостью осуществления фотосинтеза (то есть открытия устьиц листа ради диффузии углекислого газа), а с другой — с ограничением потерь воды в засушливые периоды за счет ограничения транспирации путем закрытия устьичной щели. Эволюция растений была связана с оценкой естественным отбором внутрипопуляционных различий в балансе водообмена растений. Один и тот же результат в плане засухоустойчивости достигался эволюционным приобретением различного типа новшеств. Засухоустойчивость растений представляет собой наследственное свойство, связанное с наличием комплекса приспособлений, в том числе различий в ультраструктуре и физико-химических показателях цитоплазмы. Эволюция видов в условиях разной градации температуры и влажности привела к отбору форм, обладающих способностью переносить перегрев и обезвоживание тканей на основе разных механизмов. Важным элементом в теории, объясняющей отличия разных видов растений по засухоустойчивости, является представление о несовпадении у них этапов онтогенеза и фенологических фаз развития. Вследствие этого у них во времени не будут совпадать так называемые «критические периоды», то есть периоды, когда даже незначительное изменение водного баланса ведет к масштабному снижению продуктивности и устойчивости растения в последующем.

Вопросы влияния водного дефицита конкретно на формирование годичных колец были подробно раскрыты Х. Фритцем (Frits, 1976). Им была сформулирована концептуальная модель, отражающая влияние сниженных сумм осадков и повышенных температур на формирование узких годичных колец. Модель учитывает аддитивное влияние разнообразных климатических и физиологических параметров, а также принципы взаимодействия между ними на основе механизма обратной связи. В модели рассматриваются

концептуальные механизмы влияния засухи как на радиальный прирост текущего календарного года (рис. 2.1.1), так и на радиальный прирост в следующем календарном году (рис. 2.1.2). На русском языке концептуальная модель Фритца была опубликована

Рис. 2.1.1. Влияние водного дефицита на формирование узких годичных колец
Fig. 2.1.1. The impact of water stress on forming thin tree rings

Рис. 2.1.2. Влияние водного дефицита на формирование узких годичных колец в последующий календарный год

Fig. 2.1.2. The impact of water stress on forming thin tree rings at the next year

С. М. Матвеевым, на основании одной из его работ; она приводится ниже (Матвеев, Румянцев, 2013). После моделей Фритца существовали и иные многочисленные попытки экофизиологического моделирования, обзор которых составляет отдельную большую задачу. Важно, что именно модель Фритца на качественном уровне демонстрирует нам сложную сеть связей и обратных связей в системе «засуха — радиальный прирост древесины».

Подводя итог обзору, заключим, что растения по своей природе всегда, так или иначе, реагируют на изменения засушливости климата. Однако связи эти могут быть линейными только на небольшом участке градационного интервала метеопараметров. Анализируя ряды радиального прироста на предмет наличия в нем засухозависимого климатического сигнала, мы должны иметь в виду, что этот сигнал в них содержится почти всегда в силу интегральной природы радиального прироста как индикатора физиологических процессов в организме растения. Цели дендроклиматических реконструкций могут быть достигнуты двояким путем. Имея хронологию со слабо выраженным засухозависимым климатическим сигналом, можно пытаться выделить из нее именно засухозависимую компоненту, примером чему является исследование, изложенное в следующем разделе. С другой стороны, исследуя возможно большее количество видов древесных растений в отдельно взятом регионе, есть вероятность выявить те, которые содержат в динамике радиального прироста наиболее легко считываемый засухозависимый климатический сигнал. Примеры такого рода исследований также изложены ниже.

Выделение засухозависимой компоненты из хронологии со слабым засухозависимым климатическим сигналом

Д. Е. Румянцев, А. Е. Кухта

Объектом этого исследования послужила изменчивость радиального прироста ели в Центрально-лесном государственном природном биосферном заповеднике. Характеристика объекта исследований и методики работ более подробно изложена в нашей публикации (Румянцев и др., 2016). В результате этой работы были сделаны выводы о том, что изменчивость радиального прироста

ели на исследуемой пробной площади содержит выраженный климатический сигнал, связанный с колебанием температуры в начале и в конце вегетационного периода, а остаточная компонента, полученная вычитанием из модельных значений индексов прироста его реальных значений, содержит засухозависимый климатический сигнал, с периодичностью около 5 лет. При этом распределение лет локальных экстремумов прироста в этой компоненте демонстрирует отчетливую связь с распределением экстремумов в ряду суммы осадков июня по годам, а также экстремумов в ряду объединенной суммы осадков июня текущего и прошлого годов.

Рассмотрим ход исследования и разработанную нами методику выделения засухозависимой компоненты более подробно. На исследуемой пробной площади основной древостой представлен елью обыкновенной в количестве 80% объема по запасу. Тип леса — ельник кисличник. Было отобрано 12 кернов древесины с 12 учетных деревьев ели. Полученные в результате древесно-кольцевые хронологии отражают графики на рис. 2.1.3.

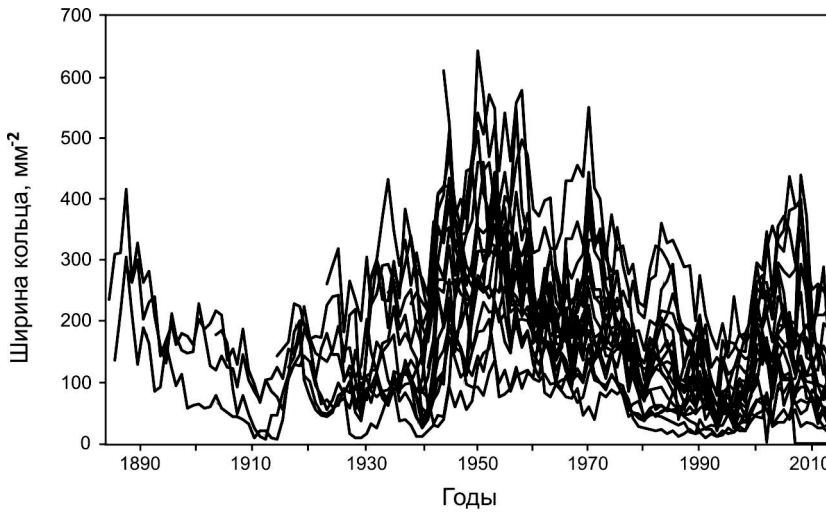


Рис. 2.1.3. Ширина годичных колец ели на пробной площади в Центрально-лесном заповеднике
Fig. 2.1.3. Tree rings width of Norway spruce at the plot in Central Forest Reserve

Индивидуальные хронологии по ширине годичного кольца были преобразованы во временные ряды индексов прироста отнесением ширины годичного кольца к средней ширине годичного кольца за последние 5 лет (Румянцев, 2010). Результаты расчета приведены на графике на рис. 2.1.4.

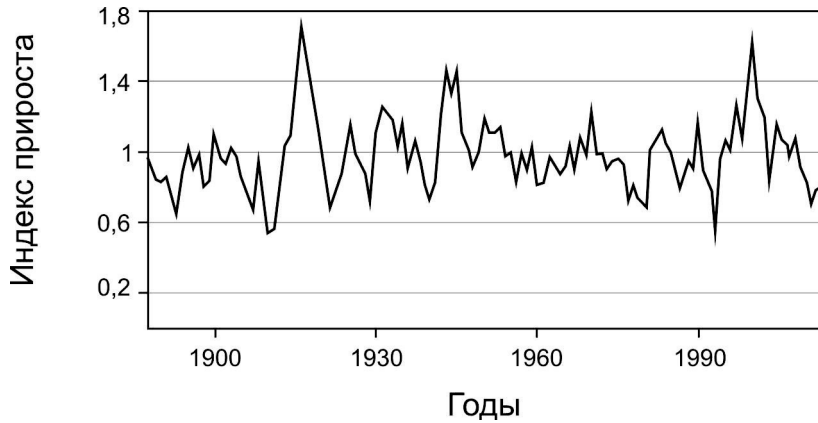


Рис. 2.1.4. Индекс радиального прироста ели на пробной площади в Центрально-лесном заповеднике
Fig. 2.1.4. The radial growth index of Norway spruce at the plot in Central Forest Reserve

Для выявления климатической обусловленности колебаний индексов радиального прироста был применен корреляционный анализ. Были использованы данные метеостанции Центрально-лесного заповедника за период 1970–2011 гг. При числе степеней свободы 40 и уровне доверительной вероятности 0,95 достоверны значения коэффициентов корреляции от 0,30 (Лакин, 1990). Для уровня доверительной вероятности 0,99 пороговое значение коэффициента корреляции составляет 0,40 и выше.

Результаты выполненных расчетов отражены в таблице 2.1.1. Из данных таблицы видно, что достоверная на уровне 0,95 корреляция обнаружена со среднемесячными температурами апреля и октября. При этом корреляция с температурами октября календарного года формирования годичного кольца биологически необъяснима, ведь формирование годичного кольца в этот период уже полностью завершилось. Если принять уровень доверительной

вероятности 0,99, то в таблице остаются только два достоверных и физиологически объяснимых значения коэффициента корреляции (r): корреляция с температурами октября прошлого года (r = 0,52) и корреляция с температурами апреля в календарный год формирования годичного кольца (r = 0,48). Повышенные температуры в этот период положительно сказываются на величине радиального прироста.

Полученные нами выводы совпадают с данными Н. В. Ловелиуса и др. (1990). Исследование прироста ели европейской в подзоне тайги проводилось им с использованием индексов аномальности прироста. Индекс аномальности прироста представляет собой отношение величины метеопараметра (температура, осадки) в год с большим приростом (положительное отклонение от нормы более 10%) к величине в год малого прироста (аналогичное отрицательное отклонение). Индексы аномальности у ели в подзоне южной тайги имеют два наиболее выраженных экстремума: апрель, ноябрь. В результате дается заключение о том, что наиболее существенным образом на прирост ели в районе исследования влияет температура воздуха накануне периода покоя и перед началом вегетации.

Известно, что конец вегетационного сезона у древесных растений умеренной зоны сопровождается прохождением ими процедуры закаливания, переводящей растение в состояние зимнего покоя (Крамер, Козловский, 1983). Регуляция этих процессов со стороны внешней среды осуществляется на основе фотопериодических и термопериодических механизмов. Наши данные, как и данные Н. В. Ловелиуса и др. (1990), говорят о том, что условия входа растения в состояние зимнего покоя и выхода из него могут быть наиболее критичными для состояния деревьев ели и такого его индикатора, как величина радиального прироста.

С помощью линейного регрессионного анализа была смоделирована динамика индексов радиального прироста и получено уравнение вида:

$$Y = 0{,}6592 + 0{,}0431 \times T_{10-1} + 0{,}0369 \times T_{4} \qquad (2.1),$$

где T_{10-1} — температура октября прошлого календарного года, °С; T_{4} — температура апреля текущего календарного года, °С.

Результаты моделирования отражает рис. 2.1.5.

Таблица 2.1.1. Значения коэффициентов корреляции между индексами прироста ели и метеопараметрами текущего и прошлого календарных годов
Table 2.1.1. The correlation coefficients between radial growth index of spruce and meteorological parameters of calendar and previous year

Месяц	Среднемесячная температура года формирования годичного кольца	Месячная сумма осадков года формирования годичного кольца	Среднемесячная температура в год, предшествовавший году формирования годичного кольца	Месячная сумма осадков в год, предшествовавший году формирования годичного кольца
Январь	0,25	0,06	0,29	0,02
Февраль	0,15	0,28	0,07	0,05
Март	0,14	0,1	–0,09	–0,18
Апрель	0,48	–0,04	0,38	–0,13
Май	0,26	–0,22	–0,17	–0,19
Июнь	0,06	0,10	0,22	–0,08
Июль	0,29	–0,11	0,20	0,16
Август	0,17	–0,3	–0,14	0,10
Сентябрь	0,19	–0,31	0,11	–0,28
Октябрь	0,38	0,12	0,52	0,10
Ноябрь	0,13	0,07	–0,15	–0,14
Декабрь	0,09	–0,01	0,22	0,21

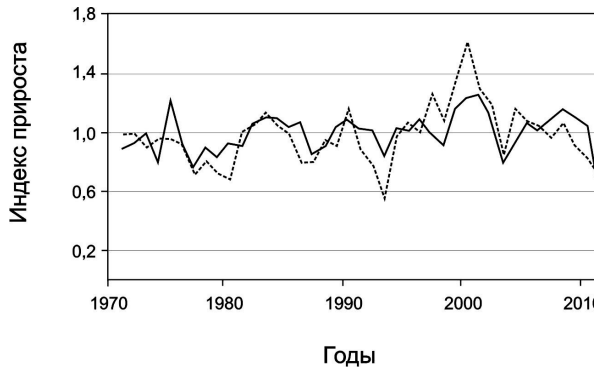


Рис. 2.1.5. Измеренный (пунктирная линия) и рассчитанный по уравнению $Y = 0{,}6592 + 0{,}0431 \times T_{10-1} + 0{,}0369 \times T_4$ (сплошная линия) индекс прироста ели

Fig. 2.1.5. Measured (dotted line) and calculated by the equation $Y = 0{,}6592 + 0.0431 \times T_{10-1} + 0{,}0369 \times T_4$ (continuous line) index of spruce growth

Несмотря на то что модель имеет относительно невысокие значения коэффициента детерминации (0,42), ряды на рис. 2.1.5 визуально демонстрируют хороший уровень сопряженности колебаний прироста. Вычитанием из реальных значений индексов радиального прироста его расчетных значений был получен временной ряд отклонений, отраженный на графике рис. 2.1.6.

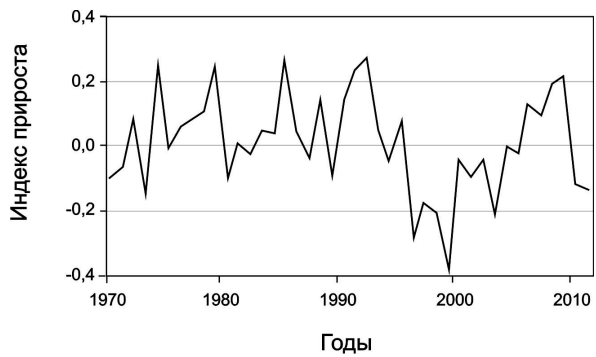


Рис. 2.1.6. Отклонение индексов радиального прироста ели от расчетных величин

Fig. 2.1.6. Residual of real radial growth indices of spruce from the calculated means

Путем преобразования значений отклонений на рис. 2.1.6 в модульные значения был получен ряд, отраженный на рис. 2.1.7. Его значения получены путем извлечения квадратного корня из квадрата значений ряда на рис. 2.1.6.

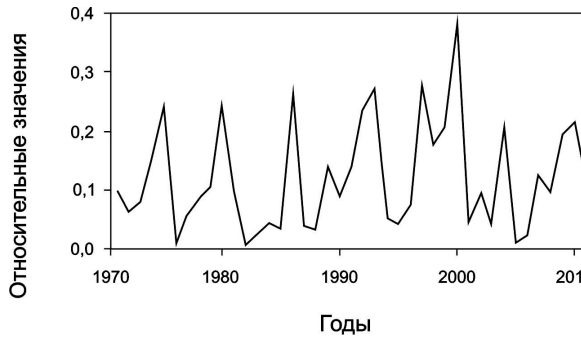


Рис. 2.1.7. Динамика модельных значений отклонений реальных индексов прироста от прогнозируемых линейной регрессионной моделью
Fig. 2.1.7. Modul means of residuals between real indices of radial growth from the means predicted by the linear regression model

При анализе графика на рис. 2.1.5 обращает на себя внимание наличие лет полного соответствия между реальными значениями прироста и данными модели, когда расхождения между ними близки к нулю: 1976, 1982 и 2005 гг. Необходимым условием такого соответствия является максимально обильное атмосферное увлажнение в июне (рис. 2.1.8). В 1976, 1982 и 2005 гг. наблюдались максимальные значения суммы осадков за июнь. Однако это условие является необходимым, но недостаточным: нулевые отклонения наблюдаются не во все годы с максимальной суммой осадков за июнь, что объяснимо и может быть связано с формированием засушливых условий на других этапах роста. В любом случае очевидно, что компонента прироста, динамика которой отражена на рис. 2.1.6–2.1.7, представляет собой засухозависимый показатель.

Анализируя ряд максимумов отклонений: 1975, 1980, 1986, 1992+1993, 1997, 2000, 2004, 2009+2010 можно отметить, что средний временной интервал между ними составляет 5 лет. В этот ряд попали две известные засухи 1992 и 2010 г., но не попала засуха 1972 г. Методом визуального анализа временных рядов

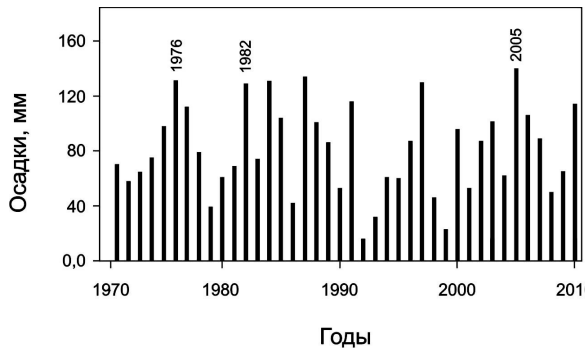


Рис. 2.1.8. Сумма осадков июня по гмс Центрально-лесного заповедника
Fig. 2.1.8. June precipitation sum for meteorological station of Central Forest Reserve

увлажнения мы попытались подобрать показатель, обладающий аналогичным распределением лет локальных экстремумов прироста во времени. Одним из таких показателей является объединенная сумма осадков за июнь в год формирования годичного кольца и в прошлом году.

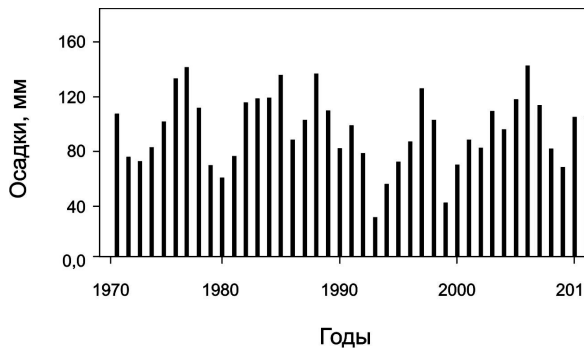


Рис. 2.1.9. Сумма осадков июня текущего и предшествующего года
Fig. 2.1.9. June precipitation of calendar year and June precipitation of previous year sum

Рисунок 2.1.9 демонстрирует наличие локальных минимумов прироста в 1980, 1986, 1992–1993 гг., а также в 2009 г. На участке с 1993 по 2009 г. связь просматривается слабо. Если вернуться к рис. 2.1.6, то видно, что в это время реальный прирост имел

противоположные по знаку отклонения от расчетных значений линейной регрессионной модели и наблюдался на фоне наиболее благоприятных для роста ели условий начала и конца вегетации. Это в некоторой степени компенсировало отрицательное влияние засух на прирост и модифицировало характер засухозависимой компоненты климатического сигнала в хронологии.

Представляет интерес выявленная пятилетняя периодичность формирования физиологически значимых для ели засух. В данном контексте уместно процитировать отрывок из статьи Н. И. Павлова и В. М. Зуева (2003), посвященной динамике развития атмосферных засух в России: «Известный немецкий метеоролог Бауэр установил, что связь погоды с солнечной активностью явно имеется. Причем эта связь проявляется наиболее ярко не с известным индексом Вольфа, колеблющемся с периодом 11 лет, а с периодом 5,5 лет (половина солнечного цикла). Квазипериодические колебания со средним периодом 5,5 лет являются характерной чертой термического режима экваториальной зоны Тихого океана, индекса южного колебания, индекса засушливости, положения и интенсивности Северо-Тихоокеанского антициклона. Наличие периода 5,5 лет во всех спектрах служит подтверждением факта развития единого крупномасштабного процесса в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Глобальные перестройки в системе океан–атмосфера порождают длительные периоды колебаний погоды и климата. Цикл продолжительностью 5–6 лет наблюдается в колебаниях числа дней с различными формами циркуляции атмосферы Северного полушария, флуктуаций осадков, положения и интенсивности течения Куросио, повторяемости тропических циклонов, ледовитости арктических морей, повторяемости гроз и т. д.». Таким образом, выявленная нами цикличность хорошо согласуется с многочисленными данными о периодичности климатических колебаний, в том числе и колебаний индекса засушливости.

Подводя итог данному этапу исследования, можно сделать следующие выводы.

Выработана одна из возможных методик выделения засухозависмой компоненты из временных рядов радиального прироста, характеризующихся слабым засухозависимым климатическим сигналом. В рассматриваемом случае остаточная компонента, полученная вычитанием из модельных значений индексов прироста

его реальных значений, содержит засухозависимый климатический сигнал с периодичностью около 5 лет. Распределение лет локальных экстремумов прироста в этой компоненте демонстрирует отчетливую связь с распределением экстремумов в ряду суммы осадков июня по годам, а также экстремумов в ряду объединенной суммы осадков июня текущего и прошлого годов.

Полученные результаты имеют прогностическую ценность — на основании данных о температурах октября и температурах апреля можно предсказывать успешность роста ели в текущем календарном году еще в самом начале вегетационного сезона. С учетом периодичности колебания индекса водного дефицита можно предсказывать развитие засух.

Глава 2. Выявление хронологий с сильным засухозависимым сигналом

Д. Е. Румянцев, Т. О. Кузнецова

Разные виды древесных растений имеют, с одной стороны, сходные механизмы регуляции транспирации и водного дефицита в организме, а с другой стороны, эти механизмы отличаются в деталях. Поэтому в дендрохронологических исследованиях иногда возможно наблюдать синхронную реакцию радиального прироста в ответ на засуху у разных видов древесных растений, но эта реакция у разных видов может и отличаться (Дендрохронологическая информация..., 2007).

Целью этого исследования был анализ климатической обусловленности колебаний радиального прироста у нескольких видов хвойных и лиственных древесных пород интродуцентов, произрастающих в условиях Московской области. Исследования влияния климатических факторов на рост многих видов древесных растений интродуцентов Московской области до настоящего времени не выполнялись. Разрозненные дендроклиматические исследования, выполнявшиеся ранее на территории Московской области, преследовали в разных случаях разные цели и поэтому, а также в силу иных причин, отличались по методике, что делает их результаты не полностью сопоставимыми.

Методика работ, использованная нами, была аналогична описанной в предыдущих публикациях (Румянцев, Черакшев, 2013; Румянцев, Епишков, 2014; Румянцев, Черакшев, 2015).

Характеристика пробных площадей, заложенных в древостоях разных древесных пород приведена в табл. 2.2.1.

Мы провели анализ значимости разных метеопараметров для формирования радиального прироста древесины. Данные корреляционного анализа в контексте значимости для формирования прироста разных метеофакторов приведены в табл. 2.2.2–2.2.5. Анализ показал, что разные виды демонстрируют разный спектр климатических сигналов в хронологиях и что достоверные корреляции наблюдались с 35 типами метеопараметров из 48 возможных. В целом наиболее сильное влияние на прирост оказывают метеоусловия в мае и июне непосредственно в период формирования годичного кольца.

Таблица 2.2.1. Характеристика пробных площадей исследуемых древесных пород
Table 2.2.1. Characteristics of sample plots for investigated tree species

Географические координаты	Вид	Место отбора	Временной ряд	Число кернов
55,6377° с. ш. 37,7953° в. д.	Пихта сибирская	МГУЛ	1977–2014	5
55,9265° с. ш. 37,7960° в. д.	Ясень пенсильванский	МГУЛ	1960–2014	5
55,9272° с. ш. 37,7967° в. д.	Туя западная	МГУЛ	1983–2013	10
55,9274° с. ш. 37,7964° в. д.	Бархат амурский	МГУЛ	1961–2013	5
55,7081° с. ш. 37,5276° в. д.	Сосна обыкновенная	МГУ	1963–2013	10
55,8397° с. ш. 37,5959° в. д.	Дуб красный	ГБС РАН	1954–2014	24
55,7081° с. ш. 37,5276° в. д.	Ель Шренка	МГУ	1966–2014	7
55,6376° с. ш. 37,7952° в. д.	Сосна веймутова	МГУЛ	1966–2012	5
55,6376° с. ш. 37,7952° в. д.	Сосна румелийская	МГУЛ	1986–2012	12
55,8397° с. ш. 37,5959° в. д.	Ель Шренка	ГБС РАН	1971–2009	6
55,8397° с. ш. 37,5959° в. д.	Ель восточная	ГБС РАН	1982–2008	4

55,7081° с. ш. 37,5276° в. д.	Сосна веймутова	МГУ	1973–2013	5
55,8397° с. ш. 37,5959° в. д.	Дуб черешчатый	ГБС РАН	1921–2014	10
55,6376° с. ш. 37,7952° в. д.	Псевдотсуга Мензиса	МГУЛ	1987–2014	6
55,8440° с. ш. 37,6121° в. д.	Сосна веймутова	ГБС РАН	1963–2014	24
55,8440° с. ш. 37,6121° в. д.	Сосна румелийская	ГБС РАН	1965–2013	12

Каково значение полученного вывода? Многолетние исследования, проводившиеся Ф. Д. Сказкиным (1971) на разных зерновых культурах, показали, что период от выхода в трубку до колошения — цветения является критическим по отношению к недостатку влаги. В Нечерноземье этот период приходится на май–июнь. Прямые исследования урожайности яровой мягкой пшеницы в условиях Подмосковья за период 1984–2008 гг. показали, что наиболее благоприятными являются годы с оптимумом ГТК (> 1,3) в мае–июне. Самый низкий уровень урожайности был получен в годы с июньским ГТК <1,0 (Давыдова, 2011).

Таким образом, метеоусловия мая–июня не только важны для формирования радиального прироста древесины у древесных растений, но также оказывают решающее влияние на формирование урожая зерновых. В результате следует сделать вывод о том, что дендрохронологическая информация действительно может быть полезна для реконструкции и прогноза частоты засух, но не просто засух как метеорологического явления. Она в первую очередь отражает влияние именно тех видов засух, которые имеют наибольшее значение с точки зрения урожайности зерновых, а следовательно, представляет интерес для экономических прогнозов и продовольственной безопасности государства.

Анализ распределения засухозависимого сигнала в хронологиях разных видов

Анализ корреляционных связей ширины колец интродуцентов в Москве и Московской обл. (табл. 2.2.2–2.2.6) показывает, что для метеопараметров как прошлого года, так и текущего года недостаток осадков чаще оказывает неблагоприятное влияние на величину прироста, чем превышение средних месячных температур. Осадки в течение вегетационного сезона являются наиболее значимой группой, с точки зрения формирования засухозависимых сигналов в хронологиях древесных растений.

Для каждого вида и каждого объекта (т. е. для каждой отдельно анализируемой хронологии) характерен свой набор метеопараметров, демонстрирующих достоверные корреляции с колебаниями индексов радиального прироста (см. табл. 2.2.2–2.2.5). Наблюдаются как положительные, так и отрицательные значения коэффициентов корреляции. Засухозависимые сигналы полностью отсутствуют либо имеют низкую частоту встречаемости (0–1) в Подмосковье и Москве в хронологиях таких видов, как ясень пенсильванский, сосна обыкновенная, ель Шренка, ель восточная, дуб черешчатый. Это говорит о засухоустойчивости данных видов, и этот вывод совпадает с указаниями на засухоустойчивость ясеня пенсильванского в естественном ареале (Harlow, Harrar, 1950). Дуб черешчатый и сосна обыкновенная настолько засухоустойчивы, что формируют насаждения, представляющие собой южную границу леса и степи (Ткаченко, 1952). Ель восточная произрастает на Кавказе, ель Шренка — в Средней Азии (Каппер, 1954), то есть оба эти вида происходят из регионов с достаточно высокой частотой возникновения засух, явно превышающей таковые показатели в Московской области.

Наибольшее число засухозависимых сигналов (табл. 2.2.2–2.2.5) в хронологиях имеют такие виды, как бархат амурский, пихта сибирская, псевдотсуга Мензиса. Эти виды перспективны для целей реконструкции и прогноза частоты возникновения засух методами дендрохронологии. Остальные рассмотренные здесь виды деревьев (табл. 2.2.2–2.2.5) занимают промежуточное положение между выделенными нами двумя крайними группами.

Согласно классификации П. С. Погребняка (1968) все древесные породы разделяются на шесть групп: 0 — ультраксерофиты (например саксаул); 1 — ксерофиты (например сосна обыкновенная);

Таблица 2.2.2. Корреляция ширины колец с осадками прошлого года
Table 2.2.2. Correlation coefficients for radial growth indices and precipitation of the calendar year when tree ring formed

Хронология	О1–1	О2–1	О3–1	О4–1	О5–1	О6–1	О7–1	О8–1	О9–1	О10–1	О11–1	О12–1	Число зс
Пихта сибирская (МГУЛ)	—	—	—	—	–0,33	—	—	—	—	—	—	—	0
Ясень пенсильванский (МГУЛ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Туя западная (МГУЛ)	—	—	—	—	—	—	0,45	—	0,38	—	—	—	1
Бархат амурский (МГУЛ)	—	—	—	—	—	—	0,29	—	—	–0,30	—	0,30	1
Сосна обыкновенная (МГУ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Дуб красный (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Ель Шренка (МГУ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Сосна веймутова (МГУЛ)	—	—	0,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Сосна румелийская (МГУЛ)	—	—	—	—	–0,43	—	—	—	—	—	—	—	0
Ель Шренка (ГБС РАН)	—	—	—	—	0,37	—	—	—	—	—	—	—	1
Ель восточная (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,40	0
Сосна веймутова (МГУ)	—	—	—	—	—	—	0,36	—	—	—	—	0,41	1
Дуб черешчатый (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Псевдотсуга Мензиса (МГУЛ)	—	–0,52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	–0,45	0
Сосна веймутова (ГБС РАН)	—	—	—	—	–0,30	—	—	—	—	—	—	—	0
Сосна румелийская (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Число зс	—	—	—	—	4	0	3	0	—	—	—	—	—

Таблица 2.2.3. Корреляция ширины колец с осадками текущего года
Table 2.2.3. Correlation coefficients for radial growth indices and precipitation of the calendar year when tree ring formed

Хронология	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	Число зс
Пихта сибирская (МГУЛ)	—	—	—	—	0,32	0,38	0,47	—	—	—	—	—	3
Ясень пенсильванский (МГУЛ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Туя западная (МГУЛ)	—	—	—	—	0,45	—		—		—	—	—	1
Бархат амурский (МГУЛ)	—	—	—	—	0,48	0,47	0,30	—	—		—		3
Сосна обыкновенная (МГУ)	—	—	—	—	—	0,36	—	—	—	—	—	—	1
Дуб красный (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Ель Шренка (МГУ)	—	–0,43	—	—	—	—	—	—	0,43	—	—	—	0
Сосна веймутова (МГУЛ)	—	—		—	0,46	—	0,51	—	—	—	—	—	2
Сосна румелийская (МГУЛ)	—	—	—	—	0,43	0,43	0,52	—	—	—	—	—	3
Ель Шренка (ГБС РАН)	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—	0
Ель восточная (ГБС РАН)	—	0,44	—	—	—	—	—	—	–0,44	—	—	0,48	0
Сосна веймутова (МГУ)	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—		0
Дуб черешчатый (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Псевдотсуга Мензиса (МГУЛ)	—		—	—	—	0,43	0,44	—	—	—	–0,47		2
Сосна веймутова (ГБС РАН)	—	—	0,36	—	0,40	—	0,52	—	—	—	—	—	2
Сосна румелийская (ГБС РАН)	—	—	—	—	0,32	—	0,60	—	—	—	—	—	2
Число зс	—	—	—	—	7	5	7	0	—	—	—	—	—

Таблица 2.2.4. Корреляция ширины колец с температурами прошлого года
Table 2.2.4. Correlation coefficients for radial growth indices with temperatures of previous year

Хронология	T1–1	T2–1	T3–1	T4–1	T5–1	T6–1	T7–1	T8–1	T9–1	T10–1	T11–1	T12–1	Число зс
Пихта сибирская (МГУЛ)	—	0,34	0,49	—	—	—	—	—	–0,39	—	—	—	0
Ясень пенсильванский (МГУЛ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Туя западная (МГУЛ)	—	—	–0,40	—	—	–0,49	–0,44	—	—	0,40	—	–0,36	2
Бархат амурский (МГУЛ)	—	0,34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,30	0
Сосна обыкновенная (МГУ)	—	—	—	—	—	0,28	—	—	—	—	—	—	0
Дуб красный (ГБС РАН)	—	—	—	—	–0,25	—	—	—	—	—	—	0,30	1
Ель Шренка (МГУ)	—	—	–0,31	—	—	—	0,38	—	—	—	—	—	0
Сосна веймутова (МГУЛ)	—	—	—	—	—	–0,35	—	—	—	—	—	—	1
Сосна румелийская (МГУЛ)	—	—	—	—	—	—	—	–0,45	–0,39	—	—	—	1
Ель Шренка (ГБС РАН)	–0,37	—	—	—	–0,37	—	—	–0,34	—	—	—	—	2
Ель восточная (ГБС РАН)	—	—	0,47	—	—	—	—	0,58	—	—	—	—	0
Сосна веймутова (МГУ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Дуб черешчатый (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	—	–0,45	—	—	—	—	—	1
Псевдотсуга Мензиса (МГУЛ)	—	—	—	—	—	—	–0,43	—	—	—	—	—	1
Сосна веймутова (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	–0,36	—	0
Сосна румелийская (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	–0,33	0,40	0
Число зс	—	—	—	—	2	2	3	2	—	—	—	—	—

Таблица 2.2.5. Корреляция ширины колец с температурами текущего года
Table 2.2.5. Correlation coefficients for radial growth indices and temperatures of the calendar year when tree ring formed

Хронология	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Число зс
Пихта сибирская (МГУЛ)	—	—	—	—	–0,32	–0,39	—	–0,51	—	—	—	—	3
Ясень пенсильванский (МГУЛ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Туя западная (МГУЛ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Бархат амурский (МГУЛ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3
Сосна обыкновенная (МГУ)	—	—	–0,40	—	–0,37	–0,52	—	–0,30	—	—	—	—	0
Дуб красный (ГБС РАН)	—	—	—	—	–0,23	—	—	–0,26	—	0,30	—	—	2
Ель Шренка (МГУ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Сосна веймутова (МГУЛ)	—	—	—	—	–0,41	–0,30	—	—	—	—	—	—	2
Сосна румелийская (МГУЛ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Ель Шренка (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	–0,44	—	—	—	—	—	—	1
Ель восточная (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Сосна веймутова (МГУ)	0,34	—	—	—	—	—	—	—	—	0,29	—	—	0
Дуб черешчатый (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,27	—	—	0
Псевдотсуга Мензиса (МГУЛ)	—	—	—	—	—	–0,46	–0,57	–0,43	–0,48	—	—	—	3
Сосна веймутова (ГБС РАН)	—	—	—	—	–0,42	—	—	—	—	—	—	—	1
Сосна румелийская (ГБС РАН)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,36	—	0,37	2
Число зс					5	5	1	4					

Таблица 2.2.6. Распределение числа засухозависимых сигналов по группам хронологий
Table 2.2.6. Distribution of the number of drought related signals by the groupes of chronologies

Хронология	Осадки прошлого года	Осадки текущего года	Температура прошлого года	Температура текущего года	Число засухозависимых сигналов в хронологии
Пихта сибирская (МГУЛ)	1	3	0	3	7
Ясень пенсильванский (МГУЛ)	0	0	0	0	0
Туя западная (МГУЛ)	1	1	2	0	4
Бархат амурский (МГУЛ)	1	3	0	3	7
Сосна обыкновенная (МГУ)	0	1	1	0	2
Дуб красный (ГБС РАН)	0	0	1	2	3
Ель Шренка (МГУ)	0	0	0	0	0
Сосна веймутова (МГУЛ)	0	2	1	2	5
Сосна румелийская (МГУЛ)	0	3	1	0	4
Ель Шренка (ГБС РАН)	1	0	0	0	1
Ель восточная (ГБС РАН)	0	0	0	0	0
Сосна веймутова (МГУ)	1	0	0	0	1
Дуб черешчатый (ГБС РАН)	0	0	1	0	1
Псевдотсуга Мензиса (МГУЛ)	0	2	1	3	6
Сосна веймутова (ГБС РАН)	0	2	0	1	3
Сосна румелийская (ГБС РАН)	0	2	0	0	2
Число засухозависимых сигналов в группе метеопараметров	5	19	8	14	46

2 — ксеромезофиты (например дуб черешчатый); 3 — мезофиты (например липа); 4 — мезогигрофиты (например ива ломкая); 5 — гигрофиты (например ольха черная). Согласно его шкале, бархат амурский, пихта сибирская и псевдотсуга Мензиса относятся к мезофитам, то есть не являются засухоустойчивыми видами.

Таким образом, полученные нами результаты не противоречат известным из литературы сведениям о засухоустойчивости (засухочувствительности) исследуемых видов древесных растений, но детализируют их.

Анализируя изменчивость прироста вида с самым высоким засухозависимым сигналом, нельзя разделить роль разных метеопараметров в формировании прироста. Однако это и не нужно для цели реконструкции и прогноза частоты засух. Динамика радиального прироста таких видов, по нашему мнению, будет являться интегральным показателем засушливости условий среды в течение вегетационного периода, который, вероятно, будет иметь высокую тесноту связи с урожайностью сельскохозяйственных культур и уровнем пожарной опасности в лесах.

Таким образом:

1. Для каждого вида и каждого объекта (т. е. для каждой отдельно анализируемой хронологии) характерен свой набор метеопараметров, демонстрирующих достоверные корреляции с колебаниями индексов радиального прироста.

2. Недостаток осадков прошлого и текущего годов чаще оказывает неблагоприятное влияние на величину прироста, чем превышение средних месячных температур. При этом осадки в течение вегетационного сезона являются самой значимой группой, с точки зрения формирования засухозависимых сигналов в хронологиях древесных растений.

3. Засухоустойчивость видов можно диагностировать по частоте встречаемости засухозависимых сигналов в хронологиях. В условиях Московской области к числу видов с сильным засухозависимым сигналом в хронологиях относятся бархат амурский, пихта сибирская, псевдотсуга Мензиса. Эти виды перспективны для целей реконструкции и прогноза частоты возникновения засух методами дендрохронологии.

ЧАСТЬ 3. ЗАСУХИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ: ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Глава 1. Древесно-кольцевые хронологии в центральной части ЕТР, их сопряженность в пространстве и корреляция с климатическими параметрами

О.Н. Соломина, В.В. Мацковский, В.В. Кузнецова, Е.А. Долгова

В этой главе рассмотрены характеристики и свойства древесно-кольцевых хронологий сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*), ели европейской (*Picea abies (L.) Karst.*) и дуба черешчатого (*Quercus robur L.*), построенных нами в последние годы, а также результаты корреляционного анализа этих хронологий с гидрометеорологическими данными в центральной части ЕТР. Отбор образцов на дендрохронологический анализ проводился путем кернового бурения в старовозрастных древостоях. Поскольку задача этого исследования — выявление климатического сигнала, влияющего на прирост древесины, мы отбирали образцы в сходных условиях местообитания для того, чтобы максимально нивелировать локальные особенности роста отдельных деревьев и сообществ в целом. Подробности методики дендрохронологического анализа описаны во введении. Расчет корреляционных связей между шириной колец и метеорологическими показателями, а также индексами засушливости проводился по методике В.В. Мацковского (2011).

Район работ

Отбор образцов на дендрохронологический анализ проводился в Московской, Владимирской, Ярославской, Калужской, Костромской, Курской, Смоленской, Тверской, Тульской и других областях в центральной части Восточно-Европейской равнины (рис. 3.1.1, табл. 3.1.1).

Климат центральной части Восточно-Европейской равнины — умеренно континентальный. Он формируется в большой степени под влиянием западного переноса. Зимой воздушные массы, приходящие с Атлантики, приносят тепло и влагу, летом они вызывают влажную и прохладную погоду. Двигаясь по направлению к востоку, они становятся суше. Зимой радиационный баланс исследованных районов отрицателен. Изотермы января на севере и в центре равнины имеют субмеридиональное простирание, но в южной части их направление меняется на юго-восточное. Поскольку теплая погода зимой связана с атлантическими циклонами, приходящими с запада, контрасты зимних температур меньше в направлении север–юг, чем запад–восток. Летняя температура зависит главным образом от солнечной радиации, поэтому летние изотермы почти следуют за параллелями.

Распределение осадков на Восточно-Европейской равнине зависит от циркуляционных факторов. Западные воздушные массы приносят сюда облачность и осадки. Осадки приносят и циклоны, которые наиболее часты в районах арктического и полярного фронтов между 55° и 60° с. ш. Годовая сумма осадков в этой области достигает 600–700 мм на западе равнины и 500–600 мм — на востоке. По направлению к востоку растет количество антициклонов.

Территория Восточно-Европейской равнины подразделяется на три климатических зоны (а для каждой зоны выделяется еще западный и восточный регионы) (Алисов, 1969): 1) Северная Атлантико-Арктическая область (южная граница — Ладога и истоки Печоры); 2) Средняя Атлантико-континентальная область (южная граница — по среднему течению Днестра и Волги); 3) Южная континентальная область.

Для Восточно-Европейской равнины характерна отчетливо выраженная природная зональность. Полоса лесов простирается здесь от Прибалтики и Полесья до Урала. По линии Санкт-Петербург — Нижний Новгород она разделяется на темнохвойную тайгу и смешанные (хвойно-широколиственные) леса. Несколько наших пробных площадей относится к подзоне типичной (средней) тайги, для которой характерно господство ельников-черничников в группе зеленомошных ельников на подзолистых почвах и подзолах. Однако основное наше внимание было сосредоточено на пробных площадях, расположенных в подзоне южной тайги, где вместо

ельников-черничников преобладают ельники-кисличники, появляются сложные ельники и сосняки, а в почвообразовании усиливается дерновый процесс, приводящий к образованию дерново-подзолистых почв. В юго-западной части района преобладают широколиственные леса из дуба, липы и ясеня. На юго-востоке, на территории Поволжья (Бугульминско-Белебеевская возвышенность, Жигулевские горы) для отбора образцов были выбраны регионы, в пределах которых произрастают старовозрастные сосновые леса различных типов (в основном сосняки-зеленомошники, лесные боры на серых лесных почвах, подзолистых и дерново-подзолистых, на древнеаллювиальных отложениях и др.). Для этих районов характерно неравномерное распределение увлажнения в течение всего года, а также заморозки в июне и в августе, что потенциально повышает чувствительность древостоев к условиям увлажнения и температурному режиму.

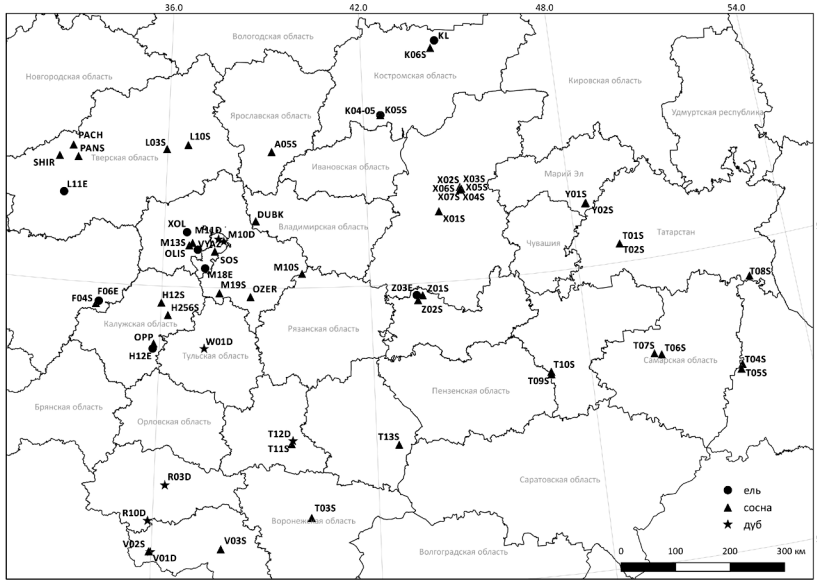


Рис. 3.1.1. Расположение пробных площадей отбора образцов на дендрохронологический анализ
Fig. 3.1.1. Map of distribution of tree-ring sites

Описание пробных площадей

Основная масса новых хронологий построена для типичных естественных лесов средней полосы, которые сохранились в заповедниках в наименее нарушенном виде (табл. 3.1.1, рис. 3.1.1, табл. 3.1.2, рис. 3.1.2). Есть, однако, несколько пробных площадей, которые заслуживают здесь отдельного упоминания.

Калужский бор — сосново-широколиственный лес, расположенный вблизи г. Калуги на берегу р. Оки. Сосна составляет здесь до 80% насаждений. Первое упоминание о боре относится к 1626 г., и до сих пор здесь сохранились деревья возрастом до 300 лет, хотя древесина из бора использовалась в качестве строительного материала (Котов, 1993). В бору была обнаружена неолитическая стоянка, могильник вятичей, находится старообрядческое кладбище XVIII–XIX вв. Хронология сосны (H02_05S), построенная на основе образцов из этого бора, охватывает период 276 лет, с 1735 по 2013 г.

В Калужской области находятся еще две интересные пробные площади. Это Козельские засеки и лес вокруг знаменитого монастыря Оптина Пустынь. Засеки — оборонительные сооружения, сложенные из поваленных деревьев. К сожалению, материал этих сооружений не сохранился. Отбор наших образцов живых деревьев на дендрохронологический анализ проводился в Березичском лесничестве вблизи главной усадьбы заповедника «Козельские засеки» на правобережье рек Вытебети и Жиздры, к юго-востоку от г. Козельска. Козельские засеки входили в состав Заокской засечной черты Московского государства. Сейчас возраст наиболее старых сосен составляет здесь от 75 до 170 лет (длина хронологии — 1846–2013 гг.). Уникальность хронологии «Оптина Пустынь» заключается в том, что в нее входят образцы сосны со средним возрастом более 200 лет (максимальный возраст — 294 года), что необычно для средней полосы России. Несмотря на свой значительный возраст, эти деревья прекрасно сохранились. В частности, ни в одном из них не было обнаружено сердцевинной гнили. Несколько таких сосен, к сожалению, погибло при урагане летом 2010 г., остальные по-прежнему украшают окрестности монастыря Оптина Пустынь и должны охраняться как замечательный памятник природы средней полосы России. Нам удалось построить хронологию сосны «Оптина Пустынь» (OPP), охватывающую период с 1717 по 2010 г.,

Таблица 3.1.1. Список древесно-кольцевых хронологий, построенных для живых деревьев дуба черешчатого, ели европейской и сосны обыкновенной

Table 3.1.1. Description of tree-ring chronologies of English oak, Norway spruce and Scots pine

Код	Местоположение	N	E	Порода	Число деревьев	Первый год	Последний год	Длина
ЯРОСЛАВСКАЯ ОБЛАСТЬ								
A05S	Борисоглебский р-н, с. Борисоглеб, сосновый бор (посажен в конце XIX в.)	57,2524	39,1637	Сосна	13	1864	2013	150
СМОЛЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ								
F04S	Граница Смоленской и Калужской обл., залежь	54,6611	34,1367	Сосна	10	1895	2014	120
F06E	Возле д. Заря, ельник	54,7013	34,2141	Ель	5	1938	2014	77
КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ								
OPP	Лес у Оптиной Пустыни	54,0493	35,8307	Сосна	12	1717	2010	294
H0256S	Калуга, сосновый бор	54,5296	36,2009	Сосна	18	1735	2013	279
H12S	Полотняный Завод, парк	54,7292	36,0020	Сосна	12	1806	2014	209
H12E	Козельские засеки	53,9633	35,8131	Ель	13	1910	2014	105
КОСТРОМСКАЯ ОБЛАСТЬ								
KL	Заповедник Кологривский лес	58,9820	44,3790	Ель	10	1713	2009	297
K05S	С. Матаны, Островский район	57,8097	42,5355	Сосна	4	1805	2012	208
K04–05E	С. Матаны, Островский район	57,8097	42,5355	Ель	8	1831	2012	182

Продолжение табл. 3.1.1

Код	Местоположение	N	E	Порода	Число деревьев	Первый год	Последний год	Длина
K06S	Окрестности Кологрива, пионерлагерь, сосновый лес	58,8661	44,2336	Сосна	12	1818	2012	195
ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ								
PANS	Дер. Панюки, смешанный лес	57,0577	33,3003	Сосна	10	1897	2010	114
PACH	Кладбище у дер. Пачково у дороги у оз. Глубочица	57,2401	33,1219	Сосна	7	1843	2010	168
SHIR	Дорога на Ширков погост	57,0491	32,7330	Сосна	13	1826	2010	185
L03S	Раменье, Михайловский погост	57,2656	35,9747	Сосна	8	1830	2013	184
L10S	Киверичи, сосново-еловый лес	57,3458	36,6186	Сосна	12	1849	2014	166
L11E	Нелидовский район, Центрально-лесной заповедник	56,4580	32,9589	Ель	19	1845	2014	170
МОСКВА И МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ								
SOS	Озерский р-н, дер. Сосновка	54,8981	38,6836	Сосна	13	1866	2007	142
OLIS	(OLIS + GORI+GORE+OLIE) Звенигород, гора Олимп,	55,6904	36,7471	Сосна	7	1853	2007	155
VYAZ	Вяземы	55,6206	37,0005	Ель	12	1859	2009	151
OZER	Сосновый лес и вырубка у дер. Озеры	54,8577	38,5489	Сосна	14	1866	2010	145
XOL	Гидрорежимная станция Малая Истра, Геоцентр «Москва», д. Холщевики, Истринский р-н, Московская обл.	55,9045	36,6693	Ель	5	1901	2010	110

M10S	Р-н Спас-Клепики, Мещерское, остров на р. Пра	55,2369	40,0367	Сосна	15	1863	2013	151
M10D	Москва, Измайловский лесопарк	55,7650	37,7550	Дуб	13	1836	2014	179
M11D	Москва, Главный ботанический сад	55,8000	37,6000	Дуб	5	1796	2014	219
M13S	Звенигород на Городке (вместе с площадкой ZVS, добор 2014 г.)	55,7338	36,8408	Сосна	19	1763	2014	252
M18E	Звенигородская биологическая станция МГУ	55,3155	37,2279	Ель	17	1885	2013	129
M19S	Приокско-террасный заповедник	54,9123	37,6564	Сосна	20			
КУРСК И ОБЛАСТЬ								
R03D	Пос. Клюква	51,7155	36,2963	Дуб	12	1938	2013	76
R10D	Гочево	51,1190	35,8760	Дуб	10	1929	2014	86
ПОВОЛЖЬЕ, ЮГ								
T01S	Татарстан, Волжско-камский заповедник, Сараловский участок. Сосны под дюной	55,3100	49,2700	Сосна	21	1749	2014	266
T02S	Татарстан, Волжско-камский заповедник, Сараловский участок. Сосны на дюне	55,3100	49,2700	Сосна	21	1808	2014	207
ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ								
T03S	Бобровский район, Хреновской бор, Морозовская роща	51,2011	40,1993	Сосна	21	1741	2014	274

Продолжение табл. 3.1.1

Код	Местоположение	N	E	Порода	Число деревьев	Первый год	Последний год	Длина
ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ								
T04S	Бузулукский бор	53,0300	52,1100	Сосна	21	1801	2014	214
T05S	Бузулукский бор	52,9539	52,0585	Сосна	21	1800	2014	215
САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ								
T06S	Жигулевский заповедник	53,4064	49,9731	Сосна	21	1828	2014	187
T07S	Жигулевский заповедник	53,4400	49,7800	Сосна	21	1786	2014	229
ТАТАРСТАН								
T08S	Бугульминский р-н, рядом с с. Петровское, река Сула	54,4268	52,7574	Сосна	21	1809	2014	206
ПЕНЗЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ								
T09S	Заповедник «Приволжская лесостепь»	53,3210	46,8905	Сосна	18	1786	2014	229
T10S	Заповедник «Приволжская лесостепь»	53,3633	46,8957	Сосна	17	1799	2014	216
ЛИПЕЦКАЯ ОБЛАСТЬ								
T11S	Дер. Фащовка	52,4713	39,6897	Сосна	20	1854	2014	161
T12D	Дер. Фащовка	52,4633	39,6914	Дуб	12	1816	2014	199
ТАМБОВСКАЯ ОБЛАСТЬ								
T13S	Тамбовская обл., усадьба Карай-Салтыково	52,3635	42,5974	Сосна	15	1827	2014	188

БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ								
V01D	Заказник Белогорье, уч. «Лес на Ворскле»	50,6041	35,9814	Дуб	16	1732	2014	283
V02S	Заказник Белогорье, уч. «Лес на Ворскле»	50,6164	35,9386	Сосна	17	1901	2014	114
V03S	Заказник Белогорье, уч. «Стенки игорья»	50,6834	37,7959	Сосна	15	1790	2014	225
ТУЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ								
W01D	Дендрарий Крапивенского лесхоза-техникума (с. Селиваново)	53,9806	37,4256	Дуб	15	1809	2014	206
НИЖЕГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ								
X01S	Пионерлагерь им. Талалашкина	56,1689	44,1210	Сосна	18	1834	2014	181
X02S	Керженский заповедник, сосняк с участком ели брусничнo-зеленомошный	56,5494	44,7994	Сосна	11	1890	2014	125
X03S	Керженский заповедник, 46-й квартал, сосняк с елью брусничнo-зеленомошный	56,5435	44,7969	Сосна	12	1773	2014	242
X04S	Керженский заповедник, березово-сосновый лес с участками ели. Почковатый багульниковый зеленомошно-травянистый	56,5371	44,8043	Сосна	10	1851	2014	164

Окончание табл. 3.1.1

Код	Местоположение	N	E	Порода	Число деревьев	Первый год	Последний год	Длина
X05S	Керженский заповедник, сосновый лес у поселка Рустай на границе заповедника, мертвопокровник с пятнами лишайника, сосна в подросте	56,5105	44,8146	Сосна	10	1865	2014	150
X06S	Керженский заповедник, экотропа болото, сосновый лес на верховом болоте мохово-кустарничковом, сфагнум	56,5110	44,8370	Сосна	10	1878	2014	137
X07S	Керженский заповедник, экотропа пойма Керженца	56,4966	44,8022	Сосна	13	1812	2014	203
МАРИЙ ЭЛ								
Y01S	Нац. парк Марий Чодра	56,0494	48,4617	Сосна	25	1802	2014	213
Y02S	Нац. парк Марий Чодра	56,0453	48,4395	Сосна	16	1826	2014	189
МОРДОВИЯ								
Z01S	Мордовский заповедник, 396-й квартал, елово-сосновый лес, травянистый, есть молодой дуб	54,7748	43,4043	Сосна	10	1881	2014	134
Z02S	Мордовский заповедник	54,7708	43,4049	Сосна	10	1889	2014	126
Z03E	Мордовский заповедник	54,7748	43,4043	Ель	10	1900	2014	115

Рис. 3.1.2. Фото некоторых пробных площадей
Figure 3.1.2. Photo of some sampling sites

Таблица 3.1.2. Характеристика использованных хронологий
Table 3.1.2. Basic statistics of used chronologies

Код площадки	Первый год	Последний год	Стандартное отклонение	Средняя чувствительность	Межсериальный коэффициент корреляции	Автокорреляция первого порядка	EPS>0,85 (год)
Ярославская область							
A05S	1863	2013	0,22	0,17	0,5	0,61	1919
Смоленская область							
F04S	1895	2014	0,24	0,16	0,64	0,72	1916
F06E	1938	2014	0,26	0,26	0,56	0,3	—
Калужская область							
OPP	1717	2010	0,26	0,17	0,64	0,69	1827
H256S	1735	2013	0,17	0,15	0,43	0,45	1788
H12S	1806	2014	0,28	0,18	0,68	0,72	1877
H12E	1910	2014	0,22	0,21	0,37	0,35	1925
Костромская область							
KL	1713	2009	0,33	0,23	0,56	0,41	1854
K05S	1805	2012	0,27	0,17	0,7	0,77	—
K04–05E	1831	2012	0,23	0,17	0,59	0,57	1930
K06S	1835	2012	0,2	0,15	0,55	0,49	1899
Тверская область							
PANS	1897	2010	0,16	0,15	0,4	0,13	1942
PACH	1843	2010	0,18	0,14	0,56	0,31	1878

SHIR	1826	2010	0,25	0,19	0,58	0,59	1857
L03S	1834	2013	0,22	0,16	0,58	0,69	1865
L10S	1849	2014	0,21	0,15	0,67	0,66	1866
L11E	1845	2014	0,26	0,17	0,53	0,71	1866
Москва и Московская область							
SOS	1866	2007	0,15	0,16	0,21	0,31	1887
OLIS	1853	2007	0,16	0,15	0,41	0,46	1881
VYAZ	1859	2009	0,29	0,23	0,46	0,51	1884
OZER	1866	2010	0,17	0,15	0,39	0,37	1887
XOL	1901	2010	0,26	0,21	0,6	0,5	1926
M10S	1864	2014	0,19	0,14	0,57	0,61	1904
M10D	1836	2014	0,23	0,18	0,4	0,58	1868
M11D	1796	2014	0,29	0,17	0,56	0,59	1870
M13S	1763	2014	0,19	0,15	0,52	0,58	1788
M18E	1885	2013	0,2	0,18	0,48	0,48	1906
M19S	1834	2014	0,19	0,15	0,49	0,51	1856
Курск и область							
R03D	1938	2013	0,24	0,17	0,44	0,47	1959
R10D	1929	2014	0,23	0,2	0,42	0,44	1951
Поволжье, юг							
T01S	1749	2014	0,32	0,19	0,64	0,59	1883
T02S	1808	2014	0,28	0,15	0,65	0,68	1855
T03S	1741	2014	0,25	0,16	0,67	0,63	1808

Окончание табл. 3.1.2

Код площадки	Первый год	Последний год	Стандартное отклонение	Средняя чувствительность	Межсериальный коэффициент корреляции	Автокорреляция первого порядка	EPS>0,85 (год)
Оренбургская область							
T04S	1801	2014	0,2	0,17	0,36	0,39	1846
T05S	1800	2015	0,36	0,21	0,69	0,69	1832
Самарская область							
T06S	1828	2015	0,35	0,24	0,52	0,66	1873
T07S	1786	2014	0,3	0,19	0,63	0,66	1815
Татарстан							
T08S	1809	2015	0,26	0,18	0,62	0,64	1826
Пензенская область							
T09S	1786	2014	0,22	0,17	0,56	0,55	1815
T10S	1799	2014	0,22	0,16	0,55	0,59	1818
T11S	1854	2015	0,22	0,18	0,49	0,28	1882
T12D	1816	2014	0,25	0,2	0,38	0,4	1882
Тамбовская область							
T13S	1827	2015	0,3	0,22	0,57	0,54	1886
Белгородская область							
V01D	1732	2014	0,25	0,21	0,48	0,34	1756
V02S	1901	2014	0,19	0,13	0,61	0,61	1916
V03S	1790	2014	0,3	0,2	0,57	0,65	1827

Тульская область							
W01D	1809	2014	0,23	0,16	0,65	0,52	1853
Нижегородская область							
X01S	1834	2014	0,27	0,18	0,62	0,6	1873
X02S	1890	2014	0,2	0,12	0,62	0,79	1925
X03S	1773	2014	0,83	0,15	0,32	0,61	1894
X04S	1851	2014	0,27	0,15	0,83	0,71	1894
X05S	1865	2014	0,26	0,2	0,54	0,6	1886
X06S	1878	2014	0,48	0,31	0,63	0,74	1836
X07S	1812	2014	0,24	0,15	0,65	0,63	1897
Марий Эл							
Y01S	1802	2014	0,18	0,14	0,59	0,59	1817
Y02S	1826	2014	0,26	0,19	0,6	0,66	1847
Мордовия							
Z01S	1881	2014	0,18	0,18	0,39	0,38	1906
Z02S	1889	2014	0,13	0,12	0,38	0,42	1910
Z03E	1900	2014	0,22	0,17	0,48	0,44	—

состоящую из 5399 колец и 24 деревьев. От двух других калужских хронологий, упомянутых выше, хронология OPP отличается резким увеличением приростов и амплитуды их колебаний, начиная с 1985 г., что, возможно, связано и с неклиматическими причинами.

«Лес на Ворскле» в заповеднике Белогорье (Белгородская область) — типичная нагорная дубрава Среднерусской возвышенности, где сохранились деревья (дуб черешчатый) возрастом до трех столетий (возраст самого старого дерева в нашей хронологии V01D — 293 года). Почвы — серые и темно-серые лесные, развитые главным образом на карбонатных лессах, характерные для дубовых лесов лесостепи. Поскольку грунтовые воды залегают здесь глубоко, деревья потенциально чувствительны к условиям увлажненности. В том же заповеднике существует уникальный участок нагорной дубравы с фрагментами мелового бора («Стенки-Изгорья»). Сосна меловая (*Pinus sylvestris var. cretacea (Kalenicz.) Kondr.*) — краснокнижный вид, реликт третичного периода. В естественных условиях произрастает на границе лесостепной и степной зон — на меловых обнажениях правых рек Днепр, Дон, и Волга (http://www.zapovednik-belogorye.ru/). Возраст пробуренного нами самого старого дерева в урочище «Стенки-Изгорья» — 225 лет (хронология V03S).

Большая коллекция дендрохронологических образцов (сосна), чувствительных к условиям увлажнения, была отобрана в Татарстане и Поволжье под руководством В. В. Кузнецовой. В Волжско-Камском заповеднике (Саралинский участок) образцы были отобраны в лишайниковом бору на дюнах и в бору-зеленомошнике на пониженных участках (https://ru.wikipedia.org/wiki/Волжско-Камский_заповедник, http://vkgz.ru/about/). Сосны, растущие на дюнах, оказались старовозрастными (до 266 лет). Саралинский участок расположен на древнеаллювиальных левобережных террасах Волги, поверхность которого увлажняется, преимущественно, за счет верховодок — временных скоплений подземных вод с атмосферным питанием. Преобладающие почвы участка — дерново-подзолистые, пониженные территории представлены гидроморфными почвами.

В заповеднике «Приволжская лесостепь» в Среднем Поволжье представлены хвойно-широколиственные леса и лесостепные ландшафты. Пробные площади были заложены на двух участках

со схожими физико-географическими условиями. Для территории характерны сосняки лишайниково-зеленомошные 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). Одна из площадок состоит из образцов подсоченной древесины, которые были отобраны в целях выявления наличия реперных лет и климатического сигнала в нарушенных древостоях. Сосновые леса на территории заповедника оказались старовозрастными (максимальный возраст — 226 лет).

Леса Бугульминского района, расположенного на юго-востоке Республики Татарстан, представлены в основном липово-дубовыми сообществами на типичных, маломощных выщелоченных и карбонатных черноземах. Площадка, на которой произведен отбор образцов сосны обыкновенной на древесно-кольцевой анализ, располагается на склоне южной экспозиции возле села Петровка. Всхолмленная платообразная территория района расчленена густой речной и овражно-балочной сетью (глубина эрозионного вреза составляет до 120 м) (Ландшафты Республики Татарстан ..., 2007). Вследствие значительных перепадов высот, для района характерны особенные микроклиматические условия: с приподнятых участков Бугульминско-Белебеевской возвышенности снежный покров сходит на 10–12 дней позже, чем в низменных районах (Климат Татарской АССР, 1983). Возвышенной части района свойственны заморозки в июне и в августе, что может сказаться на чувствительности древостоев к весенне-летним температурам. Максимальный возраст сосен составил 206 лет (хронология T08S).

Сосновые древостои в Жигулевском заповеднике произрастают на карбонатных и серых лесных почвах на возвышенной территории и представлены широколиственно-сосновыми и сосновыми разнотравно-злаковыми остепененными лесами. 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 (хронология T07S).

Бузулукский бор — островной массив соснового леса на границе Самарской и Оренбургской областей. Бор окаймлен полосой лиственного леса (дубняки, тополевники и ольшаники), граничащего со степью и представлен в основном мшистыми, сложными и травяными сосновыми лесами. Неравномерное выпадение осадков в течение года на этой территории приводит к чередованию иссушения территории с понижением уровня грунтовых вод и значительному увлажнению с заполнением водой низменных участков бора (http://buzulukskiybor.ru/). В результате сосновые древостои потенциально могут обладать выраженной чувствительностью к гидрометеорологическим параметрам, в особенности к осадкам. Возраст сосен Бузулукского бора составляет максимум 215 лет (хронология T05S).

Территория национального парка Марий Чодра представлена слабоволнистой равниной с островными возвышенностями и большим количеством карстовых озер. Леса национального парка составляют, в том числе, сосняки-зеленомошники, произрастающие на подзолистых и дерново-подзолистых почвах (http://www.zapoved.ru/catalog/118/Марий-Чодра-национальный-парк). Сосны, отобранные для дендроклиматического анализа, произрастали на водораздельной поверхности, умеренно увлажненной. Максимальный возраст деревьев составил 212 лет (хронология Y01S).

Керженские леса — некогда глухие, непроходимые, 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 1972 г. Пробные площади в Керженском заповеднике, который был создан в 1993 г. на территории Борского и Семёновского районов, были заложены в сосняке с елью бруснично-зеленомошном, а также в сосновом лесу на мохово-кустарниковом верховом болоте вдоль Вишенской экотропы и на пойме р. Керженец (см. табл. 3.1.1).

Несколько длинных хронологий построено на основе образцов, отобранных в старых искусственных насаждениях. Так, в имении графа М. П. Петрово-Соловово Карай-Салтыково Ин-

жавинского района Тамбовской области на берегу реки Ворона растут сосны возрастом до 200 лет (188 лет — самый старый образец). В парке Полотняного Завода — усадьбе, принадлежавшей семье Н. Н. Гончаровой, возраст самых старых сосен и дубов также составляет около двух столетий. В Московской области наиболее старыми оказались сосны, растущие на валах, окружающих храм на Городке в Звенигороде (более 250 лет, хронология M13S). Образцы наиболее старых елей (до 300 лет) были отобраны в заповеднике «Кологривский Лес», который расположен в подзоне южной тайги (хронология KL). Здесь смыкаются границы ареалов европейской (дуб) и сибирской (пихта, лиственница) флоры.

Таким образом, во всех исследованных районах нам удалось найти деревья, возраст которых превышает инструментальный период метеорологических наблюдений (120 лет и более). Самая продолжительная локальная древесно-кольцевая хронология, построенная по живым деревьям, охватывает период с 1717 г. (Калужская область, сосна (табл. 3.1.1 и 3.1.2)). Большинство хронологий построено по сосне обыкновенной, семь хронологий — по дубу черешчатому, десять — по ели европейской (см. табл. 3.1.1). Эта неравномерность объясняется объективными причинами, а именно — более широко представленными старовозрастными сосняками в этой части Восточно-Европейской равнины. Хотя сосна обыкновенная и дуб черешчатый являются засухоустойчивыми (см. часть 2), они же составляют и наиболее распространенные в центре на юге ЕТР древостои и поэтому являются наиболее доступными, а по сути, и единственными породами, пригодными для пространственно-временных реконструкций.

Отклик ширины колец сосны, ели и дуба на климатические условия

В дендрохронологии зависимость ширины (и плотности) годичных колец от климатических параметров принято оценивать при помощи функции отклика (см. Введение). Результаты корреляционного анализа всех локальных хронологий и климатических показателей для соответствующих им районов приводятся в приложениях 1 и 2, в сводном виде — в таблице 3.1.3.

Таблица 3.1.3. Обобщенные данные о корреляции ширины годичных колец на ЕТР с гидрометеорологическими показателями. Детальная информация приводится в Приложении 2. Значимые на уровне $p < 0,05$ положительные корреляции показаны знаком «+», отрицательные — знаком «–». Случаи положительной значимой корреляции с индексами сухости выделены серым цветом

Table 3.1.3. Summary of correlation analysis of tree-ring chronologies and hydrometeorological records. More details are provided in Suplemental Materials 2 Statistically significant ($p<0.05$) positive coefficients of correlation are shown as "+", negative — as "–". Statistically significant positive coefficients with drought indices are marked by gray colors

Область	**Порода**	**Индекс площадки**	**Предыдущий год**	**Месяцы**	**Текущий год**	**Месяцы**
Ярославская обл.	сосна	A05S	P +	июнь	P-	апрель
			CPC +	июль		
			CPC +	август		
			CPC +	сентябрь		
			T –	июль		
Костромская обл.	сосна	K06S	T+	ноябрь	CPC +	январь
					T-	июнь
					T-	август
	ель	KL	CPC +	год	T-	февраль
			PDSI+	год	CPC +	октябрь-сентябрь
			T-	июнь	PDSI+	октябрь-сентябрь
			T-	июль		
			T-	август		

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
Тверская обл.	сосна	PACH	T+	апрель	T+	октябрь-сентябрь
			T+	ноябрь	T+	апрель
			T-	август		
		PANS	P+	август	CPC +	год
			CPC +	год	PDSI+	год
			PDSI+	год	T+	май
			T+	апрель	T+	октябрь-март
			T-	август	T+	август
					T-	июнь
					T+	октябрь-сентябрь
		SHIR	PDSI+	август-ноябрь	CPC+	октябрь-сентябрь
			CPC +	июнь-декабрь	CPC+	октябрь-март
			T-	июнь		
Смоленская обл.	сосна	F04S	CPC+	год	PDSI+	март
			T+	май	PDSI+	апрель
			T+	август	PDSI+	май
					CPC+	год
					T+	август
					T-	июнь
					T+	октябрь-сентябрь
					T+	октябрь-март

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
Московская обл.	дуб	M10D	нет сигнала			
	сосна	M10S	P+	декабрь	P+	июль
			T+	апрель	P+	октябрь-сентябрь
			T+	июнь	P+	июнь-июль
			T+	июль	T+	февраль-март
					T+	октябрь-сентябрь
					T+	октябрь-сентябрь
					T+	январь
	дуб	M11D	CPC+	июль	P+	июнь
			CPC+	июнь		
			PDSI+	год		
			T-	октябрь		
			P+	июнь		
	сосна	OZER	PDSI+	год	P+	октябрь-март
			CPC +	год		
			P+	декабрь		
Калужская обл.	сосна	H256S	P+	август	P+	март
			T+	июль	T+	сентябрь
			T+	декабрь	T+	октябрь-сентябрь
			P+	март	PDSI+	март
					PDSI+	февраль
			CPC+	год	T+	октябрь-март

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
	сосна	OPP	T+	июнь	T+	февраль
			T+	июль	T+	март
					T+	июнь-июль
					T+	октябрь-сентябрь
					CPC+	год
Смоленская обл.	ель	F06E	T-	май		
			P+	июнь		
Калужская обл.	ель	H12E	P+	октябрь	T+	октябрь-март
			PDSI+	октябрь-декабрь	T+	январь
					P+	октябрь-сентябрь
					PDSI+	год
					CPC+	май-август
Калужская обл.	сосна	H12S	нет сигнала			
Костромская область	ель	K04–05	T-	июнь	T+	апрель-сентябрь
			T-	август		
			CPC+	август		
Костромская обл.	сосна	K05S			PDSI-	апрель-сентябрь
Костромская обл.	сосна	K06S	T+	ноябрь		
			CPC+	октябрь-декабрь	CPC+	октярь-сетябрь

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
Тверская обл.	сосна	L03S	P+	август	P+	октябрь-сентябрь
			CPC+	август-октябрь	CPC+	октябрь-сентябрь
Тверская обл.	сосна	L10S	T+	апрель	P+	июнь-июль
			T-	июль-август	PDSI+	октябрь-сентябрь
			P+	ноябрь	CPC+	октябрь-сентябрь
			PDSI+	июль-август		
			PDSI+	ноябрь-декабрь		
Тверская обл.	ель	L11E	P-	август	P-	октябрь-сентябрь
					CPC-	август-сентябрь
					PDSI-	август-сентябрь
Московская обл.	сосна	M13S			P+	октябрь-март
Московская обл.	ель	M18E	T-	август	T-	июнь-июль
			CPC-	апрель-май	P+	октябрь-сентябрь
					CPC+	апрель-сентябрь
					PDSI+	октябрь-сентябрь
Московская обл.	сосна	M19S	P+	июль	P+	март
					CPC+	апрель-сентябрь

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
Московская обл.	сосна	OLIS	T-	август	T+	апрель
			P+	май	T-	июль
			CPC+	июль-сентябрь	P+	февраль-март
			PDSI+	июль-сентябрь	CPC+	октябрь-сентябрь
					PDSI+	октябрь-сентябрь
Курская обл.	дуб	R03D	T-	ноябрь	P-	сентябрь
			P-	октябрь		
Курская обл.	дуб	R10D	T+	сентябрь	T+	май
Московская обл.	сосна	SOS	T-	июнь	T+	сентябрь
			P+	май	P+	октябрь-март
					CPC+	февраль-апрель
Татарстан	сосна	T01S	P+	август	P+	октябрь-сентябрь
			P-	ноябрь	CPC+	апрель-сентябрь
			P+	декабрь	PDSI+	апрель-сентябрь
Татарстан	сосна	T02S	нет сигнала			
Татарстан	сосна	T03S	CPC+	год	T+	октябрь-март
			PDSI+	год	P+	октябрь-сенябрь
					CPC+	год
					PDSI+	год

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
Оренбургская обл.	сосна	T04S			T-	май-август
					P+	апрель-сентябрь
					CPC+	апрель-сентябрь
					PDSI+	октябрь-сентябрь
Оренбургская обл.	сосна	T05S			T-	апрель-сентябрь
					P+	октябрь-сентябрь
			CPC+	ноябрь-декабрь	CPC+	год
			PDSI+	сентябрь-декабрь	PDSI+	год
Самарская обл.	сосна	T06S			T-	май
					P+	апрель-сентябрь
					CPC+	октябрь-сентябрь
					PDSI+	октябрь-сентябрь
Самарская обл.	сосна	T07S			CPC+	июнь-июль
Татарстан	сосна	T08S			T-	май
					CPC+	апрель-сентябрь
					PDSI+	май-июнь
Пензенская обл.	сосна	T09S	нет сигнала			

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
Пензенская обл.	сосна	T10S	T-	ноябрь	T+	апрель-сентябрь
					CPC+	апрель-сентябрь
					PDSI+	май-сентябрь
Липецкая обл.	сосна	T11S			T+	октябрь-март
					P+	апрель-сентябрь
					CPC+	апрель-сентябрь
					PDSI+	июнь
Липецкая обл.	дуб	T12D	T-	август	T-	июнь
			P+	декабрь	PDSI+	март-апрель
			CPC+	август-сентябрь		
Тамбовская обл.	сосна	T13S	P+	апрель	T+	январь-март
			P+	июль	P+	октябрь-сентябрь
			CPC+	год	CPC+	год
			PDSI+	год	PDSI+	год
Белгородская обл.	дуб	V01D	T+	май-июнь		
Белгородская обл.	сосна	V02S			T-	май
					P+	август
					P+	май
					CPC+	июнь

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
Белгородская обл.	сосна	V03S	T+	июнь	T+	октябрь-сентябрь
			T+	декабрь	P+	октябрь-сентябрь
			P+	ноябрь	CPC+	год
			CPC+	август-декабрь	PDSI+	год
			PDSI+	год		
Московская обл.	ель	VYAZ	P-	август	T+	апрель
			P+	ноябрь	P+	март
					CPC+	апрель-сентябрь
					PDSI+	март
Тульская обл.	дуб	W01D	T-	сентябрь	CPC+	октябрь-сентябрь
			CPC+	апрель	PDSI+	январь-февраль
			CPC+	август-сентябрь		
			CPC+	декабрь		
			PDSI+	год		
Нижегородская обл.	сосна	X01S	P+	июль	T-	май-август
					P+	октябрь-сентябрь
					CPC+	июль-сентябрь
					PDSI+	апрель-сентябрь
Нижегородская обл.	сосна	X02S			T+	май

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
Нижегородская обл.	сосна	X03S			P+	январь
					CPC+	май-август
Нижегородская обл.	сосна	X04S			P+	октябрь-сентябрь
Нижегородская обл.	сосна	X05S	T+	июнь	P+	апрель-сентябрь
			P+	июль	PDSI+	июль-сентябрь
			CPC-	июнь		
Нижегородская обл.	сосна	X06S	P+	июль	PDSI+	июль
			P-	сентябрь		
			CPC-	май		
Нижегородская обл.	сосна	X07S	P+	июль	CPC+	июнь-сентябрь
			P+	октябрь	PDSI+	октябрь-сентябрь
			CPC+	октябрь-декабрь		
Московская обл.	ель	XOL	T+	апрель	T+	апрель
			T-	август	T-	июнь
			P-	сентябрь		
Марий Эл	сосна	Y01S	нет сигнала			
Марий Эл	сосна	Y02S	T+	сентябрь	T-	май-август
					P+	апрель-сентябрь
					CPC+	апрель-сентябрь
					PDSI+	май-август

Область	Порода	Индекс площадки	Предыдущий год	Месяцы	Текущий год	Месяцы
Мордовия	сосна	Z01S	P+	июль	P+	апрель-сентябрь
					CPC+	август
Мордовия	сосна	Z02S			P+	январь
					P+	июль
Мордовия	ель	Z03E	T+	ноябрь	T+	сентябрь

Анализ табл. 3.1.3. позволяет сделать следующие выводы относительно климатического сигнала, отраженного в наших хронологиях.

Дуб. У одной московской (M10D — Измайловский лесопарк) и двух курских (R03D и R10D) хронологий по дубу климатический сигнал не выражен. Хронология M11D (Главный ботанический сад, Москва) положительно реагирует на индексы сухости предыдущего года. Тульская хронология (SEL) оказалась чувствительна преимущественно к индексу засушливости за текущий год. У Липецкой (T12D) чувствительность к засушливости избирательная (март–апрель текущего года и август–сентябрь предыдущего). Хронология дуба в Белгородской области (V01D) вовсе нечувствительна к засушливости, а, напротив, положительно коррелирует с температурой воздуха в мае–июне.

Ель. Реакция на изменения климата у ели также достаточно изменчива и зависит от локальных условий местообитания растений. На динамику увлажнения положительно реагируют подмосковные хронологии ели (VYAZ — парк в усадьбе Большие Вяземы и M18E — Звенигородская биостанция), Калужская (H12E) и Костромская (KL). Смоленская хронология (F06E) положительно реагирует на осадки в июне и отрицательно — на майскую температуру, но прямых связей с индексами засушливости не обнаруживает. Хронологии Z03E (Мордовия) и XOL (Московская область), напротив, положительно реагируют на температуру воздуха. Хронология L11E в Тверской области (Центрально-лесной заповедник) — одна из очень немногих (всего 4 хронологии по разным по-

родам), которая отрицательно реагирует на увлажненность, что и понятно, поскольку эти образцы отобраны на болоте в условиях избыточного увлажнения.

Сосна. Большинство хронологий по сосне чувствительны к индексам засушливости PDSI и CPC, причем как за текущий, так и за предшествующий годы. К средним температурам чувствительны лишь несколько хронологий (например, F04S — к зимним температурам предыдущего года, H256S, ZVS и OPP — к осенне-зимним температурам текущего года и пр. (см. табл. 3.1.3 и Приложение 2). Большинство хронологий не демонстрируют выраженной связи с агроклиматическими характеристиками и лишь немногие (например, PANS и SHIR) проявили чувствительность, хоть и слабую, к годовым суммам температур 0 °C (T > 0), 5 °C (T > 5) и 15 °C (T > 15). Хронология, в которую вошли образцы подсоченных деревьев (T09S), показала отсутствие чувствительности как к температурам и осадкам, так и к индексам PDSI, CPC, что подтвердило необходимость отбора древесно-кольцевого материала из ненарушенных древостоев.

Таким образом, статистический анализ показывает, что значимые корреляционные связи хронологий с метеопараметрами отмечаются довольно часто, но теснота этих связей не очень велика — коэффициент корреляции редко превышает 0,5. Это и понятно, поскольку в условиях умеренной зоны на прирост деревьев влияют одновременно многие климатические факторы. Из табл. 3.1.3 видно, что наиболее часто встречаются положительные связи приростов с температурой периода осени-зимы-весны, с весенне-летними осадками, а также с индексами засушливости (PDSI и CPC), преимущественно за предшествующий год. Как правило, хронологии, чувствительные к индексам засушливости, имеют положительные связи с осадками июля или августа, что подтверждает чувствительность этих деревьев к засухам.

Пространственные корреляции наших локальных хронологий с индексами засушливости между 60° и 50° с. ш. на ЕТР показаны на рис. 3.1.3 а и б. С индексом PDSI положительно коррелируют большинство хронологий, за исключением компактной группы, расположенной на северо-западе региона и московских хронологий дуба черешчатого. Интересно, что эти хронологии тем не менее коррелируют с индексом влажности почв (рис. 3.1.3б), однако связь

с этим параметром ослабевает для нескольких хронологий Москвы и Подмосковья. В целом поля значимых положительных корреляций ширины годичных колец с индексами засушливости занимают обширную площадь и отражают тенденцию к положительной связи всех трех видов деревьев с индексами сухости.

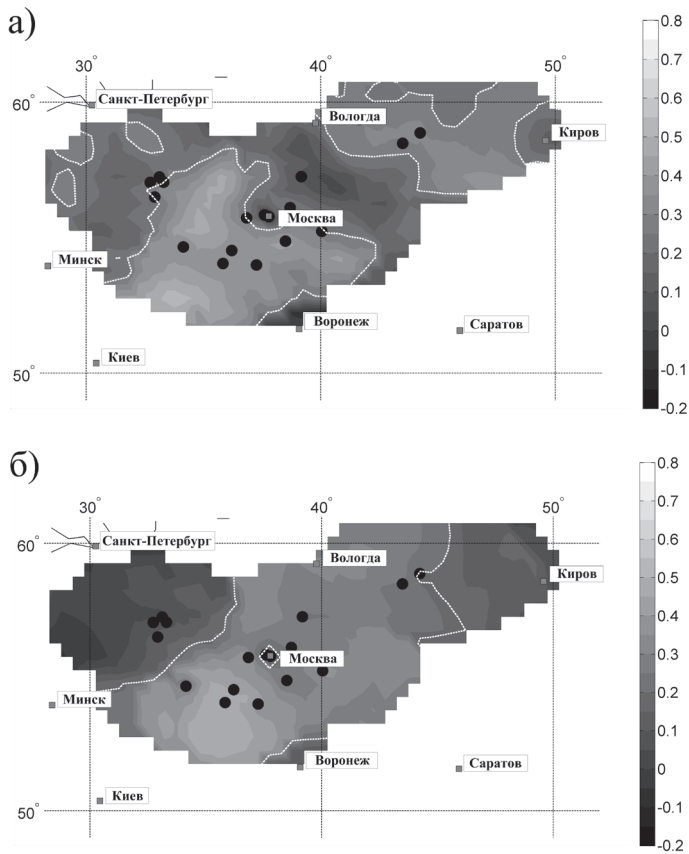
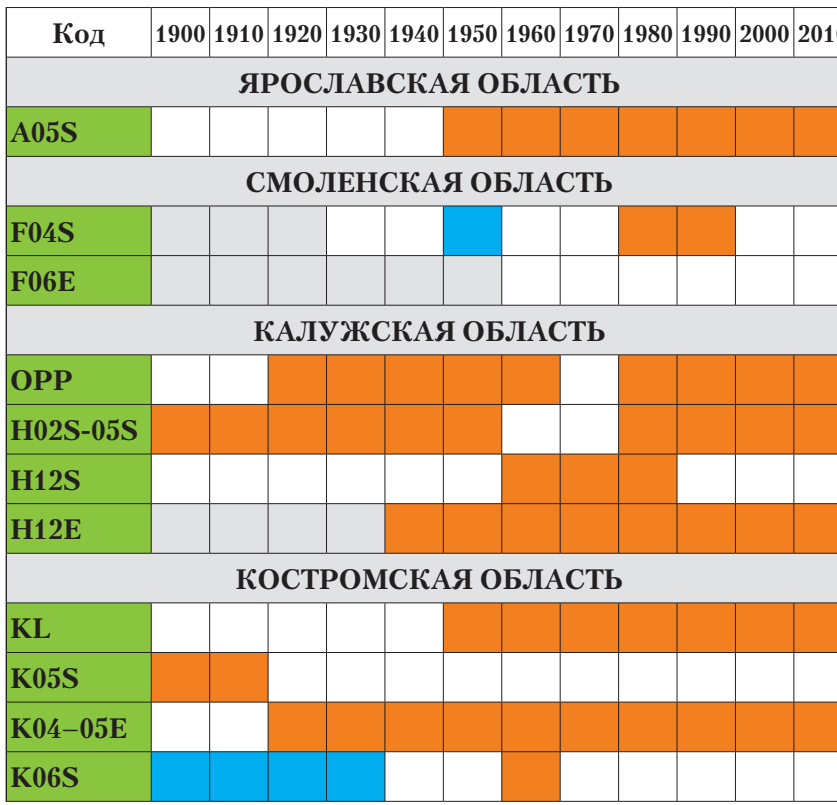
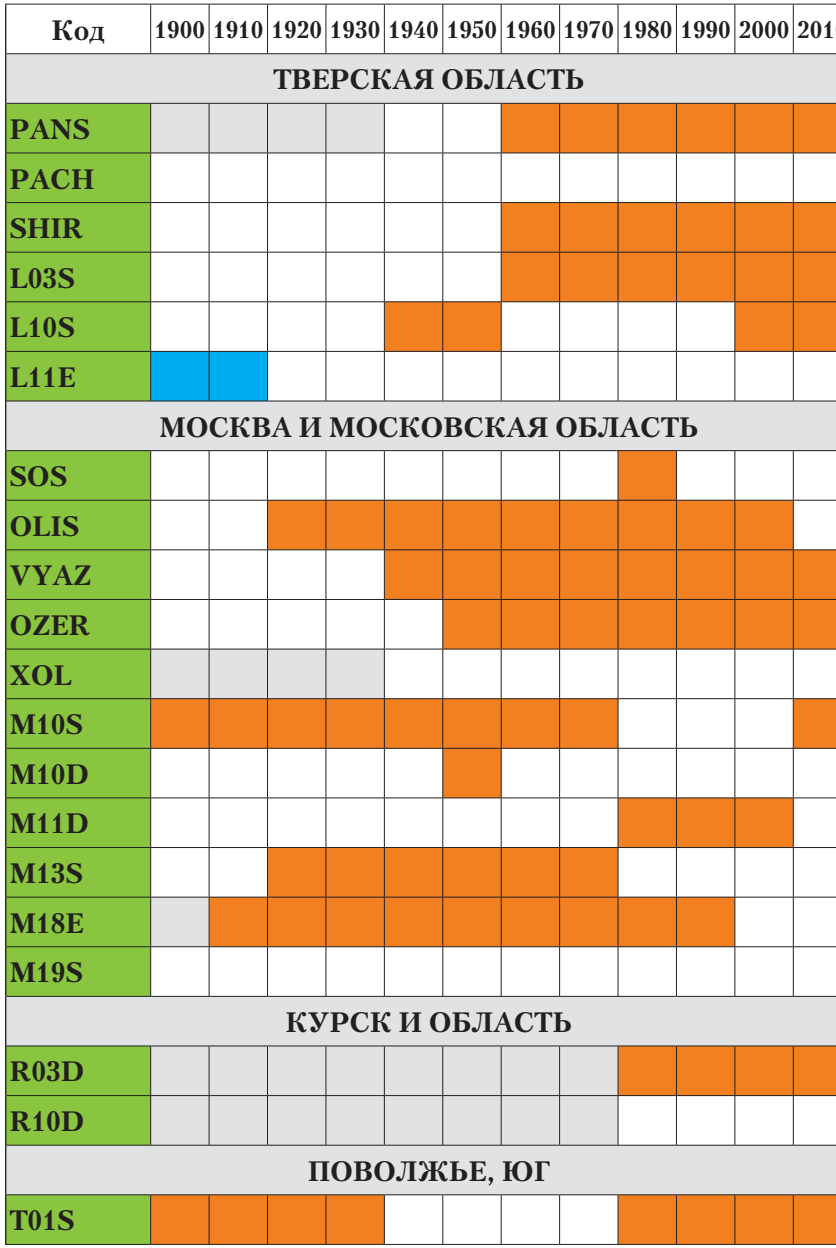


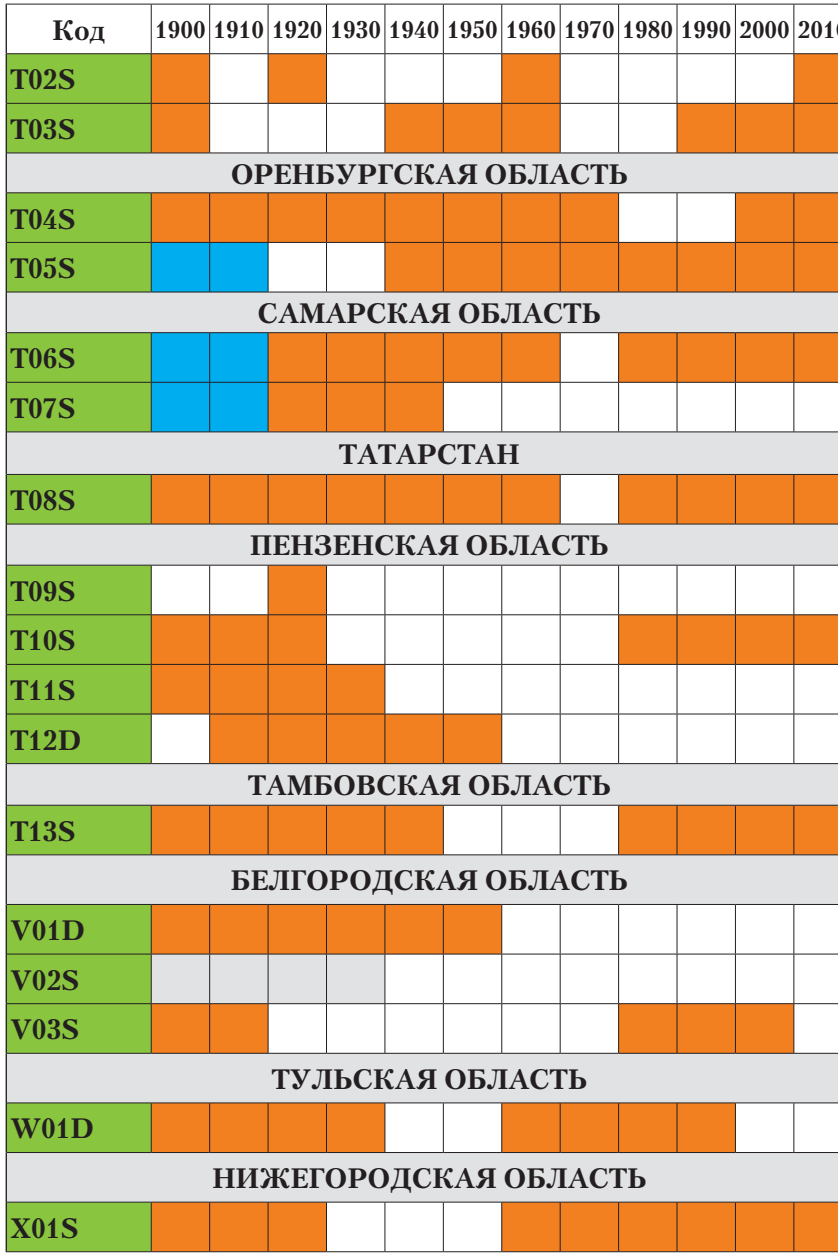
Рис. 3.1.3. Корреляция хронологий сосны, ели и дуба с индексами засушливости PDSI (а) и CPC (б). Методика построения карт подробно описана В. В. Мацковским (2011)

Fig. 3.1.3. Correlation between pine, spruce and oak chronologies and drought indices PDSI (a) and CPC (b). Method of map plotting is described by V. V. Matskovsky (2011)

В Приложении 3 приводятся схемы устойчивости климатического сигнала во времени для всех пробных площадей на основе расчета коэффициентов корреляции в скользящем окне. На рис. 3.1.4 эти результаты обобщены для индекса PDSI. Из этого рисунка видно, что подавляющее большинство хронологий положительно коррелирует с индексом суровости засух PDSI текущего года, хотя временами эта связь ослабевает и корреляции становятся статистически незначимыми. Отрицательные корреляции отмечаются крайне редко: в четырех случаях в первые два десятилетия XX в., дважды в 1940-е и 1950-е гг., один раз — в 1960-е и дважды в 1970-е гг. По-видимому, это не случайно, так как именно в 1950–1960-е и особенно в 1970-е гг. наиболее часто отмечается и «потеря» сигнала (не закрашенные клетки на рис. 3.1.4).




Код
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ
PANS
PACH
SHIR
L03S
L10S
L11E
МОСКВА И МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ
SOS
OLIS
VYAZ
OZER
XOL
M10S
M10D
M11D
M13S
M18E
M19S
КУРСК И ОБЛАСТЬ
R03D
R10D
ПОВОЛЖЬЕ, ЮГ
T01S


Код
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
T02S
T03S
ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ
T04S
T05S
САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ
T06S
T07S
ТАТАРСТАН
T08S
ПЕНЗЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ
T09S
T10S
T11S
T12D
ТАМБОВСКАЯ ОБЛАСТЬ
T13S
БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ
V01D
V02S
V03S
ТУЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ
W01D
НИЖЕГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ
X01S

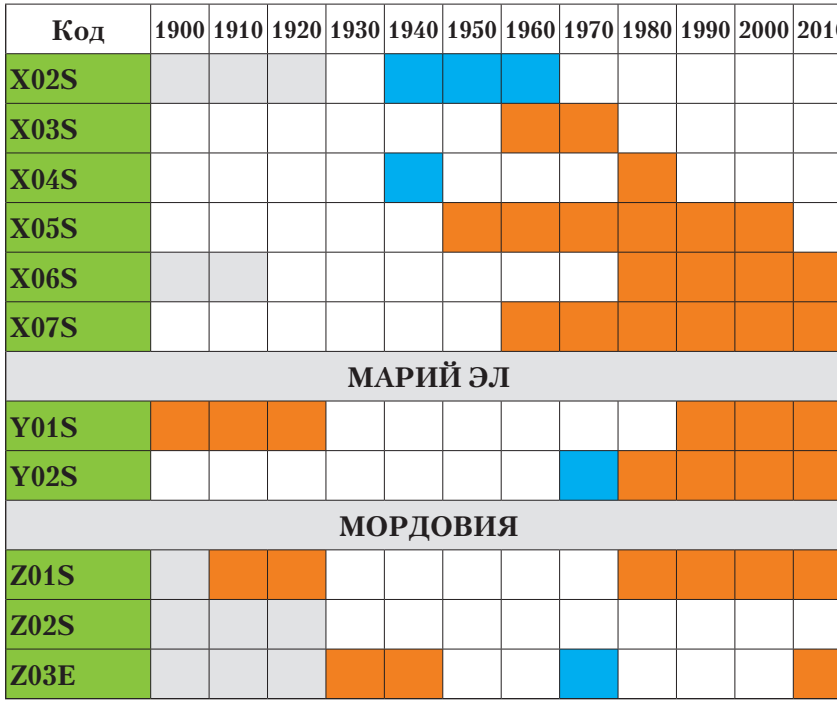


Рис. 3.1.4. Обобщенные данные корреляционного анализа приростов древесины и индекса PDSI, рассчитанные с помощью программы Dendroclim (оригинальные данные см. в Приложении 3). Оранжевый — статистически значимые положительные корреляции ШГК и PDSI, синий — отрицательные корреляции этих же параметров, серый — отсутствие данных

Fig. 3.1.4. Summary of Pearson correlation analysis between tree-ring width chronologies and PDSI computed using DendroClim software (see original data in Supplemental Material 3). Orange color indicates positive statistically significant coefficients computed between tree-ring width chronologies and PDSI, blue — negative, gray — lack of data

Таким образом, результаты корреляционного анализа показывают, что ширина колец в хронологиях центральной и южной части ЕТР в подавляющем большинстве случаев зависит от сочетания тепла и увлажненности и коррелирует с комплексными показателями засушливости (увлажненности). Однако часть хронологий

такой связи не обнаруживает из-за особенностей местообитания деревьев, из которых были отобраны образцы на дендроклиматический анализ. Такие хронологии при создании региональных реконструкций должны быть исключены из рассмотрения. Некоторые хронологии имеют нестационарный сигнал, исчезающий в определенные периоды времени или даже меняющийся на противоположный по знаку (см. Приложение 3). К таким хронологиям также следует относиться с большой осторожностью.

Глава 2. Исследование климатического сигнала в древесно-кольцевых хронологиях ЕТР с помощью линейных и нелинейных статистических методов. Устойчивость сигнала во времени

Е.А. Черенкова, В.В. Мацковский, Е.А. Долгова

Введение

Выявление ответной реакции древесной растительности на изменения климата является актуальной задачей дендроклиматологии, поскольку результаты дендроклиматического анализа являются уникальными источниками информации о климате прошлого. Большинство дендроклиматических реконструкций Северного полушария, характеризующих изменчивость гидроклиматических параметров в прошлом, построено с использованием чувствительных древесно-кольцевых хронологий. Прирост деревьев, растущих на пределе своего существования, как правило, находится под контролем лимитирующего фактора. Чаще всего летняя температура ограничивает прирост на северном и верхнем пределах распространения лесов, а условия увлажненности — в засушливых районах. На территориях, где влияние климата на прирост не ограничивается каким-либо одним фактором, построение реконструкций затруднительно или вовсе невозможно. Большинство существующих реконструкций построено с учетом так называемого «принципа униформизма» и основано на линейной связи между параметром годичных колец и климатическими данными (корреляционный анализ, метод главных компонент, множественная регрессия и т. д.) (Fritts, 1976). Такие модели указывают только на наличие и степень линейных корреляций между исследуемыми параметрами и не дают возможности оценить механизмы их взаимодействия (Тычков и др., 2015). В ряде работ показано, что лимитирующие факторы связаны с приростом древесных растений нелинейно (например, Ваганов, Шашкин, 2000; Touchan et al., 2012). Однако известно, что физиологические процессы и скорости реакций, приводящие к формированию кольца, часто нелинейны. Классическим примером такой нелинейности может служить связь между фотосинтезом и дневными тем-

пературами, которая обусловлена неодинаковым влиянием повышения температуры на скорость первичного фотосинтеза и дыхания (Kozlowski et al., 1991). В последнее время все чаще находят применение модели, учитывающие нелинейность сигнала. Так, например, с помощью нелинейной механистической модели роста Ваганова-Шашкина (Vaganov et al., 2006) была обнаружена связь между снижением чувствительности древесных растений в субарктической части Сибири и положительным трендом зимних осадков. Более поздние даты таяния снежного покрова приводят к сдвигу начала сезона роста деревьев и, как следствие, снижению чувствительности деревьев к температурным изменениям (Vaganov et al., 1999). Были предприняты довольно успешные попытки использования нелинейных методов (нейроные сети (Guiot, 1984)) для реконструкции количества выпавших осадков (D'Odorico et al., 2000; Ni et al., 2002).

Сложность выявления устойчивого во времени климатического сигнала в древесно-кольцевых хронологиях связана с тем, что отклик может быть не всегда одинаковым при схожих метеорологических условиях.

Центральная часть ЕТР гораздо менее обеспечена дендрохронологическими данными в пространстве и времени, чем соседние регионы: Восточная Европа, Скандинавия, Урал — древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) здесь меньше, они расположены дальше друг от друга и значительно уступают по продолжительности ДКХ соседних регионов. Археологические дендрошкалы на ЕТР часто не привязаны к современности, поэтому они почти не используются для палеоклиматических реконструкций. В связи с этим большинство исследований в рассматриваемом районе относятся к дендроархеологии или лесоведению, а задачи этих дисциплин в значительной степени отличаются от задач дендроклиматологии. Ограниченный интерес дендроклиматологов к климатическому сигналу в ширине колец на ЕТР объясняется относительно короткой продолжительностью жизни деревьев и их слабой чувствительностью к климатическим изменениям. Анализ климатического отклика деревьев в северной и центральной частях ЕТР был проведен ранее в работах Т.Т. Битвинскаса (1974), А.А. Молчанова (1976), Н.В. Ловелиуса (1979), М.М. Чернавской (Chernavskaya et al., 1996), К. Бриффы (Briffa et al., 2001, 2002a, b), Ф. Швайнгрубера (Schweingruber and Briffa, 1996), Д.Е. Румянцева (2010) и др. Комплексный подход при выявлении климатического сигнала в ширине

годичных колец хвойных с использованием общей методики для территории севера ЕТР был применен в работе (Мацковский, 2013).

В исследовании предпринята попытка выявить климатический отклик древесно-кольцевых хронологий в центре ЕТР современными методами математической статистики. Применяемая методика анализа позволила определить региональные особенности отклика в древесно-кольцевых хронологиях ЕТР и исследовать устойчивость климатического сигнала во времени.

Материалы и методы

В данной работе в качестве объектов исследований служат древесно-кольцевые хронологии ширины годичных колец по сосне обыкновенной (*Pinus Sylv. L*). Район работ по отбору дендрохронологического материала ограничен 52°–57° с. ш. и 35°–52° в. д. (Описание методики отбора и анализа образцов см. во Введении.)

Удаление возрастного тренда, содержащегося в каждой древесно-кольцевой серии, а также других шумов не климатической природы проведено с помощью перевода абсолютных величин приростов в относительные, то есть индексирования. В общем случае выбор способа индексирования может зависеть от поставленной задачи. В данной работе возрастной тренд был удален путем деления значений ширины кольца на значение аппроксимирующей функции в этот год. Индексация проведена в программе ARSTAN (Cook, 1985), а аппроксимирующей кривой служила отрицательная экспонента, а также линейная функция. Для каждой пробной площади путем осреднения всех серий была построена сводная стандартная хронология.

В качестве показателей, характеризующих локальные хронологии, рассмотрены коэффициент чувствительности, стандартное отклонение и автокорреляция первого порядка.

Статистические характеристики 14 хронологий ширины годичных колец сосны отображены в табл. 3.2.1. Длительность хронологий составляет от 162 до 266 лет. Стандартное отклонение хронологий варьируется от 0,18 до 0,31, в то же время средняя чувствительность хронологий невысокая (0,13–0,22). Высокая (0,4–0,6) межсериальная корреляция говорит об общности сигнала, заключенном в хронологиях. Автокорреляция первого порядка у всех хронологий высокая и достигает значений 0,4–0,7, что указывает на сильное влияние условий произрастания прошлых лет на текущий период.

Таблица 3.2.1. Описание дендрохронологических площадок и статистические характеристики построенных хронологий по ширине годичных колец сосны
Table 3.2.1. Description of tree-ring sites and statistics computed for developed tree-ring width chronologies

Код площадки	**Местоположение**	**Широта**	**Долгота**	**Год начала**	**Год конца**	**Продолжительность серий, лет**	**Кол-во серий**	**Стандартное отклонение**	**Корреляция серий**	**Средняя чувствительность**	**Автокорреляция первого порядка**
L10S	Тверская обл., Киверичи, сосново-еловый лес	57,7389	36,1269	1849	2014	166	24	0,206	0,665	0,147	0,66
M13S	Московская область, г. Звенигород	55,0456	36,7472	1763	2014	252	37	0,19	0,522	0,149	0,58
OPP	Калужская обл., лес у Оптиной Пустыни	55,5511	35,1231	1717	2010	294	23	0,26	0,64	0,17	0,69
X01S	Нижегородская область, сосновый лес	56,1194	44,2519	1834	2014	181	33	0,274	0,616	0,188	0,56
Y01S	Республика Марий Эл, нац. парк Марий Чодра	56,9506	49,1742	1802	2014	213	46	0,179	0,585	0,135	0,58

Код площадки	Местоположение	Широта	Долгота	Год начала	Год конца	Продолжительность серий, лет	Кол-во серий	Стандартное отклонение	Корреляция серий	Средняя чувствительность	Автокорреляция первого порядка
Y02S	Республика Марий Эл, нац. парк Марий Чодра	56,7172	48,3739	1826	2014	189	30	0,257	0,594	0,188	0,6
T01S	Татарстан, Волжско-Камский заповедник, Сараловский участок. Сосны под дюной	55,0217	49,6042	1749	2014	266	29	0,317	0,636	0,187	0,63
T02S	Татарстан, Волжско-камский заповедник, Сараловский участок. Сосны на дюне	57,0008	49,6042	1808	2014	207	33	0,273	0,646	0,151	0,7
T04S	Оренбургская обл., Бузулукский бор, недалеко от «Царицы сосны»	53,7503	52,9686	1801	2014	214	22	0,199	0,357	0,165	0,4

T07S	Самарская обл., Жигулевский заповедник, зап. склон горы Стрельная, приводораздельная часть	53,9569	49,6458	1786	2014	229	36	0,303	0,631	0,190	0,5
T09S	Пензенская обл., заповедник «Приволжская лесостепь», уч. «Верховья р. Сура», у дома егеря	53,2553	46,4314	1788	2014	227	33	0,229	0,425	0,194	0,4
T11S	Липецкая обл., дер. Фащовка	53,2744	39,3781	1854	2015	162	40	0,207	0,488	0,168	0,5
T13S	Тамбовская обл., усадьба Карай-Салтыково	52,8058	38,0042	1827	2015	189	28	0,304	0,571	0,219	0,6
V02S	Белгородская область, заказник Белогорье, уч. «Лес на Ворскле»	50,9933	35,3322	1901	2014	114	33	0,188	0,616	0,134	0,6

Выбор периода исследования 1901–2012 гг. определялся исходя из временного интервала доступных данных метеопараметров за инструментальный период, позволяющих получить репрезентативные оценки. Для оценки влияния естественной изменчивости климата использованы архивы наблюдений за метеорологическими параметрами на метеостанциях сети Росгидромет из Мирового центра данных (www.meteo.ru): ежедневные данные наблюдений за минимальной, средней, максимальной температурой воздуха и суточными суммами осадков; данные среднемесячных температур и месячных сумм осадков; а также водного эквивалента снега (SWE, Snow Water Equivalent) из маршрутных снегомерных съемок. В расчет принимались данные суточного разрешения с пропусками менее 10% за месяц. Для определения интенсивности засухи в сезон вегетации использованы количественные показатели: хорошо известный отечественный показатель — гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК), индекс суровости засухи Палмера (PDSI, Palmer Drought Severity Index), стандартизованный индекс осадков SPI (Standardized Precipitation Index) и стандартизованный индекс осадков и испаряемости SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index). Архивы индексов засухи получены на основе данных наземных наблюдений за метеопараметрами, интерполированных с узлов регулярной сетки. Подробное описание показателей, формулы для расчета и описание используемых архивов приведено в главе 1 части 1 «Засухи Восточно-Европейской равнины: инструментальные наблюдения» настоящей монографии. Отметим, что принятие к рассмотрению нескольких показателей засухи обусловлено тем, что различные показатели засухи определяют засуху с разных точек зрения. В исследовании были рассмотрены данные метеостанций, наиболее близко расположенных к дендрохронологическим площадкам (табл. 3.2.2) и узлов регулярной сетки (для использованных сетевых архивов).

При моделировании нелинейными методами использовались результаты регионализации территории ЕТР на основе квазиоднородных изменений индекса прироста годовых колец. Регионализация была проведена с применением двух методов математической статистики: факторного анализа главных компонент (PCA, Principal component analysis), также известного как метод разложения по естественным ортогональным составляющим (EOF-анализ,

Таблица 3.2.2. Характеристики метеостанций, наиболее близко расположенных к дендрохронологическим площадкам

Table 3.2.2. Characteristics of weather stations closely located to tree-ring sites

Индекс	27208	27459	27485	27509	27595	27707
Наименование	Максатиха	Нижний Новгород	Йошкар-Ола	Можайск	Казань	Сухиничи
Широта	57,80	56,27	56,72	55,52	55,73	54,10
Долгота	35,88	44,00	47,88	36,00	49,20	35,35
Код хронологии	L10S	X01S	Y01S, Y02S	M13S	T01S, T02S	OPP
Год начала наблюдений	1927	1901	1961	1932	1901	1927

Индекс	27947	27962	27995	28900	34123	34202
Наименование	Тамбов	Пенза	Безенчук	Самара	Воронеж	Готня
Широта	52,80	53,12	52,98	53,25	51,70	50,80
Долгота	41,50	45,02	49,43	50,22	39,22	35,77
Код хронологии	T13S	T09S	T07S	T04S	T11S	V02S
Год начала наблюдений	1901	1901	1904	1936	1919	1930

method of empirical orthogonal function), и иерархического кластерного анализа (Hierarchical cluster analysis). Введение косоугольного вращения в процедуру факторного анализа (метод Oblimin) позволяет осуществить сегментацию факторов без их пересечения. В результате регионализации территории методом EOF-анализа предполагается принятие к рассмотрению факторов, каждый из которых объясняет не менее 1% общей изменчивости анализируемой характеристики (описание методики приведено, например, в работе (Comrie and Glenn, 1998)). Метод иерархического кластерного анализа группирует объекты согласно выбранному критерию (например, Kaufman and Rousseeuw, 1990; Pearson, 1901; Айвазян и др., 1989). В качестве меры сходства между членами одного кластера был выбран метод корреляции Пирсона, отражающий схожесть характера региональных изменений (более подробное описание алгоритма содержится в работах (Romesburg, 1984; Szekely and Rizzo, 2005)).

Оценка линейной связи между шириной годичных колец и метеорологическими параметрами проведена методами, включающими корреляционный анализ и кросскорреляционный анализ со скользящими окнами шириной 30 лет. Статистическая значимость корреляций определялась с помощью t-критерия Стьюдента на уровне 0,05.

Для анализа нелинейных связей между зависимой переменной и предикторами использованы Деревья Решений (Decision Trees) с применением алгоритма CHAID-анализа (Chi-square Automatic Interaction Detector, автоматический детектор взаимодействий) (Kass, 1980; Biggs et al.,1991). В общем случае алгоритм CHAID-анализа позволяет выделить условия, приводящие к заданной ситуации, рассчитывая при этом вероятность наступления события (с более подробным описанием метода можно ознакомиться, например, на Интернет-ресурсе по адресу https://en.wikipedia.org/wiki/CHAID). Для изучения статистической взаимосвязи между зависимой и независимыми переменными (предикторами) использовались статистические тесты значимости взаимодействий между зависимой переменной и предиктором (в данном случае Хи-квадрат). Сущность метода CHAID состоит в выборе наиболее значимых предикторов и выявлении способа группировки категорий каждого предиктора так, чтобы в получившихся группах максимизировать различия между значениями (категориями) зависи-

мой переменной. В результате применения алгоритма формируется древовидная структура, в основании которой находится предиктор, максимально характеризующий различия зависимой переменной (на основе оценки уровня статистической значимости). Общее качество модели (мера прогностической точности дерева) определялось как доля корректно классифицированных наблюдений.

При построении нелинейной модели зависимой переменной был индекс прироста годовых колец, в качестве переменных-предикторов взяты данные метеорологических переменных и их дериватывы (табл. 3.2.3). Фокус исследования направлен на анализ случаев со значениями индекса прироста годовых колец «ниже среднего».

Таблица 3.2.3. Переменные, использованные при моделировании нелинейными методами
Table 3.2.3. Variables used in non-linear model

№	Наименование переменной-предиктора	Наименование переменной в модели
1–12	Среднемесячная приземная температура воздуха (°C) с января по декабрь	avt1 — avt12
13–24	Сумма среднемесячных осадков (мм/мес) с января по декабрь	pr1 — pr12
25	Средняя за год приземная температура воздуха (°C)	annt
26	Сумма годовых осадков (мм/мес)	annpr
27	Сумма среднесуточных температур за период активной вегетации (°C)	tveg
28	Сумма осадков за период активной вегетации (мм/мес)	pr_veg
29	Число дней со среднесуточной температурой воздуха <= –20 °C за каждый гидрологический год	extrwt1
30	Число дней со среднесуточной температурой воздуха <= –30 °C за каждый гидрологический год	extrwt2

№	Наименование переменной-предиктора	Наименование переменной в модели
31	Суммарное число дней в непрерывных периодах с минимальной температурой воздуха <= –15 °С, превышающих 14 дней, за каждый гидрологический год	sumwt_15
32	Максимальное число дней в непрерывных периодах с минимальной температурой воздуха <= –15 °С, превышающих 14 дней, за каждый гидрологический год	maxwt_15
33	Суммарное число дней в непрерывных периодах с минимальной температурой воздуха <= –15 °С, превышающих 14 дней, за каждый гидрологический год	wt_20
34	Максимальное число дней в непрерывных периодах с минимальной температурой воздуха <= –15 °С, превышающих 14 дней, за каждый гидрологический год	wt_30
35	Суммарное число дней в непрерывных периодах с максимальной температурой воздуха >= 25 °С, превышающих 14 дней, с мая по сентябрь	sumt25
36	Максимальное число дней в непрерывных периодах с максимальной температурой воздуха >= 25 °С, превышающих 14 дней, с мая по сентябрь	maxt25
37	Суммарное число дней в непрерывных периодах с отсутствием эффективных осадков и максимальной температурой воздуха >= 25 °С, превышающих 14 дней, с мая по сентябрь	sumprl5
38	Максимальное число дней в непрерывных периодах с отсутствием эффективных осадков и максимальной температурой воздуха >= 25 °С, превышающих 14 дней, с мая по сентябрь	maxprl5

№	Наименование переменной-предиктора	Наименование переменной в модели
39	ГТК в мае	5gtk
40	ГТК в мае–июне	5–6gtk
41	ГТК в мае–июле	5–7gtk
42	ГТК за сезон активной вегетации	gtk
43	SPEI в мае	spei1mmay
44	SPEI в июне	spei1mjune
45	SPEI в июле	spei1mjuly
46	SPEI в августе	spei1maug
47	SPEI за период с мая по сентябрь	spei5msept
48	SPI в мае	spi3mmay
49	SPI в июне	spi3mjune
50	SPI в июле	spi3mjuly
51	SPI в августе	spi3maug
52–56	Среднемесячный PDSI с мая по сентябрь	pdsi5-pdsi9
57–60	Декадные данные водного эквивалента снега (мм) за 1-ю, 2-ю и 3-ю декады марта и 1-ю декаду апреля	swe1m – swe3a
61	Географическая широта дендрохронологии	lat
62	Номер кластера	cluster
63–122	Переменные № 1–60 за предшествующий год	

Результаты

Статистический анализ показал, что функция распределения индексов прироста годовых колец на территории исследования соответствует нормальному распределению (рис. 3.2.1).

На основе иерархического кластерного анализа и факторного анализа выполнена регионализация рассмотренных 14 древесно-кольцевых хронологий на территории ЕТР, большая часть из которых была сформирована в 2014 и 2015 гг. Оба метода продемонстрировали согласованные результаты и позволили, в зависимости от использованного метода, выделить три (или четыре) региона (рис. 3.2.2а и 3.2.2б).

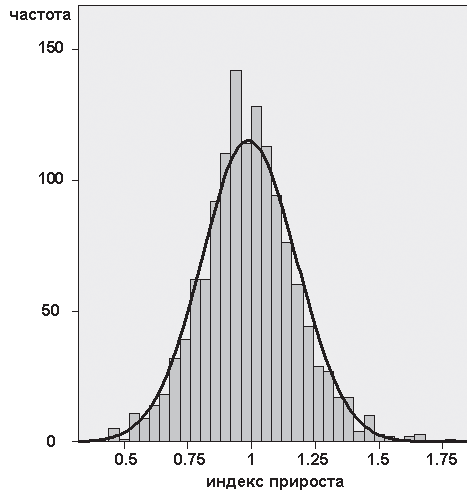


Рис. 3.2.1. Функция распределения данных индекса прироста годовых колец
Fig. 3.2.1. Distribution function of tree-ring indices

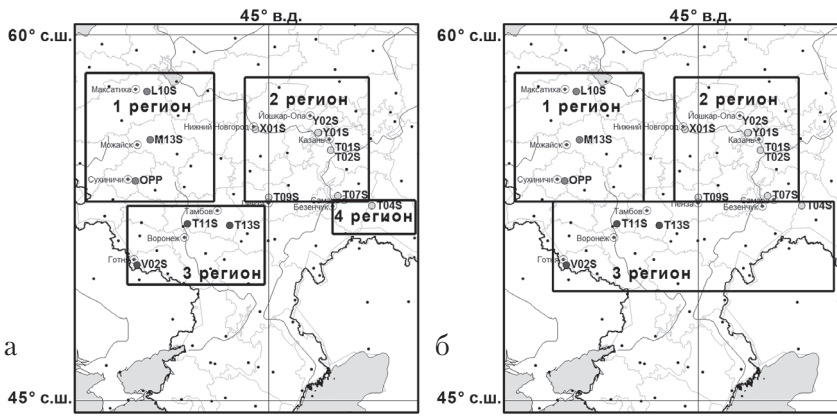


Рис. 3.2.2. Регионализация с помощью иерархического кластерного анализа (а) и анализа главных компонент (б). Точками отображены метеостанции сети Росгидромет
Fig. 3.2.2. Regions obtained based on hierarchic cluster analysis (a) and principal component analysis (b). Dots depict weather stations from Russian hydrometeorological network

Первый регион находится в центральном районе ЕТР и включает три площадки наблюдений в Тверской, Московской и Калужской областях. Второй регион располагается на территории Поволжья. В него включено семь дендроплощадок: по одной площадке в Самарской, Пензенской и Нижегородской областях и по две площадки на территории Республик Марий Эл и Татарстан. Третий регион объединяет три площадки, на территории Липецкой, Тамбовской и Белгородской областей. Исключением явился временной ряд T04S, характеризующий ДКХ, находящуюся в Оренбургской области. При регионализации с помощью кластерного анализа временной ряд в данной точке был выделен в отдельный четвертый кластер-регион (рис. 3.2.2а). В результате регионализации с применением факторного анализа то же наблюдение было отнесено в третий регион (рис. 3.2.2б).

На рис. 3.2.3 показаны 11-летние скользящие средние ширины колец, обобщенные для четырех регионов с квазиоднородными изменениями индекса прироста годичных колец сосны обыкновенной. Визуальный анализ рис. 3.2.3 подтверждает существенное отличие друг от друга поведения кривых для четырех регионов.

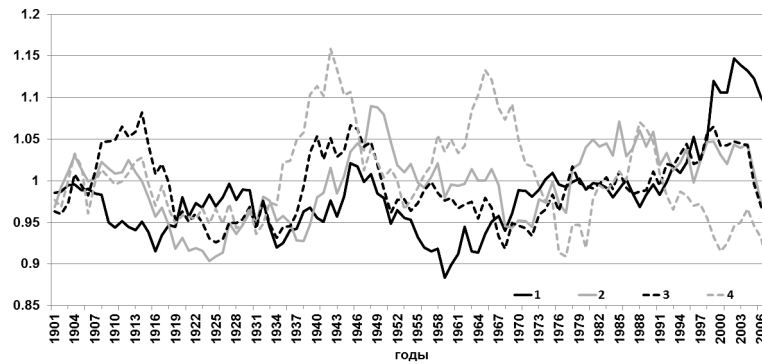


Рис. 3.2.3. 11-летние скользящие средние в регионах (1, 2, 3 и 4) квазиоднородных изменений индекса прироста годичных колец в период 1901–2007 гг.

Fig. 3.2.3. Time-series of 11-years averaged regional chronologies (1, 2, 3 and 4) over period of 1901–2007 ss.

Как видно из табл. 3.2.4, члены кластеров-регионов, полученных методом иерархического кластерного анализа, достаточно тесно связаны с центрами тех кластеров, в которых они находятся. Полученный результат свидетельствует о достаточно хорошем качестве разбиения выборки: коэффициенты корреляции в первом регионе не ниже 0,74, во втором — не ниже 0,71, в третьем — не ниже 0,69. Проведенная регионализация позволяет более целенаправленно применить методы математической статистики, рассмотрев не всю выборку, а временные ряды дендрохронологий в каждом выделенном регионе, в котором наблюдаются квазиоднородные изменения индекса прироста годичных колец.

Таблица 3.2.4. Распределение дендроплощадок по кластерам, полученным методом иерархического кластерного анализа
Table 3.2.4. Distribution of tree-ring sites over clusters defined by hierarchic cluster analysis

Код	**Номер кластера**	**Коэффициент корреляции с центром кластера**	**Область (Республика)**
L10S	1	0,74	Тверская
M13S	1	0,83	Московская
OPP	1	0,84	Калужская
T01S	2	0,81	Татарстан
T02S	2	0,8	Татарстан
T04S	4	0,58	Оренбургская
T07S	2	0,78	Самарская
T09S	2	0,71	Пензенская
T11S	3	0,84	Липецкая
T13S	3	0,86	Тамбовская
V02S	3	0,69	Белгородская
X01S	2	0,78	Нижегородская
Y01S	2	0,77	Марий Эл
Y02S	2	0,76	Марий Эл

Исследование влияния метеорологических параметров на ширину годичных колец с помощью линейных методов

Результаты корреляционного анализа временных рядов прироста годичных колец и выбранных метеорологических параметров показали, что коэффициенты линейной корреляции (табл. 3.2.5) свидетельствуют о положительных связях ширины колец с осадками (в среднем за год, с суммарными за май, июнь, июль и за сезон вегетации) и показателями увлажнения (соотношения тепла и влаги) в период с мая по сентябрь. Однако теснота этих связей, как правило, невелика. Как следует из табл. 3.2.4, наибольшие положительные коэффициенты корреляции временных рядов прироста годичных колец на ЕТР наблюдались для хронологии в Пензенской области: значение коэффициента, равное 0,7, с ГТК в сезон вегетации, 0,65 — с годовыми осадками, 0,64 — с осадками в сезон вегетации, 0,56 — с осадками в сентябре. Наибольшие положительные коэффициенты корреляции между аналогичными показателями в среднем по всем рассмотренным хронологиям продемонстрировали индекс SPI в период с мая по июль (коэффициент корреляции 0,42) и SPI в период с апреля по июнь (коэффициент корреляции 0,36), SPEI в период с мая по сентябрь (0,39) и ГТК в период с мая по июль (0,36).

Поскольку наиболее согласованная линейная связь была выявлена между всеми временными рядами прироста годичных колец на ЕТР и индексом SPEI за период с мая по сентябрь, то более подробно были рассмотрены последовательности значений скользящих коэффициентов линейной корреляции между рядами прироста годичных колец и индексом пятимесячного SPEI с января по декабрь в скользящих тридцатилетних окнах в период 1901–2012 гг. Как показано на рис. 3.2.4, для всех проанализированных хронологий не наблюдается стабильного климатического сигнала, отражающего связь с показателем увлажнения. Отчетливой закономерности в изменении сигнала не прослеживается, однако для нескольких хронологий (таких как, например, M13S, OPP, T02S, T04S, T07S, T11S) наблюдается ослабление отклика ширины колец на изменение SPEI в середине XX в. с последующим усилением в конце XX — начале XXI в. Несогласованность климатического отклика хронологии Y01S с откликом других рассмотренных хронологий и практически полное отсутствие линейной связи хронологии Y02S с рядами метеорологических параметров может быть обусловлено локальными условиями произрастания деревьев (болотистая местность), на основе которых были сформированы хронологии.

Таблица 3.2.5. Коэффициенты линейной корреляции временных рядов прироста годичных колец и метеорологических параметров
Table 3.2.5. Coefficients of correlation computed between tree-ring chronologies and climate variables

Период	Метео-переменная	Код хронологии											
		L10S	**X01S**	**Y02S**	**M13S**	**T02S**	**OPP**	**T13S**	**T09S**	**T07S**	**T04S**	**T11S**	**V02S**
1901–2012	avt1	–0,09	0,16	0,38	0,14	0,18	0,15	0,16	–0,02	0,21	–0,11	0,03	–0,04
1901–2012	avt2	–0,12	0,15	0,09	0,12	0,10	0,04	0,20	0,10	0,17	–0,03	0,23	0,23
1901–2012	avt3	0,13	0,12	0,29	0,27	0,13	0,15	0,22	0,19	0,16	0,05	0,16	0,13
1901–2012	avt4	0,00	0,11	0,23	0,17	0,12	0,12	0,11	0,14	0,08	0,00	0,01	–0,09
1901–2012	avt5	–0,07	–0,34	–0,13	–0,11	–0,32	–0,02	–0,44	–0,27	–0,41	–0,35	–0,36	–0,34
1901–2012	avt6	–0,33	–0,26	–0,44	–0,18	–0,29	–0,11	–0,40	–0,33	–0,33	–0,55	–0,37	–0,31
1901–2012	avt7	–0,17	–0,20	–0,23	–0,05	–0,15	–0,13	–0,22	–0,25	–0,24	–0,36	–0,31	–0,29
1901–2012	avt8	–0,10	–0,17	–0,18	0,04	0,03	–0,18	–0,27	–0,02	–0,20	–0,21	–0,36	–0,33

1901–2012	avt9	0,20	0,12	0,09	0,22	0,00	0,09	–0,03	–0,16	–0,01	–0,05	0,04	–0,24
1901–2012	avt10	–0,04	0,05	0,05	0,23	–0,03	0,33	0,07	–0,01	–0,01	–0,04	0,14	0,14
1901–2012	avt11	0,09	–0,06	0,04	–0,01	–0,09	–0,01	0,00	–0,09	–0,11	–0,15	–0,14	–0,07
1901–2012	avt12	–0,06	–0,01	–0,05	0,05	0,05	–0,03	0,07	–0,02	0,00	–0,17	0,00	0,17
1901–2012	annt	–0,10	–0,01	0,13	0,17	0,00	0,09	–0,01	–0,08	–0,03	–0,31	–0,03	–0,10
1901–2012	pr1	0,25	0,16	0,09	0,14	0,08	0,33	–0,08	0,26	0,08	0,03	–0,03	0,00
1901–2012	pr2	0,01	0,00	0,10	0,16	0,18	0,18	0,02	0,21	0,10	–0,07	0,06	0,18
1901–2012	pr3	0,24	0,24	0,00	0,38	0,00	0,08	0,32	0,30	0,07	–0,05	0,27	0,17
1901–2012	pr4	0,08	–0,14	0,03	–0,03	0,03	0,09	0,12	0,33	0,16	0,08	–0,03	0,15
1901–2012	pr5	0,04	0,37	0,31	0,11	0,28	0,38	0,26	0,21	0,23	0,28	0,23	0,33
1901–2012	pr6	0,20	0,38	0,21	0,13	0,18	0,08	0,22	0,25	0,24	0,11	0,20	0,13
1901–2012	pr7	0,15	0,30	0,12	0,26	0,11	0,08	0,24	0,33	0,21	0,17	0,35	0,31

Продолжение табл. 3.2.5

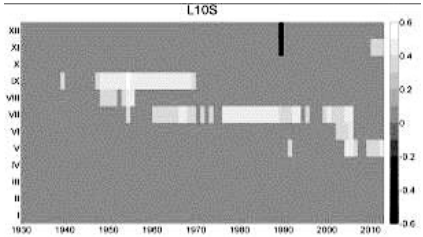
Период	Метео-переменная	Код хронологии											
		L10S	**X01S**	**Y02S**	**M13S**	**T02S**	**OPP**	**T13S**	**T09S**	**T07S**	**T04S**	**T11S**	**V02S**
1901–2012	pr9	–0,07	–0,18	–0,15	–0,11	0,08	–0,28	0,14	0,56	0,13	0,01	–0,04	0,17
1901–2012	pr10	0,11	–0,08	–0,08	0,03	–0,10	0,08	–0,09	0,12	–0,14	0,01	–0,14	0,04
1901–2012	pr11	0,20	0,00	–0,02	0,09	–0,03	0,18	–0,10	–0,11	–0,01	0,04	–0,12	–0,03
1901–2012	pr12	–0,02	0,04	–0,08	0,02	–0,08	–0,08	0,14	0,02	–0,13	–0,02	0,15	–0,11
1901–2012	annpr	0,24	0,33	0,21	0,19	0,18	0,32	0,31	0,65	0,25	0,16	0,25	0,40
1901–2012	tveg	–0,19	–0,27	–0,31	0,02	–0,25	0,04	–0,37	–0,40	–0,31	–0,44	–0,42	–0,46
1901–2012	extrwt1	0,10	–0,10	–0,15	–0,25	–0,12	–0,24	–0,15	0,07	–0,06	0,15	–0,15	–0,04
1901–2012	extrwt2	0,10	–0,04	–0,09	–0,10	–0,08	0,02	–0,08	0,12	–0,14	0,18	0,06	0,02
1901–2012	wt_20	–0,08	–0,03	–0,20	–0,07	–0,01		–0,12	–0,02	–0,18	–0,16		–0,11
1901–2012	wt_30	0,00	–0,11	–0,16	–0,23	–0,06	–0,02	–0,09	0,14	–0,21	0,18		–0,16

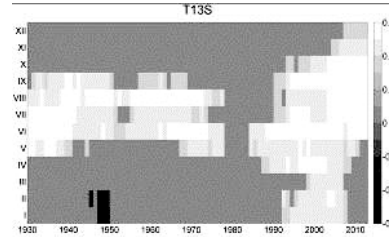
1901–2012	sumwt_15	–0,07	–0,03	–0,22	–0,07	–0,05		–0,19	–0,02	–0,19	–0,09		–0,11
1901–2012	maxwt_15	–0,07	–0,03	–0,23	–0,07	–0,05		–0,19	–0,02	–0,19	–0,09		–0,11
1901–2012	sumt25	–0,13	–0,23	–0,40	–0,07	–0,15	–0,23	–0,28	–0,20	–0,33	–0,41	–0,42	–0,43
1901–2012	maxt25	–0,13	–0,28	–0,40	–0,06	–0,15	–0,23	–0,31	–0,23	–0,10	–0,44	–0,45	–0,44
1901–2012	sumprl5	–0,05	–0,29	–0,31	–0,16	–0,22	–0,16	–0,29	–0,16	–0,32	–0,43	–0,32	–0,39
1901–2012	maxprl5	–0,05	–0,31	–0,31	–0,16	–0,22	–0,16	–0,33	–0,18	–0,32	–0,40	–0,34	–0,41
1901–2012	pr_veg	0,08	0,32	0,12	0,12	0,19	0,20	0,30	0,64	0,39	0,20	0,18	0,43
1936–2012	5gtk	0,06	0,30	0,24	0,11	0,22	0,26	0,13	0,17	0,32	0,34	0,27	0,29
1936–2012	5–6gtk	0,23	0,37	0,29	0,19	0,24	0,17	0,29	0,31	0,37	0,29	0,37	0,31
1936–2012	5–7gtk	0,30	0,53	0,32	0,30	0,29	0,14	0,35	0,44	0,36	0,33	0,45	0,46
1936–2012	gtk	0,15	0,38	0,16	0,10	0,23	0,12	0,37	0,70	0,42	0,27	0,28	0,48
1901–2012	spei1mmay	0,14	0,36	0,21	0,15	0,31	0,28	0,41	0,21	0,21	0,39	0,21	0,31

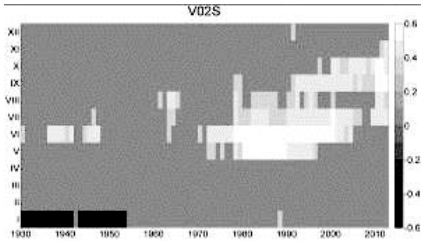
Продолжение табл. 3.2.5

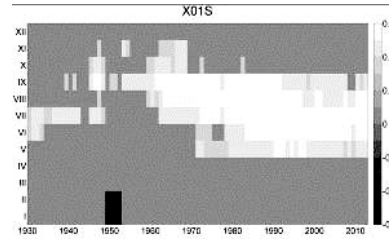
Период	Метео-переменная	Код хронологии											
		L10S	**X01S**	**Y02S**	**M13S**	**T02S**	**OPP**	**T13S**	**T09S**	**T07S**	**T04S**	**T11S**	**V02S**
1901–2012	spei1mjuly	0,14	0,37	0,18	0,25	0,17	0,21	0,29	0,16	0,16	0,25	0,39	0,27
1901–2012	spei1maug	–0,01	0,18	0,05	0,02	0,07	0,10	0,19	0,01	0,20	0,09	0,03	0,10
1901–2012	spei5msept	0,22	0,51	0,31	0,23	0,37	0,23	0,56	0,43	0,43	0,48	0,43	0,44
1948–2012	spi3mmay	0,25	0,44	0,13	0,28	0,20	0,37	0,45	0,25	0,14	0,12	0,37	0,41
1948–2012	spi3mjune	0,32	0,44	0,31	0,18	0,32	0,36	0,51	0,31	0,41	0,38	0,45	0,33
1948–2012	spi3mjuly	0,39	0,56	0,46	0,24	0,42	0,26	0,51	0,37	0,42	0,49	0,57	0,35
1948–2012	spi3maug	0,20	0,47	0,41	0,10	0,28	0,18	0,46	0,29	0,39	0,40	0,42	0,18
1901–2012	pdsi5	0,06	0,04	0,01	0,34	0,31	0,33	0,42	0,14	0,39	0,26	0,20	0,30
1901–2012	pdsi6	0,17	–0,09	0,09	0,35	0,31	0,42	0,45	0,20	0,43	0,37	0,30	0,30
1901–2012	pdsi7	0,18	–0,03	0,20	0,32	0,33	0,42	0,48	0,23	0,41	0,40	0,36	0,36

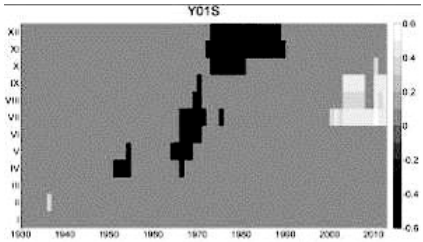
1901–2012	pdsi8	0,15	–0,02	0,18	0,29	0,30	0,37	0,47	0,19	0,41	0,39	0,30	0,34
1901–2012	pdsi9	0,12	0,04	0,15	0,29	0,27	0,25	0,40	0,22	0,37	0,33	0,22	0,34
1966–2012	swe1m	0,03	–0,02	0,01	0,00	0,22	0,16	0,21	0,09	0,25	0,08	–0,06	–0,19
1966–2012	swe2m	0,14	–0,03	–0,03	–0,01	0,09	–0,10	0,13	0,41	0,26	0,11	–0,17	–0,05
1966–2012	swe3m	0,27	–0,02	0,01	0,13	0,02	0,20	0,32	0,05	0,17	–0,09	0,16	0,16
1966–2012	swe1a	0,03	0,15	0,11	–0,02	0,00	0,33	–0,30	0,01	–0,31	0,37	–0,06	0,31

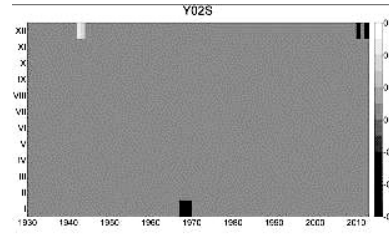

L10S

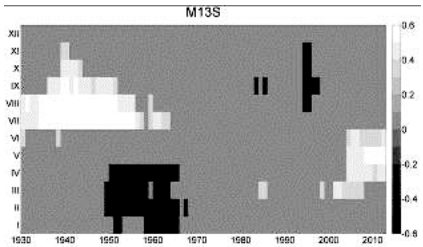

T13S

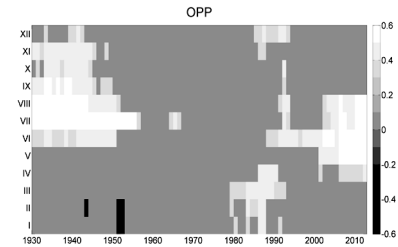

V02S

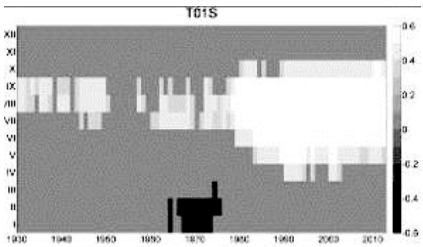

X01S

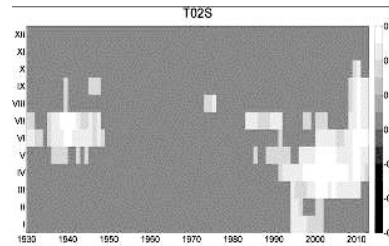

Y01S


Y02S


M13S


OPP


T01S


T02S

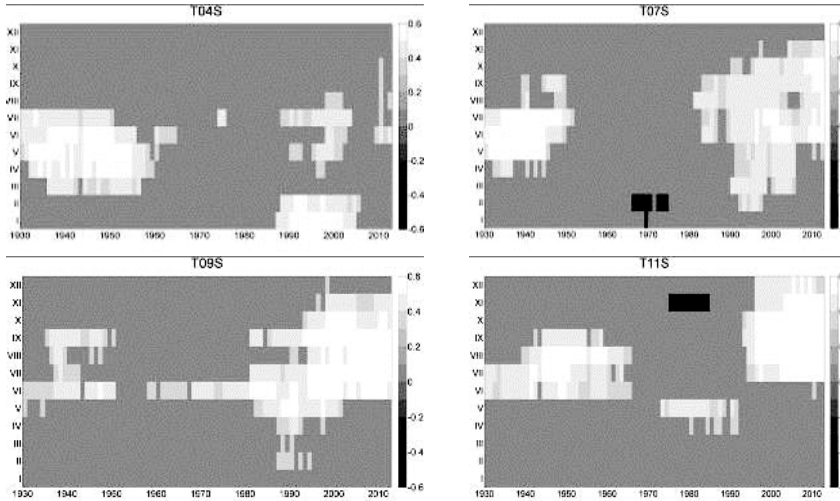


Рис. 3.2.4. Статистически значимые коэффициенты корреляции (на уровне значимости 0,05) между индексами ДКХ и пятимесячным индексом SPEI с января по декабрь в скользящем окне шириной 30 лет. Месяцы (последний месяц 5-месячного периода) показаны по оси ординат, а годы (последний год 30-летнего окна) — по оси абсцисс

Fig. 3.2.4. Statistically significant coefficients of correlation ($p<0,05$) computed between tree-ring chronologies and 5 months SPEI over period from January to December in moving 30-years length window. Months (the last month of the period) shown at Y-axis, years (the last of 30-years window) at X-axis

Исследование влияния метеорологических параметров на ширину годичных колец с помощью нелинейных методов

Как было показано выше, нестабильность климатического сигнала, обнаруженного с помощью линейных методов, наблюдается для всех рассмотренных древесно-кольцевых хронологий на ЕТР. Этот результат может служить обоснованием попытки использовать нелинейные методы. Для того чтобы выявить региональные особенности влияния колебаний климата на прирост годичных колец, в каждом из трех выделенных квазиоднородных регионов ЕТР было выполнено моделирование с помощью нелинейных методов. Площадка с кодом T04S, попавшая в разные кластеры при применении

двух различных статистических методов, была исключена из рассмотрения. С целью построения более контрастной модели с большей глубиной исследования, исходная переменная индекса прироста годичных колец была заменена на дихотомическую переменную, принимающую значения «Lower», если индекс прироста меньше среднего, и «Higher» — если он больше или равен среднему.

В результате моделирования с помощью нелинейных методов были получены древовидные диаграммы (представленные на рис. 3.2.5, 3.2.7 и 3.2.9), отражающие комбинированное влияние совокупности метеорологических факторов на прирост годичных колец в каждом из трех квазиоднородных регионов. На диаграммах представлены переменные, включенные в статистические модели. На рисунках также отображены схемы, согласно которым комбинация метеорологических факторов приводит к определенным результатам в соотношении прироста «выше среднего» и «ниже среднего».

Многолетние древесные растения в природной среде, и в особенности в исследуемом регионе, не всегда одинаково могут реагировать на схожие метеорологические условия. Даже с теми хронологиями, которые демонстрируют квазиоднородные изменения прироста годовых колец, сложно соотнести только одну-единственную цепочку факторов, приводящую к одному и тому же результату (например, к наблюдению прироста со значениями «ниже среднего»). В связи с этим, вследствие моделирования с помощью нелинейных методов, получается несколько вариантов сочетания влияющих факторов, приводящих к близким результатам. Отметим, что ниже будут рассмотрены только случаи существенного различия выборок выбранных категорий «выше среднего» и «ниже среднего».

Первый регион. Применение нелинейного метода показало, что для центрального района ЕТР фактором, наиболее влияющим на прирост годовых колец, является наличие/отсутствие засухи в июне (определяемой на основе индекса суровости засухи Палмера). Если в июне в регионе не наблюдались засушливые условия и при этом ноябрь прошлого года и март текущего года были аномально теплыми по сравнению с нормой, то в 97% случаев отмечался прирост годовых колец выше среднего (т. е. вероятность наступления события увеличилась в два раза) (см. рис. 3.2.5). Описанные выше условия наблюдались в 9,3% всех наблюдений индекса прироста и отражены в цепочке узлов Node2→Node6→Node12 на рис. 3.2.5.

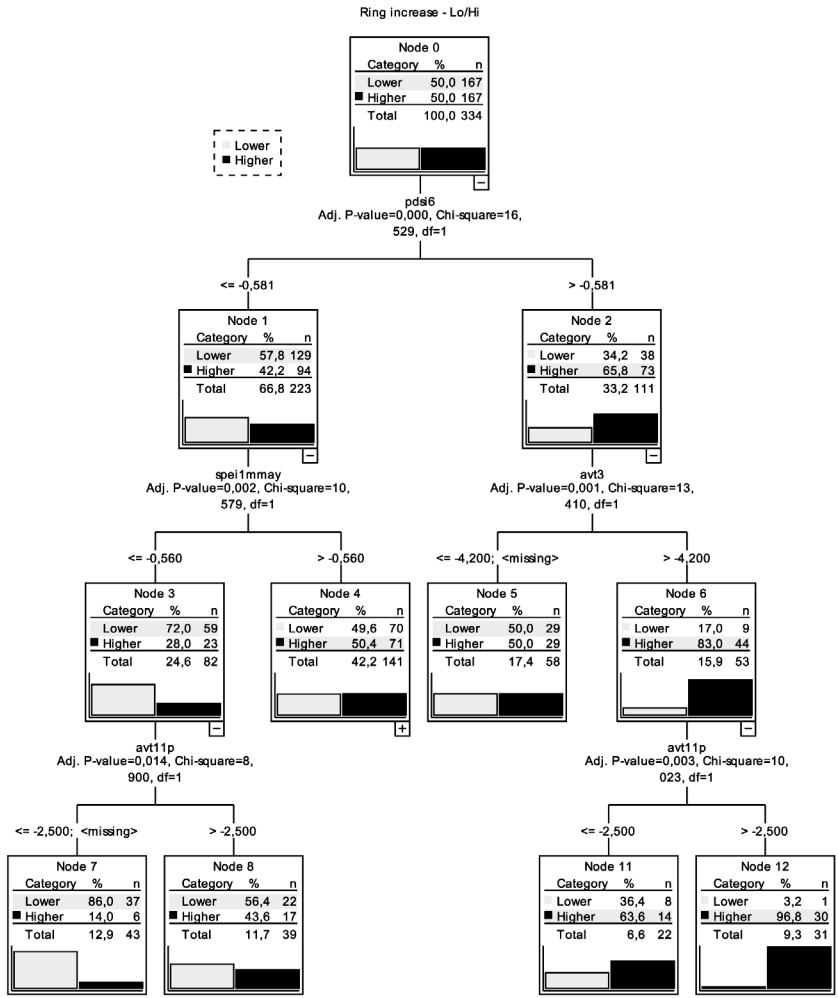


Рис. 3.2.5. Древовидная диаграмма для первого квазиоднородного региона. Серый цвет означает прирост ниже среднего, а черный цвет — прирост выше среднего. Общее качество модели 61%

Fig. 3.2.5. Dendrogram for the first quasi-homogeneous region. Gray and black areas indicate lower and higher than average tree-ring growth. Total model performance accounts 61%

В первом регионе выявлен только один вариант сочетания метеорологических факторов, связанных с наблюдением пониженного прироста. Самая левая цепочка диаграммы на рис. 3.2.5 (узлы Node1→Node3→Node7) отображает статистические характеристики ситуаций, приводящих к увеличению вероятности случаев пониженного прироста в 1,7 раза. Такая ситуация отмечалась, если в мае на территории первого квазиоднородного района наблюдалась засуха согласно данным индекса SPEI, в июне фиксировалась засуха на основании данных индекса PDSI, а ноябрьская температура приземного воздуха в предыдущем году была ниже нормы. Отражение на временной шкале описанной ситуации пониженного прироста для хронологий L10S, M13S и OPP (12,9% всех наблюдений) проиллюстрировано на рис. 3.2.6. Климатический сигнал в хронологиях OPP и L1OS можно считать устойчивым во времени, поскольку данные достаточно равномерно распределены по временной шкале. Влияние выделенных метеорологических условий на прирост ниже среднего в хронологии M13S проявляется в начале и в конце исследуемого периода.

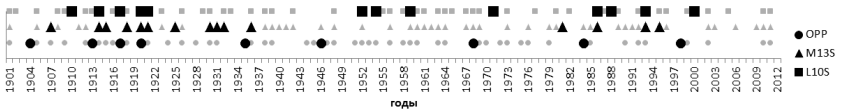


Рис. 3.2.6. Индекс прироста годичных колец со значениями ниже среднего в период 1901–2012 гг. для хронологий L10S, M13S и OPP (фигуры с заливкой серого цвета) и в условиях сочетания метеорологических параметров (фигуры с заливкой черного цвета), приводящих к узлу 7 (Node 7) на рис. 3.2.5

Fig. 3.2.6. Lower than average tree-ring growth of L10S, M13S and OPP chronologies over the period 1901–2012 ss. (gray figures) and due to climatic conditions (black figures) lead to Node 7 shown at Fig. 3.2.5

Второй регион. На прирост годичных колец в Поволжье наибольшее воздействие оказывает показатель SPEI за вегетационный сезон. Как следует из диаграммы на рис. 3.2.7, сочетание переувлажнения в среднем за сезон вегетации и положительной аномалии увлажнения весной и в начале лета приводило к росту вероятности прироста выше среднего в 1,7 раза (цепочка узлов Node3→Node9→Node18 на рис. 3.2.7).

На диаграмме (рис. 3.2.7) выделяются две схемы сочетания метеорологических условий, приводящих к значительному доминированию случаев наблюдения прироста ниже среднего. Согласно описываемой цепочкой узлов Node1→Node5 первой схеме, засуха на территории второго региона в период вегетации в комбинации с аномально высокой температурой воздуха в октябре предыдущего года в 1,8 раза повышает вероятность наблюдения индекса прироста годичных колец со значениями ниже среднего. Число случаев, соответствующее такой схеме, составляет 10% от всех наблюдений. Расположенные на востоке региона хронологии T07S, T01S, Y01S с приростом ниже среднего, связанным с описанной комбинацией метеоусловий, не встречаются в середине исследуемого периода, однако достаточно равномерно распределены в остальных временных интервалах (рис. 3.2.8а). На том же рисунке проиллюстрировано, что хронология T09S, локализованная на юго-западе региона и демонстрирующая связь пониженного прироста с аналогичными метеорологическими параметрами, встречается только во второй половине периода. Можно сказать, что рассмотренные метеорологические факторы в период 1901–2012 гг. достаточно равномерно влияли на снижение прироста в данных хронологии X01S, находящейся на западе региона. Отметим, что, несмотря на достаточно тесную линейную связь хронологий с ГТК в сезон вегетации, с помощью нелинейной модели не удалось выделить этот фактор в качестве одного из наиболее значимо влияющих на прирост годовых колец во втором квазиоднородном регионе. Такая ситуация может быть связана с тем, что в рекомендованных градациях засух по показателю ГТК не учитывается климатическая норма в рассматриваемой точке локальной местности. В отличие от ГТК, особенности алгоритма расчета индексов PDSI, SPI, SPEI делают их сравнимыми в любом географическом регионе (Черенкова, Золотокрылин, 2016).

Вторая схема описывает ситуацию во втором регионе, когда наблюдение сильной засухи в мае на фоне засухи с мая по сентябрь на основе данных индекса SPEI приводит к увеличению числа случаев с приростом ниже среднего в 1,77 раза (3,4% от всех наблюдений). Данной схеме соответствует цепочка узлов Node1→Node4→Node11 на рис. 3.2.7. Необходимо отметить, что засуха в период вегетации, выделенная согласно индексу SPEI, является длительной, поскольку означает дефицит средних за сезон

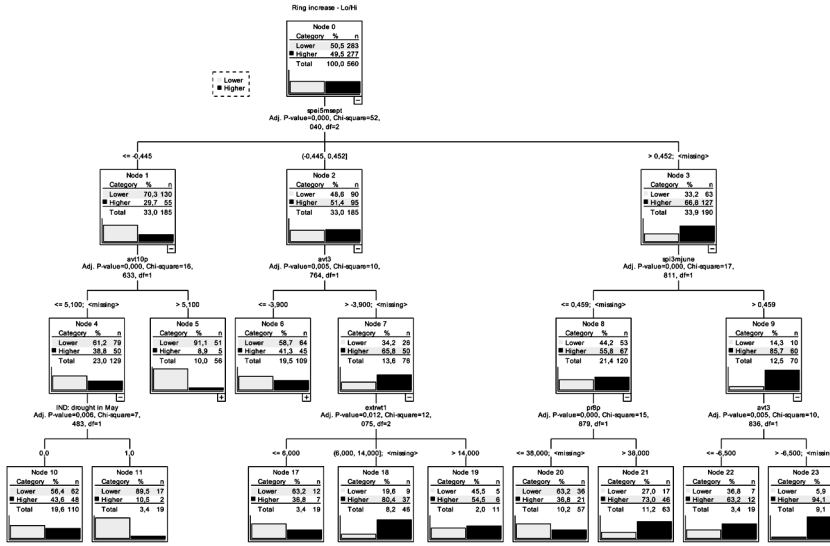


Рис. 3.2.7. То же, что на рис. 3.2.5, но для второго квазиоднородного региона. Общее качество модели 70%

Fig. 3.2.7. Dendrogram for the second quasi-homogeneous region. Gray and black areas indicate lower and higher than average tree-ring growth. Total model performance accounts 70%

вегетации количества осадков и суммарной потенциальной испаряемости. Такая засуха может рассматриваться не только как атмосферная, но и указывать на почвенную и гидрологическую засуху. Ввиду редкой повторяемости случаев, происходящих согласно второй схеме (рис. 3.2.8б), влияние данного фактора можно считать спорадическим.

Третий регион. Наиболее значимым фактором, разделяющим выборку данных прироста годичных колец в Центрально-Черноземном районе на группы со значениями «ниже среднего» и «выше среднего», является показатель SPEI за вегетационный сезон. Самая правая цепочка на диаграмме рис. 3.2.9 показывает, что сочетание переувлажнения весной и в начале лета на фоне отсутствия засухи в сезон вегетации и наблюдением температур воздуха в марте выше –4,3 °С приводило к росту вероятности прироста выше среднего в 1,7 раза (цепочка узлов Node2→Node6→Node15 на рис. 3.2.9).

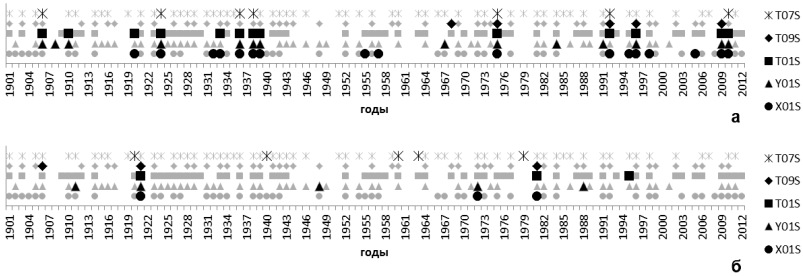


Рис. 3.2.8. Индекс прироста годичных колец со значениями ниже среднего в период 1901–2012 гг. для хронологий T07S, T09S, T01S, Y01S и X01S (фигуры с заливкой серого цвета) и в условиях сочетания метеорологических параметров (фигуры с заливкой черного цвета), приводящих: (а) к узлу 5 (Node 5) и (б) к узлу 11 (Node 11) на рис. 3.2.7
Fig. 3.2.8. Lower than average tree-ring growth of T07S, T09S, T01S, Y01S, and X01S chronologies over the period 1901–2012 ss. (gray figures) and due to climatic conditions (black figures) lead to (a) Node 5 and (b) Node 11 shown at Fig. 3.2.7

На представленной на рис. 3.2.9 диаграмме выделяется несколько вариантов сочетания метеорологических параметров, приводящих к существенному преобладанию случаев с приростом ниже среднего. Цепочка узлов Node1→Node3 описывает ситуацию наблюдения среднемесячной температуры воздуха в марте ниже −1,6 °С на территории третьего региона и последующей длительной засухи в вегетационный сезон, которая приводила к тому, что в 89% случаев значения индекса прироста были ниже нормы. Подобные случаи составляют 23,2% всех наблюдений индекса прироста в период 1901–2012 гг. Климатический сигнал, выявленный описанной схемой, достаточно равномерно распределен внутри периода 1901–2012 гг. (рис. 3.2.10а), что дает основание считать его устойчивым.

Вместе с тем если на фоне длительной засухи в сезон вегетации в третьем регионе наблюдалась сильная майская засуха, то значения индекса прироста были ниже нормы в 82% случаев (цепочка узлов Node1→Node4→Node10 на рис. 3.2.9). Такая схема описывает 5,1% всех наблюдений индекса прироста. Как видно из рис. 3.2.10б, распределение случаев низкого прироста, связанных с наблюдением засух одновременно и в мае, и в сезон вегетации, неоднородно во времени. Повышенная повторяемость случаев отмечается в начале и в конце периода исследования.

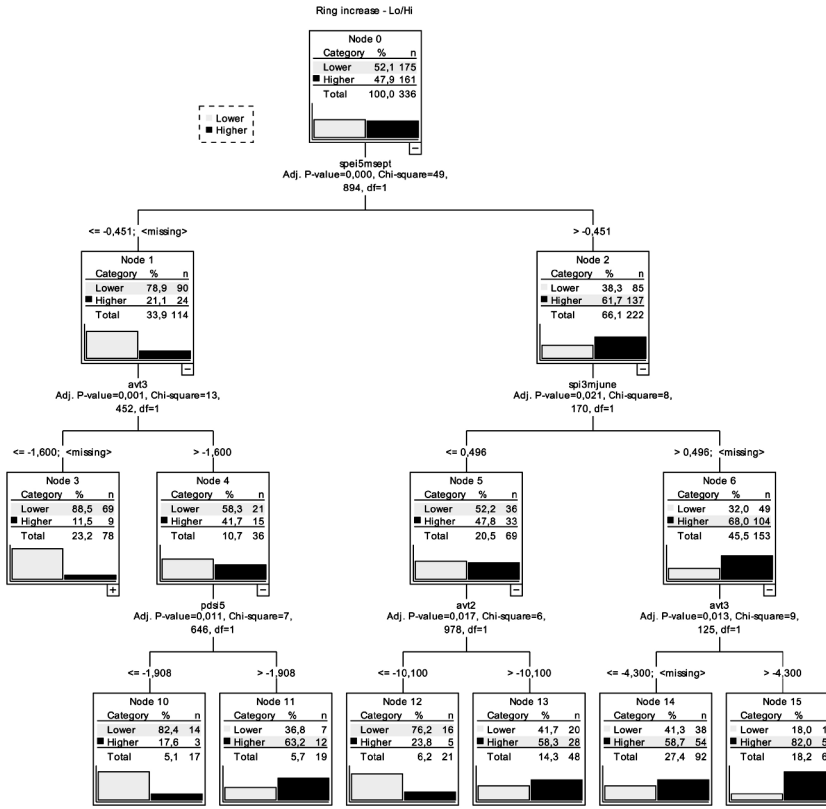


Рис. 3.2.9. То же, что на рис. 3.2.5, но для третьего квазиоднородного региона. Общее качество модели 72,3%

Fig. 3.2.9. Dendrogram for the third quasi-homogeneous region. Gray and black areas indicate lower and higher than average tree-ring growth. Total model performance accounts 72,3%

Сочетание метеорологических условий со средними температурами воздуха в феврале ниже –10 °С и отсутствием переувлажнения весной и в начале лета, описываемых цепочкой узлов Node2→Node5→Node12 на рис. 3.2.9, приводит к приросту годичных колец ниже среднего в 76,2% случаев. Схема характеризует 6,2% всех индексов прироста. Повышенная повторяемость случаев

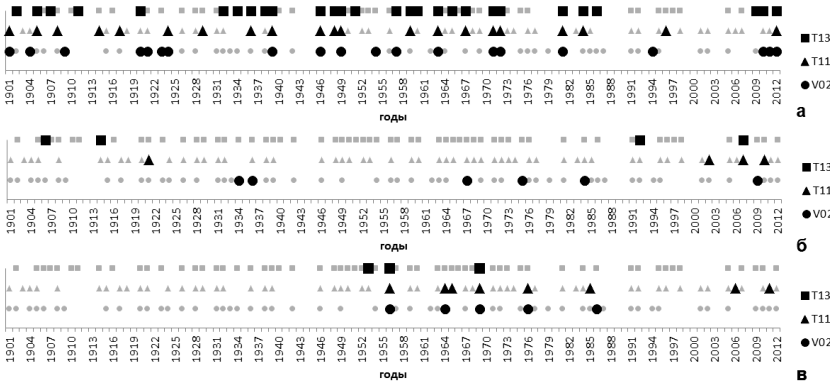


Рис. 3.2.10. Индекс прироста годичных колец со значениями ниже среднего в период 1901–2012 гг. для хронологий T13S, T11S и V02S (фигуры с заливкой серого цвета) и в условиях сочетания метеорологических параметров (фигуры с заливкой черного цвета), приводящих: (а) к узлу 3 (Node 3), (б) к узлу 7 (Node 10) и (в) к узлу 9 (Node 12) на рис. 3.2.9

Fig. 3.2.10. Lower than average tree-ring growth of T13S, T11S and V02S chronologies over the period 1901–2012 ss. (gray figures) and due to climatic conditions (black figures) lead to (a) Node 3, (b) Node 7 and (c) Node 9 shown at Fig. 3.2.9

низкого прироста, ассоциирующаяся с такой схемой, встречается в середине исследуемого периода, что указывает скорее на неустойчивость климатического сигнала (рис. 3.2.10в). О многофакторности влияния на прирост годичных колец метеорологических параметров в различные сезоны свидетельствует увеличение случаев наблюдения индекса прироста со значениями ниже среднего в годы со средними температурами воздуха в феврале ниже –10 °С.

Выводы. Исследование региональных особенностей проявления климатического сигнала в древесно-кольцевых хронологиях в центре ЕТР с помощью линейных методов выявило положительную корреляционную связь ширины колец с осадками и показателями увлажнения. Однако в этом случае нестабильность климатического сигнала наблюдается во всех рассмотренных хронологиях.

Применение нелинейных методов показало, что наиболее значимым фактором влияния на индекс прироста годичных колец на территории каждого из трех квазиоднородных регионов европейской

части России на протяжении всего периода 1901–2012 гг. являлось соотношение тепло- и влагообеспеченности. Наличие/отсутствие засухи является фактором, формирующим статистически значимые различия между выборками со значениями прироста годичных колец «ниже среднего» и «выше среднего». В Центральном районе ЕТР наиболее значимо проявилось влияние засухи в июне. Сочетание такой засухи с засухой в мае приводило к наибольшему увеличению случаев прироста со значениями «ниже среднего». В целом климатический отклик в центральном районе ЕТР можно считать устойчивым. Для регионов, расположенных в Центрально-Черноземном районе и Поволжье, наиболее важным фактором влияния являлась длительная засуха в период вегетации. Наибольшее увеличение числа случаев наблюдения индекса прироста годичных колец со значениями «ниже среднего» в этих регионах связано с сочетанием длительной засухи в сезон вегетации с сильной засухой в мае. Климатический сигнал в древесно-кольцевых хронологиях в Центрально-Черноземном районе и в Поволжье, связанный с продолжительными засухами в течение вегетационного сезона, достаточно устойчив во времени. Отклик в приросте годовых колец, ассоциирующийся с сильными засухами в мае, можно считать спорадическим.

Глава 3. Минимумы прироста годичных колец и реперные годы

Многочисленные исследования показывают, что даже в тех случаях, когда корреляции ширины (или плотности) колец с метеорологическими данными слабые, а иногда и статистически незначимые, годы экстремально низких и высоких приростов бывают связаны с климатическими причинами и могут быть использованы для реконструкции отдельных климатических событий. Именно такие годы экстремальных значений прироста обычно сравнивают с историческими данными, поскольку авторы письменных источников также имеют тенденцию отражать в своих описаниях именно отличные от фоновых явления и события: аномально холодное, дождливое или, напротив, сухое лето, поздние заморозки, погубившие посевы, необычно суровые морозы. Существуют разные способы выделения аномальных лет. Некоторые из них описаны ниже в этой главе. Авторы выбирают тот или иной способ определения аномальных лет в зависимости от цели своего исследования. В этой главе мы приводим результаты исследования реперных годов для дуба черешчатого в Тульской области и сосны обыкновенной в Московской, Калужской, Тверской и Воронежской областях.

Факторы, определяющие синхронное понижение прироста дуба черешчатого (на примере Тульской области)

Б. Ф. Хасанов и Г. А. Сакулина

Введение. Многочисленные исследования климатического сигнала в годичных кольцах дуба черешчатого показали, что влияние разнообразных метеорологических параметров на величину годичного прироста этого вида деревьев имеет весьма сложную форму (Hafner et al., 2015; Cufar, 2014; Matisons, 2012; Puchałka et al., 2016 и многие другие). По-видимому, на ширину годичного кольца оказывает влияние не один лимитирующий фактор, а сочетание нескольких параметров, необязательно постоянное из года в год. Это крайне затрудняет построение климатических реконструкций на основе дендрохронологического изучения древесины дуба.

В прямой связи с этими сложностями был разработан альтернативный подход, ориентированный на выделение так называемых реперных лет, то есть случаев синхронного понижения или увеличения прироста у большей части деревьев данной популяции. Само определение реперного года предполагает, что изменение прироста вызывается некими внешними факторами, единообразно действующими на деревья.

Число внешних факторов, действующих на величину годичного прироста, может быть довольно значительным. В данной работе мы подвергли проверке гипотезу о том, что наибольший вклад в синхронное уменьшение прироста должны вносить факторы, непосредственно влияющие на продуктивность синтеза углеводов. Последняя зависит, с одной стороны, от фотосинтетической активности листьев. В условиях умеренной зоны наибольшее влияние на сам процесс фотосинтеза оказывает количество доступной воды. Это позволяет предположить, что в засушливые годы продуктивность, а следовательно, и годичный прирост, могут уменьшаться вследствие водного стресса. С другой стороны, продуктивность определяется общей площадью листовой поверхности кроны дерева. Это значит, что факторы, уменьшающие листовую поверхность, должны влиять и на величину годичного прироста. К таким факторам следует отнести деятельность листогрызущих насекомых, непосредственно уменьшающих листовую поверхность, и поздневесенние заморозки, повреждающие только что развернувшиеся листья. В данной работе мы сопоставили реперные годы, выделенные разными методами у деревьев дуба черешчатого в Тульской области, и значения показателей трех факторов, предположительно влияющих на синхронное уменьшение годичного прироста: летних засух, поздневесенних заморозков и вспышек численности листогрызущих насекомых.

Материалы и методы

Образцы древесины дуба черешчатого были собраны в широколиственном лесу, первый ярус которого сложен дубом (*Quercus robur*), ясенем (*Fraxinus excelsior*), липой (*Tilia cordata*) и кленом (*Acer platanoides*). Для данной работы отбирались образцы древесины только здоровых деревьев первого яруса. Сбор образцов проводился приростным буравом, были отобраны образцы 31 дерева дуба, по два керна на одно дерево.

Образцы древесины дуба были приклеены на деревянные подложки, отшлифованы наждачной бумагой, и ширина их годичных колец была измерена на установке Velmex с точностью 0,001 мм. Индивидуальные временные ряды сравнивались друг с другом визуально (Stokes, Smiley, 1996) и с помощью компьютерных программ пакета dplR (Bunn, 2010) для проверки правильности датировок годичных колец.

Выделение реперных лет. Существует несколько методов выделения реперных лет, использующих различные численные критерии для определения величины снижения или увеличения годичного прироста. Во всех случаях падение (или увеличение) прироста ниже (или выше) определенной пороговой величины, определяющейся субъективно, интерпретируется как «событие» (event year), а превышение выраженного в процентах количества таких деревьев данной популяции некоторого изначально задаваемого значения интерпретируется как реперный год (pointer year). В данной работе мы использовали три метода:

1. Метод Беккера (Becker et al, 1994; Merian, Lebourgeois, 2011). В основе метода лежит вычисление разности прироста текущего и предыдущего годов, деленное на величину прироста предыдущего года. В качестве порогового значения мы использовали снижение прироста на 5%. Вычисления проводились в пакете dplR (Bunn, 2008).

2. Метод Кроппера (Cropper, 1979) заключается в вычислении среднего значения прироста и его среднеквадратического отклонения в плавающем временном окне (мы использовали 5-летний интервал). Прирост текущего года, занимающего центральную позицию в этом интервале, сравнивается с разностью между средним для всего интервала и некоторой долей его среднеквадратического отклонения (в нашем случае она составляла 0,5). Если прирост текущего года меньше этой разности, год интерпретируется как «событие» (event year).

3. Метод Швайнгрубера (Schweingruber et al., 1990) близок одновременно обоим выше описанным методам. Прирост текущего года сравнивается со средним приростом нескольких предыдущих лет (мы использовали 4-летний период). Как «событие» (event year) мы интерпретировали падение прироста на 10%.

Методы Кроппера и Швайнгрубера реализованы в пакете pointRes (van der Maaten-Theunissen et al, 2015). Во всех случаях

реперным годом мы считали год, в котором более 70% деревьев данной популяции демонстрировали снижение прироста, превышающее пороговую величину. Все вычисления проводились на временных рядах измерений ширины годичных колец без предварительной стандартизации.

Индикация вспышек численности листогрызущих насекомых. Для выделения случаев массовых вспышек листогрызущих насекомых была использована методика сравнения годичных приростов двух видов, произрастающих в одном местообитании (host — non-host species method (Nash et al, 1975; Swetnam et al., 1985)). Листья дуба черешчатого повреждаются гусеницами непарного шелкопряда и дубовой листовертки, тогда как листья ясеня обыкновенного эти насекомые не атакуют. Образцы деревьев ясеня (15 деревьев, два керна на одно дерево) были собраны в том же местообитании, что и образцы древесины дуба, и обработаны по той же методике.

Мастер-хронология по ясеню была составлена из индивидуальных временных рядов измерений ширины годичных колец после их стандартизации кубическим сплайном с шириной окна в 20 лет. Ряды были объединены в хронологию с использованием метода Тьюки (biweight robust mean). Длина этого ряда составила 143 года (1872–2014 гг.). Эта хронология, так же, как и индивидуальные ряды измерений ширины годичных колец деревьев дуба, стандартизированные тем же методом, были приведены к единому масштабу (среднее каждого ряда 0 и среднеквадратическое отклонение 1, Z-scores). Далее, для каждого года было подсчитано число временных рядов дуба, в которых значение индексов меньше индексов хронологии, составленной для ясеня, на 1,5. Годы, в которые это число превышало 20%, интерпретировались как годы массовых вспышек численности листогрызущих насекомых. Анализ был проведен для периода с 1894 по 2014 гг.

Климатические данные. Ближайшая к месту сбора образцов древесины метеорологическая станция расположена в Туле. Данные измерений минимальной, максимальной и средней суточной температур и количества осадков для этой станции взяты с сайтов http://www.ecad.eu/dailydata/customquery.php (Klein Tank et al. 2002) и http://climexp.knmi.nl/. Оба ряда начинаются в 1936 г.

и содержат значительные пропуски. Для их заполнения мы использовали данные отклонений минимальной, максимальной и средней за сутки температуры, рассчитанные в Berkeley Earth (http://berkeleyearth.org/data/). Это сеточные данные, взятые нами для узла 53,5° с. ш. и 37,5° в. д., ближайшего к месту сбора образцов древесины. Все данные закачаны 29 декабря 2015 г. Для расчета весенних температур мы разделили период апрель–июнь каждого года на пятидневки (только период 26.05–31.05 составил 6 дней). Для каждой пятидневки, по данным метеостанции в Туле, были рассчитаны: средняя, максимальная и минимальная температура. Также для каждой пятидневки были рассчитаны аналогичные показатели отклонений по сеточным данным Беркли. Далее для каждой пятидневки мы рассчитали коэффициенты линейной модели вида Тула~Беркли. Коэффициент детерминации (R2) во всех случаях был выше 0,75. Данные Беркли охватывают период с 1 января 1881 по 30 ноября 2013 г. без пропусков, что позволило по результатам моделирования рассчитать указанные параметры для каждой пятидневки за этот период.

Данные по летним засухам собраны и проанализированы в части 1 настоящего издания.

Фенологические данные. Основная трудность анализа влияния поздневесенних заморозков на рост деревьев заключается в том, что такие похолодания происходят довольно часто, а значимый эффект имеют только те из них, что случаются в фазу активной вегетации растений. К сожалению, длинных рядов фенологических наблюдений за дубом черешчатым в средней полосе России нам не удалось обнаружить. Наиболее подходящей заменой такого ряда мы сочли данные наблюдений сроков зацветания черемухи в Московской области. Несомненно, что сроки начала вегетации дуба в Тульских засеках и цветение черемухи в Московской области несколько отличаются друг от друга. Более того, эта разница вряд ли одинакова в разные годы. Мы предполагаем, однако, что листья дуба в Тульских засеках, расположенных южнее, распускаются несколько раньше, чем в Московской области зацветает черемуха. Следовательно, заморозки, случающиеся в Тульской области после или во время цветения черемухи в Московской, должны заведомо вызывать повреждения листьев дуба.

На основе литературных источников нами был составлен композитный ряд сроков зацветания черемухи в Московской области (Тюрин, 1959; Немцова и др., 1974; Минин, 2000). Этот ряд охватил период с 1883 по 1998 гг. Для каждого года этого периода по климатическим данным были выделены пятидневки (см. выше), в которые минимальная температура опускалась ниже 0 °С или подходила близко к этому значению. Если это событие случалось позже или во время цветения черемухи, такой год рассматривался нами как год с поздневесенними заморозками.

Списки лет с поздневесенними заморозками, летними засухами и вспышками численности листогрызущих насекомых были сопоставлены со списками реперных лет, выделенных разными методами. Последние были выделены для периода, в котором для каждого года было измерено не менее 30 образцов древесины дуба. Таким образом, период, для каждого года которого были собраны все данные, составил 97 лет, 1902–1998 гг.

Все расчеты и статистическая обработка численных данных были проведены в среде R (R Core Team, 2015).

Реперные годы у дуба черешчатого в Тульской области. Список реперных лет, выделенных разными методами, приведен в табл. 3.3.1.

Помимо указанных в таблице, поздневесенние заморозки наблюдались в 1911, 1913, 1936, 1959, 1974, 1981, 1985, 1989, 1991 и 1995 гг.; летние засухи характеризовали 1917, 1936, 1941, 1959, 1972, 1979, 1981 и 1992 гг.; вспышки численности листогрызущих насекомых зарегистрированы в 1908, 1909, 1919, 1927, 1928, 1937, 1942, 1947, 1952, 1953, 1959, 1960, 1971, 1974, 1978, 1982, 1989 и 1991 гг. За редкими исключениями, однако, во всех этих случаях наблюдалось значительное число годичных колец дуба, ширина которых оказалась ниже порогового значения выделения реперного года (эти данные представлены в табл. 1 Приложения 4). Более того, можно сравнить общее число годичных колец дуба с шириной ниже и выше порогового значения выделения реперного года, подсчитанное для всех лет, в которые наблюдалось одно из событий (летние засухи, поздневесенние заморозки, вспышки численности листогрызущих насекомых или сочетание этих факторов) с аналогичным показателем, рассчитанным для остальных лет. Данные для всех таких лет собраны в табл. 2 Приложения 4, а результаты сравнения представлены в табл. 3.3.2.

Таблица 3.3.1. Список реперных лет, выделенных разными методами (детали см. в разделе «Материалы и методы»)
Table 3.3.1. List of pointer years indicated by different methods (see details in "Materials and Methods" section)

Год	Метод Беккера	Метод Кроппера	Метод Швайнгрубера	Характеристика
1904	+	–	–	Вспышка насекомых, весенний мороз
1905	+	+	+	—
1914	+	–	–	Засуха в июне и июле
1915	–	–	+	—
1916	+	+	+	Весенний мороз
1930	+	–	–	Засуха в июне
1931	–	–	+	—
1939	+	–	–	Вспышка насекомых
1940	–	+	+	Весенний мороз, засуха в июне
1950	+	–	+	Весенний мороз
1951	–	–	+	—
1962	+	–	–	Вспышка насекомых
1964	–	–	+	Засуха в июле
1965	–	–	+	—
1968	+	–	+	—
1969	–	–	+	Вспышка насекомых
1970	–	–	+	—
1977	+	–	–	—
1983	+	+	+	Вспышка насекомых
1990	–	+	+	Весенний мороз
1993	+	+	+	Весенний мороз
1997	+	–	–	Весенний мороз

Таблица 3.3.2. Число годичных колец с шириной ниже или выше порога выделения реперного года для всех лет, в которые одно из событий (летние засухи, поздневесенние заморозки, вспышки численности листогрызущих насекомых или сочетание этих факторов) наблюдалось (строка «Есть») или не наблюдалось (строка «Нет»). Данные приведены отдельно для трех методов выделения реперных лет (детали см. в разделе «Материалы и методы»). Для каждого метода достоверность различий была оценена методом χ^2, значение *p* приведено в последней колонке

Table 3.3.2. Number of tree rings with width lower or upper than threshold of pointer year identification. Data calculated separately: 1. For years with and without one of the events under consideration (summer droughts, late spring frosts and insect's outbreaks or their combination); 2. For three methods of pointer year identification (see details in "Materials and Methods" section). Statistical significance was assessed by chi squared method; p-value is in the last column

Метод	**Событие**	**Число колец ниже порога**	**Число колец выше порога**	**χ^2 тест, значение *p***
Метод Беккера	Есть	1246	1145	< 2,2e-16
	Нет	1080	1880	
Метод Кроппера	Есть	889	1477	2,344e-14
	Нет	811	2118	
Метод Швайнгрубера	Есть	1039	1298	8,063e-11
	Нет	1032	1868	

Достоверность различий числа годичных колец дуба, которые оказались ниже или выше порогового значения выделения реперных лет, была оценена методом χ^2. Оказалось, что соотношение «узких» и «широких» годичных колец достоверно выше в тех случаях, в которые наблюдалось одно из рассматриваемых событий. Это верно для всех трех использованных методов выделения реперных лет.

В основе каждого из использованных методов выделения реперных лет лежит выбор двух пороговых значений. Сначала ширина годичного кольца данного года и данного образца древесины сравнивается с неким численным критерием. Если она оказывается ниже этого порога, данное кольцо обозначается как «событие» (event year). Если число таких «событий» в данном году превышает величину второго порогового значения, такой год обозначается, как реперный. Очевидно, что число лет, определенных как реперные, сильно зависит от жесткости использованных численных критериев.

В данной работе нами были использованы сравнительно «мягкие» критерии, в результате чего список выделенных реперных лет оказался довольно длинным (табл. 3.3.1) и насчитывает 22 года. Из них в 14 случаях выделение реперного года сопровождалось регистрацией одного из трех событий: летняя засуха, поздневесенние заморозки, вспышка численности листогрызущих насекомых или сочетание этих факторов. Еще в шести случаях значительное снижение годичного прироста наблюдалось на следующий после зарегистрированного события год. Учитывая величину дерева первого яруса и сложную сеть запасающих тканей, позволяющих перераспределять продукты фотосинтеза внутри ствола и корневой системы, такая задержка в реакции на внешнее воздействие не представляется неожиданной.

Только в двух случаях (1968 и 1977 гг.) регистрация реперного года не была связана с рассматриваемыми в данной работе внешними факторами. Это наблюдение позволяет предположить, что, помимо летних засух, поздневесенних заморозков и деятельности насекомых, существует еще один или несколько внешних факторов, влияющих на снижение годичного прироста. Однако эпизодичность его (или их) проявления затрудняет анализ и требует более длинных временных рядов.

Сравнивая списки лет, в которые было зарегистрировано одно из рассматриваемых событий, со списком реперных лет нетрудно заметить, что эта связь далеко не однозначна: в довольно большом числе случаев количество деревьев, показывающих значительное снижение годичного прироста, не достигло пороговой величины в 70% (табл. 1 Приложения 4). У замеченной неопределенности сразу несколько причин.

Во-первых, сама структура собранных климатических и фенологических данных может не вполне точно отображать реальную обстановку в исследованном местообитании. Регистрация весеннего заморозка на метеорологической станции в Туле, например, не обязательно означает, что листья деревьев первого яруса, произрастающих в нескольких десятках километров от нее, были повреждены. Верно и обратное! То же можно сказать и о доступных каталогах засух, которые фиксируют засуху на обширной территории, но не измеряют выраженность водного стресса в данной точке пространства. Возможно, что по этим причинам список событий, составленный нами, несколько отличается от реального.

Во-вторых, зависимость числа деревьев, демонстрирующих значительное снижение годичного прироста, от выраженности климатического события может иметь довольно сложную нелинейную форму. Это значит, что близкие по своим масштабам события могут иметь существенно разный эффект, выраженный в числе реагирующих на них деревьев. То же можно сказать и о времени наступления реакции: часть деревьев по некоторым причинам реагирует на событие только на следующий год. Это размывает записываемый деревьями сигнал, что еще больше затрудняет анализ.

Тем не менее если мы подсчитаем число годичных колец, ширина которых ниже порогового значения, для всех лет, в которые было зарегистрировано одно из рассматриваемых нами событий, и сравним его с аналогичным показателем, рассчитанным для всех остальных лет (табл. 3.3.2), то увидим значительную, статистически достоверную разницу. Эта разница была бы еще больше, если из такого анализа исключить те случаи, в которые деревья реагируют на событие не в текущий, а на следующий год. Это объективно свидетельствует о наличии связи между снижением годичного прироста и одним из следующих внешних факторов: летняя засуха, поздневесенние заморозки, вспышка численности листогрызущих насекомых или их сочетание.

Следует сделать еще одно замечание относительно методики выделения реперных лет. Как уже отмечалось, пороговые значения в каждом из использованных методов выбираются субъективно, а число лет, определенных как реперные, сильно зависит от жесткости использованных численных критериев. Расчет пороговых значений в каждом методе имеет свои собственные основания, и, следовательно, конечный результат определяется как выбором метода, так и выбором пороговых значений. Хотя все три использованных в данной работе метода показали близкие результаты, результирующие списки оказались неидентичными. При этом наилучшее соответствие рассмотренным внешним факторам имеет не какой-то один список, а их соединение в один результирующий список. Можно предположить, что сочетание в одном анализе нескольких методов выделения реперных лет позволяет лучше и точнее выявить картину зависимости годичного прироста деревьев от внешних факторов.

Значительное снижение годичного прироста деревьев дуба черешчатого происходит вследствие ограничения фотосинтетической активности листьев в течение летней засухи или уменьшения листовой поверхности листогрызущими насекомыми или поздневесенними заморозками. Анализ списка выделенных реперных лет показал, что помимо указанных факторов на величину годичного прироста действует еще один или несколько внешних факторов, природа которых еще не установлена. Для более точного выделения реперных лет полезно использовать сразу несколько методов.

Реперные годы для сосны обыкновенной в центральной части ЕТР

О.Н. Соломина, В.В. Мацковский, В.В. Кузнецова, Е.А. Долгова

Опыты с дубом показывают, что в центральной части ЕТР ширина его годичных колец определяется несколькими факторами и зачастую слабо коррелирует с метеорологическими данными (Хасанов, 2008, см. выше). Сосна меньше страдает от весенних заморозков и вредителей; кроме того, имеющиеся в нашем распоряжении хронологии сосны более многочисленны, поэтому реперные годы сосны, возможно, более перспективны для реконструкции

аномально засушливых лет, что, как указывалось выше, является основной задачей нашего исследования.

Для этой цели мы объединили те локальные хронологии сосны центрального региона, которые показывают положительные статистически значимые корреляционные связи с индексами PDSI и CPC и построили обобщенную сводную хронологию SENS, которая теоретически должна быть чувствительна к засушливости (рис. 3.3.1). В нее были включены образцы семи локальных хронологий PANS, SHIR, ZVS, OZER, OPP, H256S, M10S, M13S, расположенные в Тверской, Московской и Калужской областях. Расстояние между крайними точками — 833 км с запада на восток и 504 км с севера на юг. Всего в хронологию SENS вошло 172 образца.

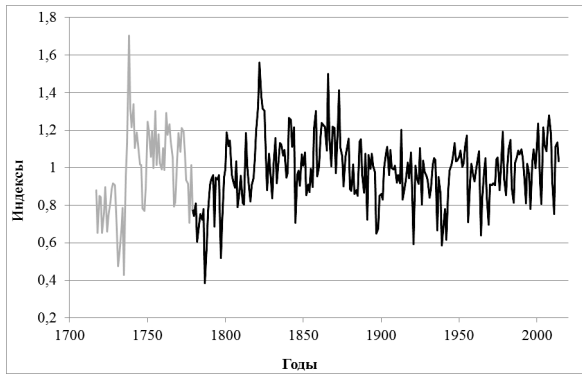


Рис. 3.3.1. Сводная хронология ширины годичных колец сосны SENS (ARSTAN) за 1717–2014 гг. для Тверской, Московской и Калужской областей. Надежная хронология (EPS> 0,85) — с 1779 года — показана черной линией

Fig. 3.3.1. Master chronology of tree ring width SENS (ARSTAN) for AD1717–2014 for Moscow, Tver' and Kaluga regions. Reliable part (EPS> 0,85) after 1779 marked with black line

Корреляционный анализ этой хронологии с метеорологическими данными (табл. 3.3.3) показывает наличие положительных связей с индексами влажности почв (CPC) и индексом суровости засух (PDSI) за весь год формирования кольца, а также с температурами и осадками холодного периода. Судя по величине коэффициентов корреляции, вклад в изменчивость приростов всех трех групп этих факторов примерно одинаков.

Таблица 3.3.3. Корреляция индексов ширины колец сводной хронологии сосны SENS с метеорологическими данными (показаны только статистически значимые коэффициенты корреляции)
Table 3.3.3. Correlation of SENS tree ring pine chronology indices with meteorological data

Хронология SENS: 55.7 N, 37.5 E; (1717–2014)																							
Архив 223		IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X р – IX	X р – III	IV – IX	V – VIII	VI – VII
27612, 16,6 км, (1948–2008)																							
	Т мин				0,31					0,33	0,38		0,31						0,3	0,5	0,52			
	Т средн						-0,28			0,39	0,27	0,26	0,33						0,28	0,49	0,48	0,26		
	Т макс						-0,33						0,29							0,3	0,38			
	Осадки					0,33						0,28	0,41								0,41			
Архив 455																							
27612, 12,8 км, (1939–2007)																							
	Т средн					-0,27	-0,23			0,31	0,23	0,19	0,2						0,24	0,25	0,32			
	Осадки					0,35				0,27		0,25	0,35								0,39			
Архив 476																							
27612, 16,3 км, (1948–2006)	Т средн						-0,39			0,35									0,27	0,38	0,39			

Продолжение табл. 3.3.3

Индекс PDSI																							
56,25 N, 38,75 E, 99,2 км, (1870–2005)						0,22	0,3	0,23	0,23	0,24	0,25	0,27	0,3	0,26	0,29	0,3	0,29	0,31	0,2	0,3	0,26	0,3	0,31	0,3
Индекс CPC																							
55,75 N, 37,25 E, 16,7 км, (1948–2009)						0,35	0,42	0,37	0,32	0,35	0,38	0,42	0,5	0,51	0,44	0,37	0,32			0,48	0,41	0,4	0,39	0,36
CRU TS3.0																							
55,75 N, 37,25 E, 16,7 км, (1901–2005)	T мин			0,24						0,25	0,23	0,2							0,3	0,35	0,33	0,22		
	T средн					-0,25	-0,25			0,26	0,23	0,2							0,27	0,26	0,3			
	T макс					-0,23	-0,23			0,28									0,22	0,22	0,27			
	Осадки		0,23			0,27						0,25	0,22							0,25			0,22	

В табл. 3.3.4 приводятся годы наибольших отрицательных отклонений (2; 1,5 и 1 стандартных отклонений) ширины колец по хронологии сосны SENS. Кроме того, в ней приводятся реперные годы, т. е. такие годы, когда угнетение испытывали более 30% всех древесно-кольцевых серий, вошедших в хронологию SENS (рис. 3.3.2). Как видно из таблицы, в целом наблюдается хорошее соответствие аномалий прироста по сводной хронологии сосны и реперных годов. Только в трех случаях (1827, 1914 и 1985 гг.) реперные годы не совпадают с аномалиями в сводной хронологии.

Таблица 3.3.4. Годы аномального прироста сосны для Тверской, Московской и Калужской областей по сводной хронологии SENS
Table 3.3.4. Years of anomalous growth of pine for Moscow, Tver' and Kaluga regions according to SENS master chronology

Годы минимального прироста			Реперные годы > 30%
2 ст. откл.	1,5 ст. откл.	1 ст. откл.	
			1731
			1732
			1759
		1779	
		1780	
		1781	
1782	1782	1782	
	1783	1783	
		1784	
	1785	1785	
		1786	
1787	1787	1787	1787
1788	1788	1788	
		1789	
	1793	1793	
1797	1797	1797	1797
	1798	1798	
		1808	
		1812	
			1827
	1845	1845	1845

Годы минимального прироста			Реперные годы > 30%
2 ст. откл.	1,5 ст. откл.	1 ст. откл.	
			1868
	1891	1891	1891
	1897	1897	1897
	1898	1898	1898
			1914
1921	1921	1921	1921
		1926	
	1936	1936	1936
1939	1939	1939	1939
	1940	1940	1940
		1941	
1942	1942	1942	1942
	1956	1956	1956
1964	1964	1964	1964
	1969	1969	1969
			1985
		1993	
		1996	1996
		2003	2003
		2011	2011

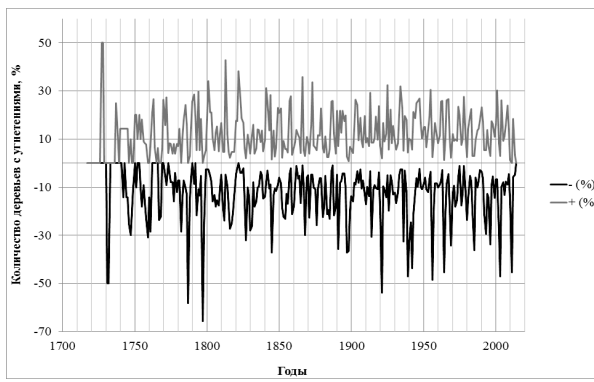


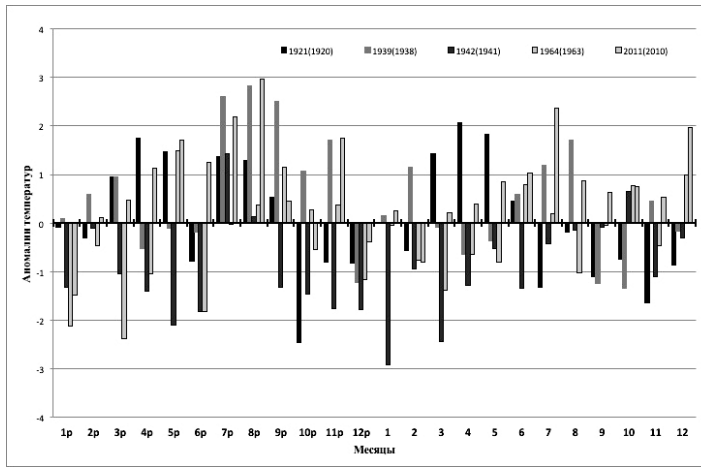
Рис. 3.3.2. Реперные годы в хронологии SENS
Fig. 3.3.2. Pointer years of SENS chronology

Ниже приводится сопоставление годов аномального прироста по сводной хронологии и реперных лет с инструментальными и историческими данными. Годы с положительными аномалиями, как правило, менее репрезентативны в климатическом отношении. В наших хронологиях это 1727, 1728, 1801, 1813, 1822, 1866, 1873, 1925, 1955, 2001 гг.

Для анализа причин низкого прироста в 1921, 1939, 1942, 1964 и 2011 гг. (больше двух стандартных отклонений) мы оценили особенности климатических условий в эти годы по инструментальным данным, обобщенным для территории 52,75°–57,25° с. ш. и 32,75°–40,25° в. д., определенной минимальным прямоугольником, включающим все выбранные для анализа пробные площади. Поскольку на величину прироста текущего года часто влияют условия предшествующего, что связано с накоплением в течение всего вегетационного периода запасных питательных веществ в паренхимных клетках древесины (Рудаков, 1993), в этом анализе мы учли и предшествующие годам аномального прироста 1920, 1938, 1941, 1963 и 2010 гг.

Рисунок 3.3.3а показывает, что, при всей пестроте картины, годам с низким приростом сосны предшествовали аномально жаркие июль и август предыдущего года. На рис. 3.3.3а видно также, что при этом в годы аномально низкого прироста наблюдается тенденция к дефициту осадков, особенно в летние месяцы как предыдущего, так и текущего года, причем дефицит осадков во всех случаях наблюдался также в середине и конце зимы. Дополнительно следует учитывать и зимние температуры. Так, зима 1941/42 гг. была очень холодной и малоснежной, а лето — дождливым и холодным. В результате кольцо 1942 г. оказалось очень узким. Август 2010 года стал самым жарким и сухим за весь рассматриваемый период, что, вероятно, вызвало минимальный прирост в 2011 г.

Осреднение климатических показателей для лет с минимальными приростами подтверждает выводы, приведенные выше для отдельных лет: на прирост отрицательно влияют холодные зимы и дефицит осадков за гидрологический год; кроме того, прирост уменьшается, если вторая половина лета предшествующего года была засушливой.



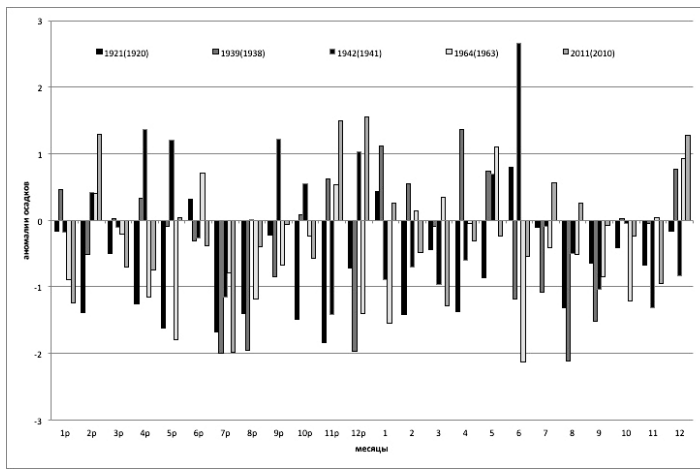


Рис. 3.3.3. Аномалии среднемесячной температуры (а) и сумм осадков (б) в годы низких приростов древесины сосны в 1921, 1935, 1941, 1964, 2011 гг. (1р-12р — месяцы предыдущего года, 1–12 месяцы текущего года). Данные получены из архива CRU TS3.22 за период 1901–2013 гг., осреднены для территории 52,5°–57,5° с. ш., 32,5°–40,5° в. д.

Fig. 3.3.3. Anomalies of mean monthly temperatures (a) and monthly sums of precipitation (б) for the years of low pine growth: 1921, 1935, 1941, 1964, 2011 (1р–12р — months of previous year, 1–12 — months of current year). Data acquired from the CRUTS3.22 archive for the periods AD1901–2013, and averaged for the territory 52.5°–57.5° N, 32.5–40.5° E

Реперные годы и исторические данные в Московской, Калужской и Тверской областях

Для анализа причин аномалий прироста сосны за пределами инструментального периода наблюдений были использованы исторические данные (Борисенков, Пасецкий, 1988, 2002; Щепкин, 1886 и др.). К сожалению, эти данные очень неполны, имеются далеко не для всех лет, часто не имеют ясной пространственной привязки (локализация обозначена как «Россия»). Несмотря на эту ограниченность, исторические данные содержат важную информацию, позволяющую расширить контекст дендрохронологических реконструкций. Они, в частности, показывают, что низкие приросты сосны в 1786 г. последовали за холодной зимой и весной 1785–1786 гг., которые отмечались в районе Москвы, Калуги и Тулы (Борисенков, Пасецкий, 1988; Щепкин, 1886). Следующая зима 1786–1787 гг., которая была также необычайно суровой в Тульской, Рязанской, Воронежской, Орловской, Калужской и Смоленской губерниях, видимо, вызвала аномалию прироста в 1787 г. По сведениям Е. П. Борисенкова и В. М. Пасецкого, зима 1786–1787 гг. была настолько сурова, что в 1787 г. в указанных губерниях «не собрали даже семян» и в этот год случился, «быть может, самый ужасный голод». Образование узкого кольца в 1782 г., возможно, связано с аномальными условиями предыдущего, 1781 г., когда неурожай отмечался в 16 губерниях России (Борисенков, Пасецкий, 2002). «Непомерный голод» из-за неурожая («даже лебеда не уродилась») в 1788 г. в Московской, Калужской, Тульской и в других губерниях (Щербатов, 1860) совпадает с аномалией прироста, равной двум стандартным отклонениям в 1788 г. Почему случились неурожаи в 1781 и 1788 гг., из исторических источников мы достоверно не знаем. Аномалии 1797 и 1798 гг., возможно, последовали за засушливым летом 1796 г., хотя Борисенков и Пасецкий не указывают, конкретно к какому району России относится это историческое свидетельство. Узкое годичное кольцо, сформировавшееся в 1827 г., вероятно, обусловлено сильной жарой и засухой 1826 г., отмеченными Борисенковым и Пасецким в Смоленской, Калужской, Вологодской, Новгородской и Пензенской губерниях. Первая половина лета 1827 г. была засушливой лишь на юге страны, а во второй половине начались обильные дожди.

Лето 1844 г. в Петербургской, Новгородской, Псковской и Тамбовской губерниях было таким дождливым, что «от обильного

потопления огороды почти уничтожены». Зима 1845 г. отличалась «...необыкновенной суровостью». Зима 1867–1868 гг. была «чрезвычайно холодной» в западных губерниях, а в 1868 г. на севере и западе России отмечена засуха, что послужило причиной аномально низкого прироста в этом году. Такая же по величине аномалия прироста наблюдалась в 1891 г., также по причине засухи, начавшейся весной и закончившейся осенью, которая случилась в 21 губернии России (Ермолов, 1892; Логинов и др., 1976; Борисенков, Пасецкий, 2002). Кроме того, зима 1890 г. была суровой: в Смоленской, Тульской и Тамбовской губерниях в декабре отмечены «необычайные холода». Низкий прирост в 1897 и 1898 гг., возможно, связан «с морозами и оттепелями» зимой. В 1897 г. на юго-востоке России, от Петербурга до Курска, Калуги, Воронежа, наблюдались засухи, сменившиеся волной холода в августе, лето 1898 г. также было засушливым, что, вероятно, повлияло на аномально низкий прирост этих лет (Борисенков, Пасецкий, 1988). Аномалия прироста в 1914 г., вероятно, связана с неустойчивой погодой в январе-феврале этого года и «необычайно высокими температурами» в июле на северо-западе страны.

Таким образом, при сопоставлении данных дендрохронологии и исторических свидетельств наблюдается очень неоднозначное соответствие: низкий прирост может совпадать и с холодной зимой, и с летней жарой, и даже с избыточным увлажнением. При этом интересно, что, судя по инструментальным данным, все заметные аномалии приростов XX в. в 1921, 1936, 1939, 1940 и 1964 гг. были связаны с засухами (Логинов и др., 1976). Вопрос о том, означает ли это, что в XX в. произошло изменение характера связи климатических колебаний с приростами, остается открытым. Заметим, что в XIX в. и в последние 50 лет аномалий прироста, выходящих за пределы двух стандартных отклонений, не выявлено. Периоды наибольшего понижения ширины колец сосны наблюдались в 1780-х-1790-х и в 1920-х-1960-х гг.

Из всех рассмотренных нами экстремумов прироста 25% исторических климатических аномалий имеют совпадения с отрицательными реперными годами. Совпадения исторических свидетельств с положительными реперными годами во многом случайны. Возможно, на положительные реперные годы приходились благоприятные сезоны (с повышенными температурами и осадками), которые не нашли отражения в исторических хрониках.

Реперные годы в рядах ширины годичных колец сосны в Воронежской области

В.В. Мацковский, Н.А. Ломакин, С.М. Матвеев

Хронологии сосны в Воронежской области, их климатический отклик и реперные годы

Исследование реперных годов сосны обыкновенной было проведено в Воронежской области — на южной оконечности распространения сосновых лесов в европейской части России. Использованные метеорологические данные включают ряды наблюдений на метеостанциях Воронеж, Каменная Степь и Хреновский бор (ВНИИГМИ-МЦД, http://meteo.ru). Эти ряды были дополнены ранними метеорологическими наблюдениями из Воронежского помологического питомника для периода 1861–1885 гг.

Исследования в Хреновском бору и других лесных массивах под Воронежем ранее проводились Матвеевым (2003, 2005) и Матвеевым с соавторами (Матвеев и др., 2012a, 2012b) и были в основном посвящены изучению связи приростов с количеством осадков и солнечными циклами. Так, Матвеев и др. (2012a) показали, что основным метеорологическим фактором, влияющим на годичный прирост сосны в Воронежской области, является сумма осадков с апреля по октябрь, причем самые сильные угнетения прироста (1939, 1972 и 2010 гг.) наблюдались после нескольких (2–3) лет с дефицитом осадков и обязательно в комбинации с высокими температурами воздуха. Глубокие минимумы прироста эти авторы отмечают в 1939–1940, 1949, 1972–1973, 1995–1996 гг. (Матвеев и др., 2012b). Заметим, что, кроме 1972–1973 гг., эти минимумы отмечаются и в хронологии сосны из центрального региона ЕТР.

В 2015 г. был осуществлен дополнительный отбор образцов (19 деревьев), которые вошли в рассматриваемую здесь хронологию совместно с 10 образцами, отобранными в 2000 г. Измерения ширины годичных колец, а также в отдельности ширины колец ранней и поздней древесины, проводились при помощи программы CooRecorder®, дальнейшая обработка дендрохронологической информации — в соответствии со стандартными процедурами, принятыми в дендрохронологии (см. Введение). Построенная

хронология охватывает период 1741–2014 гг. Ее достоверная часть, определенная по показателю EPS (Wigley et al., 1984), начинается в 1790 г.

Климатический сигнал был рассчитан с помощью программы Dendroclim2002 (Biondi and Waikul, 2004). Функция отклика показывает, что все три измеренных показателя ширины кольца сосны в этом районе коррелируют с зимними и весенними осадками (подробности см. в Matskovsky et al., 2016). Значимые корреляции установлены также и с индексами засушливости, например, PDSI (1863–2010 гг., r = 0,42). Для реконструкции Мацковский и др. (Matskovsky et al., 2016) выбрали индекс SPEI_10, рассчитанный за 10 месяцев, предшествующих образованию кольца (R = 0,539) (рис. 3.3.4). Сопоставление аномалий прироста с экстремальными гидроклиматическими событиями было проведено с помощью метода наложенных эпох.

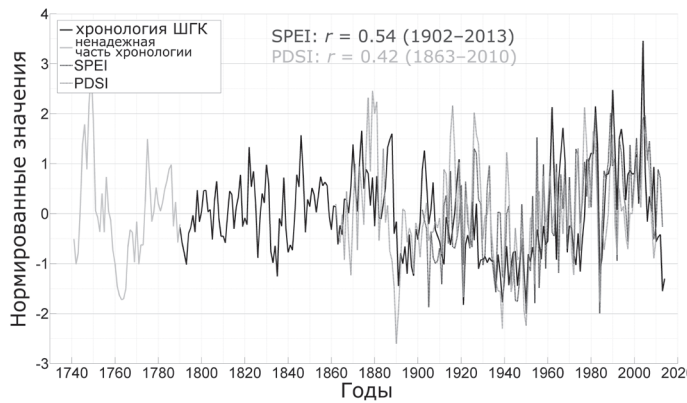


Рис. 3.3.4. Сопоставление хронологии ширины годичных колец (ШГК) сосны T03S в Воронежской обл. с индексами засушливости SPEI_10 и PDSI. Соответствующие коэффициенты корреляции показаны на рисунке

Fig. 3.3.4. Correlations of TRW chronology with drought indices

Рисунок 3.3.5 показывает, что в год засухи наблюдается самый низкий прирост сосны, однако значения приростов вокруг этого события также имеют тенденцию к уменьшению, что, скорее всего, связано с тем, что продолжительность засух обычно больше, чем один год. Наиболее ярким примером такого рода является период

1930–1950-х гг. Если же в качестве «экстремального события» рассматривать, напротив, падение прироста, самое большое уменьшение SPEI_10 происходит в тот же год. После этого в течение трех лет прирост имеет тенденцию к повышению. SPEI_10 остается низким на следующий год после события, что объясняется статистически значимой автокорреляцией (r = 0,29 для запаздывания в 1 год).

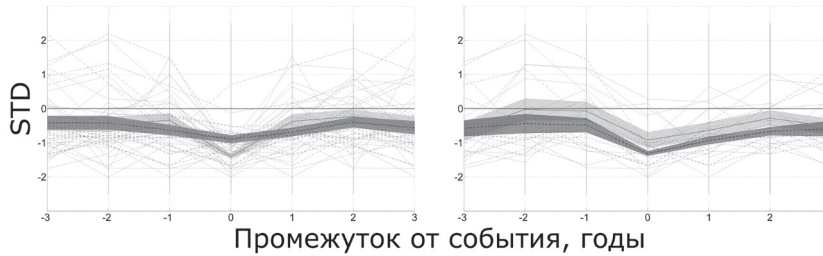


Рис. 3.3.5. Анализ методом наложенных эпох. Слева — событием является индекс SPEI_10 ниже — 1 σ (сплошная линия), а индекс прироста годичных колец показан в соответствующие годы (пунктир). Справа — наоборот, событием является падение индекса ширины колец ниже –1 σ (пунктир), а индекс SPEI_10 показан в соответствующие годы (сплошная линия). Полупрозрачной заливкой показана достоверность p = 0,05.

Fig. 3.3.5. Superposed epoch analysis of SPEI_10<–1 σ events (solid) and TRW indices in corresponding years (dashed) on the left, and vice versa, TRW<–1 σ events (dashed) and SPEI_10 AQ6 indices in corresponding years (solid) on the right. Shadings show significance intervals, p = 0,05.

Таким образом, анализ наложенных эпох подтверждает предположение о зависимости экстремально низких приростов сосны от засушливости климата в Воронежской области.

Согласно нашей хронологии, наиболее засушливые годы (< –1 стандартных отклонения) наблюдались в 1793, 1826, 1833, 1835, 1891, 1893, 1895, 1897, 1898, 1912, 1921, 1928, 1929, 1930, 1932, 1933, 1934, 1935, 1936, 1938, 1939, 1940, 1942, 1943, 1946, 1947, 1949, 1950, 1952, 1954, 1957, 1964, 1973, 1975, 1984, 1985, 2013, 2014 гг.

Сопоставление аномалий прироста сосны
в Воронежской области с историческими данными

Список исторических свидетельств, с которыми мы сравнивали результаты реконструкции, приводится в Приложении 5. Поскольку

основная масса засушливых лет наблюдалась в XX в., индексы прироста для XIX в. были нормализованы отдельно и сопоставлены с историческими данными.

Борисенков и Пасецкий (2002) упоминают годы 1792 и 1793 как экстремально засушливые, а 1826 г. как год с бесснежной зимой. 1832–1835 гг. — следующие четыре года, которые отмечаются как засушливые в хронологии сосны. 1831 г. описан как малоснежный в «Воронежских губернских ведомостях» (ВГВ, № 48, 30 ноября 1857 г., с. 374). «Земледельческая газета» (ЗГ, № 104, 27 декабря 1835 г.) отмечает, что 1834 г. был засушливым на территории ЕТР. Однако в то же время в Воронежской области в этот год был хороший урожай (ЗГ, № 36, 2 ноября 1834 г.).

Годы 1840–1842 в источниках характеризуются как засушливые не только в Воронежской, но и в соседних областях (см. Приложение). 1863 г. описан в источниках как плодородный, однако в этот год имеются упоминания о многочисленных пожарах в июле и в августе (ВГВ, № 39, с. 291). Ранние метеорологические наблюдения показывают, что летние осадки в этот год были ниже нормы.

Согласно нашей реконструкции, засушливыми были 1890-е гг. (1891–1895, 1897 и 1898). Это также подтверждается данными исторических источников и метеорологических наблюдений. Семь засушливых лет в 1890-х гг., углубили сельскохозяйственный кризис в России и, возможно, повлияли на революционные события начала XX в.

Прирост древесины на ЕТР в 2010 г.

Особый интерес для анализа представляет 2010 г., когда в центре ЕТР во второй половине лета наблюдались рекордно высокие температуры и скудные осадки (Фролов, Страшная, 2011). Это произошло из-за исключительно устойчивой области высокого давления, которая преобладала в течение нескольких недель на ЕТР в период с раннего июля по середину августа и блокировала продвижение на восток западных воздушных масс, приносящих дождь и прохладную погоду. В Москве в июле 2010 г. был побит рекорд максимальных температур воздуха в 35,6 °С, установленный 11 июля 1996 г. Аномально высокими были и ночные температуры. Показатель числа «тропических ночей» (минимальные ночные температуры < 20 °С) для некоторых метеостанций в июле превос-

ходил норму на 20 °С. В Москве их было 16 при норме 0,5 в год. Норма осадков в центральной и южной частях ЕТР была на 100–200 мм ниже в июне, июле и августе.

Из 14 хронологий ширины колец сосны и дуба, расположенных в центре ЕТР от Костромской и Ярославской областей на севере до Тульской — на юге, в 2010 г. у семи наблюдалось угнетение приростов (в Ярославской, Калужской, Тверской и Московской областях). По количеству деревьев, испытавших угнетение, реперный 2011 г. сопоставим с десятью другими годами с наиболее сильным угнетением. В сводной хронологии SENS прирост сосны в 2010 г., однако, не был аномальным по сравнению с приростами за период 1779–2014 гг. Кольцо следующего, 2011 г., — узкое (> 1 стандартного отклонения), однако величина угнетения относительно небольшая. Скорее всего, отсутствие заметного угнетения в 2010 г. было связано с тем, что сильная жара началась во второй половине лета, когда кольцо уже было сформировано, поэтому прирост был аномально низким в следующем году.

ЧАСТЬ 4. ДРУГИЕ ПОДХОДЫ К РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАСУХ ПО ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ

Глава 1. Связь с засушливостью ширины колец ранней и поздней древесины и оптической плотности колец сосны (на примере Калужской области)

Е.А. Долгова

Эта глава посвящена исследованию климатического сигнала в ширине колец ранней и поздней древесины, а также максимальной плотности годичных колец сосны обыкновенной в центральной части ЕТР на примере Калужской области. Эти три параметра могут быть важными дополнительными источниками палеоклиматической информации (Chen et al., 2011; Dolgova, 2016).

Как известно, годичные кольца древесины являются результатом активности камбия в вегетационный период. В начале вегетационного периода (весной и в начале лета) у хвойных формируются крупные тонкостенные клетки, а в середине и в конце лета — мелкие толстостенные клетки. Это приводит к образованию клеток, различающихся по размеру и форме. По цвету и плотности различаются слои ранней и поздней древесины (Ваганов, Шашкин, 2000) (см. рис. 4 во Введении). Ширина годичного кольца чаще других параметров используется в дендрохронологических исследованиях. Более трудоемким процессом является измерение ширины ранней и поздней древесины. Сложность состоит в том, что граница между слоями ранней и поздней древесины часто расплывчатая, а значит, измеренные значения их ширины могут иметь некоторую неопределенность, связанную с субъективной оценкой положения границы оператором. Ширина ранней и поздней древесины отражает климатические условия разных временных отрезков вегетационного периода, поэтому теоретически использование этих параметров может расширить возможности реконструкций (Hughes et al., 1994).

Максимальная плотность древесины уже несколько десятилетий используется как основа для реконструкций, поскольку установлено, что этот параметр более тесно, чем ширина колец, связан с температурой лета (Schweingruber and Briffa, 1996; Briffa et al., 2001; Kirdyanov et al., 2008; Dolgova, 2016). Плотность колец отражает явный климатический сигнал даже в районах, где ширина годичных колец имеет небольшую изменчивость и не коррелирует с метеорологическими характеристиками (Parker and Henoch, 1971).

Измерения оптической плотности и ширины кольца ранней и поздней древесины

Плотность колец редко измеряют непосредственно путем взвешивания образцов. В дендрохронологии наиболее часто измеряют рентгеновскую плотность древесины (Schweingruber et al., 1978), однако и этот способ является достаточно технологически сложным и дорогостоящим. В последнее время в связи с развитием компьютерных технологий многие исследователи используют изображения годичных колец в качестве альтернативы традиционной денситометрии (Sheppard et al., 1996; McCarroll et al., 2002; Sheppard and Singavarapu, 2006; Campbell et al., 2007). Суть метода состоит в измерении яркости поздней древесины по снимкам высокого разрешения. Подразумевается, что чем плотнее поздняя древесина, тем она темнее и тем меньше величина отраженного света (Blue Intensity, BI). Низкая стоимость и относительно несложная лабораторная подготовка образцов для анализа позволяет значительно увеличить число дендроклиматических реконструкций.

Первая реконструкция средней температуры воздуха апреля-мая с использованием BI хронологии была получена для Северо-Востока США (Sheppard et al., 1996). С помощью оцифрованных фотографий была измерена яркость поздней древесины ели красной (Picea rubens (Sarg.)) и было установлено, что этот параметр объясняет 29% изменчивости температуры воздуха апреля–мая. Однако, несмотря на многообещающие результаты, было обнаружено, что из-за оптического искажения оцифрованных фотографий наблюдаются пониженные значения яркости по краям снимков. Позже эта проблема была решена путем использования вместо фотографий сканированных изображений (McCarroll et al., 2002).

Измерения отраженного света в поздней древесине в трех цветовых диапазонах (RGB) проводились в специально разработанной для этих целей программе (McCarroll et al., 2002). Оказалось, что корреляция ($r = -0{,}95$; $p < 0{,}01$) между максимальной плотностью и отражением выше именно в голубом спектре (minimum blue 'reflectance'). Кэмпбэл и др. (Campbell et al., 2007) измерили величину отраженного света в поздней древесине с помощью программы WinDendro, которая уже широко используется во многих лабораториях при измерении максимальной плотности колец (MaxD). Дендроклиматический анализ выявил, что связь с летними температурами воздуха у BI-хронологии даже сильнее по сравнению с MaxD (Campbell et al., 2007). Эти авторы предложили использовать для обозначения плотности, измеренной оптическим способом, термин «интенсивность голубого» (Blue Intensity, BI).

В работе МакКэрол и др. (McCarroll et al., 2013) представлены результаты экспериментов по лабораторной подготовке кернов для измерения «интенсивности голубого». Оказалось, что выпиливать тонкие шлифы древесины (как для измерения максимальной плотности) нет необходимости, так как толщина образца не влияет на результат, что значительно сокращает время обработки образцов. МакКэрол и др. использовали BI-хронологию вместе с хронологиями по ширине годичных колец для реконструкции температуры воздуха июня–августа за последние 1200 лет в Северной Европе. Аналогично Уилсон и др. (Wilson et al., 2014) комбинировали BI-хронологии и хронологии ширины годичных колец ели для реконструкции температуры воздуха мая–июня в Британской Колумбии. BI-метод позволил получить первую количественную реконструкцию температуры воздуха мая–сентября за последние 450 лет для территории Северного Кавказа (Dolgova, 2016).

Хотя этот метод появился недавно, уже создано несколько протоколов для измерения BI-параметра с использованием программ WinDendro и CooRecorder (Campbell et al., 2011; Björklund et al., 2014; 2015; Rydval et al., 2014).

В этой работе мы использовали метод измерения интенсивности отражения света в голубом спектре для поздней древесины сосны в Калужской области. Отбор образцов проводился вблизи г. Калуга (N54.5, E36.2) в зоне хвойно-широколиственных

(смешанных) лесов (см. рис. 6 Введения). 23 керна сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*), отобранные с живых сосен, были подвергнуты химической обработке для удаления смол путем выпаривания в растворе этанола в аппарате Сокслета в течение 48 часов. Затем керны были вклеены в специальные деревянные контейнеры и их поверхность зачищалась с помощью микротома. Эта процедура позволяет избежать оптического искажения при сканировании. Далее, керны сканировали на сканере Epson Expression 1,680 flatbed Pro Series с разрешением 1200 dpi и изображения сохраняли в формате jpeg. Обработка изображений была проведена в программе CooRecorder (Larsson, 2013), которая определяет относительную яркость колец и в полуавтоматическом режиме устанавливает границу годичных колец, включая разделение на раннюю и позднюю древесину (рис. 4.1.1).

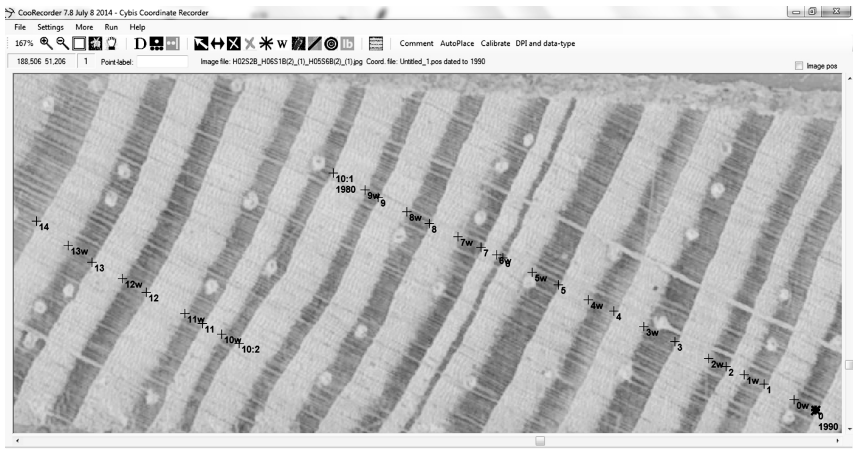


Рис. 4.1.1. Измерение ширины колец ранней и поздней древесины
Fig. 4.1.1. Measurement process of earlywood and latewood widths

Измеренные параметры ширины ранней и поздней древесины и максимальной плотности были подвергнуты процедуре перекрестной датировки, а наличие выпавших или ложных колец определялось в программе COFECHA (Grissino-Mayer, 2001). Плотность древесины, так же как ширина, зависит от множества биотических и абиотических факторов, и ряды плотности также нуждаются в удалении биологического тренда, связанного

с более интенсивным ростом дерева в молодом возрасте и, следовательно, в индексировании. При расчете индексов ширины ранней и поздней древесины для каждой древесно-кольцевой серии подбиралась аппроксимирующая кривая, в нашем случае — функции отрицательной экспоненты или линейной регрессии. Индексирование осуществлялось в программе ARSTAN (Cook, 1985) в интерактивном режиме. В случае с шириной годичных колец индексы рассчитывались путем деления, так как межгодовая изменчивость зависит от абсолютных значений ширины (Cook and Peters, 1981). Плотность, напротив, имеет постоянный уровень изменчивости и индексирование рассчитывается путем вычитания измеренных значений из соответствующих значений по аппроксимирующей кривой.

Оптическая плотность отрицательно коррелирует с максимальной плотностью, полученной по денситометрии (т. е. более плотная поздняя древесина будет иметь слабое отражение). В связи с этим значения оптической плотности будут иметь отрицательную корреляцию с летними температурами воздуха. Для того чтобы добиться сходства с максимальной плотностью в знаке климатического отклика, значения оптической плотности необходимо конвертировать. Поэтому значения оптической плотности будут конвертированы путем вычитания из значения 256 (спектр) реального полученного значения в этот год (Björklund et al., 2014; Rydval et al., 2014).

Стандартизация осуществлена с помощью метода signal-free RCS (очищенный от сигнала метод построения RCS) (Melvin and Briffa, 2008), который позволяет сохранить долгопериодную изменчивость. Индексы в данном случае посчитаны как разность между реальными значениями и значениями, аппроксимированными 50-летним сплайном.

Для оценки качества дендроклиматических рядов мы использовали коэффициент чувствительности, стандартное отклонение и выраженный сигнал популяции (EPS, Expressed Population Signal (Briffa, 1995)) (см. раздел «Методы» во «Введении»). В результате построены три стандартные хронологии ширины годичного кольца сосны, его ранней и поздней древесины (рис. 4.1.2). На основе тех же образцов построена и хронология по оптической плотности (BI-хронология).

Рис. 4.1.2. Стандартные древесно-кольцевые хронологии по ширине годичных колец, а также по ширине ранней и поздней древесины и плотности древесины сосны обыкновенной
Fig. 4.1.2. Standard chronologies of tree-ring, earlywood and latewood widths and blue intensity

Хронологии оптической плотности и ширины кольца ранней и поздней древесины в Калужской области

В табл. 4.1.1 представлены основные статистические показатели стандартных хронологий ширины параметров кольца и оптической плотности сосны в Калужской области. Несмотря на то что количество входящих в хронологии образцов было одинаковым (23 керна), первый год в хронологиях, когда индекс EPS выше порогового значения, у всех хронологий разный, что связано с различиями в межсериальной корреляциии хронологий. Самая длинная хронология получена для оптической плотности, она начинается с 1831 г. Самое высокое стандартное отклонение наблюдается у хронологии

ширины поздней древесины. Для этой же хронологии характерна и самая высокая средняя чувствительность. Самый высокий коэффициент межсериальной корреляции получен для ширины всего годичного кольца. Для этого же параметра, также, как и для ранней древесины, характерна высокая автокорреляция первого порядка. Наличие автокорреляции говорит о влиянии условий прошлых лет на прирост текущего года. У хронологии по ширине поздней древесины автокорреляция ниже, а самое низкое значение автокорреляционной функции наблюдается у оптической плотности. Судя по стандартным статистическим характеристикам хронологий по ширине разных частей кольца, наиболее перспективным параметром для дендроклиматических целей является поздняя древесина.

Таблица 4.1.1. Основные статистические показатели хронологий
Table 4.1.1. Basic statistics of chronologies

	Ширина годичного кольца	Ширина ранней древесины	Ширина поздней древесины	Плотность
Первый год	1866	1874	1865	1831
Последний год	2013			
Стандартное отклонение	0,24	0,22	0,36	0,05
Средняя чувствительность	0,18	0,18	0,34	0,05
Межсериальная корреляция	0,62	0,50	0,49	0,22
Автокорреляция первого порядка	0,61	0,49	0,48	0,15

Самая тесная корреляционная связь обнаружена между хронологиями по ширине годичного кольца и ранней древесины ($r = 0{,}86$, $p < 0{,}05$). Это и понятно, так как доля ранней древесины в общей ширине кольца сосны очень велика (см. рис. 4.1.2). Теснота связи уменьшается при сравнении хронологий по ширине годичного кольца и поздней древесины ($r = 0{,}77$, $p < 0{,}05$). Еще меньше она становится при сравнении хронологий по ширине поздней и ранней древесины ($r = 0{,}59$ при $p < 0{,}05$). Хронология оптической плотности коррелирует толь-

ко с хронологией ширины кольца поздней древесины, при этом корреляции очень слабые ($r = 0{,}30$, $p < 0{,}05$). Эти зависимости косвенно свидетельствуют о влиянии разных климатических факторов на формирование плотности и параметров ширины колец.

Таблица 4.1.2. Коэффициенты корреляции Пирсона, рассчитанные для хронологий ширины и плотности годичных колец сосны
Table 4.1.2. Pearson coefficients of correlation between chronologies

	Ширина поздней древесины	Ширина ранней древесины	Ширина годичного кольца
Плотность	**0,3**	0,08	0,15
Ширина поздней древесины		**0,59**	**0,77**
Ширина ранней древесины			**0,86**

Климатический сигнал в хронологиях оптической плотности BI и в хронологиях ширины колец ранней и поздней древесины сосны в Калужской области

Как и ожидалось, в условиях умеренного климата связи между различными параметрами ширины кольца и колебаниями климата очень слабые (рис. 4.1.3). Повышение температуры воздуха в июле негативно сказывается на величине прироста ранней древесины и ширины годового кольца. Ширина ранней древесины имеет положительную связь с температурными условиями декабря прошлого года. В текущем году обнаружена отрицательная связь с температурой мая и июня, положительная — в сентябре. Связь ширины годичного кольца сосны с температурой найдена только для сентября текущего года. Все три хронологии показывают положительную связь с количеством выпавших осадков в августе предыдущего года. Также положительная корреляция найдена между хронологиями ширины всего кольца и его ранней древесины и значениями осадков в феврале. Все три хронологии имеют положительный отклик на количество выпавших осадков в марте. Хронология ширины поздней древесины также имеет положительную связь с осадками

июля. Отметим, что значения всех коэффициентов низкие и находятся на грани статистической значимости.

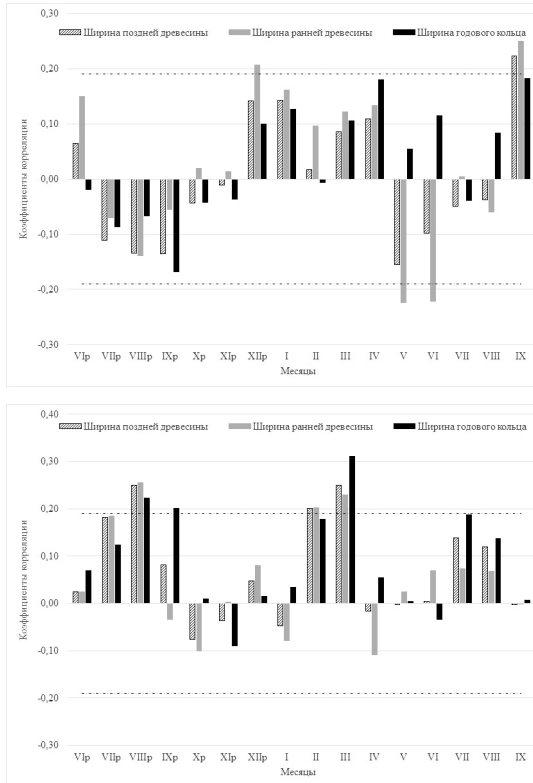


Рис. 4.1.3. Результаты корреляционного анализа между хронологиями ширины всего годичного кольца, его ранней и поздней древесины со среднемесячными температурами воздуха (верхний рисунок) и количеством выпавших осадков (нижний рисунок). Корреляция посчитана за 16 месяцев: с июня по декабрь (VIр–XIIр) предыдущего года и с января по октябрь текущего года (I–X). Пунктирными линиями показаны пороги статистической значимости коэффициентов при $p < 0{,}05$

Fig. 4.1.3. Results of correlation analysis between chronologies of ring-width, earlywood and latewood widths and monthly mean air temperatures (upper graph) and monthly sum of precipitation (lower graph). Correlation computed over 16 months' interval: from June to December of preceding year (VIp-XIIp) and from January to October of the current year (I–X). Dashed lines indicate threshold of statistical significance ($p < 0.05$)

В отличие от хронологий ширины кольца, хронология плотности BI-устойчиво положительно коррелирует со значениями среднемесячных температур практически за весь теплый период с мая по сентябрь (рис. 4.1.4). При осреднении среднемесячной температуры за пять месяцев (с мая по сентябрь) связь усиливается ($r = 0{,}67$, $R2 = 0{,}44$, $p < 0{,}05$). Обратная связь за тот же период, но с более низкими значениями коэффициентов корреляции, обнаружена для количества выпавших осадков.

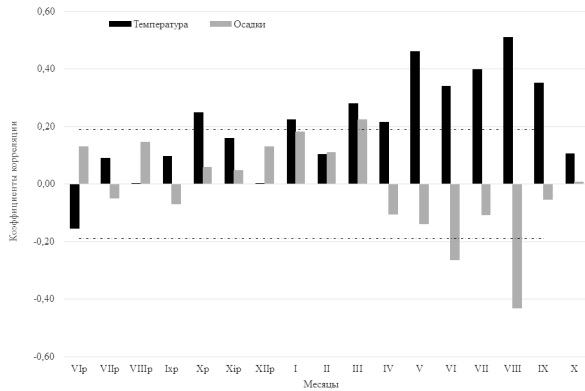


Рис. 4.1.4. Результаты анализа корреляционных связей между хронологией плотности и среднемесячной температурой воздуха (черные столбики) и количеством выпавших осадков (серые столбики). Корреляция посчитана за 16 месяцев: с июня по декабрь (VIp–XIIp) предыдущего года и с январь по октябрь текущего года (I–X). Пунктирными линиями показаны границы статистически значимых коэффициентов при $p < 0{,}05$

Fig. 4.1.4. Results of correlation analysis between BI chronology and monthly mean air temperatures (black columns) and monthly sum of precipitation (grey columns). Correlation computed over 16 months' interval: from June to December of preceding year (VIp–XIIp) and from January to October of the current year (I–X). Dashed lines indicate threshold of statistical significance ($p < 0.05$)

Значимая корреляционная связь между BI-хронологией и средней температурой мая–сентября позволила нам провести реконструкцию этого параметра. Зачастую применение модели линейной регрессии с целью реконструкции приводит к уменьшению

изменчивости рядов. Поэтому в работе реконструкция проведена путем нормирования среднего и стандартного отклонения хронологий оптической плотности с этими же характеристиками для рядов инструментальных гидрометеорологических наблюдений. Верификация (табл. 4.1.3) свидетельствует об адекватности используемой модели. Однако можно отметить, что модель лучше воспроизводит температуры воздуха при калибровке на позднем периоде (1957–2013 гг.). Результаты проведенной реконструкции показаны на рис. 4.1.5 и 4.1.6. Согласно нашей реконструкции, можно выделить относительно теплые периоды в 1830–1890, 1900–1970, 1990–2013 гг. и холодные — в 1890–1895, 1970–1990 гг. (рис. 4.1.6).

Таблица 4.1.3. Результаты калибровки и верификации модели для реконструкции температуры воздуха с мая по сентябрь в районе Калуги по BI хронологии сосны
Table 4.1.3. Calibration and verification statistics of the model used for mean May-September air temperature reconstruction based on BI chronology of pine in Kaluga region

Калибровка			Верификация		
	R2	RMSE		RE	CE
1901–2013	0,3316	0,9074	—	—	—
1957–2013	0,1461	1,0542	1901–1956	0,5654	0,5183
1901–1956	0,5183	0,7282	1957–2013	0,2177	0,1461

Использование оптической плотности в этом регионе в качестве источника информации о климатических изменениях в прошлом было проведено впервые. Несмотря на высокую связь между плотностью и температурой, как видно из рис. 4.1.5, наблюдаются некоторые различия между рядами. Особенно это заметно в самое жаркое лето за весь инструментальный период — 2010 г. Скорее всего, в данном регионе, как и во многих других, наблюдается некоторый температурный порог, при прохождении которого повышение летних температур имеет негативные последствия на прирост древесины и ее плотность (D'Arrigo et al., 2004; Hoch and Körner r, 2003; Kozlowski et al., 1991; Wilmking et al., 2004).

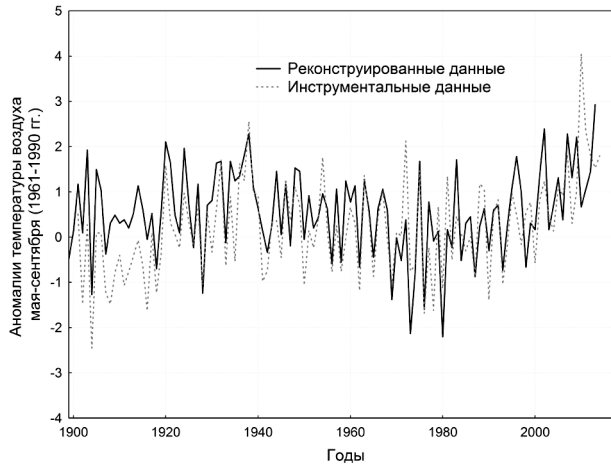


Рис. 4.1.5. Сравнение реконструированных по BI хронологии сосны и инструментальных значений средней температуры мая–сентября в районе Калуги

Fig. 4.1.5. Comparison between BI-based reconstructed and instrumental mean air May-September temperatures in Kaluga region

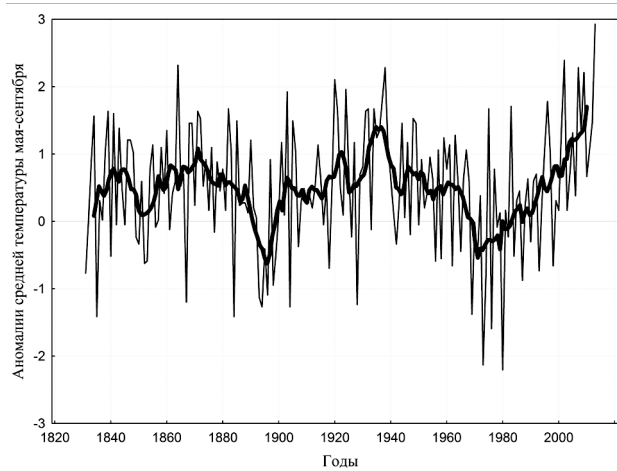


Рис. 4.1.6. Аномалии реконструированной средней температуры воздуха мая–сентября в районе Калуги, рассчитанные относительно периода 1961–1990 гг.

Fig. 4.1.6. Reconstructed mean May-September air temperature anomalies computed relative 1961–1990 reference period

Интересно, что хронология сосны, произрастающей в Калужской области, отражает изменчивость температуры теплого периода для достаточно обширной территории (рис. 4.1.7): за XX — начало XXI в. она тесно коррелирует с температурой стран Восточной Европы.

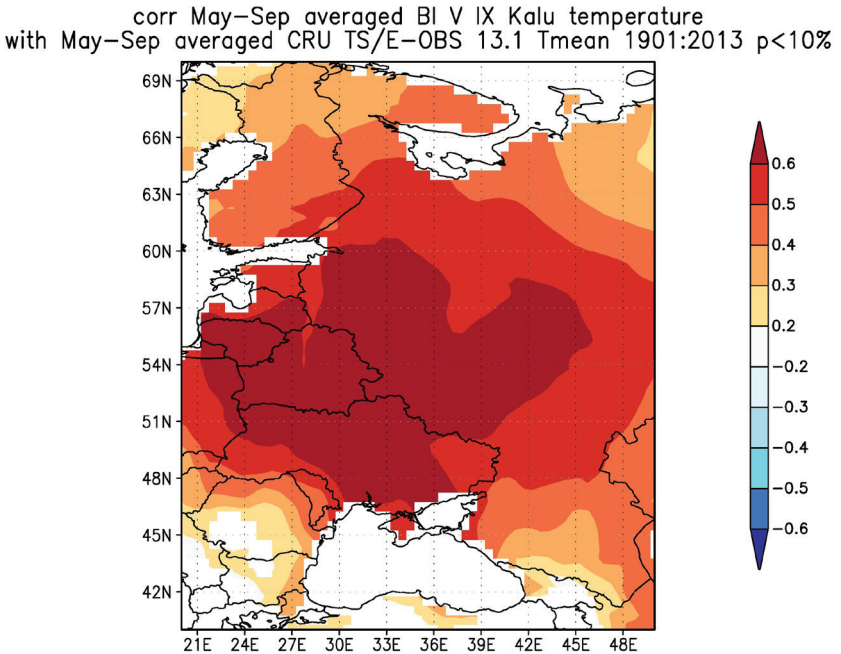


Рис. 4.1.7. Пространственная корреляция между хронологией плотности поздней древесины и средней температурой воздуха мая–сентября. Звездочкой отмечено расположение дендрохронологической площадки
Fig. 4.1.7. Spatial correlation between BI chronology and instrumental mean May-September air temperature. Asterisk indicates location of used tree-ring site

Сопоставление ширины ранней, поздней древесины и всего годичного кольца сосны в 2002 и 2010 гг., то есть в годы с аномально жаркими летними сезонами на территории европейской части России (Мохов, 2011), показывает отличие отклика ширины поздней древесины от ширины ранней древесины и всего годичного кольца (рис. 4.1.8). Понижение прироста поздней древесины происхо-

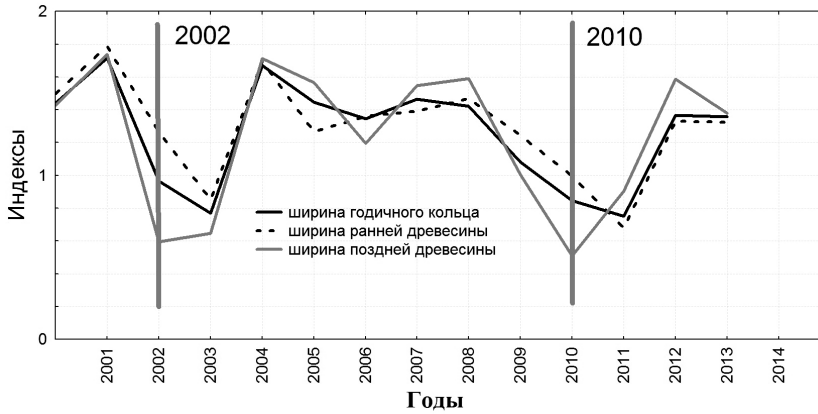


Рис. 4.1.8. Фрагмент стандартных хронологий ширины годичного кольца сосны, а также его ранней и поздней древесины (Калуга). Вертикальными линиями показаны годы с аномальными засушливыми условиями

Fig. 4.1.8. Fragment of standard chronologies of tree-ring, earlywood and latewood widths from Kaluga region. Vertical lines indicate drought years

дит в тот же год, что и аномальная жара, а у ранней древесины и годичного кольца в целом более значительное понижение прироста приходится на следующий год. Это и понятно, если учитывать, что термические аномалии в 2002 и 2010 гг. наблюдались в конце лета, когда формирование слоя ранней древесины уже было закончено, а поздняя древесина как раз формировалась. Отклик ранней древесины с запозданием в один год объясняется широко известным влиянием условий предыдущего года на прирост хвойных, выражающийся высокой автокорреляцией в рядах (Fritts, 1976). Таким образом, использование всех трех хронологий позволяет диагностировать жару и засуху во второй половине лета по описанной выше схеме: максимальное уменьшение ширины кольца поздней древесины в текущий год и уменьшение ширины кольца ранней древесины и всего годичного кольца на следующий год после аномальной жары. По нашим данным, за инструментальный период наблюдений такие случаи (т. е. понижение прироста в поздней древесине с понижениями в ранней древесине и в ширине годовых колец на следующий год) отмечались в 1992, 1972, 1938, 1920 и 1904 гг.

Во все годы, за исключением 1904 г., описанная модель соответствует годам с положительными аномалиями (больше 1 стандартного отклонения) средней летней температуры воздуха. В 1904 г., напротив, судя по инструментальным наблюдениям и реконструированным данным, наблюдалось похолодание.

Выводы

В ширине трех параметров годичных колец сосны (ширина годового кольца, ширина ранней и поздней древесины) Калужской области обнаружен слабый климатический сигнал. Показано, что изменение ширины поздней древесины вследствие засушливых условий в конце лета происходит без запаздывания, в то время как отклик на событие в ширине ранней древесины и годичного кольца имеет задержку в 1 год и более. Таким образом, одновременное использование хронологий всех трех параметров дает возможность диагностировать годы с засухами во второй половине лета.

На примере Калужской области показано, что даже в условиях умеренного климата такой параметр, как оптическая плотность поздней древесины годичных колец сосны, имеет высокую связь с температурой воздуха вегетационного периода. Впервые для данной территории получена реконструкция средней температуры воздуха мая–сентября с 1831 г.

Глава 2. Возможности и ограничения реконструкции речного стока по дендрохронологическим данным (на примере Поволжья)

В. В. Кузнецова, Д. С. Пожидаева

Динамика речного стока во времени зависит от метеорологических условий, влияющих на состояние поверхности и почвогрунтов бассейна при относительно неизменных физико-географических условиях водосбора. Климат воздействует на сток не только непосредственно, но и через другие природные факторы: рельеф, почву, растительность. Прирост деревьев, так же, как и величины речного стока, в значительной степени регулируется колебаниями климата. Во многих районах набор климатических параметров, «управляющих» динамикой речного стока и прироста деревьев, сходен, что дает возможность проводить реконструкции речного стока на основе дендрохронологического метода (Akkemik et al., 2008; Axelson et al., 2009; Büntgen et al., 2010; Case et al., 2003; Carson and Jeffrey, 2005; Cook et al., 2013; Gou et al., 2007; Lara et al., 2008; MacDonald, 2007; Woodhouse, 2006 и др.). В России попытка реконструкции стока рек Северной Двины, Оби, Печоры, Лены, Енисея и Колымы была предпринята на основе данных международной дендрохронологической сети ITRDB Макдональдом с коллегами (MacDonald et al., 2007).

Основная задача этой главы состоит в выявлении связи между приростом древесины и расходом воды малых рек Поволжья. Ряды инструментальных наблюдений за гидрологическими и метеорологическими параметрами в исследуемом районе составляют не более 120 лет, а чаще гораздо короче. Наличие старовозрастных деревьев на территории Поволжья дает основание надеяться на возможность продления рядов некоторых гидрометеорологических параметров.

Район исследования лежит в зоне смешанных и широколиственных лесов. Преобладающие породы — сосна, ель, дуб, граб. В настоящей главе произведен древесно-кольцевой анализ образцов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*).

Дендрохронологический материал отобран на территории Республик Татарстан, Марий Эл, Оренбургской, Пензенской

и Самарской областей (рис. 4.2.1), 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 (табл. 4.2.1).

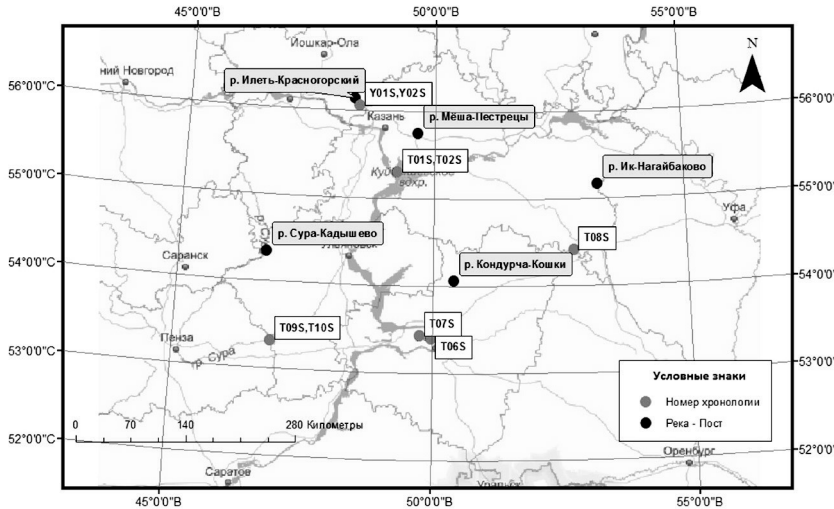


Рис. 4.2.1. Расположение пробных дендрохронологических площадей и гидрологических постов на территории района работ
Fig. 4.2.1. Gauging stations and dendrochronological sites used in the analysis

Для района исследования характерен умеренный климат, основное количество осадков приходится на период с июня по август, осадки распределены в течение года относительно равномерно. Годовое количество осадков составляет 600–700 мм/год. Самые высокие температуры в течение года приходятся на летние месяцы (июнь, июль), наиболее холодные месяцы — февраль, март.

Для анализа мы использовали метеорологические данные из сеточных архивов CRU TS3.23 (https://climexp.knmi.nl) за период с 1901 по 2014 г. с разрешением 5° по широте и долготе, а также из архива Росгидромета (www.meteorf.ru) (метеорологические станции г. Пензы, г. Казань и пос. Безенчук).

Таблица 4.2.1. Характеристики древесно-кольцевых хронологий сосны, построенных по живым деревьям

Table 4.2.1. Characteristics of tree-ring chronologies built from living trees

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
T01S	RW	Татарстан, Волжско-Камский заповедник, Сараловский участок. Сосны под дюной	53,36332	46,89575	204	1714	2014	29	15	266	0,20	0,53
T02S	RW	Татарстан, Волжско-Камский заповедник, Сараловский участок. Сосны на дюне	55,300453	49,2602	207	1808	2014	33	17	207	0,18	0,65
T06S	RW	Самарская обл., Жигулевский заповедник, к СЗ от с. Ширяево, склон балки	53,40078	49,97436	165	1828	2015	42	21	188	0,24	0,60
T07S	RW	Самарская обл., Жигулевский заповедник, зап. склон горы Стрельная, приводораздельная часть	53,43264	49,76056	226	1786	2014	42	21	229	0,21	0,67
T08S	RW	Татарстан, Бугульминский р-н, рядом с с. Петровское, река Сула	54,40593	52,77484	204	1809	2015	41	21	204	0,23	0,56
T09S	RW	Пензенская обл., заповедник «Приволжская лесостепь», уч. «Верховья р. Сура»	53,32105	46,89051	214	1788	2014	33	17	227	0,21	0,56
	EW										0,20	0,80
	LW											

Продолжение табл. 4.2.1

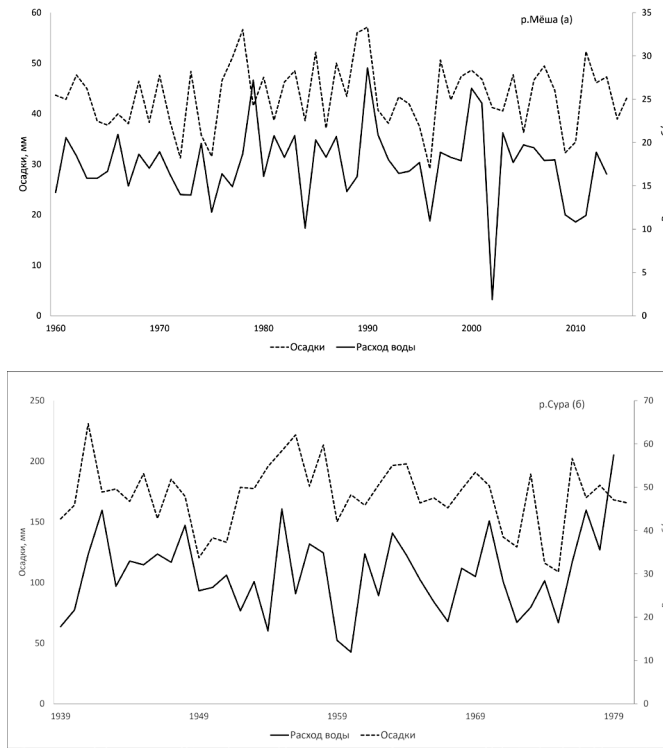
Код площадки	Тип измерений	Местоположение	N	E	Число лет с двумя и более сериями	Год начала	Год конца	Кол-во кернов	Кол-во деревьев	Длина хронологии	Средняя чувствительность	Корреляция серий
T10S	RW	Пензенская обл., на границе заповедника «Приволжская лесостепь» и заказника «Сурские вершины»	53,36332	46,89575	215	1799	2014	33	18	216	0,24	0,56
	EW										0,24	0,56
	LW										0,45	0,40
Y01S	RW	Нац. парк Марий Чодра	56,0493611	48,4616944	213	1802	2014	46	25	213	0,21	0,56
Y02S	RW	Нац. парк Марий Чодра			189	1826	2014	39	15	189	0,30	0,63

Таблица 4.2.2. Характеристики гидрологических постов, использовавшихся в анализе
Table 4.2.2. Characteristics of the gauging stations used for the analysis

№	Река	Створ	Номер сопоставляемой хронологии	Период наблюдений	Количество лет
1	Меша	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	1939–1978	39
5	Илеть	Красногорский	Y01S, Y02S	1965–2013	49

В главе также использовались данные расходов воды по пяти различным рекам (табл. 4.2.2). Наибольшее расстояние между точками гидрологических постов и дендрохронологическими площадками составляет порядка 100 км. Данные о расходах воды взяты для наиболее репрезентативных рек и постов, с длинными рядами наблюдений (минимальная длина ряда составила 28 лет, максимальная — 75 лет).

Внутригодовое распределение стока в исследуемом районе характеризуется высоким весенним половодьем и низкой летней и зимней меженью, без значительных колебаний значений расходов воды в периоды межени (рис. 4.2.2). Максимумы и минимумы ежегодных значений количества осадков и расхода воды в основном совпадают, несмотря на низкие и незначимые коэффициенты корреляции в течение года и значимые коэффициенты только для летнего периода — с июня по июль (табл. 4.2.3).



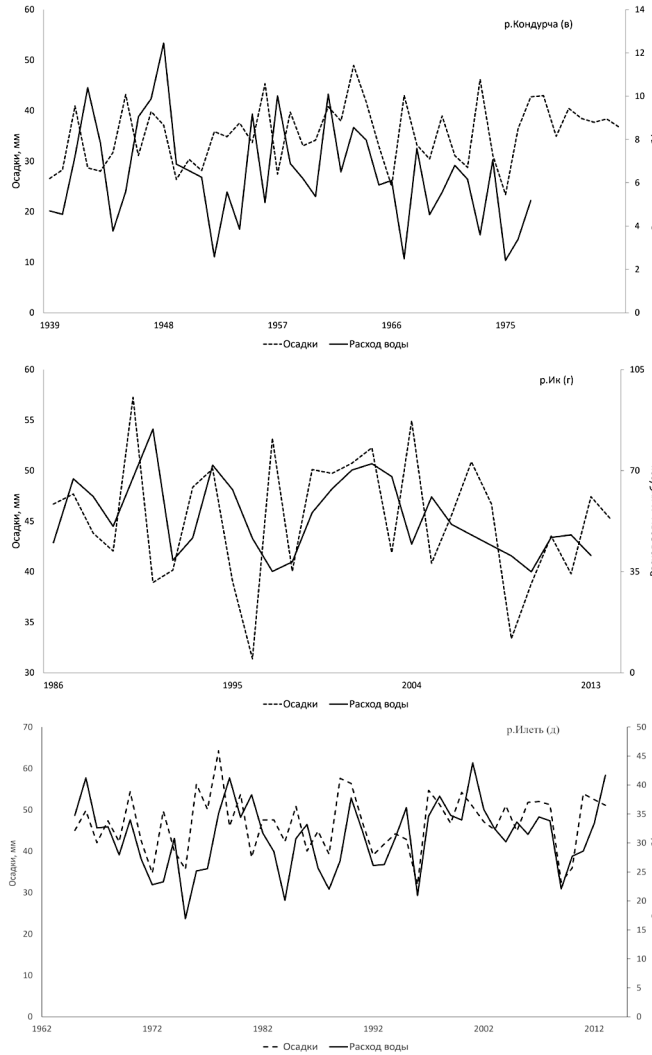


Рис. 4.2.2. Многолетняя изменчивость среднегодового расхода воды и среднегодовой суммы осадков для рек Поволжья: а) р. Меши (1960–2013), б) р. Суры (1939–1978), в) р. Кондурчи (1939–1981), г) р. Ик (1986–2013), д) р. Илеть (1965–2013)

Fig. 4.2.2. Long-term variability of mean annual streamflow and precipitation for the Volga region: a) Mesha riv. б) Sura riv. (1939–1978), в) Kondurcha riv. (1939–1981), г) Ik riv. (1986–2013), д) Ilet' riv. (1965–2013)

Таблица 4.2.3. Связь ежемесячных расходов воды и ежемесячной суммы осадков в Поволжье
Table 4.2.3. Correlations of monthly streamflow and precipitation for the Volga region

Татарстан	T01S, T02S	0,17	0,15	0,07	0,21	–0,07	0,39	0,31	–0,02	0,18	0,21	–0,03	–0,02
	пи-величина (p-value)						0,01	0,05					
	T08S пи-величина (p-value)	0,16	0,28	0,31	–0,23	–0,03	0,66	0,30	0,28	0,21	0,03	0,23	–0,01
							0,01						
Самара	T06S, T07S пи-величина (p-value)	0,17	0,24	0,15	–0,06	–0,24	0,27	0,24	0,23	0,29	0,08	0,26	0,08
			0,05			0,05	0,05	0,05		0,05		0,05	
Пенза	T09S пи-величина (p-value)	–0,04	0,22	–0,04	0,06	0,06	0,20	0,34	0,31	–0,14	0,05	0,27	–0,11
								0,05	0,05				
Марий Эл	Y01S, Y02S	0,32	0,24	0,24	0,15	0,03	0,49	0,21	0,39	0,34	0,20	0,22	0,06
	пи-величина (p-value)	0,05					0,01		0,01	0,05			

Исследуемые реки находятся преимущественно в сходных природных условиях, на формирование их стока влияют схожие факторы, поэтому коэффициенты корреляции между расходами воды разных рек значимые и достигают 0,7 (табл. 4.2.4).

Таблица 4.2.4. Коэффициенты корреляции среднегодовых значений расхода воды рек Поволжья за период с 1939 по 2013 г. (значимость корреляций — * p > 0,01, ** p > 0,05)
Table 4.2.4. Correlations of mean annual streamflow of the studied rivers for the period from 1939 to 2013 (significance — * p > 0.01, ** p > 0.05)

Название	р. Самара	р. Меша	р. Кондурча	р. Ик	р. Сура	р. Илеть
р. Самара	–	0,52*	0,58*	0,68*	0,32**	0,40*
р. Меша	–	–	0,36**	0,23	0,35	0,59*
р. Кондурча	–	–	–	0,63*	0,70*	0,50*
р. Ик	–	–	–	–	годы не пересекаются	0,21

Значимые коэффициенты корреляции между расходом воды и индексом PDSI прослеживаются для всех без исключения рек, рассмотренных нами в настоящей главе, на протяжении всех месяцев текущего года. Наибольшие значения коэффициента корреляции характерны для летних и осенних месяцев.

В главе использованы стандартные методы обработки дендрохронологических данных (см. Введение) (Шиятов и др., 2000). Построено 9 стандартных хронологий по ширине годичных колец сосны, а также две хронологии по ранней и поздней древесине, которые далее не рассматриваются из-за отсутствия значимых коэффициентов корреляции с гидрометеорологическими характеристиками. Наиболее старые деревья обнаружены в Волжско-Камском заповеднике (длина хронологии — 266 лет).

На основании анализа главных компонент (PCA) выделены те площадки, теснота связи между которыми оказалась наибольшей (Frank et al., 2010; Hidalgo et al., 2000) (рис. 4.2.3). На этой основе были построены две региональные хронологии по ширине годичных колец MasterTY (по площадкам T01S, T02S, Y02S, Y02S) и MasterT678 (по T06S, T07S, T08S).

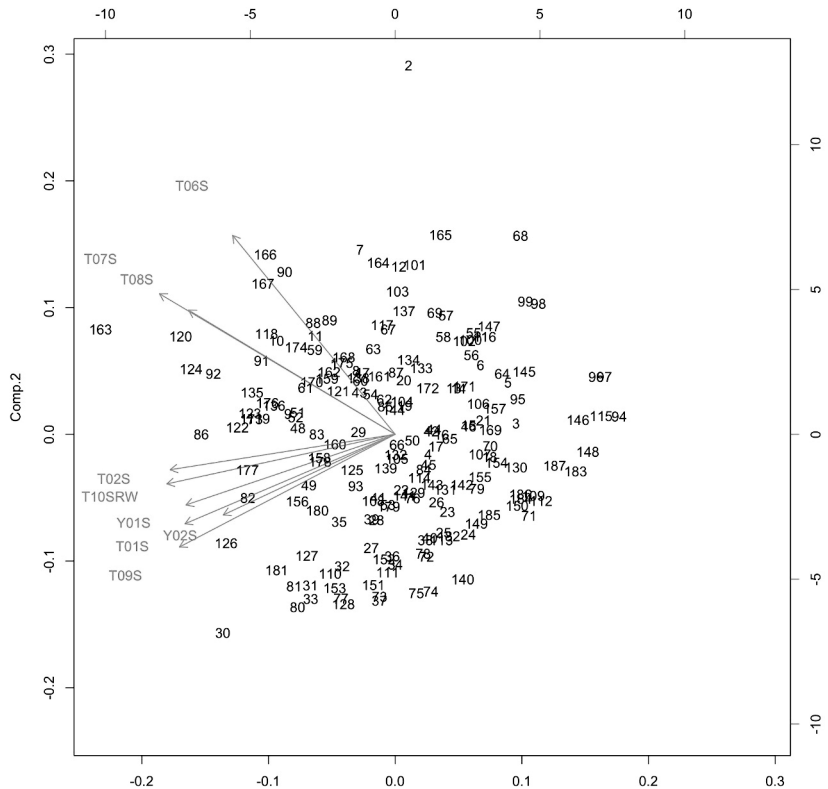


Рис. 4.2.3. Результат анализа главных компонент по площадкам T01S, T02S, T06S, T07S, T08S, T09S, T10S, Y01S и Y02S за период с 1828 по 2013 г.

Fig. 4.2.3. The results of PCA analysis for the sites (T01S, T02S, T06S, T07S, T08S, T09S, T10S, Y01S и Y02S), 1828–2013

Большинство древесно-кольцевых хронологий Поволжья отрицательно коррелирует с температурами вегетационного периода (см. часть 3, глава 3, табл. 3.1.1). Значимые положительные корреляции прироста древесины с количеством осадков за различные месяцы текущего и предыдущего годов прослеживаются для площадок из Волжско-Камского (T01, T02) и Жигулевского заповедников (T06, T07). Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции получены для прироста древесины и суммы осадков в период с мая по август текущего года и с июля по август предыдущего года.

Хронологии T09S и T10S показали отсутствие корреляций с гидроклиматическими параметрами, поэтому для дальнейшего анализа они не использовались.

Пять дендрохронологических площадок (T01, T02, T06, T08, Y02) показывают наиболее тесные связи с PDSI с июня по октябрь (рис. 4.2.4) и с величинами речного стока за тот же период (рис. 4.2.5). На рис. 4.2.4 и 4.2.5 видно, что наиболее тесные зависимости показателей увлажненности и речного стока с шириной колец наблюдаются в периоды межени, в половодье же корреляция между стоком и приростом древесины для некоторых площадок вовсе отсутствует. Значимые корреляции между расходами воды и приростом древесины получены лишь для некоторых исследуемых рек, что может быть обусловлено разницей в физико-географических условиях, а также индивидуальными особенностями древостоев и удаленностью мест отбора образцов от гидропостов, где проводились измерения расхода воды.

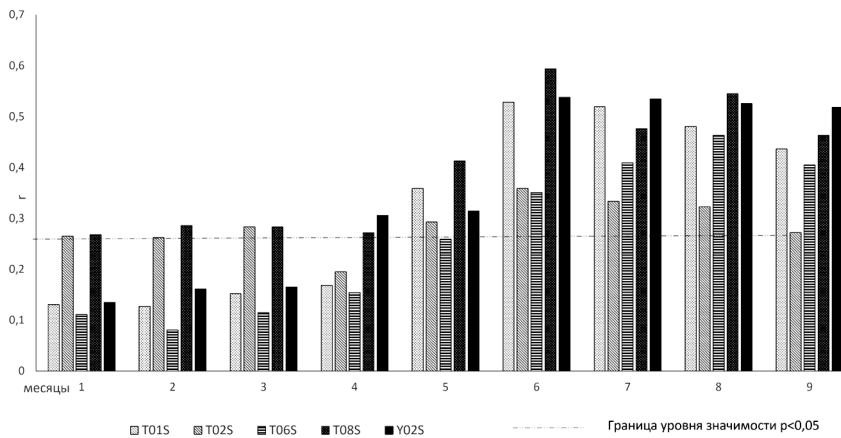


Рис. 4.2.4. Внутригодовая изменчивость PDSI и хронологий по различным площадкам Поволжья за период с января по сентябрь текущего года

Fig. 4.2.4. Interannual variability of PDSI and TRW correlations for the Volga region for the period from current January to September

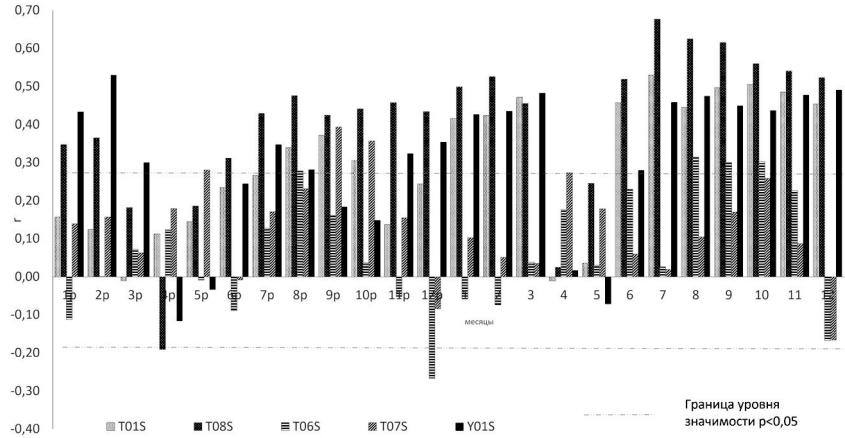


Рис. 4.2.5. Внутригодовая изменчивость расходов воды и хронологий по различным площадкам Поволжья (1, 2... — за текущий год, 1р, 2р ... — со сдвигом на один год)

Fig. 4.2.5. Interannual variability of streamflow and TRW correlations for the Volga region (1, 2 ... — current year, 1p, 2p... — previous year)

Наилучшие результаты статистических тестов получены для хронологии Y01S, расположенной ближе остальных площадок к гидропосту на р. Илеть, на котором производились измерения расхода воды. На основании данных по Y01S и данных расхода воды по р. Илеть за период с июля по сентябрь была построена модель, отвечающая стандартным статистическим критериям (CE, RE положительны, коэффициент Дурбана-Уотсона близок к 2,0 (табл. 4.2.5)). Модель объясняет 27% изменчивости расхода воды с июля по сентябрь (рис. 4.2.6 и 4.2.7). Эта же хронология показывает самые высокие корреляции с индексом PDSI: в этом случае моделью объясняется 32% изменчивости.

На рис. 4.2.6 хорошо видны недостатки модели: несмотря на статистически значимые корреляции, реконструкции не воспроизводят главных минимумов стока и увлажненности, например, в 1975, 1996 и 2010 гг. Она также занижает амплитуду изменчивости этих параметров, хотя слабый положительный линейный тренд стока реконструкция воспроизводит.

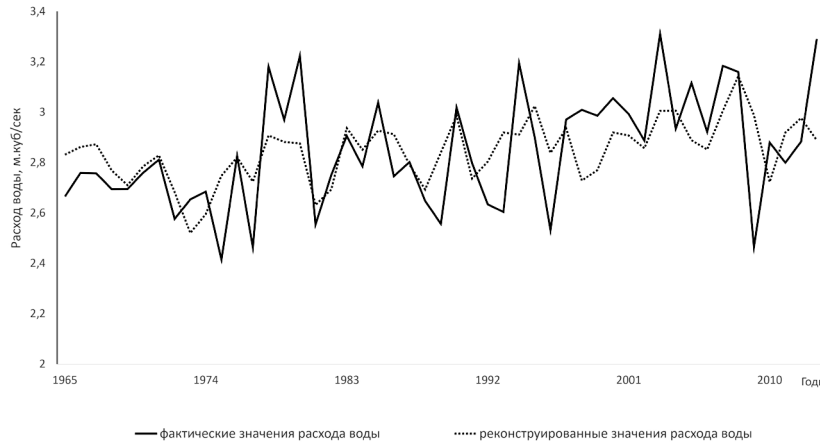


Рис. 4.2.6. Фактические и реконструированные по данным хронологии Y01S значения расхода воды реки Илеть ($м^3$/сек) за период с 1965 по 2014 г.
Fig. 4.2.6. Actual and reconstructed streamflow data (m^3/s), Ilet' river (1965–2014)

Несколько более убедительно выглядит реконструкция индекса PDSI (рис. 4.2.7) на основе сводной региональной хронологии MasterTY, которая имеет большую обеспеченность образцами (138 образцов), выбирает 34% изменчивости PDSI и, по-видимому, более адекватно отражает региональный климатический сигнал. Однако и в этой реконструкции наблюдается несколько явных несоответствий истинным значениям PDSI (например, в 1963, 1967, 1998 гг. и пр.). В 1973 г. отмечается запаздывание реконструкции на 1 год, по сравнению с засухой 1972 г. После сильнейшей засухи 2010 г. прирост деревьев так и не вернулся к норме, хотя условия увлажненности уже в следующем, 2011 г., стали нормальными.

Табл. 4.2.5. Результаты статистических тестов калибровки и верификации модели реконструкции расхода воды (по Y01S) и индекса PDSI (по Y02S и MasterTY) за период с 1850 по 2013 г.
Table 4.2.5. Calibration/verification statistics for the streamflow (based on Y01S tree-ring chronology) and PDSI (based on Y02S and MasterTY tree-ring chronologies) reconstructions.

Статистические параметры	Y01S			Y02S			MasterTY		
	Калибровочный период, 1965–1989	Верификационный период, 1989–2013	Полный период, 1965–2013	Калибровочный период, 1965–1989	Верификационный период, 1989–2013	Полный период, 1965–2013	Калибровочный период, 1960–1986	Верификационный период, 1986–2013	Полный период, 1960–2013
R	–	–	0,53348201*	–	–	0,55218016*	–	–	0,59761273*
R2	0,3293	–	–	0,3052	–	–	0,2295	–	–
Ajusted R2	0,3572	0,02324	0,271	0,2712	0,2511	0,32	0,1987	0,4621	0,3452
Coefficient of efficency	–	–	0,13	–	–	0,185	–	–	0,157
Reduction of error	–	–	0,486	–	–	0,216	–	–	0,222
Durbin-Watson Test (DW)	–	–	1,918	–	–	1,228	–	–	1,383

* — уровень значимости $p < 0,05$.

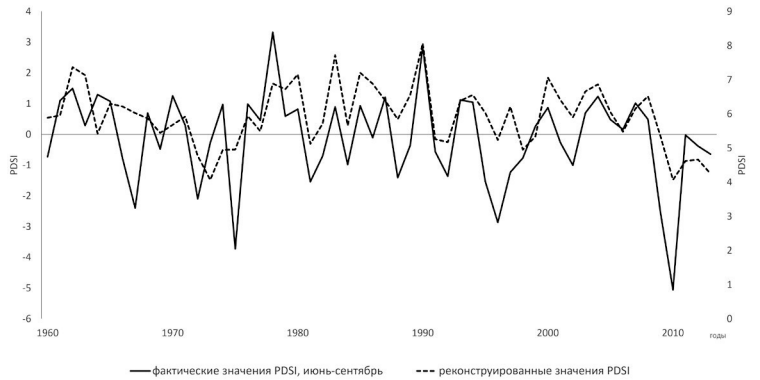


Рис. 4.2.7. Фактические и реконструированные по данным мастер-хронологии MasterTY значения PDSI (средние за каждый год с июня по сентябрь) за период с 1960 по 2013 г.
Fig. 4.2.7. Actual and reconstructed JJAS PDSI data (m^3/s) based on MasterTY tree-ring chronology for the period from 1965 to 2014

Выводы

Нами установлено, что связь между расходом воды и хронологиями сосны в Поволжье выше в периоды межени, чем в половодье. Похожий результат описывают в своих работах Макдональд с соавторами (MacDonald et al., 2007) и Карсон (Carson and Jeffrey, 2005). Как и в нашем случае, ими были получены более высокие и значимые коэффициенты корреляции между расходом воды и хронологиями, чем между хронологиями и метеорологическими характеристиками.

Практически все древесно-кольцевые хронологии, построенные нами для Поволжья, имеют связь с летне-осенним гидротермическим режимом. К сожалению, теснота и устойчивость во времени этих связей пока недостаточна для надежных реконструкций речного стока в Поволжье. Наиболее тесные корреляции с расходом установлены для хронологии Y01S (Республика Марий Эл), возможно, из-за того, что она находится в непосредственной близости (15 км) от гидропоста на р. Илеть.

Этот опыт показывает, что перспектива реконструкции речного стока по ширине годичных колец реальна и связана с отбором дополнительных образцов из тщательно выбранных местообитаний, расположенных неподалеку от мест измерения речного стока.

Глава 3. Мониторинг состояния растительности и засух по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и дендрохронология

И. С. Бушуева

Методические аспекты дешифрирования засух по ДЗЗ

Характерным свойством растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения в разных диапазонах длин волн. Знания о связи структуры и состояния растительности с ее спектрально-отражательными способностями позволяют использовать аэрокосмические снимки для картографирования и идентификации типов растительности и их стрессового состояния.

В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов. Они подбираются экспериментально (эмпирическим путем), исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв. Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений. На красную зону спектра (0,62–0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75–1,3 мкм) — максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. То есть высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с большой фитомассой) ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной (рис. 4.3.1). Хорошо известно, что отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов (Черепанов, 2011).

Преимущество данных ДЗЗ состоит в том, что они являются объективным источником информации, имеют большие пространственные охваты и высокую периодичность съемки.

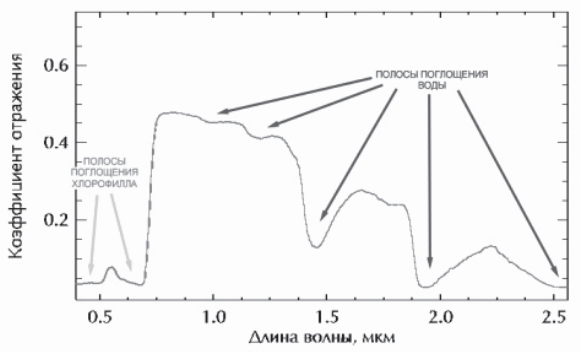


Рис. 4.3.1. Спектральная кривая здоровой растительности (http://gis-lab.info/qa/spectrum-lib.html)
Fig. 4.3.1. Spectral curves of healthy vegetation (http://gis-lab.info/qa/spectrum-lib.html)

Процесс расчета вегетационных индексов состоит из нескольких этапов. На первом этапе значения пикселей на исходных космических данных переводятся в абсолютные значения отражения на верхней границе атмосферы. На втором этапе проводится атмосферная коррекция данных, в итоге получаются значения отражения на уровне Земли. На последнем этапе проводится расчет вегетационных индексов.

Для расчета вегетационных индексов подходят данные дистанционного зондирования Земли любого пространственного разрешения. Единственным условием является наличие каналов изображения, полученных в необходимых длинах волн. В настоящее время в научных исследованиях чаще всего используются данные среднего и низкого пространственного разрешения, находящиеся в открытом доступе. Это данные, полученные со спутников Landsat, Sentinel-2 (среднее пространственное разрешение) и TERRA, AQUA, NOAA (низкое пространственное разрешение).

Главным преимуществом вегетационных индексов является легкость их получения и широкий диапазон решаемых с их помощью задач.

Основным и наиболее часто используемым индексом является — нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) — простой показатель ко-

личества фотосинтетически активной биомассы. При упоминании вегетационного индекса чаще всего имеют в виду NDVI.

Вычисляется NDVI по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где NIR — отражение в ближней инфракрасной области спектра,

RED — отражение в красной области спектра.

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющим спектральные каналы в красном (0,55–0,75 мкм) и инфракрасном (0,75–1,0 мкм) диапазонах.

Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, и, чем больше зеленая фитомасса, тем они выше. На значения индекса влияет также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью. Индекс умеренно чувствителен к изменениям почвенного фона, кроме случаев, когда густота растительного покрова ниже 30%. Для зеленой растительности индекс обычно принимает значения от 0,2 до 0,8 (рис. 4.3.2) (Черепанов, 2011).

Рис. 4.3.2. Значения NDVI и соответствующие им типы растительного покрова (Черепанов, 2011)

Fig. 4.3.2. NDVI values and corresponding types of vegetation (Cherepanov, 2011)

NDVI — один из самых простых вегетационных индексов. Более сложные варианты устойчивы к влиянию почвы (проблема почвенного шума наиболее актуальна для тех территорий, где растительность разрежена), и те, которые устойчивы к влиянию атмосферы. Уменьшение чувствительности к влиянию почвы или атмосферы при этом достигается ценой уменьшения динамического диапазона. В целом они менее чувствительны к изменению растительного покрова, чем NDVI.

В последнее время при расчете вегетационных индексов стали использовать «крайний красный» канал. Это узкий участок спектра, расположенный в диапазонах длин волн 0,69–0,73 мкм. Снимки, полученные в этом диапазоне, очень чувствительны к концентрации хлорофилла в растениях. К сожалению, этот канал присутствует только в нескольких коммерческих съемочных системах, например, RapidEye, WorldView-2, 3.

Вегетационные индексы показывают состояние растительности, поэтому целесообразно их использовать для выявления и характеристики засух. Так, например, в США, где организован Национальный центр сокращения негативных последствий от засух (National Drought Mitigation Center) для этой цели, в частности, используется Vegetation Drought Response Index (VegDRI) (http://drought.unl.edu/MonitoringTools/VegDRI.aspx). Покрытие VegDRI рассчитывается еженедельно и представляет собой характеристику стресса растительности на территории США. Покрытие имеет разрешение 1 км^2 и базируется, помимо данных ДЗЗ, на климатических и биологических данных для определения причин стресса растительности. Поскольку на состояние растительности могут влиять разные факторы, такие как климат, насекомые, изменение вида землепользования, лесные пожары, различные природные катастрофы, анализ климатических и биологических данных помогает выделить стресс, спровоцированный именно засухой.

Два параметра, относящиеся к основному состоянию растительности — средний процент сезонной зелени (Percent Average Seasonal Greenness (PASG)) и начало сезонной аномалии (Start of Season Anomaly (SOSA)), рассчитываются на основе данных NDVI, полученных съемочной системой AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), установленной на спутниках серии NOAA. Они включаются в индекс VegDRI. Климатически зависимые пере-

менные включают в себя индекс суровости засух Палмера (Palmer Drought Severity Index (PDSI)) и стандартизированный индекс осадков (Standardized Precipitation Index (SPI)). Также при расчете индекса используется информация о почве, подстилающей поверхности, экологических условиях и разные типы биологических данных (http://drought.unl.edu/MonitoringTools/VegDRI.aspx).

Еще одним индексом, показывающим состояние растительности, является индекс здоровья растительности (Vegetation Health Index (VHI)) или индекс растительности-температуры Vegetation-Temperature Index. (http://www.ospo.noaa.gov/Products/land/gvps/VHI.html). VHI — это средневзвешенный индекс, полученный из 2 субиндексов:

(1) Vegetation Condition Index (VCI; Karnieli et al., 2010; Kogan, 1997, 2002), рассчитываемого из NDVI;

(2) Temperature Condition Index (TCI; Kogan, 2000), рассчитываемого из яркостной температуры (TB) теплового ИК канала:

$$VHI = \frac{VCI + TCI}{2}$$

$$VCI = 100 \times \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI - NDVI_{\max}}$$

$$TCI = 100 \times \frac{TB_{\max} - TB}{TB_{\max} - TB_{\min}}$$

Индекс стресса эвапотранспирации (Evaporative Stress Index (ESI)) описывает временные аномалии в эвапотранспирации, выделяя территории с аномально высокими или низкими скоростями использования воды растениями. Здесь эвапотранспирация восстанавливается через энергетический баланс. При этом используются изменения температуры поверхности земли, полученные по данным ДЗЗ. Температура поверхности земли — чувствительный параметр, обеспечивающий дополнительную информацию о быстро изменяющейся влажности почвы и уровне стресса у посевов с довольно высоким пространственным разрешением. Также ESI дает возможность выявлять ранний сигнал вспышки засухи, вызванный

длительным периодом жарких, сухих и ветреных условий, приводящих к быстрому истощению влаги в почве.

ESI основан на отношении потенциальной и реальной эвапотранспирации. Если количество доступной растениям воды в заданный день ограничено, то фактическое значение эвапотранспирации быстро падает ниже потенциального и значение индекса — относительно низкое. При ESI рассчитывается нормированная аномалия, представляющая стандартное отклонение данного значения выше (влажнее) или ниже (суше) нормальных условий, определенных для данного места и времени. В настоящее время ESI рассчитывается в реальном времени (с конца марта по начало октября) с пространственным разрешением 4 км для континентальной части США. При этом используется тепловой канал (TIR) с геостационарных спутников Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES) (http://hrsl.arsusda.gov/drought/).

Исходными данными для расчета индекса MODIS Global Terrestrial Drought Severity Index (DSI) являются продукты MOD16, содержащие данные о фактической и потенциальной эвапотранспирации, и MOD13, содержащие значения индекса NDVI (Mu et al., 2013).

Влажность почвы также является важным показателем при мониторинге засух. 31 января 2015 г. был запущен спутник SMAP (Soil Moisture Active/Passive), целью которого является получение данных о влажности почв. На нем установлены две системы научной аппаратуры: радар с синтезированной апертурой и радиометр. Планировалось, что они будут получать данные с разным пространственным разрешением — 3 и 40 км, соответственно. К сожалению, радар вскоре вышел из строя, но остальные компоненты космического аппарата работают в штатном режиме (https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smap).

ДЗЗ и дендрохронология

Несмотря на доступность спутниковых снимков, работ по изучению связей между параметрами годичных колец деревьев и вегетационными индексами, полученными по космическим снимкам, не много. В России Лопатин и др. (Lopatin et al., 2006) пытались определить тенденции роста таежных лесов в последние десятилетия в Республике Коми. Для этого они использовали ряды индекса

NDVI, полученные по данным спутников NOAA, и древесно-кольцевые хронологии из живых деревьев (151 образец ели сибирской и 110 из сосны обыкновенной с 1982 по 2001 г). Для исследуемой территории была выявлена статистически значимая корреляция между значениями NDVI и шириной годичных колец. Авторы выяснили, что увеличение продуктивности лесов явилось причиной увеличения суммарного значения NDVI с июня по август. Авторы также показали, что увеличение продуктивности, отраженное в данных NDVI, происходит на площадках, где наблюдалось увеличение температуры и уменьшение осадков. Они, в частности, установили, что продуктивность таежных лесов в Республике Коми за последние десятилетия увеличилась.

Шишов и др. (2002) рассмотрели пространственную изменчивость трендов радиального прироста деревьев на территории Сибири в разные периоды XX в. и для последнего двадцатилетия сопоставили ее с пространственными трендами NDVI, а также с длительными измерениями температуры в Северном полушарии. Авторами были использованы 154 древесно-кольцевые хронологии, по ним была построена карта пространственной неоднородности радиального прироста деревьев для 1980–1999 гг. Сопоставление этой карты с картой трендов NDVI для территории Сибири показало коэффициент корреляции 0,36 ($p < 0,002$). По мнению авторов, это свидетельствует, во-первых, о том, что увеличение продуктивности растительности, наблюдаемое в последнее двадцатилетие в средних широтах, регистрируется и в данных ежегодных измерений радиального прироста древесных растений, а во-вторых, о том, что коэффициент корреляции между картами пространственной неоднородности радиального прироста деревьев и трендов NDVI хорошо согласуется с вкладом годичной продуктивности древесины в общую годовую продукцию надземной фитомассы лесных экосистем.

Хе и Шао (He and Shao, 2006) проанализировали связь между шириной годичных колец, NDVI луговой растительности и климатическими данными на территории Дэлинха, провинция Цинхай, Китай. Это холодный засушливый регион с преимущественно луговой растительностью и редко стоящими можжевельниками на склонах гор (Zongwulong mountains). В работе использовались пять хронологий можжевельника, ежемесячные значения NDVI,

полученные с космического аппарата NOAA (съемочная система AVHRR) с пространственным разрешением 8 км, и климатические данные (среднемесячная температура, среднемесячная максимальная температура, среднемесячная минимальная температура, среднемесячная сумма осадков, среднемесячная эвапотранспирация, среднемесячная относительная влажность и среднемесячное давление пара) за период с 1982 по 2001 г. Анализ показал высокую корреляцию между средними значениями NDVI в вегетационный период и шириной годичных колец для пяти хронологий и их главной компонентой. Все коэффициенты корреляции достигли высокого уровня значимости ($p < 0,01$); самая тесная корреляция была выявлена между значениями NDVI для августа и шириной колец. Для района Дэлинха, где осадки являются лимитирующим фактором для роста деревьев и степной травянистой растительности, ширина годичных колец можжевельника может быть использована в качестве надежного источника для реконструкции региональной изменчивости значения NDVI.

Лианг и др. (Liang et al., 2005) сравнивали индекс NDVI, показатели надземной биомассы степной растительности и ширину колец ели Майера в долине реки Ксилин (восточная часть автономного района Внутренняя Монголия, Китай). Авторы пришли к выводу, что хронологии ширины годичных колец деревьев в лесостепях и степях могут быть использованы в качестве основы для прогнозирования региональных вариаций надземной биомассы. Два показателя: сумма NDVI степи с 20 мая по 10 июля и ширина годичных колец тесно связаны с осадками предыдущих августа–октября и мая текущего года. Авторы показали, что изменения осадков в предыдущую осень и в начале сезона вегетации влияют на прирост деревьев (ширина колец) и развитие травянистой растительности.

В центре Великих равнин (США) Ванг и др. (Wang et al., 2004) обнаружили, что ширина годичных колец и диаметр деревьев имеют высокую корреляцию с суммарными значениями NDVI для вегетационного периода. Кауфман и др. (Kaufmann et al., 2004) в своем исследовании пытались определить физиологическую значимость удлинения вегетационного периода и увеличения зеленой массы летом, выявленных при анализе космических снимков с аппаратуры AVHRR. Для анализа были взяты площадки в Северной Америке и Евразии, у которых лимитирующими фактора-

ми являются температура или осадки. В результате было выявлено, что NDVI и ширина годичных колец имеют высокую корреляцию только в июне и июле. По мнению авторов, это означает, что летний пик в значениях NDVI показывает важные физиологические изменения, а отсутствие взаимосвязи между вегетационным индексом и годичными кольцами в начале или конце периода вегетации может свидетельствовать о том, что ранняя весна или поздняя осень менее важны для физиологического статуса деревьев.

Р. Д'Арриго и др. (D'Arrigo et al., 2000) проанализировали корреляцию между максимальной плотностью поздней древесины годичных колец деревьев и продуктивностью лесов, рассчитанной на основе NDVI. Образцы ели сизой (*Picea glauca*) были отобраны в двух местах на Аляске (Силвертрин в горах Ранглер — Святой Илья и около Фербэнкса в Центральной Аляске) и лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii*) на Таймыре (Россия). Данные NDVI были получены со спутников NOAA, а чистая первичная продуктивность была рассчитана на основе модели CASA. В результате авторы выявили значимую положительную корреляцию между максимальной плотностью поздней древесины и чистой первичной продуктивностью, рассчитанной на основе NDVI на площадках, где температура является главным лимитирующим фактором роста. Авторы замечают, что Малмстром и др. (Malmstrom et al.,1997) до этого показывали потенциал использования ширины годичных колец для сравнения с чистой первичной продуктивностью, рассчитанной на основе NDVI. При этом Малмстром и др. (Malmstrom et al., 1997) использовали в качестве объекта исследования леса из березы и ели, которые представляли относительно большие фракции ячеек сетки. Корреляция, которую выявили Д'Арриго и др. (D'Arrigo et al., 2000), с максимальной плотностью поздней древесины ели сизой и лиственницы Гмелина проявилась даже на тех площадках, где исследуемые породы представляют относительно небольшие доли региональной растительности. Д'Арриго и др. (D'Arrigo et al., 2000) предполагают, что годичные кольца деревьев одного вида могут использоваться для характеристики региональной продуктивности растительности в целом, если ширина (или плотность) колец и региональная продуктивность лимитированы одним и тем же природным фактором. Поэтому, например, максимальная плотность поздней древесины в северных хвойниках может выступать в качестве

приблизительного индекса продуктивности или роста крон, поскольку здесь и продуктивность, и плотность колец лимитируются температурой. На Таймыре, например, где расположены самые северные деревья на Земле, вся растительность чувствительна к колебаниям температуры. Поэтому, несмотря на то что лиственница покрывает здесь только 10% ячейки сетки, максимальная плотность поздней древесины лиственницы синхронизирована с динамикой роста других видов растительности в регионе.

В регионах, где факторы, лимитирующие прирост разных пород, различаются, соотношение между шириной колец или максимальной плотностью поздней древесины, с одной стороны, и чистой первичной продуктивностью, рассчитанной на основе NDVI, с другой, может иметь разное объяснение. Так, например, в Центральном Фербэнксе корреляция может вырасти, если изменения максимальной плотности поздней древесины ели, отражающие летную температуру, происходят параллельно с изменениями роста кодоминантных видов, таких как береза японская, которые вносят существенный вклад в изменчивость полога.

Таким образом, существует тесная взаимосвязь между параметрами годичных колец и значениями вегетационных индексов, полученных по космическим снимкам. В некоторых случаях дендрохронология позволяет реконструировать вегетационные индексы за несколько столетий. Интересно, что все исследователи используют данные с космических аппаратов NOAA, однако в настоящее время существуют и другие съемочные системы, обладающие лучшим пространственным разрешением. Скорее всего, это связано с тем, что данные со спутников NOAA имеют самый большой временной охват.

Глава 4. Возможности продления древесно-кольцевых хронологий в Центральном регионе России

О.Н. Соломина, В.В. Мацковский, Д.Е. Румянцев

Методические аспекты продления хронологий на ЕТР

Так как год формирования последнего годичного кольца в живом дереве известен, можно определить год образования и остальных годичных колец этого дерева, а затем продлить непрерывную древесно-кольцевую хронологию в прошлое с помощью перекрестного датирования годичных колец из отмерших и спиленных деревьев, из деревянных элементов конструкций и погребенной древесины. Таким способом в разных регионах мира построены хронологии продолжительностью в несколько тысячелетий (см., например, Pilcher, 1976; Becker, 1979; Spurk et al., 1998; Friedrich et al., 1999; Wazny, 2001; Nicolussi et al., 2009).

«Археологические» ДКХ Центрального региона России в настоящее время представляют собой, как правило, локальные шкалы, которые заканчиваются в позднем Средневековье и не соединяются с хронологиями, построенными на основе живых деревьев (Черных, 1996; Карпухин, 2009). Наши исследования создали предпосылки для связи некоторых «археологических» хронологий с точно датированными хронологиями живых деревьев для центра Восточно-Европейской равнины.

Важнейшим условием создания сводных хронологий является большой массив данных, полученных как по живым деревьям, так и по исторической древесине, поскольку в обоих массивах могут быть представлены деревья из разных местообитаний, отражающие разные климатические сигналы. Такие образцы, даже происходящие из одного района, датируются по группам или вовсе не подаются перекрестному датированию. Для составления сводных шкал часто используют древесину хвойных без разделения на породы. Отчасти это связано с ограниченным количеством материала, отчасти — с трудоемким процессом определения древесины до вида. В нашем случае речь идет о различии между елью и сосной, которые

составляют основной массив строительного материала из раскопов и из старых строений в центральных районах ЕТР. Хотя сосна и ель хорошо различаются на радиальном срезе по анатомическому строению (рис. 4.4.1), при массовой обработке образцов определение до вида существенно усложняет работу. Обычно разделение по видам проводят при датировании эксклюзивных объектов, таких, например, как иконы (Matskovsky et al., 2016) или особо важные археологические и культурные памятники (Карпухин, 2009).

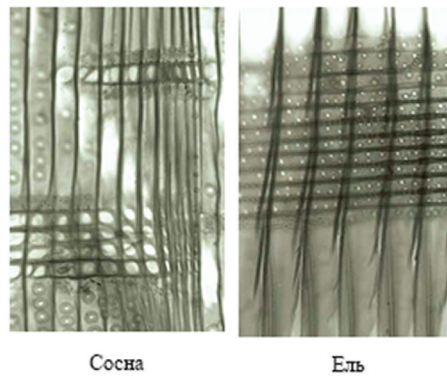


Рис. 4.4.1. Анатомическое строение сосны и ели на радиальном срезе
Fig. 4.4.1. Anatomical structure of pine and spruce on a radial cut

В этой работе для продления хронологий по живым деревьям мы использовали хвойные (сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*) и ель европейская (*Picea abies (L.)) Karst.*) без разделения на виды. Однако предварительно мы оценили возможности взаимного перекрестного датирования исторической древесины сосны и ели из разных местообитаний на европейской территории России на основе анализа живых деревьев. Это необходимая предпосылка для создания сверхдлинных хронологий и точного датирования археологического материала. В рамках этой задачи необходимо было выявить реперные годы (годы локальных минимумов прироста), оценить их группировку по отдельным регионам и сравнить динамику радиального прироста с метеорологическими параметрами, то есть определить принципиальные возможности перекрестного датирования сосны и ели из разных местообитаний в условиях отсутствия одного ярко выраженного лимитирующего фактора.

Согласованность приростов на ЕТР в пространстве

Для оценки возможности перекрестного датирования деревьев из различных регионов ЕТР и различных местообитаний мы рассмотрели изменчивость индексов радиального прироста сосны и ели на пробных площадях, расположенных в европейской части России в пределах 42°–52° с. ш. и 23°–43° в. д. за 1945–1999 гг. и ее согласованность во времени и пространстве.

На рис. 4.4.2 и в табл. 4.4.1 приводится информация о положении пробных площадей, использованных для анализа. Пробные площади закладывались в разных типах леса. Данные о числе деревьев, использованных для построения каждой из обобщенных хронологий, приведены в табл. 4.4.1. Всего анализ основывается на данных, полученных на материале 808 учетных деревьев.

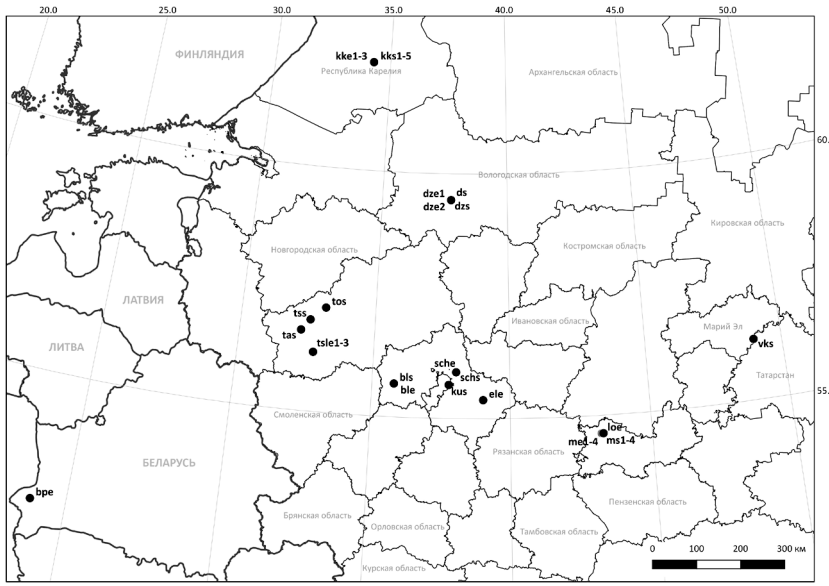


Рис. 4.4.2. Положение пробных площадей, использованных в этой работе (см. также табл. 4.4.1)

Figure 4.4.2. The position of the sample plots used in this work (see also tab. 4.4.1)

Таблица 4.4.1. Пробные площади, использованные в этой работе. Код хронологии включает в себя начальные буквы названия пробной площади; последняя буква означает s — сосна, e — ель
Table 4.4.1. List of samples used in this work. Code chronology includes the initial letters of the name of the sample area; the last letter denotes s — pine, e — spruce

Название пробной площади	**Аббревиатура**	**N**	**E**	**Тип леса**	**Число деревьев**
Заповедник «Кивач», Южная Карелия	kks1	62,2116	34,2635	Сосняк лишайниковый на скалах	46
Заповедник «Кивач», Южная Карелия	kks2	62,2116	34,2635	Сосняк сфагновый на берегу озера	20
Заповедник «Кивач», Южная Карелия	kks3	62,2116	34,2635	Сосняк черничный	23
Заповедник «Кивач», Южная Карелия	kks4	62,2116	34,2635	Сосняк сфагновый на верховом болоте	36
Заповедник «Кивач», Южная Карелия	kks5	62,2116	34,2635	Сосняк зеленомошный	48
Дарвинский заповедник, Вологодская обл.	dzs	59,4667	37,7500	Сосняк зеленомошный	15
Дарвинский 19, Вологодская обл.	ds	59,4667	37,7500	Сосняк зеленомошный	15
г. Осташков, Тверская область	tos	57,1399	33,1252	Сосняк зеленомошный	15
оз. Соблаго, Тверская область	tss	56,8715	32,5844	Сосняк зеленомошный	15

г. Андреаполь, Тверская обл.	tas	56,6486	32,2681	Сосняк зеленомошный	15
Волжско-Камский заповедник	vks	56,2333	48,9833	Сосняк зеленомошный	36
Кузьминки, Москва	kus	55,6897	37,7849	Сосняк зеленомошный	27
Щелковский учебно-опытный лесхоз, Московская обл.	schs	55,9500	38,0500	Сосняк зеленомошный	23
Бородинский лесхоз, Можайский район, Московская обл.	bls	55,6833	35,8000	Сосняк зеленомошный	66
Мордовский заповедник	ms1	54,6316	43,2168	Сосняк сфагновый	9
Мордовский заповедник	ms2	54,6316	43,2168	Сосняк беломошник	20
Мордовский заповедник	ms3	54,6316	43,2168	Сосняк ландышевый	28
Мордовский заповедник	ms4	54,6316	43,2168	Сосняк черничный	15
Заповедник «Кивач», Южная Карелия	kke1	62,2116	34,2635	Ельник зеленомошный	89
Заповедник «Кивач», Южная Карелия	kke2	62,2116	34,2635	Ельник на низовом (родниковом) болоте	13
Заповедник «Кивач», Южная Карелия	kke3	62,2116	34,2635	Ельник на верховом болоте	10
Дарвинский заповедник	dze1	59,4667	37,7500	Ельник зеленомошный	14
Дарвинский заповедник	dze2	59,4667	37,7500	Ельник зеленомошный	16

Продолжение табл. 4.4.1

Название пробной площади	Аббревиатура	N	E	Тип леса	Число деревьев
Центрально-Лесной заповедник	tsle1	56,2167	32,7833	Ельник зеленомошный	15
Центрально-Лесной заповедник	tsle2	56,2167	32,7833	Ельник сфагновый	15
Центрально-Лесной заповедник	tsle3	56,2167	32,7833	Ельник лещиновый	15
Егорьевский лесхоз, Московская обл.	ele	55,3833	39,0333	Ельник зеленомошный	30
Щелковский учебно-опытный лесхоз, Московская обл.	sche	55,9500	38,0500	Ельник зеленомошный	11
Бородинский лесхоз, Можайский район, Московская обл.	ble	55,6833	35,8000	Ельник зеленомошный	12
НП «Лосиный остров»	loe	54,6333	43,2167	Ельник зеленомошный	20
Мордовский заповедник	me1	54,6333	43,2333	Сосняк ландышевый	14
Мордовский заповедник	me2	54,6333	43,2500	Ельник черничный	10
Мордовский заповедник	me3	54,6333	43,2667	Ельник черничный	15
Мордовский заповедник	me4	54,6333	43,2833	Сосняк ландышевый	15
НП «Беловежская пуща»	bpe	52,4000	23,8167	Ельник зеленомошный	22

Таблица 4.4.2. Значения коэффициентов корреляции между хронологиями сосны. Коды хронологий приведены в табл. 4.4.1

Table. 4.4.2. Correlation coefficients between pine chronologies. Codes of the chronologies are given in table 4.4.1

Код	kks1	kks2	kks3	kks4	kks5	dzs	ds	tos	tss	tas	vks	kus	sche	bls	ms1	ms2	ms3	ms4
kks1	1																	
kks2	0,4	1																
kks3	0,6	0,1	1															
kks4	0,5	0,1	0,5	1														
kks5	0,6	0,3	0,8	0,6	1													
dzs	–0	–0	–0	–0	–0	1												
ds	0,4	0,3	0,5	0,2	0,6	0	1											
tos	0,3	0,3	0,3	0,1	0,5	0,1	0,6	1										
tss	0,2	0,1	0,2	0	0,3	0,2	0,4	0,7	1									
tas	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	1								
vks	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	–0	–0	–0	–0	–0	1							
kus	–0	0,2	0,1	–0	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	–0	1						
sche	0,3	0,2	0,2	0	0,3	0,1	0,1	0,4	0,4	0,4	0,1	0,3	1					
bls	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	–0	–0	0,4	0,1	0,4	0,2	0,2	0,3	1				
ms1	0	–0	0,2	0,4	0,3	–0	0,2	0,1	–0	0	0,1	–0	0	0,2	1			
ms2	0,1	0,1	–0	0	0,1	0,3	0,1	0,2	0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	1		
ms3	0,1	0,1	–0	0	0,1	0,5	0,2	0,3	0,2	0,2	0	0,3	0,3	0,2	0,2	0,8	1	
ms4	0,1	–0	–0	–0	0	0,2	–0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,2	0,9	0,8	1

Таблица 4.4.3. Значения коэффициентов корреляции между хронологиями ели.
Коды хронологий приведены в табл. 4.4.1
Table 4.4.3. Correlation coefficients between spruce chronologies.
Codes of the chronologies are given in table 4.4.1

Код	kke1	kke2	kke3	dze1	dze2	tsle1	tsle2	tsle3	ele	schs	ble	loe	me1	me2	me3	me4	bpe
kke1	1																
kke2	0,6	1															
kke3	0,6	0,3	1														
dze1	0,4	0,3	0	1													
dze2	0,4	0,4	0,1	0,7	1												
tsle1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	1											
tsle2	–0,1	–0,2	–0,1	0,1	0,1	0,5	1										
tsle3	–0	0	–0,1	0,2	0,2	0,7	0,7	1									
ele	0,3	0,3	0	0,1	0,3	0,4	0,1	0,2	1								
schs	0,2	0,2	–0,1	0	0,1	0,4	0,2	0,4	0,5	1							
ble	0,2	0,1	–0,1	0,1	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	0,6	1						
loe	0,3	0,2	–0	0	0,2	0,5	0,2	0,4	0,6	0,8	0,6	1					
me1	0,1	0,2	0	0	0,2	0,1	–0,3	–0,1	0,3	0	0,1	0,1	1				
me2	0,4	0,4	0,2	0,3	0,5	0,1	–0,1	0	0,6	0,3	0,3	0,5	0,5	1			
me3	0,4	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	–0,2	–0,1	0,6	0,4	0,2	0,4	0,4	0,7	1		
me4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	–0,1	0,2	0,4	0,2	0,3	0,4	0,7	0,5	0,5	1	
bpe	–0,3	–0,1	–0,1	–0,1	0	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	–0,1	–0,1	–0,2	–0,1	1

На основе анализа табл. 4.4.2 и 4.4.3 можно установить, что наиболее тесная связь между хронологиями существует для хронологий одного вида, полученных из сходных условий произрастания, расположенных внутри одного региона (Карелия, Тверская область, Мордовия). Например, хронологии сосны зеленомошной группы типов леса из наиболее северной точки (заповедник «Кивач», Южная Карелия) и наиболее южной точки (Мордовский заповедник, Мордовия) демонстрируют полное отсутствие связи (коэффициент корреляции r = 0,03). Хронологии сосны из зеленомошной группы типов леса наиболее западной точки (Тверская область) демонстрируют отсутствие связи в колебаниях прироста либо слабую отрицательную связь с колебаниями прироста хронологии сосны из зеленомошной группы типов леса в крайней восточной точке (Волжско-Камский заповедник, Республика Татарстан) (r меняется от –0,07 до –0,37).

В то же время для аналогичных хронологий ели зеленомошной группы типов леса этот показатель поднимается до r = 0,40–0,43, а корреляция между хронологиями из Мордовии и Южной Карелии даже выше, чем для промежуточных по широте точек (Тверская область, Московская область). Так, для хронологии из зеленомошных ельников заповедника «Кивач» и зеленомошных ельников из Центрально-Лесного заповедника он равен 0,13; для хронологии из зеленомошных ельников заповедника «Кивач» и зеленомошных ельников Подмосковья он меняется от 0,15 до 0,29; между колебаниями индексов прироста в зеленомошных ельниках заповедника «Кивач» и ельниках национального парка «Беловежская пуща» (Республика Беларусь) наблюдается отрицательная связь (r = –0,34).

Важно подчеркнуть значимость такого фактора, как тип условий произрастания. Например, в условиях Мордовского заповедника корреляция между хронологиями из сосняка беломошного, сосняка ландышевого и сосняка черничного меняется в пределах 0,80–0,86. В то же время корреляция этих хронологий с хронологией из сосняка сфагнового составляет 0,17–0,29. В условиях заповедника «Кивач» коэффициент корреляции между хронологией сосны из зеленомошного типа леса и хронологией сосны из беломошного типа леса составляет 0,59, а для хронологии из сосняков зеленомошных и сосняков сфагновых этот показатель равен 0,13. Таким образом, в разных частях ареала сфагновый тип условий

произрастания характеризуется более специфичным характером изменчивости прироста, чем иные типы условий произрастания сосновых лесов.

Для хронологий ели из Центрально-Лесного заповедника не наблюдается столь резкой дифференциации тесноты корреляционной связи по типам условий произрастания: корреляция между хронологиями из ельника сложного и ельника зеленомошного составляет 0,68, но при этом данные хронологии довольно тесно коррелируют с хронологией из ельника сфагнового ($r = 0,66$ и $r = 0,54$, соответственно). Сходные по характеру связи наблюдаются в условиях Южной Карелии; здесь коэффициент корреляции между хронологией ели из ельника зеленомошного и ельника сфагнового составляет 0,55, а между хронологией ели из ельника зеленомошного и ельника на низовом болоте — 0,63. Таким образом, на основе имеющихся данных можно констатировать большую специфичность изменчивости прироста в сфагновых сосняках по сравнению со сфагновыми ельниками.

Хронологии из разных частей одного региона имеют между собой высокий уровень сопряженности в колебаниях индексов радиального прироста. Так, хронологии сосны из зеленомошных сосняков разных частей Тверской области (г. Андреаполь, г. Осташков, окрестности оз. Соблаго) имеют довольно тесно сопряженные колебания индексов прироста ($r = 0,56 \div 0,68$). Хронологии ели из разных районов Подмосковья дают между собой коэффициенты корреляции, меняющиеся примерно в тех же пределах: так, минимальный из имеющихся в таблице коэффициентов дают хронологии из зеленомошных ельников Егорьевского района (Восточное Подмосковье) и зеленомошных ельников Можайского района (Западное Подмосковье) ($r = 0,48$); тесная связь наблюдается между колебаниями прироста в ельниках Щелковского учебно-опытного лесхоза и ельниках национального парка «Лосиный остров» ($r = 0,81$).

Разные породы из одного региона в сходных условиях произрастания зачастую демонстрируют низкий уровень сходства в кратковременной изменчивости прироста. Так коэффициент корреляции между хронологиями сосны и ели из зеленомошной группы типов леса составляет 0,05, то есть связь между показателями отсутствует. Однако в сфагновом типе леса заповедника «Кивач» уровень сопряженности в колебаниях прироста у сосны и ели существенно

выше (r = 0,40). В условиях Дарвинского заповедника корреляция между хронологиями сосны и ели из зеленомошной группы типов леса меняется в пределах 0,33–0,54. В условиях Мордовского заповедника сосна и ель в зеленомошной группе типов леса демонстрируют такой же уровень сходства в колебаниях прироста (r = 0,50).

Для хронологий ели зеленомошных ельников Подмосковья сопряженность, сопоставимую по тесноте связи с внурирегиональной, демонстрируют хронологии из Тверской области (r = 0,35–0,55). Исключение составляют хронологии ели из зеленомошных ельников Егорьевского района Подмосковья. Для них обнаружена относительно высокая теснота связи с хронологиями ели из зеленомошных ельников Мордовского заповедника (r = 0,60–0,62).

Для хронологий сосны уровень обнаруженной в Подмосковье внурирегиональной тесноты связи низкий (r = 0,17–0,31). Наиболее тесная связь подмосковных хронологий прослеживается с хронологиями из Тверской области (r = 0,15–0,44).

Традиционно для процедуры перекрестной датировки хронологий используется не коэффициент корреляции, а коэффициент синхронности, который показывает сходство в тенденции межгодовой изменчивости ширины колец (Битвинскас, 1974). Его результаты приведены в табл. 4.4.4.

Таблица 4.4.4. Значения коэффициентов синхронности между хронологиями. Коды хронологий приведены в табл. 4.4.1
Table 4.4.4. Coefficients of synchronicity between sites. Codes of the chronologies are given in table. 4.4.1

	loe	**ele**	**schs**	**sche**	**kus**	**bls**	**ble**
ms1	43	52	62	52	52	62	57
ms2	57	67	86	57	67	76	71
ms3	67	76	95	62	67	76	71
ms3	48	48	67	38	38	48	52
ms4	71	81	81	71	62	81	76
me2	86	71	71	67	62	62	86
me3	71	67	48	71	48	57	67
me4	76	71	52	62	57	52	76

Продолжение табл. 4.4.4

	loe	ele	schs	sche	kus	bls	ble
vks	48	43	43	57	52	43	43
kke1	67	71	57	67	62	48	81
kke2	67	52	43	52	62	43	67
kke3	52	48	57	43	48	48	62
kks1	62	62	62	62	71	52	67
kks2	57	48	48	62	57	57	52
kks3	67	62	52	71	71	62	62
kks4	52	48	57	62	57	67	52
kks5	71	57	57	62	76	57	62
bpe	81	71	62	76	81	62	76
tas	71	81	71	71	76	71	86
tss	76	81	81	71	86	71	76
tos	76	90	76	81	76	76	81
tsle	71	71	52	76	62	67	81
tsle2	67	67	48	76	67	67	76
tsle3	67	67	67	71	76	62	81
dze-1	57	62	52	62	71	43	71
dze-2	57	62	52	62	71	43	71
dzs	76	71	62	67	62	43	81
ds	52	57	48	48	67	38	57
loe	100	81	71	76	81	62	86
ele	81	100	81	86	71	71	90
schs	71	81	100	67	71	71	76
sche	76	86	67	100	71	81	86
kus	81	71	71	71	100	62	76
bls	62	71	71	81	62	100	67
ble	86	90	76	86	76	67	100

На основе данных таблицы 4.4.4 можно констатировать, что хорошую синхронность с хронологиями сосны из группы зеленомошных сосняков подмосковного региона демонстрируют хронологии из Тверской области (71–86%). В пределах Подмосковья наблюдается приблизительно такой же уровень синхронности между хронологиями сосны из разных районов (62–71%). Как ни странно, хронологии из Подмосковья в некоторых случаях демонстрируют высокий уровень синхронности с хронологиями из Мордовии: например, коэффициент синхронности между хронологией сосны из зеленомошных сосняков Щелковского учебно-опытного лесхоза и хронологией сосны из ландышевых сосняков Мордовского заповедника равен 95%, хронология из Бородинского лесхоза имеет высокую синхронность с хронологией сосны из сосняка черничного Мордовского заповедника. В целом невелико сходство между московскими хронологиями и хронологиями из Дарвинского заповедника (38–67%) и заповедника «Кивач» (48–76%), а также из Волжско-Камского заповедника (43–52%).

В пределах одного региона синхронность между хронологиями из разных типов леса ненамного выше, чем между хронологиями из разных регионов. Так, синхронность хронологии сосняка сфагнового из Мордовии с хронологиями сосны из беломошного ландышевого и черничного составляет 67–71%. В то же время синхронность между данной хронологией и хронологиями сфагновых сосняков Карелии равна 52–67%. Минимальные для региона значения коэффициента синхронности демонстрируют следующие пары хронологий: в Карелии это сосняк черничный, сосняк лишайниковый, сосняк сфагновый на берегу озера из заповедника «Кивач» (все хронологии имеют между собой коэффициент синхронности 57%); в Мордовии это сосняк сфагновый, сосняк ландышевый и сосняк беломошный (все хронологии имеют между собой коэффициент синхронности 67%).

Подмосковные хронологии ели, так же как и хронологии сосны, демонстрируют высокий уровень сходства с хронологиями из Тверской области (67–81%). Однако для ели, в отличие от сосны, уровень синхронности между подмосковными хронологиями и хронологиями из более отдаленных регионов также высок. Так, для хронологий ели из Дарвинского заповедника он находится в интервале 57–71%, для хронологий ели из Мордовского заповедника он

равен 62–86%, для хронологий ели из «Беловежской пущи» он расположен в пределах 71–81%. В пределах зеленомошной группы типов леса он высок между подмосковными хронологиями и хронологиями ели из заповедника «Кивач» (67–81%).

Таким образом, хронологии ели в региональном аспекте демонстрируют большее единообразие по параметру синхронности, чем хронологии сосны. По-видимому, это следует связывать с более широким эдафическим ареалом сосны, еловые леса разных регионов в этом отношении более единообразны.

Между собой подмосковные хронологии ели демонстрируют более высокий уровень синхронности, чем хронологии сосны (76–90%). Между хронологиями сосны и хронологиями ели из Подмосковья наблюдается высокий уровень синхронности, сопоставимый с максимальным уровнем межрегиональной синхронности хронологий сосны (Московская обл. — Тверская обл.). Так синхронность между хронологией сосны из лесопарка «Кузьминки» и хронологией ели из национального парка Лосиный остров составляет 81%, такое же значение она имеет для хронологии сосны из Щелковского лесхоза и хронологии ели из Егорьевского лесхоза. В остальных представленных в табл. 4.4.4 случаях синхронность между подмосковными хронологиями сосны и ели колеблется в пределах 62–76%.

Высокий уровень синхронности между подмосковными хронологиями ели и сосны дает возможность исследовать сходство и различия в динамике приростов хвойных на основе сводных видовых хронологий. Эти хронологии оказались сходны, что видно на рис. 4.3.3; коэффициент корреляции между ними составляет 0,56. Большинство реперных годов у этих двух хронологий совпадает. В частности, наиболее сильные угнетения отмечались в 1956, 1969, 1980, 1992, 1996, 1999 гг. Эти годы могут служить важными реперами для процедуры перекрестного датирования хронологий. Сходство динамики прироста сосны и ели в Московском регионе означает, что радиальный прирост этих пород здесь в большой степени определяется одним и тем же набором внешних факторов. Важным для нас следствием является возможность использовать весь массив образцов хвойных, встречающихся в археологических раскопках без разделения его на два отдельных для сосны и для ели.

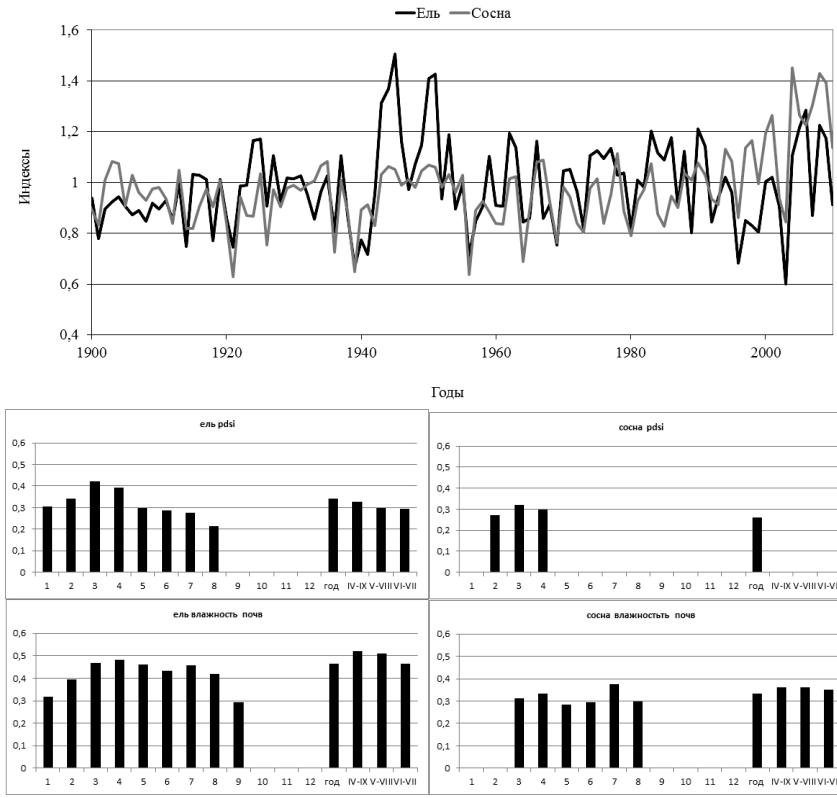


Рис. 4.4.3. Сводные хронологии сосны и ели для Московского региона (а) и их климатический сигнал (б). В хронологию сосны включены три площадки, в хронологию ели — четыре

Fig. 4.4.3. Chronology of pine and spruce for the Moscow region (a) and their climatic signal (b). The chronology of pine includes three sites, the spruce chronology includes four sites

Приведенные данные свидетельствуют о том, что оценка сходства хронологий на основе значений коэффициента корреляции может служить базовым приемом для установления региональной и внутрирегиональной специфики в изменчивости прироста. Это имеет практический выход в возможности идентификации региона происхождения древесины на основе корреляционных связей. Если же мы имеем в виду задачу построения

сверхдолгосрочной хронологии, то для установления сходства между хронологиями в процессе перекрестной датировки использование коэффициента корреляции будет иметь ряд ограничений. Выявленные в ходе анализа закономерности изменчивости показателя синхронности хронологий дают основания видеть перспективы в продолжении исследований. Вероятно, что при использовании показателя синхронности в качестве меры сходства хронологий при построении сверхдолгосрочных дендрошкал в центральной части ЕТР можно добиться взаимозаменяемости материала по разным породам.

Карты корреляции хронологий

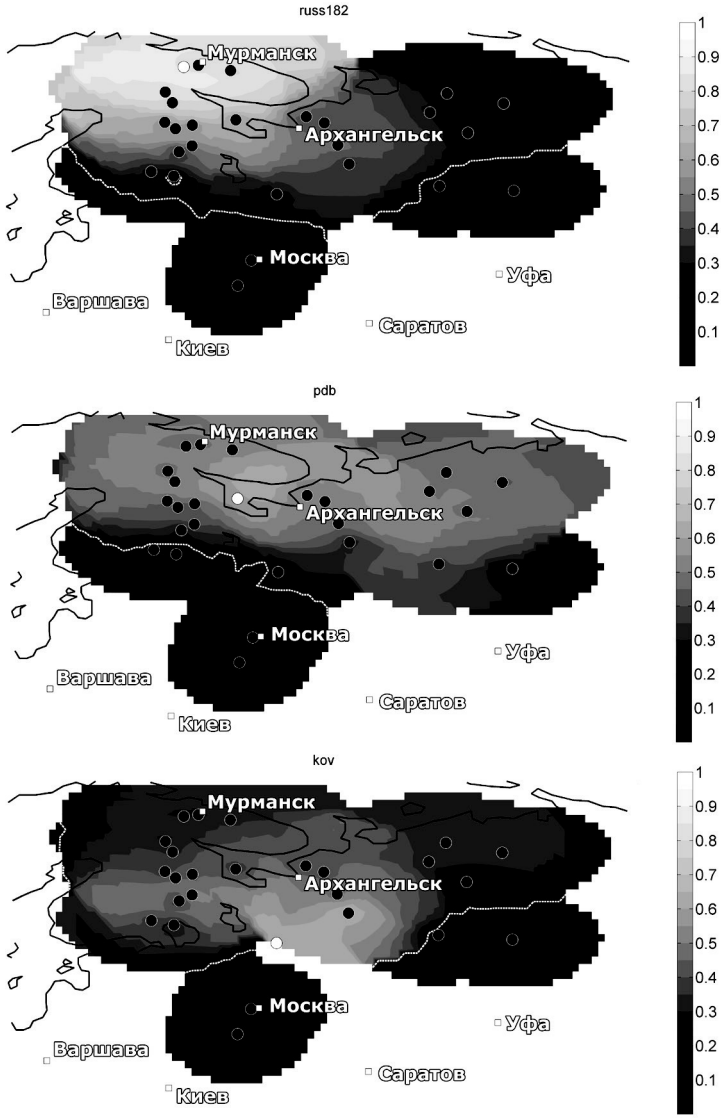
Вопрос о сопряженности динамики годичного прироста на расстоянии интересен, прежде всего, с точки зрения дендрохронологического датирования. При проведении датировок желательно знать, из каких регионов можно использовать эталонные дендрошкалы. Мы рассчитали пространственные корреляции каждой хронологии по живым деревьям с полем древесно-кольцевых данных, построенным на основе остальных хронологий для этого же рода деревьев.

На рис. 4.4.4 для примера приведено несколько таких карт для хронологий по сосне. Видно, что чем южнее расположена хронология, тем меньше радиус значимых корреляций с полем остальных хронологий и ниже значения этих корреляций. Та же тенденция прослеживается для ели и лиственницы. Это объясняется тем, что в северных районах основным лимитирующим фактором для роста деревьев является температура, а корреляции температур сохраняются высокими на больших расстояниях. Полный набор карт опубликован в монографии (Мацковский, 2013).

На рис. 4.4.5 приведены графики изменения средних корреляций с расстоянием для сосны, ели и лиственницы. В среднем у ели самые высокие корреляции для каждого расстояния между хронологиями, у сосны — самые низкие. Корреляции становятся незначимыми для сосны и ели на расстоянии около 940 км, у лиственницы — около 740 км.

На карте для Соловецкой хронологии PDB видно, что наибольшая корреляция с полем древесно-кольцевых данных приходится

на район Белого моря, где осредняются индексы хронологий из Архангельской области и с Кольского полуострова. Это говорит о том, что поле древесно-кольцевых данных адекватно отражает пространственную изменчивость отдельных хронологий.



Окончание рис. 4.4.4. на стр. 264

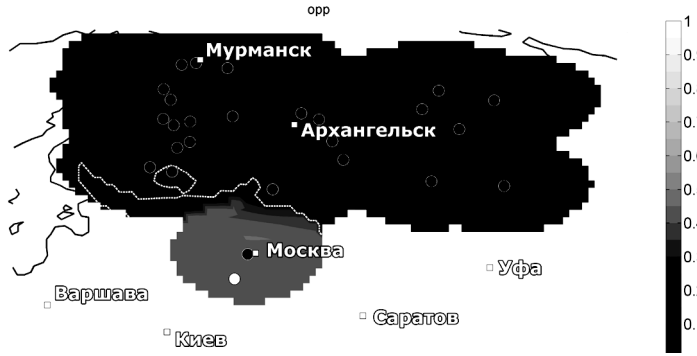


Рис. 4.4.4. Карты пространственных корреляций хронологий сосны (сверху вниз: russ182, pdb, kov, opp). Заливкой обозначены коэффициенты корреляции. Белый круг — хронология, для которой рассчитаны корреляции, черные круги — хронологии, по которым построено поле древесно-кольцевых данных. Белая пунктирная линия обозначает границу значимых корреляций (p = 0,05) (Мацковский, 2011)

Fig. 4.4.4. Maps of the spatial correlations of the chronologies of pine (from top to bottom: russ182, pdb, kov, opp). White circle — the chronology for which the correlation is calculated, black circles — chronologies used to build in the correlation field. White dotted line marks the boundary of significant correlations (p = 0.05) (Matskovsky, 2011)

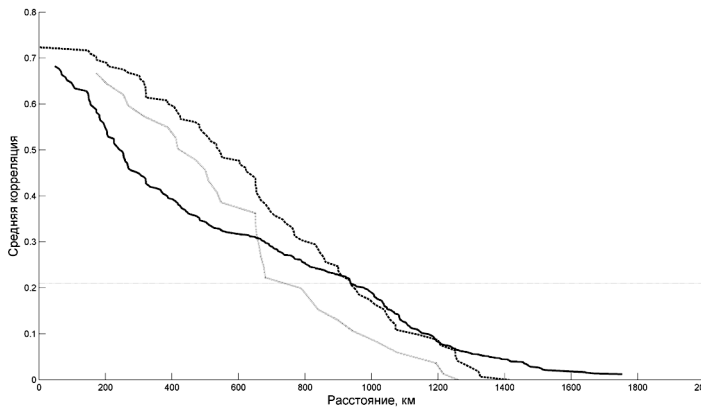


Рис. 4.4.5. Зависимость средних корреляций между хронологиями сосны (черная сплошная), ели (черная пунктирная) и лиственницы (серая) от расстояния. Период 1901–1990 гг. Горизонтальной линией показана граница значимых корреляций (p = 0,05)

Fig. 4.4.5. The dependence of the average correlations between the chronologies of pine (black solid), fir (dotted black) and larch (grey) from a distance (for 1901–1990). The horizontal line shows the border of significant correlations (p = 0.05)

Массив дендрохронологических данных «исторической древесины». Плавающие шкалы

Как было замечено выше, основой построения сверхдлинных ДКХ являются хронологии живых деревьев с известным годом образования последнего кольца. Продолжительность жизни деревьев хвойных пород в Центральном регионе невелика и редко превосходит столетие. Антропогенная нагрузка делает вероятность находки старых деревьев очень низкой. Места, где нами были обнаружены деревья старше 250 лет, единичны (см. часть 3 глава 1). Это сосновый лес вблизи монастыря Оптина Пустынь в Калужской области, сосны на валах древнего городища поблизости от церкви на Городке в Звенигороде, ели в заповеднике «Кологривский лес» в Костромской области, сосны в Волжско-Камском заповеднике в Татарстане, дубы в заказнике Белогорье и некоторые другие. Многие деревья, составившие эти хронологии, были здоровыми, без сердцевинной гнили. Это говорит о том, что возраст деревьев в наших лесах ограничен главным образом из-за вмешательства человека и потенциально гораздо выше (250 и более лет), чем обычно считается (100–150 лет). Длина большинства остальных ДКХ хвойных и дуба из Московской, Владимирской и Тверской и Ярославской областей не превышает 140–150 лет. В этой работе мы сознательно сосредоточили наши усилия на отборе образцов хвойных, так как именно древесина этих пород являлась основным строительным материалом на протяжении веков и может быть использована для продления хронологий, построенных по живым деревьям.

Описание пробных площадей, с которых были отобраны образцы живых деревьев, приведено в табл. 3.1.1 части 3, главы 1, их расположение отмечено на рис. 3.1.1 той же главы. Также нами были отобраны образцы (керны и спилы) из более чем 50 археологических и архитектурных объектов в Москве и Московской, Тверской, Владимирской, Ярославской, Калужской, Курской, Смоленской и других областях (см. табл. 4.4.5 и рис. 4.4.6). Часть материала получена от археологов (Г. Н. Пронин, Б. Е. Янишевский, Н. А. Кренке, А. А. Карпухин, И. В. Болдин, Г. А. Массалитина, И. Н. Ершов, А. Н. Смирнов) (см. Приложение 6).

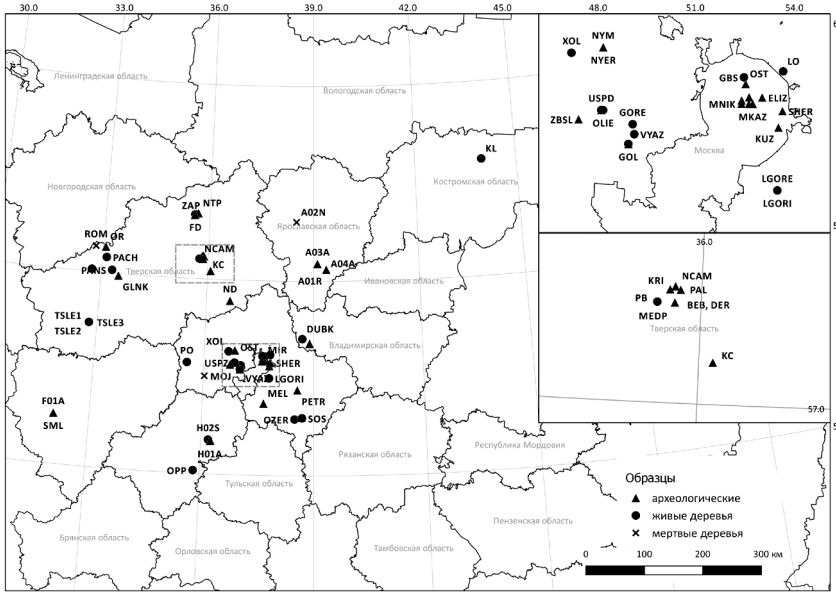


Рис. 4.4.6. Карта мест отбора дендрохронологических образцов археологической и архитектурной древесины (составлена И. С. Бушуевой)

Fig. 4.4.6. Map of locations of tree-ring sites of archaeological and architectural wood (composed by I. S. Bushueva)

Наиболее детальные полевые работы проводились в музее-усадьбе Большие Вяземы, где мы участвовали в раскопках дворца Бориса Годунова (начало XVII в.). В результате проведенных раскопок на месте конного двора усадьбы Голицыных совместно с ИА РАН и сотрудниками музея-усадьбы Вяземы было обнаружено несколько элементов деревянных конструкций, которые, однако, были сделаны из лиственных пород небольшого возраста и для дендрохронологического датирования оказались непригодными. Также был проведен отбор образцов из основного здания и флигелей усадебного дома Голицыных (конец XVIII в.) и из строений начала XX в. (см. Приложение 6).

Таблица 4.4.5. Список образцов (археологическая и архитектурная древесина)
Table 4.4.5. List of samples (archaeological and architectural wood)

Площадка	Расположение	N	E	Кол-во и вид образцов	Порода	Древесина живая / архитектурная / археологическая	Длина лет	Датировка по независимым источникам	Датировка по дендрохронологии	Базовая хронология, использованная для датировки
МОСКВА										
ELIZ	Загородный дом Елизаветы Петровны, правый деревянный флигель, чердак, Москва, ул. Гастелло, д. 44, стр. 1	55,78	37,70	14, керны	хвойные	архитект.	113	1730-е, 1740-е, 1760-е, XIX в.	н. д.	н. д.
OST	Храм Живоначальной Троицы в Останкино, Москва, 1-я Останкинская ул., д. 7, корп. 2	55,82	37,61	10, керны	хвойные	архитект.	102	Построен в 1667, реставрирован 1875	н. д.	н. д.
MIR	Дом Свечиной, Циммерман, Могунова, Москва, проспект Мира, д. 25, стр. 1	55,78	37,63	12, керны	хвойные	архитект.	127	Начало XIX в., перестройка 1902 г.	н. д.	н. д.
STRP	Старопанский пер., д. 3, Носовское подворье	55,76	37,63	10, керны	хвойные	архитект.	142	1853–1854	н. д.	н. д.
BSAD	Военный университет с домовой церковью во имя Александра Невского, Москва, Б. Садовая, д. 1, стр. 6	55,77	37,59	12, керны	хвойные	архитект.	220	1860-е	1670–1889	VOL

Продолжение табл. 4.4.5

MKAZ	Деревянная пристройка к больнице доктора Гааза, Москва, Малый Казенный пер., д. 5	55,76	37,65	13, керны и спилы	хвойные	архитект.	187	конец XVIII — нач. XIX в.	н. д.	н. д.
KUZ	Москва, усадьба Кузьминки, дача сенатора Полуденского	55,69	37,79	4 керна, 9 спилов	хвойные	археол.	125	1832–1834	1717–1834	PETR, SOSP
SHER	Москва, Кусково, Шереметевский дворец	55,74	37,81	10 кернов, 1 спил	хвойные	археол.	88	середина — вторая половина XVIII в.	н. д.	н. д.
GBS	Главный ботанический сад	55,84	37,60	30 кернов	дуб	живые	173	2004	1832–2004	современные
MNIK	Москва, городская усадьба на Малой Никитской	55,76	37,59	5 кернов, 1 спил	хвойные	архитект.			н. д.	н. д.
LO	Лосиный Остров	55,86	37,81	10 кернов	ель	живые	127	2001	1875–2001	современные
МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ										
XOL	Гидрорежимная станция «Малая Истра», Геоцентр Москва, д. Холщевики, Истринский р-н, Московская обл.	55,90	36,67	14 кернов 8 деревьев	ель	живые		2010		современные
OLIE	Гора Олимп около Звенигорода (в р-не Дютьково)	55,73	36,85	6, керны	ель	живые	110	2007	1898–2007	современные
OLIS	Гора Олимп около Звенигорода (в р-не Дютьково)	55,73	36,85	10, керны	сосна	живые	123	2007	1885–2007	современные

MOJ	Можайск	55,51	36,03	3 спила	сосна	мертвые	111	2010	1900–2010	сводная сосна
LGORI	Пос. Горки Ленинские	55,50	37,79	2, спилы	сосна	живые	155	2007	1910–3003	современные
LGORE	Пос. Горки Ленинские	55,50	37,79	2, спилы	ель	живые	98	2003	1910–2003	современные
GORI	Дер. Горышкино, Одинцовский р-н	55,69	37,01	5 кернов	сосна	живые и мертвые	152	2007	1856–2007	современные
GORE	Дер. Горышкино, Одинцовский р-н	55,69	37,01	3 спила	ель	живые и мертвые	108	2007	1899–2007	современные
NYER	Новый Иерусалим, часовня/купель	55,92	36,84	26 спилов	хвойные	археол.	92	1845	1753–1844	PETR, SOSP
NYM	Новый Иерусалим, водяная мельница, раскоп у реки, к северу от монастыря, сваи, колья, доски желоба	55,92	36,84	25 спилов	хвойные	археол.	120	1805	1682–1801	PETR, SOSP
USPD	Звенигород, собор Успения Пресвятой Богородицы, балка внутри	55,73	36,84	2 керны	дуб	архитект.	134	1396–1399	н. д.	н. д.
USPZ	Звенигород, собор Успения Пресвятой Богородицы, колокольня	55,73	36,84	керны	хвойные	архитект.		XIX в.	н. д.	н. д.
VYAZF	Усадьба Б. Вяземы, флигель	55,63	36,99	8, спилы	хвойные	архитект.	192	XVIII в., последующие ремонты	1666–1857	VOL

Продолжение табл. 4.4.5

VYAZK	усадьба Б. Вяземы, конный двор	55,63	36,99	10, спилы	хвойные	археол.	175	XIX в., последующие ремонты	1713–1887	VOL
VYAZD	усадьба Вяземы, особняк князей Голицыных	55,63	36,99	1 спил	хвойные	архитект.	299	1797 г., последующие ремонты	1592–1890	VOL
VFC	усадьба Б. Вяземы, флигель конца XIX — начала XX в. Чердак	55,63	36,99	8 кернов	хвойные	архитект.		конец XIX — начало XX в.	в работе	н. д.
VYAZ	еловый лес близ Б. Вязем	55,66	37,02	13, керны	ель	живые	140	2009	1859–2009	современные
GOL	усадьба Вяземы, особняк князей Голицыных	55,63	36,99	1 спил, 12 кернов	хвойные	архитект.	313	1797 г., последующие ремонты	1558–1865	VOL
GOLL	парк вокруг усадьбы в Вяземах	55,63	36,99	6, керны	лиственница	живые	176	2009	1843–2009	современные
GOLT	парк вокруг усадьбы в Вяземах	55,63	36,99	5, керны	липа	живые	180	2009	1830–2009	современные
GOLU	парк вокруг усадьбы в Вяземах	55,63	36,99	6, керны	вяз	живые	65	2009	1945–2009	современные
M01A	усадьба Вяземы, дворец Бориса Годунова внутри конного двора, раскоп. На глубине 390 см от нивелировочной отметки Смирнова	55,63	36,99	3 спила	хвойные, листв.	археол.	45	начало XVII в.	н. д.	н. д.
OZER	сосновый лес и вырубка у дер. Озеры	54,87	38,49	6, керны, 7 спилы	сосна	живые	139	2010	1872–2010	современные

SOSN, SOSP	Церковь Покрова Пресвятой Богородицы в дер. Сосновка, Озерский р-н	54,90	38,68	29 спилов, 2 керна	хвойные	архитект.	152	1784	1739–1890	PETR
SOS	Лес у дер. Сосновка, Озерский р-н	54,89	38,69	12, керны	сосна	живые	153		1866–2007	современные
PETR	Церковь Ильи Пророка на кладбище, с. Петровское	55,32	38,56	21, спилы	сосна	архитект.	120	1777	1793–1912	сводная сосна
PO	Усадьба Уваровых Поречье, Можайский Район	55,71	35,54	15 кернов	ель	живые	151	2005	1866–2005	современные
ZVS	Звенигород, на валах церкви на Городке	55,73	36,84	24 керна (12 деревьев)	сосна	живые	248	2010	1763–2010	современные
ZBSM	Звенигород. Звенигородская биостанция. Лабораторный корпус	55,70	36,72	5 кернов	хвойные	архитект.		~1904–1908 гг.	не кондиционный	н. д.
ZBSL	Звенигород. Звенигородская биостанция. Музей	55,70	36,72	4 керна	хвойные	архитект.		~1904–1908 гг.	не кондиционный	н. д.
MEL	Мелихово, Чеховская усадьба, баня	55,11	37,65	1керн	хвойные	архитект.			не кондиционный	н. д.
ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ										
KRI	Дер. Гришутино, возле дер. Боброво	57,35	35,82	2 керна	хвойные	архитект.		XIX в.	не кондиционный	н. д.

Продолжение табл. 4.4.5

PACH	Кладбище у дер. Пачково у дороги у оз. Глубочица, Тверская обл.	57,24	33,12	7, керны	сосна	живые	168	2010	1843–2010	современные
FAB	Дер. Боброво, фабрика, Тверская обл.	57,31	35,85	13, спилы	хвойные	архитект.	98	конец XIX — нач. XX в.	н. д.	GLNK
MEDP	Дер. Боброво, плотина на реке Медведице, Тверская обл.	57,31	35,85	12, спилы	хвойные	археол.	51	н.д.	н. д.	н. д.
OR	Дер. Ореховка, Тверская обл.	57,40	33,07	22, 1 керн и спилы	хвойные	архитект.	225	XIX в.	1621–1844	BOR
PANE	Смешаный лес у дер. Панюки, Тверская обл.	57,05	33,30	2, керны	ель	живые	139	2010	1872–2010	современные
PANS	Смешаный лес у дер. Панюки, Тверская обл.	57,05	33,30	10, спилы и керны	сосна	живые	114	2010	1897–2010	современные
SHIR	Дорога на Ширков погост, Тверская обл.	57,04	32,73	14, керны	ель, сосна	живые	185	2010	1826–2010	современные
ROM	За деревней Ровень Мосты, старая делянка, Тверская обл.	57,40	32,79	3, спилы	сосна	мертвые	126	2000-е	н. д.	н. д.
GLNK	Дер. Голенково, разрушенный храм, Тверская обл.	56,97	33,49	16, спилы	хвойные	архитект.	134	конец XIX в.	н. д.	FAB
PAL	Церковь и колокольня конца XIX в. из красного кирпича, недавно отреставрированная, дер. Пальцево, возле дер. Боброво, Тверская обл.	57,35	35,88	10 спилов, 1 керн	хвойные	архитект.	83	конец XIX в.	н. д.	н. д.

FOM	Дома в дер. Фомино, Тверская обл.	57,99	35,57	20, спилы	хвойные	архитект.	189	конец XIX — нач. XX в.	н. д.	н. д.
FD	Дер. Фомино, наш дом, нижние венцы	57,99	35,57	5, спилы	хвойные	архитект.		нач. XX в.	н. д.	н. д.
FE	Ельник у Фоминского карьера, поваленные деревья	57,99	35,57	5, спилы	ель	живые	57	живые	1943–1999	Сводная ель
BOB	Спилы домов в дер. Боброво, наш и Валерин дома, Тверская обл.	57,31	35,85	2, спилы	хвойные	архитект.		1950-е	н. д.	н. д.
SIT	Дома в дер. Ситьково, Тверская обл.	57,98	35,56	4, спилы	хвойные	архитект.	79	нач. XX в.	н. д.	н. д.
DER	Боброво, Тверская обл.	57,31	35,85	1, спил	хвойные	архитект.	87		н. д.	н. д.
NTP	Николо-Теребенский монастырь, Тверская обл.	58,01	35,66	4, спилы	хвойные	архитект.	91	конец XIX в.	н. д.	н. д.
FOMI	Спилы домов в дер. Фомино, Тверская обл.	57,99	35,57	11, спилы	хвойные	архитект.	109	нач. XX в.	н. д.	н. д.
ND	Дер. Заборовье, Никитин дом, Тверская обл.	56,68	36,66	13, спилы	хвойные	архитект.	45	1990-е	н. д.	н. д.
NCAM	Дер. Новый Камень, возле дер. Боброво, Тверская обл.	57,36	35,85	10, спилы	хвойные	архитект.		нач. XX в.	н. д.	н. д.
ZAP	Дер. Западинки, Тверская обл.	57,98	35,56	2, спилы	сосна	архитект.	118	нач. XX в.	н. д.	н. д.
PB	Пятницкий бор, спилы сосновых пней в лесу 2000 или 1999 гг., Тверская обл.	57,31	35,75	6 спилов	сосна	живые		конец 1990-х	н. д.	н. д.
KC	Церковь в дер. Кушалино, Тверская обл.	57,13	36,08	5, спилы	хвойные	архитект.	77	XVII в.	н. д.	н. д.

Продолжение табл. 4.4.5

BEB	Спилы из дома Бебчука, из двора этого дома и из Чеченского дома дер. Боброво, Тверская обл.	57,31	35,85	10, спилы	хвойные	архитект.	119	XX в.	н. д.	н. д.
TSLE1	Центрально-Лесной заповедник	56,22	32,78	15 кернов	ель	живые	65	1999	1945–1999	современные
TSLE2	Центрально-Лесной заповедник	56,22	32,78	15 кернов	ель	живые	65	1999	1945–1999	современные
TSLE3	Центрально-Лесной заповедник	56,22	32,78	15 кернов	ель	живые	65	1999	1945–1999	современные
КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ										
OPP	Оптина пустынь, сосновый бор на юг от монастыря, за источником, Калужская обл.	54,05	35,83	12, керны	сосна	живые	294	2010	1717–2010	современные
H01A	Калужская обл., Калуга, археологическая древесина, раскопки Торговых рядов	54,51	36,25	30	хвойные, дуб	археол.	71	XVIII в.	н. д.	н. д.
H02S	Калужская обл., Калуга, сосновый бор	54,53	36,20	6 (3)	сосна	живые	в обработке	2012		современные
H03A	Калужская обл., Калуга, Краеведческий музей, чердак	54,51	36,25	11	хвойные	архитект.	95	1804–1807 гг.	н. д.	н. д.
H04A	Калужская обл., Калуга, археологическая древесина. Строительство дома, ул. Кирова 23А. Лаги под бревенчатую мостовую	54,52	36,26	5	хвойные	археол.	в обработке	XIX в.	н. д.	н. д.

ВЛАДИМИРСКАЯ ОБЛАСТЬ										
DUBK	Сосновый лес по дороге из дер. Финеево, Владимировская обл.	56,11	38,69	7, керны	сосна	живые	143	2010	1867–2010	современные
FIN	Сгоревший дом в дер. Финеево	56,04	38,89	4 спила, 8 кернов	хвойные	архитект.	в обработке	конец XIX — начало XX в.	н. д.	н. д.
СМОЛЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ										
SML	Смоленск, площадь Победы, рядом со Смоленским валом	54,78	32,05	8, спилы	хвойные	археол.	99	XVI–XVII вв.	1485–1583	Dannenstern
MOL	Смоленск, площадь Победы, рядом с Молоховскими воротами	54,78	32,05	39, спилы	хвойные, дуб	археол.	238	XVI–XVII вв.	1387–1624	Dannenstern
F01A	Смоленская обл., Смоленск, деревянные сооружения раскопа 3 по ул. Студенческой, 6 (набережная), 2011–2012 гг.	54,78	32,05	49, спилы	сосна, дуб	археол.	145	XVI–XVII вв.	н. д.	н. д.
КОСТРОМСКАЯ ОБЛАСТЬ										
KL	Кологривский лес	58,80	43,98	21 керн	ель	живые	297	2009	1713–2009	современные
ЯРОСЛАВСКАЯ ОБЛАСТЬ										
A01R	С. Богослов (2 км от г. Ростов) церковь Иоанна Богослова на Ишне	57,18	39,36	20, керны	сосна	архитект.	246	1687 г., колокольня — XIX в.	н. д.	н. д.
A02N	Сан. Черная Речка, Николокормская межевая сосна	57,91	38,51	2, керны	сосна	мертвое	219	2010	1792–2010	современные
A03A	Борисоглебский р-н, д. Шипино, дом Широковых	57,27	39,11	12, керны	сосна	архитект.	76	XIX в.	1790–1865	ZVS
A04A	Борисоглебский р-н, д. Шипино, «старейший» дом в деревне	57,27	39,11	6, керны	сосна	архитект.	59	XIX в.	н. д.	н. д.

Нами также была исследована «археологическая» древесина из раскопов дачи сенатора П. С. Полуденского в парке Кузьминки (археолог Н. А. Кренке), Силоамской купели и водяной мельницы в Новом Иерусалиме (археолог И. Н. Ершов), из укреплений г. Смоленска XVI–XVII вв. (археолог Г. Н. Пронин), из раскопок торга XVIII в. в г. Калуге (археологи И. В. Болдин и Г. А. Массалитина), из раскопок Тульского кремля, Зарядья в Москве (материал любезно предоставлен А. А. Карпухиным) и др. (см. Приложение 6).

Среди уникальных образцов, которые нам удалось отобрать, — керны, добытые из дубовой балки церкви Успения Пресвятой Богородицы на Городке в Звенигороде, которая датируется между 1396 и 1399 гг. Хотя эти образцы пока не могут быть использованы для построения длинной хронологии из-за небольшого количества образцов древесины дуба, имеющихся в нашем распоряжении, они, несомненно, найдут себе применение для этой цели в будущем. Керны имеют хорошую сохранность, датируются относительно друг друга, а их плавающая хронология имеет продолжительность 139 лет. Здесь же были отобраны образцы из балок колокольни XIX в.

Из деревянных элементов конструкций керны отбирались либо ручным буром, либо его электрическим аналогом с внутренним диаметром 5 мм и внешним диаметром 7 мм. Указанные механизмы позволяют извлекать из дерева или бревна керн со всеми годичными кольцами, нанося при этом минимальные повреждения. Это важно как при отборе образцов из живых деревьев, чтобы не вредить дереву, так и при отборе из строений, представляющих культурную и архитектурную ценность. Там, где это было возможно (в основном археологическая древесина и элементы развалившихся построек), отбирались поперечные срезы бревен (спилы). Дальнейшая обработка образцов проводилась в дендрохронологической лаборатории Института географии РАН в соответствии с общепринятыми методическими требованиями древесно-кольцевого анализа (см. раздел Методика во Введении). Образцы, отобранные из строений и археологических объектов, датировались относительно условного года, а затем, путем перекрестного датирования, привязывались к хронологии, построенной по живым деревьям. Все датировки на каждом этапе проходили контроль качества с помощью тестов программы COFECHA.

Сводные хронологии по живым деревьям в центральной части ЕТР и перекрестное датирование

Построение сводной хронологии для Центрального региона началось с анализа живых деревьев и их объединения в две сводные хронологии для ели и сосны. Анализ показывает, что все образцы ели, отобранные нами на восьми пробных площадях в Московской, Тверской и Костромской областях, прошли тест на перекрестное датирование. Особенно неожиданным для нас стало надежное датирование в рамках этого массива образцов из заповедника Кологривский лес, расположенного на расстоянии более 500 км от подмосковных площадок.

Из 11 площадок образцов сосны, отобранных в Московской, Тверской, Владимирской и Калужской областях, надежно датируются друг относительно друга 10. Существенно отличный ход приростов показывают сосны только на одной из площадок Тверской области (РАСН), которая была заложена в заболоченном лесу, где сосны растут в переувлажненных условиях. В случае сосны, расстояние между крайними точками отбора образцов (от северной оконечности оз. Селигер до Оптиной пустыни в Калужской обл.) составляет около 400 км.

Это позволило нам построить сводные хронологии для ели (1713–2010 гг., 83 образца) и сосны (1717–2011 гг., 106 образцов) (рис. 4.4.7 и 4.4.8).

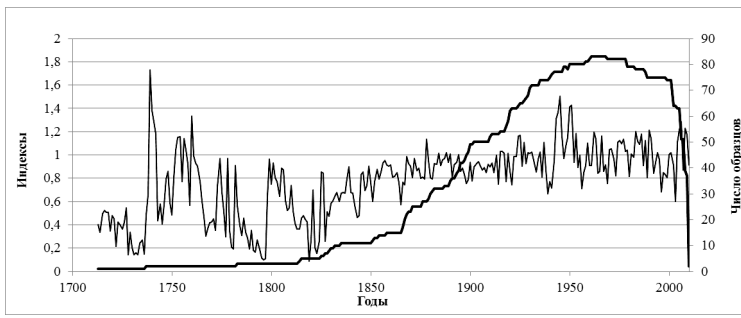


Рис. 4.4.7. Сводная хронология для живых деревьев ели из Московской, Тверской и Костромской областей (тонкая линия) и ее обеспеченность образцами (жирная линия)

Fig. 4.4.7. Ring width chronology for living trees (spruce) of Moscow, Tver and Kostroma regions (thin line) and its sample depth (thick line)

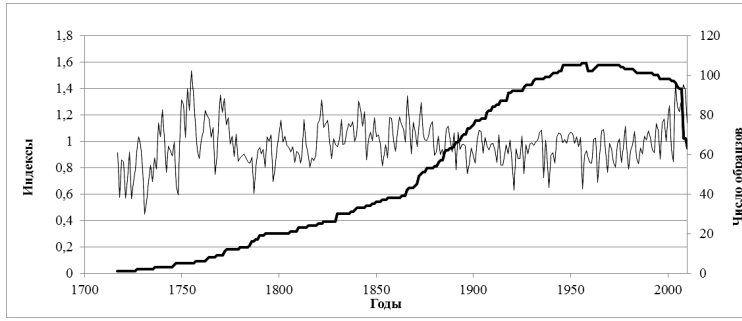


Рис. 4.4.8. Сводная хронология для живых деревьев сосны из Московской, Тверской, Владимирской и Калужской областей (тонкая линия) и ее обеспеченность образцами (жирная линия)
Fig. 4.4.8. Ring width chronology for living trees (pine) of Moscow, Tver, Vladimir and Kaluga regions (thin line) and its sample depth (thick line)

Перекрестное датирование всех образцов сосны и ели в едином массиве показывает, что с середины XIX в. до начала XXI в., то есть в том интервале, для которого в нашем распоряжении имеется большое количество образцов, обе хвойные породы надежно датируются друг относительно друга и могут быть объединены в единую сводную хронологию. Однако древнюю часть этой хронологии составляют хронологии из Костромской и Калужской областей, удаленные друг от друга более чем на 700 километров. Это, возможно, объясняет различие в ходе кривых сосны и ели в XVIII — первой половине XIX в. Сводная кривая для обеих пород почти идентична в этом интервале хронологии по сосне (рис. 4.4.9), поскольку в хронологии ели с 1713 по 1815 г. имеется всего три образца.

Попытки построить сводные плавающие хронологии для Московского региона, которые мы предпринимали прежде, в основном заканчивались неудачей главным образом из-за небольшого возраста образцов и недостаточного их количества. Если возраст образцов составляет всего несколько десятилетий, а хронологии слабо обеспечены образцами, обычно имеется несколько возможностей возрастной атрибуции датируемого образца, и выбор адекватного варианта невозможен без привлечения дополнительных исторических сведений.

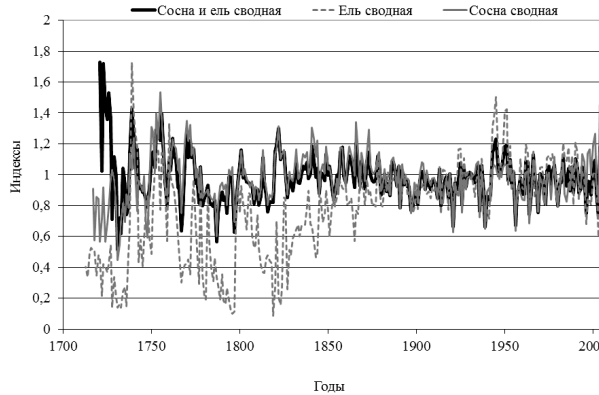


Рис. 4.4.9. Абсолютно датированные хронологии сосны и ели и сводная кривая для хвойных для Московского региона
Fig. 4.4.9. Absolutely dated chronologies of pine and spruce and the conifer chronology for Moscow region

К настоящему времени нам удалось объединить в одной плавающей хронологии древесину из пяти строений Москвы и Подмосковья: из двух деревянных церквей (ц. Ильи Пророка 1777 г. в с. Петровское и ц. Покрова Пресвятой Богородицы в с. Сосновка 1784 г.), Силоамской купели (1845 г.) и мельницы (1805 г.) в Новом Иерусалиме и дачи сенатора П. С. Полуденского в парке Кузьминки (1832–1834 гг., архитектор А. О. Жилярди) (см. рис. 4.4.9).

Перекрестное датирование показало, что обе церкви были отремонтированы с заменой части материала в 1912 г. и в 1887 г., соответственно. Материал этих церквей перекрестно датируется и охватывает период с 1721 по 1912 гг. Относительно этой хронологии «вслепую», то есть без априорной привязки, была датирована древесина трех остальных объектов. Порубочные даты этой древесины оказались, соответственно, 1844 г. (Силоамская купель — 1845 г.), 1801 г. (водяная мельница — 1805 г.) и 1834 г. (дача сенатора П. С. Полуденского (1832–1834 гг.)), то есть во всех трех случаях они согласуются с оценками исторического возраста датируемых объектов. Таким образом, была получена сводная хронология для Московского региона, охватывающая период с 1682 по 1912 г. (231 год).

Богатая коллекция древесины хвойных и дуба (47 спилов) поступила к нам для датирования из раскопок в центре г. Смоленска. Образцы сосны датированы друг относительно друга и составляют плавающую хронологию, покрывающую более двухсот лет. Для датирования мы пытались использовать данные, любезно предоставленные нам М. В. Ермохиным (Минск, Белоруссия) по Витебску (хронология XVI в.) и Юровичам (XVI — начало XVIII в.), которые, однако, не помогли в определении возраста смоленских образцов. Более успешным было датирование экспортера леса из Восточной Европы («Данненштерн Хаус»). Хронология находится в открытом доступе в международном банке данных ITRDB. Как было установлено ранее, этот дом в Риге был построен из материала, который сплавлялся по Западной Двине, по-видимому, из районов, близких к Смоленску. Образцы из смоленского раскопа достоверно датируются относительно этой хронологии. В целом полученные нами дендрохронологические даты согласуются со стратиграфическими данными и нумизматическими оценками возраста. Сводная плавающая хронология по Смоленскому краю (включающая дом М. Данненштерна), таким образом, охватывает период 1387–1739 гг. (рис. 4.4.10).

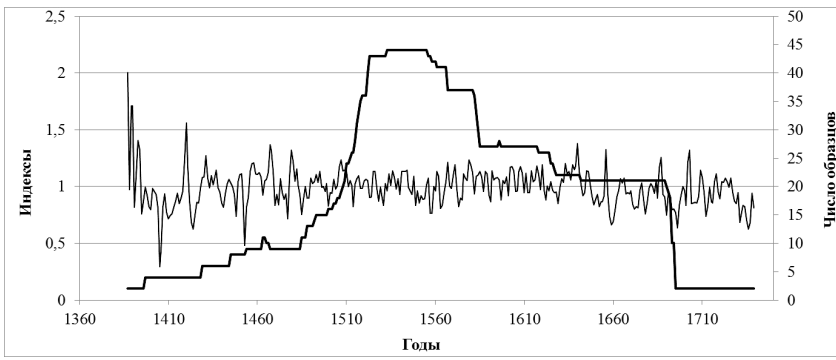


Рис. 4.4.10. Плавающая хронология ширины колец для Смоленского региона (тонкая линия) и ее обеспеченность образцами (жирная линия)
Fig. 4.4.10. Floating ring width chronology for Smolensk region (thin line) and its sample depth (thick line)

Измерения ширины колец из тверской коллекции Института археологии РАН любезно переданы в наше распоряжение А. А. Карпухиным (215 образцов). Некоторые из них датированы на основе археологических и исторических сведений (XI–XIX вв.). Однако эти измерения были сделаны в разное время с низким разрешением, без применения современных измерительных систем, поэтому их точность (0,05 мм) ниже, чем у наших (0,01 мм). Кроме того, они были записаны вручную, и наша проверка показала, что эти записи содержат многочисленные ошибки оператора. В некоторых случаях их можно исправить, сравнивая ширину колец, измеренную по двум радиусам одного дерева, а затем сопоставив несколько деревьев между собой. В других случаях, когда ошибок несколько и массив данных небольшой, приходится либо отсекать недостоверные части, либо отказаться от дальнейшего использования этих данных.

Первым этапом нашей работы над созданием тверской хронологии была попытка привязать археологические образцы к современной абсолютной шкале. Это удалось с помощью археологических образцов из сруба колодца в Заволжье (ZAV), Тверь, который был датирован по историческим данным 1906 г., а согласно перекрестной датировке с нашей абсолютно датированной хронологией ели, получил близкую дату — 1909 г. К этой локальной хронологии были привязаны образцы изб из деревни Борисовское (1854 г., по историческим данным, и 1853 г. после абсолютного датирования по сводной тверской хронологии), из Загородского Посада в Твери (1749 г. по археологии и 1745 г. по дендрохронологии), из часовни Святого Архистратига Михаила (1757 г. по обеим оценкам), из Тверского Кремля — серия раскопок 1996 г. (1864 г. по историческим данным и 1847 г. по дендрохронологии). Непрерывная хронология, таким образом, покрывает интервал с 1536 по 1909 г. (374 года) (рис. 4.4.11) и состоит из 61 серии.

Кроме того, нам удалось перекрестно датировать 27 образцов из археологических коллекций, полученных в ходе раскопок в Московском Кремле, Гостином Дворе, на месте бывшей гостиницы Россия, на ул. Ильинка и Арбат (1140–1534 гг.) (рис. 4.4.12).

Наши исследования показали (Мацковский, Соломина, 2011; Мацковский, 2013, см. также часть 3, глава 1), что в регионе исследования прирост хвойных в большей степени зависит от влагообеспеченности. Это делает растущие здесь деревья более зависимыми

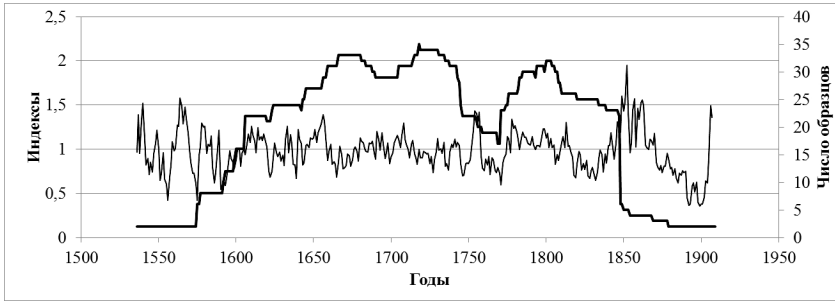


Рис. 4.4.11. Хронология ширины колец для Тверского региона (тонкая линия) и ее обеспеченность образцами (жирная линия)
Fig. 4.4.11. Ring width chronology of Tver region (thin line) and its sample depth (thick line)

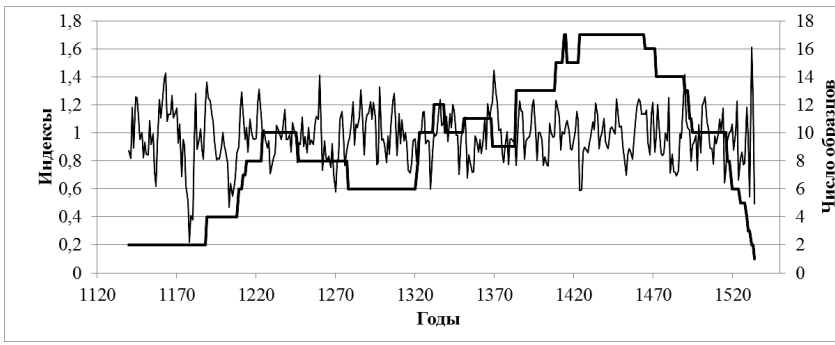


Рис. 4.4.12. Плавающая хронология хвойных из раскопок Московского Кремля разных лет (тонкая линия) и ее обеспеченность образцами (жирная линия)
Fig. 4.4.12. Floating chronology of conifers from the excavations of the Moscow Kremlin (thin line) and its sample depth (thick line)

от локальных условий произрастания (например, от влажности почвы), чем от температуры, имеющей большой радиус корреляции. Таким образом, радиус дендрохронологического датирования здесь меньше, чем в северных регионах, где прирост в большей степени зависит от теплообеспеченности. Это затрудняет датирование многих образцов, особенно коротких серий продолжительностью до 100 лет. К сожалению, спецификой региона также является

преобладание таких коротких серий в археологических и архитектурных коллекциях образцов. Поэтому попытки привязать к абсолютно датированным хронологиям плавающие шкалы не всегда оказывались удачными, даже в тех случаях, когда примерно был известен год постройки здания или археологического памятника. В табл. 4.4.5 для таких хронологий указана лишь их продолжительность. В будущем большинство этих шкал, вероятно, войдет составной частью в сводные региональные хронологии.

Как мы установили ранее, некоторые московские и подмосковные постройки были построены из привозного материала, часто доставленного из северных районов. По Вологодской хронологии нам удалось определить время постройки и ремонта нескольких строений в Москве и Подмосковье, построенных из привозного леса. Так, например, здание Военного университета с домовой церковью Александра Невского (бывшее Комиссаровское техническое училище), построенное архитекторами Кампиони и Гелленером в 1860 г. (Б. Садовая ул., д. 14, стр. 6), ремонтировалось в самом конце XIX в. Поскольку этот материал был привозной, он не вошел в нашу Московскую хронологию. Аналогичный результат был получен при анализе древесины из строений усадьбы Голицыных в Б. Вяземах (Мацковский и др., 2014).

Наши попытки объединить отдельные ДКХ центральной нечерноземной области в единую региональную хронологию показали, что это возможно для некоторых из них. Так, хронологии, построенные по живым соснам и по археологической и «исторической» древесине Московской и Калужской областей, коррелируют между собой и вместе составляют хронологию продолжительностью 1662–2010 гг.

Все эти четыре хронологии составляют единый ряд продолжительностью с 1140 по 2010 г., общей продолжительностью 871 год. Они могут рассматриваться как составные части общей хронологии, которая покрывает большую часть последнего тысячелетия и характеризует условия роста деревьев в Центральном регионе Европейской России.

Успешное объединение нескольких хронологий в единый ряд, предпринятое в настоящей работе, показывает перспективы развития этого направления и создания отдельных региональных хронологий тысячелетней продолжительности. Они необходимы для

датирования образцов, которые могут не датироваться относительно сводной кривой, а также крайне важны для детальных палеоклиматических реконструкций.

Таким образом, для Центрального региона России (на территории 54°–59° с. ш., 32°–44° в. д.) было отобрано более 800 образцов древесины и построено 86 локальных хронологий ширины годичных колец. Благодаря этому нам удалось построить несколько абсолютно датированных и плавающих хронологий для хронологий Москвы (1140–1534 гг.) и Московской области (1717–2011 гг., 1682–1912 гг.), Смоленской (1387–1739 гг.), Калужской (1717–2010 гг.), Костромской (1713–2009 гг.) и Тверской (1536–1909 гг.) областей. Эти хронологии были объединены в обобщенную хронологию хвойных для Центрально-Нечерноземного региона (рис. 4.4.13). Ее общая длина составляет 871 год, и она покрывает период с 1140 по 2010 г.

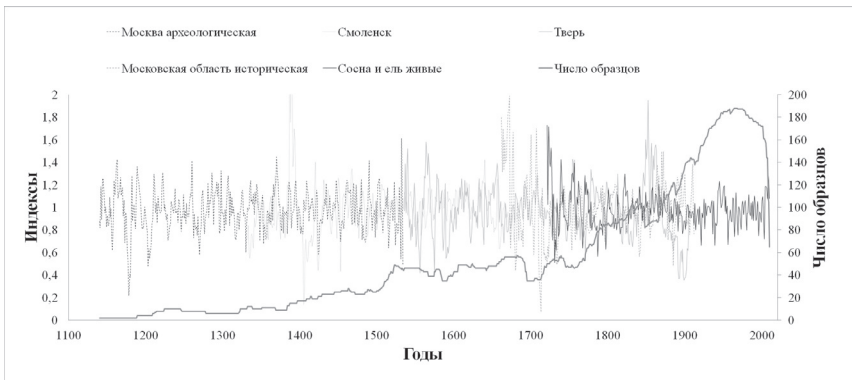


Рис. 4.4.13. Хронологии хвойных в центральном регионе Восточно-Европейской равнины
Fig. 4.4.13. Chronology of conifers in the Central region of the East European plain

Тем не менее пока еще рано говорить о существовании абсолютно датированной и привязанной к современности ДКХ для Центральной России, подходящей для дендрохронологического датирования большинства деревянных объектов на всей территории региона, такой, как существующие хронологии для Вологодской области и Соловецких островов (Соломина и др., 2011; Мацковский,

2013). Это в основном связано с относительно небольшим радиусом корреляции динамики прироста деревьев в регионе (по сравнению с севером Европейской России), а также со спецификой коллекций археологической и архитектурной древесины, в основном состоящих из серий небольшой длины. Поэтому необходимо продолжать начатые исследования, усиливать локальные хронологии, наполняя их новыми образцами, и заполнять временные пробелы каждой из них. Только сеть длинных и хорошо наполненных хронологий, построенных для различных пород хвойных и лиственных деревьев в разных частях региона, обеспечит надежное дендрохронологическое датирование большинства образцов. Построенная нами хронология является основой для создания таких региональных хронологий тысячелетней продолжительности для целей дендрохронологического датирования, палеоклиматологии, моделирования климата и его долгосрочных региональных прогнозов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

О.Н. Соломина, В.В. Мацковский

В этом разделе мы делаем попытку обобщения полученных данных по динамике засух на Восточно-Европейской равнине, обсуждаем наши результаты в контексте европейских материалов, а также анализируем возможные неопределенности и перспективы, связанные с применением метода дендрохронологических реконструкций в рассматриваемом регионе.

Как было показано в главе 1 части 1, регулярные инструментальные гидрометеорологические наблюдения на территории ЕТР охватывают чуть больше столетия. Качественный скачок в увеличении репрезентативности данных произошел позже — к середине 1930-х гг., когда существенно возросла густота сети метеорологических станций. Судя по этим данным, сильные засухи длительностью не менее двух месяцев (и с охватом более 30% площади хотя бы одного района) наблюдались на ЕТР в 1901, 1906, 1920, 1921, 1924, 1931, 1936, 1938, 1946, 1951, 1972, 1979, 1981, 1999, 2010 гг. (см. часть 1, глава 1).

В результате исследований последних лет мы построили 59 хронологий ширины годичных колец сосны, ели и дуба. Продолжительность большинства из них 120–150 лет, но 7 хронологий (OPP, H256S, KL, M13S, T01S, T03S, V01D) достигают 250 и более лет. Это означает, что нам удалось вдвое продлить период инструментальных наблюдений и, соответственно, получить информацию о климате ЕТР за XIX и конец XVIII в., причем не в точке, а в пространстве. Подавляющее большинство хронологий получено по сосне обыкновенной, причем они довольно равномерно распределены по площади исследования, в то время как хронологии, построенные по ели восточной, группируются в северной части территории нашего исследования, а по дубу черешчатому — в южной (см. рис. 3.1.1, часть 3, глава 1).

Используя древесину из археологических раскопок и старых строений, с помощью перекрестного датирования мы построили также хронологии хвойных большей продолжительности для отдельных регионов. В частности, к настоящему времени имеют-

ся региональные хронологии ширины колец для шести модельных регионов: Калужская (294 года), Смоленская (353 года), Ярославская (150, 155 и 246 лет), Костромская (449 лет), Архангельская (646 и 827 лет), Вологодская (925 и 285 лет) области. Близкие хронологии для Смоленской и Калужской областей были объединены в единую региональную хронологию. Надежность и наполненность образцами этих хронологий разная, и они нуждаются в совершенствовании, однако уже сейчас можно говорить о том, что в перспективе дендроклиматические реконструкции в некоторых районах ЕТР могут охватить все последнее тысячелетие. Хронологии Архангельской и Вологодской областей отражают в основном термический фактор, все более южные могут быть использованы для оценки динамики засушливости (Мацковский, 2013).

Анализ показал, что прирост деревьев в центральной и южной частях ЕТР в значительной степени зависит от сочетания тепла и увлажнения, которое характеризуется индексами засушливости (например, PDSI, SPI, SPEI) (см. табл. 3.1.3, часть 3, глава 1). Сигнал в хронологиях ширины годичных колец усиливается при движении на юг и юго-восток, по мере роста засушливости и континентальности климата. В отдельных случаях деревья, чувствительные к условиям увлажнения, можно найти и в северных районах ЕТР, например в Архангельской области (Kuuluvainen and Aakala, 2011), однако в целом наиболее чувствительные к засушливости деревья (сосны) обнаружились в Воронежской области и в Поволжье. Это и не удивительно: именно эти районы подвержены наиболее частым и суровым засухам. Так, максимальная частота засух (0,4) наблюдалась в декаде 1931–1940 гг. в Центрально-Черноземном районе и в трех декадах (1931–1940, 1951–1960 и 1991–2000 гг.) в Поволжском районе. В Центральном районе максимальная частота засух, равная 0,3, отмечалась в декаду 1991–2000 гг. Число засух два года подряд возрастает от 2 в Центральном районе, до 5 в Центрально-Черноземном и до 6 в Поволжском районе (см. часть 1, глава 1).

Важные результаты, касающиеся интерпретации климатического сигнала в хронологиях ширины колец сосны обыкновенной на ЕТР, были получены с использованием нелинейных методов анализа, которые позволили объединить хронологии в три региональные кривые и проанализировать их связи с метеорологическими данными для периода 1901–2012 гг. Установлено, что

хронологии центральной части ЕТР (нечерноземная зона) наиболее устойчиво откликаются на засуху в мае и июне. Для Центрально-Черноземного района и Поволжья понижение прироста колец связано с сочетанием длительной летней засухи с сильной засухой в мае (см. часть 3, глава 2).

Наши подходы и результаты наиболее близки к работам польских коллег, которые исследовали тот же вид сосны (*Pinus sylvestris*) в близких эколого-климатических условиях. Koprowski et al. (2012) установили, что в Польше сосна наиболее чувствительна к температуре с февраля по март и к осадкам с мая по июль. Осадки июня–августа реконструированы по ширине колец сосны (*Pinus nigra*) в Австрии, в районе Вены (Dobrovolny et al., 2015), по ели (*Picea abies*) осадки (май–август) реконструированы в Баварии (Wilson et al., 2005) и (март–июль) — в Моравии (Brazdil et al., 2002). Buentgen et al. (2011) на основе обширной коллекции образцов пихты (*Abies alba*), полученной как из живых деревьев, так и из исторической древесины, восстановили осадки апреля–июня в Центральной Европе для периода 962–2007 гг.

Анализ реперных годов, проведенный в этой работе для нескольких регионов ЕТР (см. часть 3, глава 3), показывает, что не все годы с угнетенным приростом сопряжены с засушливыми условиями. Так, у дуба в Тульской области это может быть также связано с поздневесенними заморозками и вспышками численности листогрызущих насекомых. У ели засухи вызывают вспышки численности стволовых вредителей, как это случилось, например, в 1874 г. (Калужская область), в 1881 г. (Брянская, Смоленская, Псковская, Калужская, Московская, Тверская, Нижегородская, Симбирская, Казанская области), в 1890 г. (Брянская, Московская, Владимирская, Ивановская, Нижегородская, Симбирская, Костромская, Казанская области, Беловежская пуща), в 1897 г. (Московская, Смоленская области), в 1899 г. (Ветлуга, Задвинье), в 1919 г. (Марий Эл, Татарстан, Приветлужье, Московская область, Беловежская пуща), в 1938 г. (Смоленская, Московская, Тверская, Ярославская, Орловская, Горьковская, Кировская, Ивановская, Ленинградская области, Удмуртия, Башкирия, Белоруссия) (Маслов, 1972). В случаях повреждения деревьев насекомыми и масштабы угнетений, и их продолжительность увеличивается, а следовательно, существует угроза ошибочного преувеличения масштаба засух в реконструкциях.

Реперные годы сосны в центральной части ЕТР образуются в связи с жаркими летними сезонами и дефицитом осадков. В ряде случаев на прирост влияли также низкие зимние температуры. В Воронежской области, где анализ реакции сосны на засухи был проведен с помощью метода наложенных эпох и индекса SPEI_10, было показано, что в год засухи наблюдается самое низкое значение прироста сосны, но и в следующем году SPEI_10 остается низким. Это связано с автокорреляцией значений SPEI_10 и с большой вероятностью группирования засух по годам.

Непосредственное сопоставление минимумов прироста сосны в центре ЕТР с западноевропейскими реконструкциями засушливости проблематично из-за особенностей атмосферной циркуляции в этом регионе. Так, например, судя по результатам исторической климатологии, в Западной Европе наиболее засушливым годом за последние 500 лет считается 1540 г. Он был вызван устойчивой областью высокого давления над Западной и Центральной Европой и низким давлением над Атлантикой и Европейской Россией. На европейской части России в это время преобладала холодная влажная погода, о чем, в частности, свидетельствуют данные новгородской летописи (Wetter et al., 2014). Финская хронология сосны, чувствительная к осадкам, также показывает, что этот год был влажнее среднего (Helama et al., 2009). Тем не менее некоторые результаты указывают на то, что возможна связь крупных климатических экстремумов, таких как обширные засухи, в лесостепных регионах Восточной Европы и европейской части России (Matskovsky et al., 2016).

Амплитуда депрессии прироста зачастую не соответствует вызвавшей ее климатической аномалии, поскольку влияние одних неблагоприятных факторов среды может, в какой-то степени, нивелироваться другими. По этой причине сравнение амплитуды реконструированных событий с инструментальными следует проводить с осторожностью. Например, одна из самых суровых в Европе засух в 1540 г. продолжалась 11 месяцев, что вызвало дефицит стока на Рейне и Эльбе до 90%. Температуры весны–лета в 1540 г., судя по реконструкции, основанной на исторических данных, превосходили значения экстремального потепления в 2003 г. (Wetter and Pfister, 2013). Между тем реакция годичных колец на это неординарное климатическое событие была далеко не однозначной

(Wetter et al., 2014). Аномальная летняя жара в Московском регионе в 2010 г., которая проявилась в годичных кольцах сосны как уменьшение прироста в 2011 г. в пределах одного стандартного отклонения, по метеорологическим данным, была аномальным событием по многим параметрам, за последние 120 лет (Мещерская и др., 2011; Савин и др., 2011; Черенкова, 2012; Золотокрылин, Титкова, 2012). В этом отношении реперные годы, которые фиксируют частоту угнетений у отдельных деревьев, входящих в хронологию, а не амплитуду изменчивости индексов сводной кривой, видимо, являются более надежным индикатором климатических аномалий. Однако реперные годы не дают информации о масштабах изменчивости реконструируемых гидрометеорологических параметров, которая необходима, чтобы сравнить современные события с прошлыми. Справедливости ради, следует отметить, что климатические модели (CMIP5) тоже пока не могут воспроизвести отдельные засухи, даже такие, как экстремальный 1540 г. (Wetter et al., 2014).

Наш анализ показал, что реакция максимальной плотности годичных колец сосны в центральной части ЕТР на колебания климата существенно отлична от реакции ширины колец и отражает главным образом изменчивость температуры воздуха мая–сентября, а не параметры засушливости. Этот вывод принципиально меняет отношение к возможностям палеоклиматических реконструкций летней температуры в районах умеренного климата, где наблюдается слабая и неоднозначная зависимость ширины колец от гидрометеорологических условий. Согласно нашей реконструкции, в период с 1831 по 2013 г. в Калужской области выделяются относительно теплые периоды в 1830–1890, 1900–1970, 1990–2013 гг. и холодные — в 1890–1895, 1970–1990 гг. Амплитуда изменчивости для несглаженных реконструированных значений температур составляет 5 °С. По инструментальным данным Локощенко (2012), в Москве эта амплитуда в XIX–XXI вв. доходила до 7 °С.

В целом анализ хронологий свидетельствует о наличии положительной связи приростов сосны во всех трех рассматриваемых районах — Центральном, Черноземном и в Поволжье — с комплексными показателями засушливости, о чем, в частности, свидетельствует рис. 1 Заключения. Наши результаты показывают, что при использовании интегральных гидроклиматических показателей (таких как индексы засушливости) и данных реанализа, кото-

рые рассчитываются для заданной территории, а также при наличии больших массивов дендрохронологических данных, пестрота индивидуальных реакций отдельных деревьев и пробных площадей может быть до некоторой степени нивелирована, и для реконструкции климата отобраны лишь те пробные площади и древесные породы, у которых реакция на климатические изменения более или менее однородна.

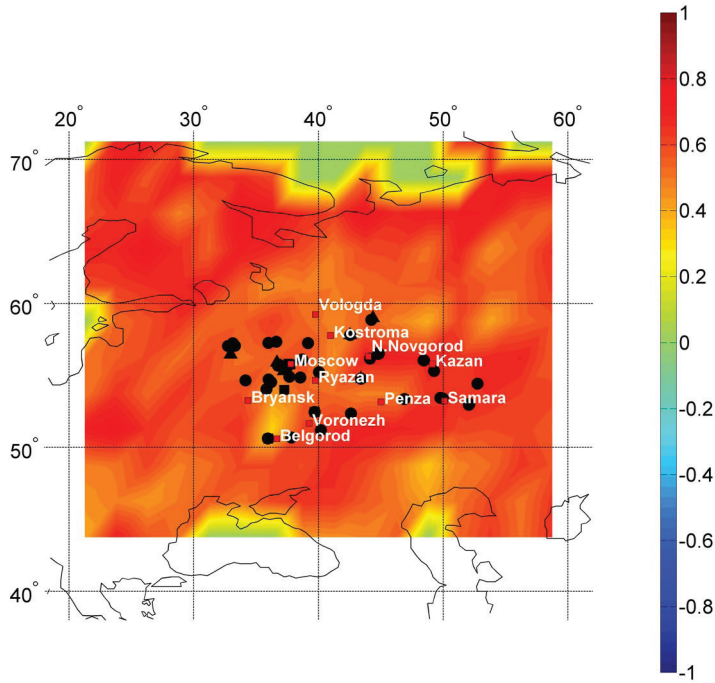


Рис. 1. Корреляция поля среднего за год PDSI с его реконструкцией на основе древесно-кольцевых данных методом поточечной регрессии. Коэффициент корреляции показан заливкой
Fig. 1. Correlation of field of PDSI average for the year with its reconstruction based on tree-ring data by the method of point-by-point regression. The correlation coefficient is shown by shading

В табл. 1 Заключения показано сравнение засушливых лет по инструментальным данным и годы угнетений (>1 стандартного отклонения) для трех хронологий из центральной нечерноземной

зоны (Московский регион), Черноземья (Воронежская область) и Поволжья. Из таблицы видно, что для Воронежской хронологии год в год совпадают метеорологические и дендрохронологические данные в 13 случаях (в 1984, 1975, 1957, 1954, 1949, 1946, 1942, 1938, 1936, 1921, 1898, 1897, 1891 гг.). В 4 случаях наблюдались угнетения и на следующий год после засухи в 1985, 1950, 1947, 1943 гг. Только на следующий после засухи год (без угнетения в год с засухой) в этой хронологии ширина колец уменьшилась в 1973, 1952, 1940, 1932 и 1912 гг. Годы 2013–2014, 1940, 1933–1935, 1928–1930, 1895, когда также наблюдались понижения приростов, в списке сильных засух не значатся (Страшная, 2011).

В хронологии SENS (центральное Нечерноземье) отражаются засухи 1939, 1936, 1921, 1897, 1891 гг. На следующий после засухи год в этой хронологии отмечались угнетения в 2011, 1996, 1964, 1956, 1940 гг. Годы уменьшения ширины колец 2003, 1993, 1969, 1941–1942, 1926 к хронологии сильных засух Страшной (2011) не привязаны.

Для Поволжской хронологии MasterTY характерны угнетения прироста преимущественно в те же годы, что и для большинства хронологий ETP. Основные минимумы наблюдались в 1998, 1996, 1992, 1988, 1984, 1981, 1978, 1976, 1975, 1970, 1969, 1964, 1942, 1923, 1921, 1911, 1906, 1898, 1891 годах (>1 стандартного отклонения). Заметим, что во второй половине XX века угнетения прироста наблюдались значительно более регулярно, чем в конце XIX — начале XX века.

Случаи, когда реакция на засуху у деревьев наблюдается на следующий после засухи год, нередки. Так, самая значительная за последние 500 лет в Европе засуха наблюдалась, судя по историческим данным, в 1540 г., а угнетение лиственницы в Швейцарии (Büntgen et al., 2006) и пихты в южной Моравии (Brázdil et al., 2002) произошло в следующем, 1541 г. Тот же эффект отмечается и для заметной климатической аномалии 2010 г. в Московском регионе, которая сказалась на ширине колец на год позже. Вероятно, отсутствие заметного угнетения роста у сосны в 2010 г. объясняется поздним пиком засухи, который отмечался во второй половине лета. Как показал наш опыт (см. часть 4, глава 1), для улучшения качества реконструкций необходимо в будущем провести измерение ширины колец отдельно — для ранней и поздней древесины,

что позволит разделить засухи на весенние и раннелетние, с одной стороны, и позднелетние — с другой.

Сглаженные значения индексов засушливости (например, PDSI и SPEI) зачастую более тесно коррелируют с шириной годичных колец, как это видно на примере хронологии Воронежской области. Согласно этой реконструкции, XIX в. характеризовался в целом менее засушливыми условиями, чем XX — начало XXI века, за исключением суровой засухи 1890-х гг., которая привела к широко известным последствиям в южных и юго-восточных районах Европейской России, включая голод и вызванную им социальную нестабильность.

Этот вывод подтверждает и анализ хронологии сосны SENS, построенной для нечерноземных районов центра ЕТР. На протяжении XIX в. в этой хронологии отрицательные аномалии наблюдаются реже, чем в XX в. Поскольку период конца XVIII — XIX вв. в хронологии включает много молодых деревьев с большим приростом, можно было бы предположить, что этот эффект связан с недостаточным удалением возрастного тренда из рядов измерений, то есть с проблемами стандартизации. Однако это предположение опровергает редкая встречаемость и отрицательных реперных годов в этот период, которые рассчитываются только по высокочастотной составляющей рядов и не подвержены влиянию возрастного тренда. Вместе с тем для XIX в. характерно общее увеличение прироста, выражающееся как в заметном «горбе» сводной хронологии, так и в пяти положительных реперных годах на протяжении 100 лет (см. часть 3, глава 3, рис. 3.3.1). Сопоставление с историческими данными (см. часть 3, глава 3) показывает, что отрицательные аномалии прироста сосны (узкие кольца) в конце XVIII и в середине XIX в. (1845 г.), видимо, были преимущественно связаны с холодными зимами, в то время как угнетения в XX — начале XXI в. главным образом коррелируют с засухами. Это может быть связано с тенденцией к уменьшению континентальности и суровости климата на ЕТР в последние десятилетия, о чем, в частности, также свидетельствуют исторические данные (Ляхов, 1984) и длинные ряды метеорологических наблюдений по Москве (Локощенко, 2012). За период последних 145 лет относительная влажность воздуха заметно уменьшается и, по заключению М. А. Локощенко, климат Москвы становился теплее и суше, степень его

континентальности уменьшается. Если это так, то, по-видимому, можно допустить некоторое изменение доминирующего сигнала в ширине годичных колец в Московском регионе на протяжении последних двух, двух с половиной столетий, однако это предположение требует дальнейшего исследования.

Реконструкция летних температур по максимальной плотности сосны в Калужской области показывает, что температуры мая–сентября в XIX в. были примерно на уровне XX века. Два летних похолодания примерно равной амплитуды наблюдались в 1890-х и 1970-х гг. Потепление, начавшееся с 1970-х гг., в начале XX века уже несколько превзошло по масштабу изменения температур с 1830-х гг.

К сожалению, период, для которого наши хронологии могут считаться достоверными (EPS > 0,85), пока составляет чуть больше двух столетий. Более длинные хронологии, составленные по живым деревьям и археологическим/архитектурным данным, имеют более гетерогенную природу (включают образцы двух хвойных пород — сосну и ель и имеют неизвестную локализацию источника древесины). Кроме того, многие участки этих хронологий слабо обеспечены образцами. Это существенно ограничивает их потенциальное применение для реконструкций засушливости, несмотря на то что живые деревья из этих регионов демонстрируют зависимость приростов от индексов сухости (см. Приложение 2 и часть 3, глава 1). В порядке эксперимента мы провели исследование периодичности и экстремальных событий (реперных лет) за несколько столетий для пяти модельных регионов, а также предприняли попытку прогноза. Анализ средне- и низкочастотной изменчивости проводился на основе SSA разложения (в программе Caterpillar SSA), а прогноз экстремальных событий на основе функции распределения межточечных расстояний (Шурыгин, 2000). Верификация прогнозов показала, что статистический прогноз среднечастотной изменчивости является достоверным, а статистический прогноз экстремальных событий несостоятелен.

Результаты вейвлет-анализа (табл. 1) показывают, что в ширине годичных колец на ЕТР проявляются циклы 30–35 лет, 64–81 год, 112–118 лет. В северных хронологиях (Архангельская и Вологодская) проявляются также более длительные циклы 177–185 и 355 лет, что связано в том числе с большей продолжительностью самих хронологий.

Таблица 1. Результаты вейвлет-анализа длинных ДКХ на территории ЕТР
Table 1. The results of wavelet analysis of long chronologies in European Russia

Хронологии					
Архангельская			118	177	355
Вологодская	30	77		185	
Костромская		64	112		
Ярославская	35				
Смоленская и Калужская		81	113		

Таким образом, к сожалению, взаимно-однозначного соответствия между инструментально зафиксированными засухами и шириной колец сосны на ЕТР не наблюдается. Довольно часто угнетение запаздывает на 1 год, по сравнению с засухой (см., например, в 2011, 1995, 1972, 1963, 1942). Примерно в 20–30% случаев угнетения не связаны с засухами даже у самых чувствительных хронологий. Из-за комплексной реакции деревьев на климатические изменения и возможной неустойчивости климатического сигнала перспективы для дендрохронологических реконструкций в умеренной зоне Восточно-Европейской равнины открываются скорее при использовании в качестве индикаторов отдельно ранней и, особенно, поздней древесины, а также изотопного состава колец (Kress et al., 2010; Panyushkina et al., 2016), который часто более тесно коррелирует с показателями увлажненности. Возможно, другие древесные породы, например, более влаголюбивая ель, могут служить устойчивым индикатором климата в этом районе, особенно если она произрастает в соответствующих микроклиматических условиях (Румянцев, 2004). Использование максимальной оптической плотности колец сосны открывает возможности для реконструкции летней температуры, что до сих пор было невозможно для центра ЕТР.

Метеоусловия конца весны — раннего лета важны не только для прироста древесины, но и для урожая зерновых. Поэтому дендрохронологические данные используются для реконструкций урожайности (Yadav et al., 2015), и в этом отношении наши хронологии также могут быть полезными. Как было показано в главе 2

части 4, потенциально ширина колец сосны может характеризовать и динамику речного стока в период межени, что важно для реконструкции и прогноза этого важного показателя. Дендрохронологические данные могут продлить данные наблюдений индекса NDVI (D'Arrigo et al., 2000; Шишов и др., 2002; Liang et al., 2005; Wang et al., 2004; Lopatin et al., 2006; He and Shao, 2006).

Построенные нами региональные хронологии продолжительностью в несколько веков уже с успехом используются для точной датировки «исторической» древесины, в частности, архитектурных (Карпухин, Мацковский, 2014), археологических (Карпухин, Мацковский, 2014) и художественных (Matskovsky et al., 2016; Долгих и др., 2016) объектов. Информация, касающаяся особенностей реакции разных древесных пород на метеорологические условия, полученная в ходе наших исследований, в том числе для интродуцентов, важна для ухода за деревьями в парках и лесонасаждениях и может служить основой для прогноза устойчивости лесных сообществ в условиях меняющегося климата.

Список литературы

Агаян Г.М., Мохов И.И. Квазистационарные осенние режимы атмосферы Северного полушария в ПГЕП // Известия АН СССР. Серия: Физика атмосферы и океана. 1989. Т. 25. С. 1150–1156.

Айвазян С.А. Методы анализа данных. М.: Финансы и статистика, 1985. 488 с.

Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.

Битвинскас Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 172 с.

Битвинскас Т.Т. Разработка основ дендроклиматологических исследований в Литовской ССР // Временные и пространственные изменения климата и годичные кольца деревьев. Каунас, 1984. Т. 4. С. 4–49.

Боголепов М.А. О колебаниях климата Европейской России в историческую эпоху // Землеведение. 1907. Кн. 3–4. С. 58–162.

Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль, 1988. 528 с.

Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Летопись необычайных явлений природы за 2,5 тысячелетия (V в. до н. э. — XX в. н. э.). СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. 536 с.

Бучинский И.Е. О засухах на Русской равнине за последнее тысячелетие // Суховеи, их происхождение и борьба с ними: сб. М., 1957. С. 29–34.

Ваганов Е.А. Механизмы и имитационная модель формирования структуры годичных колец у хвойных // Лесоведение. 1996. № 1. С. 3–15.

Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.

Воейков А.И. Засуха 1885 года по сведениям, полученным Императорским Русским географическим обществом // Записки Имп. Рус. геогр. о-ва по общ. геогр. СПб., 1887. Т. XVII. № 2. 22 с.

Володин Е.М. О природе некоторых сверхэкстремальных аномалий летней температуры // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 г. М.: Триада лтд, 2011. С. 48–57.

Гидрометеорологические опасности / Г.С. Голицын, А.А. Васильев (ред.). М., 2001. 296 с.

Гинзбург А.С. Региональные максимумы температуры воздуха и возможность их простых энергобалансовых оценок // Известия РАН. Серия: Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 6. С. 722–728.

Гончарова Э.А., Бекузарова С.А. Биоразнообразие культурных растений: экологическая безопасность и продовольственные ресурсы // Известия Горского государственного аграрного университета. 2015. Т. 52. № 2. С. 258–267.

Груза Г.В., Коровкина Л.В. Климатический мониторинг процессов блокирования западного переноса в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1991б. № 8. С. 11–18.

Груза Г.В., Коровкина Л.В. Сезонные особенности пространственного распределения индексов блокирования в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1991а. № 3. С. 108–110.

Гудсков Н.Л. История эколого-физиологических исследований засухо- и жароустойчивости растений: дис. ... канд. биол. наук. М.: ИИЭТ, 1985. 242 с.

Давыдова Н.Л. Селекция яровой пшеницы на урожайность и качество зерна в условиях центра Нечерноземной зоны Российской Федерации: автореф. дис. ... д-ра сельхоз. наук. Немчиновка: МНИИСХ, 2011. 54 с.

Дендрохронологическая информация в лесоводственных исследованиях / под ред. В.А. Липаткина и Д.Е. Румянцева. М.: МГУЛ, 2007. 137 с.

Долгих А.В., Мацковский В.В., Воронин В.В., Соломина О.Н. Комбинированное дендрохронологическое и радиоуглеродное датирование шести русских икон XV–XVII вв. // Доклады Академии наук. 2017 (принята к печати).

Дроздов О.А. Засухи и динамика увлажнения. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 93 с.

Ермолов А.С. Неурожай и народное бедствие. СПб.: Тип. В. Киршбаума, 1892. 270 с.

Зоидзе А.Н. Об одном подходе к исследованию неблагоприятных агроклиматических явлений в условиях изменения климата в Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2004. № 1. С. 96–105.

Зоидзе Е.К., Задорнова О.Н., Хомякова Т.В. Опыт агроклиматического и оперативного мониторинга засушливых явлений в России по наземным данным // Труды ГГО. 2012. Вып. 565. С. 152–164.

Золина О.Г., Булыгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. № 1. С. 84–103.

Золотокрылин А.Н. Засухи и опустынивание в суббореальных ландшафтах России в контексте изменений климата // Известия РАН. Сер. географическая. 2013. № 5. С. 67–76.

Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В., Мещерская А.В., Страшная А.И., Черенкова Е.А. Засухи и опустынивание // Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их послед-

ствиях на территории Российской Федерации. СПб.: Государственный научный центр РФ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2014. С. 551–587.

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.: Гидрометеоиздат, 2007. С. 160–181.

Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б. Спутниковый индекс климатических экстремумов увлажнения засушливых земель // Аридные экосистемы. 2012. Т. 18. № 4. С. 5–12.

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.

Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А. Экстремальные засухи на европейской территории России в период 1936–2010 гг. // Проблемы региональной экологии. 2012. № 5. С. 41–46.

Изменчивость климата Европы в историческом прошлом / под ред. А.Н. Кренке. М.: Наука, 1995. 224 с.

Каменькова Н.И. К вопросу об изучении весенне-летних засух на европейской территории СССР // Труды ГГО. 1964. Вып. 164. С. 43–54.

Каппер О.Г. Хвойные породы. Лесоводственная характеристика. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1954. 303 с.

Карпухин А.А. Абсолютные дендрохронологические шкалы археологических памятников европейской части России // Археология, этнография и антропология Евразии. 2009. № 1 (37). С. 62–70.

Карпухин А.А., Мацковский В.В. Абсолютная генерализированная дендрохронологическая шкала бассейнов рек Шексна и Сухона (1085–2009) // Российская археология. 2014. № 2. С. 76–87.

Клиге Р.К., Данилов И.Д., Конищев В.Н. История гидросферы. М.: Научный мир, 1998. 370 с.

Климат Татарской АССР. Казань: Издательство КГУ, 1983. 160 с.

Колчин Б.А. Дендрохронология Новгорода // Материалы и исследования по археологии СССР. 1963. № 117. С. 5–103.

Коробко М.Ю. Московский Версаль: Кузьминки-Люблино. М.: Прима-Пресс-М, 2001. С. 87–89, 115.

Котов Л.Ф. О чем поведал Калужский бор. Калуга: Золотая аллея, 1993. 238 с.

Крамер П., Козловский Т. Физиология древесных растений. М.: Лесная промышленность, 1983. 464 с.

Кренке А.Н., Чернавская М.М. Изменения климата доинструментального периода последнего тысячелетия и их проявления на Русской равнине // Глобальные изменения климата и их последствия для России / Под ред. академика Г.С. Голицына и академика Ю.А. Израэля. М.: Региональная общественная организация ученых по проблемам прикладной геофизики, 2002. С. 137–173.

Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ / Под ред. профессора Ермолаева / О.П. Ермолаев, М.Е. Игонин, А.Ю. Бубнов, С.В. Павлова. Казань: Слово, 2007. 411 с.

Ловелиус Н.В. Анализ естественной изменчивости радиального прироста ели европейской в подзоне южной тайги / Н.В. Ловелиус, Н.И. Лайранд, А.А. Яценко-Хмелевский // Экология и защита леса: межвуз сб. научн. тр. Л.: ЛТА, 1990. С. 35–39.

Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев: дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Л., 1979. 232 с.

Логинов В.Ф., Неушкин А.И., Рочева Э.В. Засухи, их возможные причины и предпосылки возникновения. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1976. 71 с.

Локощенко М.А. Катастрофическая жара 2010 года в Москве по данным наземных метеорологических измерений // Известия РАН. Серия: Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 5. С. 523–536.

Ломоносов М.В. Ода, выбранная из Иова, главы 38, 39, 40 и 41 // М.В. Ломоносов. Избранные произведения. Л.: Советский писатель, 1986. С. 200–203.

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.

Любимов В.Б., Котова Н.П. Растения и дефицит влаги в почве // Естественные и математические науки в современном мире. 2013. № 8. С. 90–94.

Ляхов М.Е. Климатические экстремальные природные явления в центральной части ЕТС в XIII–XX вв. // Известия АН СССР. Сер. географическая. 1984. № 6. С. 68–75.

Маслов А.Д. Усыхание еловых лесов от засух на европейской территории СССР // Лесоведение. 1972. № . 6. С. 77–87.

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

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

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. 2012а. № 5. С. 27–42.

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

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 // Науч. журн. КубГАУ. 2012б. Т. 75 (01). С. 1–12.

Мацковский В.В. Возможности и ограничения реконструкции климатического сигнала по ширине годичных колец хвойных деревьев на севере и в центре европейской территории России: дис. ... канд. геогр. наук. М., 2011. 169 с.

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

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

Мацковский В.В., Соломина О.Н., Смирнов А.Н., Лазукова Л.И., Ершов И.Н. Дендрохронологические исследования в г. Звенигороде и его окрестностях. Саввинские чтения. Сборник трудов по истории Звенигородского края. Вып. 3. Звенигород, 2014.

Мещерская А.В., Блажевич В.Г. Каталоги площадей комплекса осадки–температура для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири // Метеорология и гидрология. 1977. № 9. С. 76–84.

Мещерская А.В., Блажевич В.Г., Голод М.П., Белянкина И.Г. Мониторинг засушливости на территории основных зернопроизводящих районов СНГ за последнее столетие // Труды ВНИИСХМ. 2000. Вып. 33. С. 41–63.

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.

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.: Гидрометеоиздат, 1982. 243 с.

Мещерская А.В., Мирвис В.М., Голод М.П. Засуха 2010 г. на фоне многолетнего изменения засушливости в основных зерносеющих районах европейской части России // Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 94–122.

Минин А.А. Фенология Русской равнины: материалы и обобщения. Москва: ABF/АБФ. 2000. 160 с.

Молчанов А.А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды. М.: Наука, 1976. 168 с.

Мохов И.И. Аномальное лето 2010 года в контексте общих изменений климата и его аномалий // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 г. Сборник докладов ГУ «Гидрометцентр России». М.: Триада лтд., 2011. С. 41–47.

Мохов И.И. Действие как интегральная характеристика климатических структур оценки для атмосферных блокингов // Доклады РАН. 2006. Т. 409. № 3. С. 403–406.

Мохов И.И., Акперов М.Г., Прокофьева М.А. Блокинги в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам // Доклады Академии наук. 2013. Т. 449. № 5. С. 582–586.

Мохов И.И., Дюфрен Ж.-Л., Ле Трет Э., Тихонов В.А., Чернокульский А.В. Изменения режимов засух и биопродуктивности наземных экосистем в регионах Северной Евразии по расчетам с глобальной климатической моделью с углеродным циклом // Доклады Академии наук. 2005. Т. 405. С. 810–814.

Мохов И.И., Петухов В.К. Блокинги и их тенденции изменения // Доклады РАН. 1997. Т. 337. № 5. С. 687–689.

Мохов И.И., Петухов В.К. Пространственно-временные климатические структуры. Ч. I, II. М: ИФА АН СССР, 1989. 191 с.

Мохов И.И., Петухов В.К., Семенов В.А. Внутрисезонные температурные режимы и их эволюция в трехмерной модели климата ИФА РАН // Известия РАН. Серия: Физика атмосферы и океана. 1998. Т. 34. № 2. С. 145–152.

Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах в связи с глобальными изменениями климата // Метеорология и гидрология. 2016. № 2. С. 16–28.

Немцова С.Ф., Фриш В.А., Фриш Э.В. Фенология некоторых древесных пород Дарвинского заповедника на фоне многолетней динамики ландшафта // Сезонное развитие природы европейской части СССР. Московский филиал ГО СССР. Москва. 1974. С. 12–15.

Неушкин А.И., Сидоренков Н.С., Санина А.Т., Иванова Т.Б., Бережная Т.В., Панкратенко М.В., Макарова М.Е. Мониторинг общей циркуляции атмосферы. Северное полушарие. Обнинск: ФГБУ ВНИГМИ-МЦД, 2012. 123 с.

Обухов А.М., Курганский М.В., Татарская М.С. Динамические условия возникновения засух и других крупномасштабных погодных аномалий // Метеорология и гидрология. 1984. № 10. С. 5–13.

Обухов В.М. Урожайность и метеорологические факторы. М.: Госпланиздат, 1949. С. 9–41.

Оганесян В.В. О соотношении между продолжительностью аномалий температуры и величиной ее экстремумов // Метеорология и гидрология. 2011. № 9. С. 41–45.

Павлов Н.И., Зуев В.М. Атмосферные засухи в России и на Дальнем Востоке и возможности их долгосрочного прогнозирования // Труды Дальневосточного государственного технического университета. 2003. № 133. С. 123–127.

Педь Д.А. О показателе засухи и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. 1975. Вып. 156. С. 19–39.

Погребняк П.С. Общее лесоводство. М.: Колос, 1968. 440 с.

Попова В.В. Колебания осадков на Русской равнине за последнее тысячелетие // Известия РАН. Сер. географическая. 2001. № 1. С. 42–49.

Пушин А.В., Чернавская М.М., Черных Н.Б. Климатические экстремумы и аномалии прироста древесины в XVI–XIX вв. на севере Русской равнины // Российская Археология. 2000. № 4. С. 86–99.

Раунер Ю.Л. Климат и урожайность зерновых культур. М.: Наука, 1981. 163 с.

Рочева Э.В. Возможные предвестники засух в сельскохозяйственных районах России // Метеорология и гидрология. 2012. № 9. С. 5–18.

Румянцев Д.Е. Диагностика особенностей роста сосны и ели в южной Карелии с использованием методов дендрохронологии: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: Институт лесоведения РАН, 2004. 24 с.

Румянцев Д.Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии. М.: МГУЛ, 2010. 109 с.

Румянцев Д.Е., Епишков А.А. Особенности перекрестной датировки индивидуальных древесно-кольцевых хронологий у видов интродуцентов (на примере ели восточной и ели Шренка в условиях г. Москва) // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2014. № 5. С. 138–145.

Румянцев Д.Е., Кухта А.Е., Пучинская Д.В. Климатический сигнал засух в хронологии ели из кисличного типа леса Центрально-Лесного

заповедника // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 2. С. 36–43.

Румянцев Д.Е., Черакшев А.В. Анализ распределения климатического сигнала в хронологиях сосен секции STROBI из разных географических точек // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 6 (17). С. 148–153.

Румянцев Д.Е., Черакшев А.В. Дендроклиматическая диагностика состояния сосен секции STROBI в условиях дендрологического сада МГУЛ // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2013. № 7 (99). С. 121–127.

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.

Садоков В.П., Козельцева В.Ф., Кузнецова Н.Н. Образование атмосферно-почвенной засухи с учетом почвенной и атмосферной засушливости // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2002. № 337. С. 48–56.

Садоков В.П., Козельцева В.Ф., Кузнецова Н.Н. Статистические свойства временных рядов Sa для оценки условий увлажненности и засушливости по основным сельскохозяйственным районам России и Беларуси // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2008. Вып. 342. С. 17–22.

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.

Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 165–177.

Семенов В.А. Колебания современного климата, вызванные обратными связями в системе атмосфера — полярные льды — океан // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 232–248.

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.

Семенов В.А., Шелехова Е.А., Мохов И.И., Зуев В.В., Колтерманн П. Влияние Атлантического долгопериодного колебания на формиро-

вание аномальных климатических режимов в регионах Северной Евразии по модельным расчетам // Доклады РАН. 2014. Т. 459. № 6. С. 742–745.

Семенов С.М., Асмус В.В., Величко А.А., Кровотынцев В.А., Крупчатников В.Н., Попова В.В., Попова Е.Н., Шмакин А.Б. Общеметодологические вопросы // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / С.М. Семенов (ред.). М.: Росгидромет, 2012. С. 6–52.

Сказкин Ф.Д. Критический период у растений по отношению к недостатку воды в почве. Л.: Наука, 1971. 120 с.

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. Сер. географическая. 2016. № 3. С. 47–64.

Соломина О.Н., Мацковский В.В., Жуков Р.С. Дендрохронологические «летописи» «Вологда» и «Соловки» как источник данных о климате последнего тысячелетия // Доклады Академии наук. 2011. Т. 439. № 4. С. 539–544.

Страшная А.И. Агрометеорологические особенности засухи 2010 г. в России по сравнению с засухами прошлых лет // Метеорология и гидрология. 2011. № 4. С. 5–11.

Страшная А.И. Использование показателей увлажнения для оценки засушливости и прогноза урожайности зерновых культур в Поволжском экономическом районе // Труды Гидрометцентра России. 1993. Вып. 327. С. 15–22.

Страшная А.И., Богомолова Н.А. О каталоге сильных почвенных засух под ранними яровыми зерновыми культурами в Черноземной зоне России // Труды Гидрометцентра России. 2004. Вып. 340. С. 35–47.

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.

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.

Тимирязев К.А. Земледелие и физиология растений. Борьба растения с засухой. М.: Изд-во Прянишникова и Маракуева, 1893. 88 с.

Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. 600 с.

Тычков И.И., Коюпченко И.Н., Ильин В.А., Шишов В.В. Визуальная параметризация имитационной модели Ваганова-Шашкина и ее

применение в дендроэкологических исследованиях // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2015. 8 (4). С. 478–494.

Тюрин А.В. О зацветании *Padus racemosa (Lam.) Griseb., Caragana arborescens Lam.* и *Betula verrucosa Ehrh.* в Подмосковье за 74 года (с 1883 по 1956 г.) // Ботанический журнал. 1959. Т. 44. № 11. С. 1639–1649.

Уланова Е.С., Страшная А.И. Засухи в России и их влияние на урожайность зерновых культур // Труды ВНИИСХМ. 2000. Вып. 33. С. 64–83.

Утешев А.С. Атмосферные засухи и их влияние на природные явления. Алма-Ата: Наука, 1972. 195 с.

Уткузова Д.Н., Вильфанд Р.М., Хан В.М., Ганиева Е.С. Синоптический анализ экстремальной засушливости и увлажненности на территории Российской Федерации // Биосфера. 2015. Т. 7. № 1. С. 50–60.

Фролов А.В., Страшная А.И. О засухе 2010 года и ее влиянии на урожайность зерновых культур // Сборник докладов совместного заседания Президиума Научно-технического совета Росгидромета и Научного совета Российской академии наук «Исследования по теории климата Земли». М.: Триада ЛТД, 2011. С. 22–31.

Хасанов Б.Ф. Структура древесины дуба черешчатого (*Quercus robur L.*) как показатель аномальных климатических явлений (на примере средней полосы европейской части России). Автореф. дис. канд. биол. наук. М.: ИПЭЭ РАН, 2008. 27 с.

Хлебникова Е.И., Павлова Т.В., Сперанская Н.А. Засухи // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем: кол. моногр. / рук. С.М. Семенов. М.: Росгидромет, 2012. С. 126–164.

Черенкова Е.А. Анализ особенностей обширных атмосферных засух на юге Европейской России // Аридные экосистемы. 2012. Т. 18. № 4 (53). С. 13–21.

Черенкова Е.А. Динамика опасной атмосферной засухи в Европейской России // Метеорология и гидрология. 2007. № 11. С. 14–25.

Черенкова Е.А. Количественные оценки атмосферных засух в Европейской России // Известия РАН. Сер. географическая. 2013. № 6. С. 76–85.

Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н. К вопросу о сравнимости некоторых количественных показателей засухи // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. № 2. С. 27–42.

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.

Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. 2011. № 2. С. 98–102.

Чернавская М.М. Реконструкция термических условий малого ледникового периода на севере Евразии (по дендрохронологическим данным) // Известия АН СССР. Сер. географическая. 1985. № 1. С. 99–103.

Черных Н.Б. Дендрохронология и археология. М.: NOX, 1996. 216 с.

Чернышенко О.В., Румянцев Д.Е. История физиологии растений в опытах. М.: МГУЛ, 2007. 46 с.

Шведов Ф.Н. Дерево как летопись засух // Метеорологический вестник. 1892. № 5. С. 163–178.

Шишов В.В., Ваганов Е.А., Хъюс М.К., Корец М.А. Пространственная изменчивость радиального прироста деревьев на территории Сибири в последнем столетии // Доклады Академии наук. 2002. Т. 387. № 5. С. 690–693.

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. Екатеринбург, 2000. 81 с.

Шурыгин А.М. Прикладная стохастика: робастность, оценивание, прогноз. М.: Финансы и статистика, 2000. 224 с.

Щепкин В.Н. Голода в России // Исторический вестник. 1886. № 24 (2). С. 489–521.

Щербатов М.М. Рассуждение о нынешнем в 1787 году почти повсеместном голоде в России, о способах оному помочь и впредь предупредить подобное же нещастие // Щербатов М. М. Разные сочинения. М., 1860. С. 81–112.

Юсуфов Г.А. Лекции по эволюционной физиологии растений. М.: Высшая школа, 1996. 255 с.

Akkemik Ü., D'Arrigo R., Cherubini P., Köse N., Jacoby, G.C. Tree-ring reconstructions of precipitation and streamflow for north-western Turkey // International Journal of Climatology. 2008. Vol. 28 (2). P. 173–183.

Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J.-H., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N. Adaptation of Forests and Forest Management to Changing Climate — Selected papers from the conference on "Adaptation of Forests and Forest Management to Changing Climate with Emphasis on Forest Health:

A Review of Science, Policies and Practices", Umeå, Sweden, August 25–28, 2008 // Forest Ecology and Management. 2010. Vol. 259 (4–5). P. 660–684. doi:10.1016/j.foreco.2009.09.001

Arseneault D., Payette S. Reconstruction of millennial forest dynamics from tree remains in a subarctic tree line peatland // Ecology. 1997. Vol. 78(6). P. 1873–1883.

Axelson J.N., Sauchyn D.J., Barichivich J. New reconstructions of streamflow variability in the South Saskatchewan River Basin from a network of tree ring chronologies, Alberta, Canada // Water Resources Research. 2009. Vol. 45(9). W09422. doi:10.1029/2008WR007639.

Barriopedro D., Garcia-Herrera R., Lupo A.R., Hernandes E. A climatology of Northern Hemisphere blocking // Journal of Climate. 2006. Vol. 19 (6). P. 1042–1063.

Becker B. Holocene tree-ring series from southern central Europe for archaeological dating, radiocarbon calibration, and stable isotope analysis // Radiocarbon Dating / eds. Berger R., Suess H.E. Berkeley (Cal.). 1979. P. 554–565.

Becker M., Nieminen T.M., Gérémia F. 1994. Short-term variations and long-term changes in oak productivity in northeastern France — the role of climate and atmospheric CO2 // Annals of Forest Science. 1994. Vol. 51 (5). P. 477–492.

Beguería S., Vicente-Serrano S.M., Reig F., Latorre B. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring // International journal of climatology. 2014. Vol. 34 (10). P. 3001–3023.

Beniston M., Diaz H.F. The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel Switzerland // Global and Planetary Change. 2004. Vol. 44(1). P. 73–81.

Biggs D., De Ville B., Suen E.A. Method of choosing multiway partitions for classification and decision trees // Journal of Applied Statistics. 1991. Vol. 18(1) P. 49–62.

Biondi F., Waikul K. DENDROCLIM2002: A C++ Program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies // Computers & Geosciences. 2004. Vol. 30. P. 303–311.

Björklund J., Gunnarson B.E., Seftigen K., Esper J., Linderholm H.W. Blue intensity and density from northern Fennoscandian tree rings, exploring the potential to Improve summer temperature reconstructions with earlywood information // Clim. Past. 2014. Vol. 10. P. 877–885.

Björklund J., Gunnarson B.E., Seftigen K., Zhang P., Linderholm H.W. Using adjusted blue intensity data to attain high-quality summer tempera-

ture information: a case study from Central Scandinavia // The Holocene. 2015. Vol. 25 (3). P. 547–556.

Boggie R. Effect of water-table height on root development of Pinus contorta on deep peat in Scotland // Oikos. 1972. Vol. 23. P. 304–312.

Bradley R.S., Wanner H., Henry F., Diaz H.F. The Medieval Quiet Period // The Holocene. 2016. Vol. 26(6). P. 990–993. doi:10.1177/0959683615622552.

Bräker O.U. Measuring and data processing in tree-ring research–a methodological introduction // Dendrochronologia. 2002. Vol. 20 (1). P. 203–216.

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.

Briffa K.R. Interpreting high-resolution proxy climate data: the example of dendroclimatology // von Storch H. and Navarra A., eds. // Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques. Berlin, Springer Verlag. 1995. P. 77–84.

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.

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.

Briffa K.R., Bartholin T.S., 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.

Briffa K.R., Jones P.D., Bartholin T.S., Eckstein D., Schweingruber F.H., Karlén W., Zetterberg P., Eronen M. Fennoscandian summers from AD500: Temperature changes on short and long timescales // Clim. Dyn. 1992. Vol. 7. P. 111–119.

Briffa K.R., Melvin T.M. A closer look at regional curve standardization of tree-ring records: justification of the need, a warning of some pitfalls, and suggested improvements in its application // Dendroclimatology. Springer Netherlands, 2011. P. 113–145.

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.

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. 2002. Vol. 12 (6). P. 737–757.

Brugnoli E., Solomina O., Spaccino L., Dolgova E. Climate signal in the ring width, density and carbon stable isotopes in pine (Pinus Sylvestris L.) in Central Caucasus // Geography Environmental Sustainability. 2010. Vol. 03 (4). P. 4–16.

Bunn A. G. A dendrochronology program library in R (dplR) // Dendrochronologia. 2008. Vol. 26. P. 115–124.

Bunn A. G. Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. Dendrochronologia. 2010. Vol. 28. P. 251–258.

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.

Büntgen U., Bellwald I., Kalbermatten H., Schmidhalter M., Frank D., Freund H., Bellwald W., Neuwirth B., Nusser M. and Esper J. 700 Years of Settlement and Building History in the Lotschental, Switzerland // Erdcunde. 2006. Bd. 60. H. 2. P. 96–112.

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. 2011a. Vol. 30. P. 3947–3959.doi:10.1016/j.quascirev. 2011.10.010.

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.

Büntgen U., Tegel W., Nicolussi K., McCormick M., Frank D., Trouet V., Kaplan J. O., Herzig F., Heussner K-U., Wanner H., Luterbacher J., Esper J. 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility // Science. 2011. Vol. 331. P. 578–582.

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.

Campbell R., McCarroll D., Loader N. J., Grudd H., Robertson I., Jalkanenet R. Blue reflectance in Pinus sylvestris: Application, validation and climatic sensitivity of a new palaeoclimate proxy for tree ring research // The Holocene. 2007. Vol. 17. P. 821–828.

Campbell R., McCarroll D., Robertson I., Loader N. J., Grudd H., Gunnarson B. Blue intensity in Pinus sylvestris tree rings: a manual for a new palaeoclimateproxy // Tree-Ring Res. 2011. Vol. 67. P. 127–134.

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.

Case R.A., MacDonald G.M. Tree ring reconstructions of streamflow for three Canadian prairie rivers // Journal of the American Water Resources Association. 2003. Vol. 39 (3). P. 703–716.

Casty C., Wanner H., Luterbacher J., Esper J., Bohm R. Temperature and precipitation variability in the european alps since 1500 // Int. Journal Climatol. 2005. Vol. 25. P. 1855–1880.

Cedro A., Lamentowicz M. Contrasting responses to environmental changes by pine (Pinus sylvestris L.) growing on peat and mineral soil: an example from a Polish Baltic bog // Dendrochronologia. 2011. Vol. 29. P. 211–217.

Chen F., Yuan Y., Wei W. Climatic response of Picea crassifolia tree-ring parameters and precipitation reconstruction in the western Qilian Mountains, China // Journal of Arid Environments. 2011. Vol. 75 (11). P. 1121–1128.

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.

Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikov, P.J. van der Linden, C.E. Hanson, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Margius, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds.). Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2007b. 976 p.

Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Margius, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds.). Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press. 2007a. 996 p.

Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D., Matsui N., Allan R.J., Yin X., Gleason Jr B.E., Vose R.S., Rutledge G., Bessemoulin P., Brönnimann S., Brunet M., Crouthamel R.I., Grant A.N., Groisman P.Y., Jones P.D., Kruk M.C., Kruger A.C., Marshall G.J., Maugeri M., Mok H.Y., Nordli O., Ross T.F., Trigo R.M., Wang X.L., Woodruff S.D., Worley S.J. The Twentieth Century Reanalysis Project // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2011. Vol. 137(654). P. 1–28. DOI:10.1002/qj.776.

Comrie A.C., Glenn E.C. Principal components-based regionalization of precipitation regimes across the southwest United States and Northern

Mexico, with an application to monsoon precipitation variability // Climate Research. 1998. Vol. 10. P. 201–215.

Cook B.I., Smerdon J.E., Seager R., Cook E.R. Pan-continental droughts in North America over the last millennium // Journal of Climate. 2014. Vol. 27 (1). P. 383–397.

Cook E.R., Briffa K.R., Jones P.D. Spatial regression methods in dendroclimatology — A review and comparison of 2 techniques // International Journal of Climatology. 1994. Vol. 14(4). P. 379–402.

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.

Cook E.R. A time series analysis approach to tree-ring standartization: Ph. D. Diss. University of Arizona, 1985.

Cook E.R., Anchukaitis K.J., Buckley B.M., D'Arrigo R.D., Jacoby G.C., Wright W.E. Asian Monsoon Failure and Megadrought During the Last Millennium // Science. 2010. Vol. 328 (5977). P. 486–489. doi:10.1126/science.1185188.

Cook E.R., Buckley B.M., D'Arrigo R.D., Peterson M.J. Warm-season temperatures since 1600 BC reconstructed from Tasmanian tree rings and their relationship to large-scale sea surface temperature anomalies // Climate Dynamics. 2000. Vol. 16 (2–3). P. 79–91.

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.

Cook E.R., Kairiukstis L.A. Methods of Dendrochronology: applications in the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer, 1990. 394 p.

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 fromTree Rings // Journal of Hydrology. 2013. Vol. 486. P. 365–375. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.02.004.

Cook E.R., Seager R., Kushnir Y., Briffa K.R., Büntgen U., Frank D., Krusic P.J., Tegel W., van der Schrier G., Andreu-Hayles L., Baillie M., Baittinger C., Bleicher N., Bonde N., Brown D., Carrer M., Cooper R., Čufar K., Dittmar C., Esper J., Griggs C., Gunnarson B., Günther B., Gutierrez E., Haneca K., Helama S., Herzig F., Heussner K-U., Hofmann J., Janda P., Kontic R., Köse N., Kyncl T., Levanič T., Linderholm H., Manning S., Melvin T.M., Miles D., Neuwirth B., Nicolussi K., Nola P., Panayotov M., Popa I., Rothe A., Seftigen K., Seim A., Svarva H., Svoboda M., Thun T., Timonen M., Touchan R., Trotsiuk V., Trouet V., Walder F., Ważny T., Wilson R., Zang C. Old World megadroughts and pluvials during the Common Era // Science Advances. 2015. Vol. 1(10). doi: 10.1126/sciadv.1500561.

Cook E.R., Meko D.M., Stahle D.W., Cleaveland M.K. Drought reconstructions for the continental United States// Journal of Climate. 1999. Vol. 12 (4). P. 1145–1162.

Cropper J.P. Tree-ring skeleton plotting by computer // Tree-Ring Bulletin. 1979. Vol. 39. P. 47–59.

Cufar K. Common climatic signals affecting oak tree-ring growth in SE Central Europe // Trees. 2014. Vol. 28 (5). P. 1267–1277.

D'Arrigo R., Kaufmann R., Davi N., Jacoby G., Laskowski C., Myneni R.B., Cherubini P. Thresholds for warming-induced growth decline at elevational tree line in the Yukon Territory, Canada // Global Biogeochemical Cycles. 2004. Vol. 18. GB3021, doi:10.1029/2004GB002249.

D'Arrigo R.D., Malmstrom C.M., Jacoby G.C., Los S.O., Bunker D.E. Correlation between maximum latewood density of annual tree rings and NDVI based estimates of forest productivity // International Journal of Remote Sensing. 2000. Vol. 21(11). P. 2329–2336.

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.

Davi N.K., Jacoby G.C., Curtis A.E., Nachin B. Extension of drought records for central Asia using tree rings: west central Mongolia // Journal of Climate. 2006. Vol. 19. P. 288–299.

Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Bechtold P. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // Quarterly Journal of the royal meteorological society. 2011. Vol. 137 (656). P. 553–597.

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.

D'Odorico P., Ridolfi L., Porporato A., Rodriguez-Iturbe I. Preferential states of seasonal soil moisture: The impact of climate fluctuations // Water Resources Research. 2000. Vol. 36(8). P. 2209–2219.

Dole R., Hoerling M., Perlwitz J., Eischeid J., Pegion P., Zhang T., Quan X.-W., Xu T., Murray D. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? // Geophys. Res. Lett. 2011. Vol. 38. L06702. doi:10.1029/2010GL046582.

Dolgova E. June–September temperature reconstruction in the Northern Caucasus based on blue intensity data // Dendrochronologia. 2016. Vol. 39. P. 17–23.

Edvardsson J., Corona C., Mažeika J., Pukienė R., Stoffel M. Recent advances in long term climate and moisture reconstructions from the Baltic region: Exploring the potential for a new multi-millennial tree-ring chronology // Quat. Sci. Rev. 2016. Vol. 131. P. 118–126.

Edvardsson J., Hansson A. Multiannual hydrological responses in Scots pine radial growth within raised bogs in southern Sweden // Silva Fennica. 2015. Vol. 49(4). P. 1–14.

Edvardsson J., Rimkus E., Corona C., Šimanauskiene R., Kažys J., Stoffel M. Exploring the impact of regional climate and local hydrology on Pinus sylvestris L. growth variability — A comparison between pine populations growing 1184 on peat soils and mineral soils in Lithuania // Plant Soil. 2015a. Vol. 392. P. 345–356.

Edwards D. C., McKee T. B. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales // Climatology Report No. 97–2. Colorado State University, Fort Collins Colorado, 1997. 155 p.

Esper J., Cook E. R., Krusic P. J., Schweingruber F. H. Tests of the RCS method for preserving low-frequency variability in long tree-ring chronologies // Tree-Ring Res. 2003. Vol. 59. P. 81–98.

Esper J. Frank D., Büntgen U., Verstege A., Luterbacher J., Xoplaki E. Long-term drought severity variations in Morocco // Geophysical Research Letters. 2007. Vol. 34. L17702. doi: 10.1029/2007GL030844.

Fan Y., van den Dool H. Climate Prediction Center global monthly soil moisture data set at 0.5° resolution for 1948 to present // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2004. Vol. 109. D10102. doi: 10.1029/2003JD004345.

Fang K., Davi N., Gou X., Chen F., Cook E., Li J., D'Arrigo R. Spatial drought reconstructions for central High Asia based on tree rings // Climate Dynamics. 2010. Vol. 35 (6). P. 941–951.

Frank D., Esper J., Zorita E., Wilson R. A noodle, hockey stick, and spaghetti plate: a perspective on high-resolution paleoclimatology // Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. 2010. Vol. 1(4). P. 507–516.

Friedrich M., Kromer B., Spurk H., Hofmann J., Kaiser K.-F. Paleo-environment and radiocarbon calibration as derived from Late glacial/Early Holocene tree-ring chronologies // Quaternary International. 1999. Vol. 61 (1). P. 27–39.

Fritts H. C. Tree Rings and Climate. Academic Press, London, 1976. 567 p.

Gou X., Chen F., Cook E., Jacoby G., Yang M., Li J. Streamflow variations of the Yellow River over the past 593 years in western China reconstructed from tree rings // Water Resour. Res. 2007. Vol. 43. W06434. doi: 10.1029/2006WR005705.

Griffin D., Anchukaitis K. J. How unusual is the 2012–2014 California drought? // Geophysical Research Letters. 2014. Vol. 41(24). P. 9017–9023. doi10.1002/2014GL062433.

Grissino-Mayer H. D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA // Tree-Ring Research. 2001. Vol. 57. P. 205–221.

Grissino-Mayer H. D., *Fritts H. C.* The International Tree-Ring Data Bank: an enhanced global database serving the global scientific community // Holocene. 1997. Vol. 7(2). P. 235–238.

Grove J. M. The Little Ice Age. London: Methuen Press, 1988.

Guiot J. Deux methodes d'utilisation de l'epaisseur des cernes ligneux pour la reconstruction des parametres climatiques anciens, l'exemple de leur application dans le domaine Alpin // Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology. 1984. Vol. 45 (3–4). P. 347–368.

Guttman N. B. Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm // Journal of the American Water Resources Association. 1999. Vol. 35 (2). P. 311–322.

Guttman N. B. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. Journal of the American Water Resources Association. 1998. Vol. 34 (1). P. 113–121.

Hafner P., Gričar J., Skudnik M., Levanič T. Variations in environmental signals in tree-ring indices in trees with different growth potential // PLos One. 2015. Vol. 10 (11). doi: 10.1371/journal.pone.0143918.Harlow W. M., Harror E. S. Textbook of dendrology. Covering the importatnt forest trees of the United States and Canada. New York-Toronto-London, McGRAW-HILL BOOK company, 1950. 555 p.

Harris I., Jones P. D., Osborn T. J., Lister D. H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations — the CRU TS3.10 Dataset // International Journal Climatology. 2014. Vol. 34 (3). P. 623–642. doi:10.1002/joc.3711.

He J., Shao X. Relationships between tree-ring width index and NDVI of grassland in Delingha // Chinese Science Bulletin. 2006. Vol. 51 (9). P. 1106–1114. doi: 10.1007/s11434–006–1106–4.

Heim R. A review of twentieth-century drought indices used in the United States // Bulletin of the American Meteorological Society. 2002. Vol. 83(8). P. 1149–1165.

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.

Herweijer C., Seager R., Cook E. R., Emile-Geay J. North American Droughts of the Last Millennium from a Gridded Network of Tree-Ring Data // Journal of Climate. Vol. 20 (7). 2007. P. 1353–1376.

Hidalgo H. G., Piechota T. C., Dracup J. A. Alternative principal components regression procedures for dendrohydrologic reconstructions // Water Resources Research. 2000. Vol. 36 (11). P. 3241–3249.

Hoch G., Körner C. The carbon charging of pines at the climatic treeline: a global comparison // Oecologia. 2003. Vol. 135 (1). P. 10–21.

Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-Ring Bulletin. 1983. Vol. 43. P. 69–78.

Hughes M.K., Brown P.M. Drought frequency in central California since 101 BC recorded in giant sequoia tree rings // Climate Dynamics. 1992. Vol. 6 (3). P. 161–197.

Hughes M.K., Xiangding W., Xuemei S., Garfin G.M. A preliminary reconction of rainfall in north-central China since AD1600 from tree-ring density and width // Quaternary Research. 1994. Vol. 42 (1). P. 88–99.

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.

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S. The NCEP/NCAR40-year reanalysis project // Bulletin of the American Meteorological Soc. 1996. Vol. 77 (3). P. 437–470.

Karnieli A., Agam N., Pinker R.T., Anderson M., Imhoff M.L., Gutman G.G., Panov N., Goldberg A. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: merits and limitations // Journal of Climate. 2010. Vol. 23 (3). P. 618–633.

Kass G.V. An Exploratory Technique for Investigating Large Quantities of Categorical Data // Applied Statistics. 1980. Vol. 29 (2). P. 119–127.

Kaufman L., Rousseeuw P.J. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis (1 ed.). New York: John Wiley, 1990.

Kaufmann R.K., D'arrigo R.D., Laskowski C., Myneni R.B., Zhou L., Davi N.K. The effect of growing season and summer greenness on northern forests // Geophysical Research Letters. 2004. Vol. 31 (9). L09205.

Kirdyanov A.V., Treydte K.S., Nikolaev A., Helle G., Schleser G.H. Climate signals in tree-ring width, density and ($\delta^{13}C$ from larches in Eastern Siberia (Russia) // Chemical Geology. 2008. Vol. 252 (1–2). P. 31–41.

Klein Tank A.M.G., Wijngaard J.B., Können G.P. et al. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment. Int. J. Climatol. 2002. Vol. 22 (12). P. 1441–1453.

Kogan F.N. Global drought watch from space // Bull. Am. Meteorol. Soc. 1997. Vol. 78. P. 621–636.

Kogan F.N. Global drought detection and impact assessment form space // Drought: A Global Assessment, 1. Hazard and Disaster Series. Routledge, London and New York, 2000 P. 196–210.

Kogan F.N. World droughts in the new millennium from AVHRR based vegetation indices // Eos, Transactions American Geophysical Union. 2002. Vol. 83(48). P. 557–564.

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.

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.

Kozlowski T.T., Karmer P., Pallardy S.G. The Physiological Ecology of Woody Plants. AcademicPress, San Diego, CA, 1991. 657 p.

Kress A., Saurer M., Siegwolf R.T.W., Frank D.C., Esper J. and Bugmann H. A 350-year drought reconstruction from Alpine tree ring stable isotopes // Global Biogeochem. Cycles. 2010. Vol. 24 (2). doi: 10.1029/2009GB003613.

Kuuluvainen T., Aakala T. Natural forest dynamics in boreal Fennoscandia: a review and classification // Silva Fennica. 2011. Vol. 45 (5). P. 823–841.

Kwon H.H., Lall U., Kim S.J. The unusual 2013–2015 drought in South Korea in the context of a multicentury precipitation record: Inferences from a nonstationary, multivariate, Bayesian copula model // Geophysical Research Letters. 2016. Vol. 43 (16). P. 8534–8544.

Labuhn I., Daux V., Girardclos O., Stievenard M., Pierre M., Masson-Delmotte V. French summer droughts since 1326 AD: a reconstruction based on tree ring cellulose $\delta^{18}O$ // Climate of the Past. 2016. Vol. 12. P. 1101–1117. http://www.clim-past.net/12/1101/2016/

Lara A., Villalba R., Urrutia R. A 400-year tree-ring record of the Puelo River summer–fall streamflow in the Valdivian Rainforest eco-region, Chile // Climatic Change. 2008. Vol. 86 (3–4). P. 331–356.

Larsson L. CooRecorder and Cdendro programs of theCooRecorder/Cdendropackage version 7.6. 2013. http://www.cybis.se/forfun/dendro/

Latif M., Roeckner E., Botzet M., Esch M., Haak H., Hagemann S., Jungclaus J., Legutke S., Marsland S., Mikolajewicz U., Mitchell J. Reconstructing, Monitoring, and Predicting — Scale Changes in the North Atlantic Thermohaline Circulation with Sea Surface Temperature // Journal of Climate. 2004. Vol. 17. P. 1605–1614.

Leuschner H. H., Sass-Klaassen U., Jansma E., Baillie M. G. L., Spurk M. Subfossil European bog oaks: population dynamics and long-term growth depressions as indicators of changes in the Holocene hydro-regime and climate // The Holocene. 2002. Vol. 12 (6). P. 695–706.

Liang E. Y., Shao X. M., He J. C. Relationships between tree growth and NDVI of grassland in the semiarid grassland of north China // International Journal of Remote Sensing. 2005. Vol. 26 (13). P. 2901–2908.

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.

Linderholm H. W. Climate influence on Scots pine growth on dry and wet soils in the central Scandinavian mountains, interpreted from tree-ring widths // Silva Fennica. 2001. Vol. 35 (4). P. 415–424.

Linderholm H. W., Leine M. Assessing twentieth century tree-cover changes on a southern Swedish peatland combining dendrochronolgical and remote sensing methods // Wetlands. 2004. Vol. 24. P. 357–363.

Linderholm H. W., Moberg A., Grudd H. Peatland 1371 pines as climate indicators? — A regional comparison of the climatic influence on Scots pine growth in Sweden // Canadian Journal of Forest Research. 2002. Vol. 32 (8). P. 1400–1410.

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.

Lough J. M., Fritts H. S. An assessment of the posible effects of volcanic eruptions on North American climate using tree-ring data, 1602 to 1900 AD // Climatic Change. 1987. Vol. 10 (3). P. 219–239.

Lupo A. R., Mokhov I. I., Akperov M. G., Chernokulsky A. V., Athar H. A dynamic analysis of the role of the planetary and synoptic scale in the summer of 2010 blocking episodes over the European part of Russia // Advances in Meteorology. 2012. Vol. 2012. doi: 10.1155/2012/584257.

Lupo A. R., Oglesby R. J., Mokhov I. I. Climatological features of blocking anticyclones: A study of Northern Hemisphere CCM1 model blocking events in present day and double CO_2 concentration atmospheres // Climate Dynamics. 1997. Vol. 13. P. 181–195.

MacDonald G., Kremenetski K., Smith L. H. G. Hidalgo. Recent Eurasian river discharge to the Arctic Ocean. The context of longer-term dendrohydrological records // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2007. Vol. 112 (G4). G04S50. doi: 101029/2006JG000333.

MacDonald G. M., Beilman D. W., Kremenetski K. V., Shen, Y., Smith L. C., Velichko A. A. Rapid early development of circumarctic peatlands and

atmospheric CH_4 and CO_2 variations // Science. 2006. Vol. 314 (5797). P. 285–288.

Madsen H., Mikkelsen P.S., Rosbjerg D., Harremoes P. Estimation of regional intensity-duration frequency curves for extreme precipitation // Water Science and Technology. 1998. Vol. 37(11). P. 29–36.

Malmstrom C.M., Thompson M.V., Juday G., Los S.O., Randerson J.T., Field C.B. Interannual variation in global-scale net primary production: testing model estimates // Global Biogeochemical Cycles. 1997. Vol. 11 (3). P. 367–392.

Martinez-Meier A., Sanchez L., Pastorino M., Gallo L., Rozenberg P. What is hot in tree rings? The wood density of surviving Douglas-firs to the 2003 drought and heat wave // Forest Ecology and Management. 2008. Vol. 256 (4). P. 837–843.

Masato G., Hoskins B.J. Woollings T. Winter and summer Northern Hemisphere blocking in CMIP5 models // Journal of Climate. 2013. Vol. 26 (18). P. 7044–59.

Masson-Delmotte V., Landais A., Stievenard M., Cattani O., Falourd S., Jouzel J., Johnsen S.J., Dahl-Jensen D., Sveinsbjornsdottir A., White J.W.C., Popp T., Fischer H. Holocene climatic changes in Greenland: different deuterium excess signals at GRIP and NorthGRIP // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2005. Vol. 110 (D14). D14102. doi: 10.1029/2004JD005575.

Matisons R. Influence of climate on tree-ring and earlywood vessel formation in Quercus robur in Latvia // Trees. 2012. Vol. 26 (4). P. 1251–1266.

Matskovsky V., Dolgikh A., Voronin K. Combined dendrochronological and radiocarbon dating of three Russian icons from the 15th-17th century // Dendrochronologia. 2016. Vol. 39. P. 60–68. doi: 10.1016/j.dendro.2015.10.002.

Matskovsky V., Dolgova E., Lomakin N., Matveev S. Dendroclimatology and historical climatology of Voronezh region, European Russia, since 1790s // International Journal of Climatology. 2016. P. 4896–4896. doi: 10.1002/joc.4896.

Matskovsky V.V., Helama S. Testing long-term summer temperature reconstruction based on maximum density chronologies obtained by reanalysis of tree-ring datasets from northernmost Sweden and Finland // Climate of the Past. 2014. Vol. 10 (4). P. 1473–1487. doi:10.5194/cp-10–1473–2014

McCarroll D., Loader N.J. Stable isotopes in tree rings // Quaternary Science Reviews. 2004. Vol. 23 (7). P. 771–801.

McCarroll D., Loader N.J., Jalkanen R., Gagen M.H., Grudd H., Gunnarson B.E., Kirchhefer A.J., Friedrich M., Linderholm H.W., Lindholm M., Boettger T., Los S.O., Remmele S., Kononov Y.M., Yamazaki Y.H.,

Young G.H.F., Zorita E. A 1200-year multiproxy record of tree growth and summer temperature 1418 at the northern pine forest limit of Europe // The Holocene. 2013. Vol. 23 (4). P. 471–484.

McCarroll D., Pettigrew E., Luckman A., Guibal F., Edouard J.L. Blue reflectance provides a surrogate for latewood density of high-latitude pine tree-rings // Arctic, Antarctic and Alpine Research. 2002. Vol. 34. P. 450–53.

McKee T.B., Doesken N.J., Kliest J. The relationship of drought frequency and duration to time scales // Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Anaheim, USA, 1993. P. 179–184.

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.

Melvin T.M., Briffa K.R, Nicolussi K., Grabner M. Time-varying-response smoothing // Dendrochronologia. 2007. Vol. 25 (1). P. 65–69.

Melvin T.M., Briffa K.R. A signal-free approach to dendroclimatic standardisation // Dendrochronologia. 2008. Vol. 26 (2). P. 71–86.

Merian P., Lebourgeois F. Size-mediated climate–growth relationships in temperate forests: A multi-species analysis // Forest Ecology and Management. 2011. Vol. 261 (8). P. 1382–1391.

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.

Mitchell T.D., Carter T.R., Jones P.D., Hulme M., New M. A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901–2000) and 16 scenarios (2001–2100) // Tyndall centre for climate change research working paper. 2004. Vol. 55 (0). 30 p.

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.

Mokhov I.I., Khvorosyanov D.V., Eliseev A.V. Decadal and longer term changes in El-Nino — Southern Oscillation characteristics // Intern. J. Climatol. 2004. Vol. 24. P. 401–414.

Mokhov I.I., Smirnov D.A. El-Nino — Southern Oscillation drives North Atlantic Oscillation as revealed with nonlinear techniques from climatic indices // Geophysical Research Letters. 2006. Vol. 33 (3). P. L03708.

Mokhov I.I., Tikhonova E.A. Atmospheric blocking characteristics in the Northern Hemisphere. Diagnostics of changes // Research Activities in

Atmospheric and Oceanic Modelling / ed. By H. Ritchie. WMO/TD-No. 987. 2000. P. 2.20–2.21.

Mu Q., Zhao M., Kimball J. S., MsDowell N. G., Running S. W. A Remotely Sensed Global Terrestrial Drought Severity Index US // Bulletin of the American Meteorological Society. 2013. Vol. 94 (1). P. 83–98.

Nash T., Fritts H., Stokes M. A technique for examining non-climatic variation in widths of annual tree rings with special reference to air pollution // Tree-Ring Bull. 1975. Vol. 35. P. 15–24.

Neuwirth B., Esper J., Schweingruber F. H., Winiger M. Site ecological differences to the climatic forcing of Spruce Pointer years from the Lotschental, Switzerland // Dendrochronologia. 2004. Vol. 21 (2). P. 69–78.

Neuwirth B., Schweingruber F., Winiger M. Spatial patterns of Central European Pointer years from 1901 to 1971 // Dendrochronologia. 2007. Vol. 24 (2–3). P. 79–89.

Ni F., Cavazos T., Hughes M. K., Comrie A. C., Funkhouser G. Cool-season precipitation in the southwestern USA since AD1000: comparison of linear and nonlinear techniques for reconstruction // International Journal of Climatology. 2002. Vol. 22 (13). P. 1645–1662.

Nicault A., Alleaume S., Brewer S., Carrer M., Nola P., Guiot J. Mediterranean drought fluctuation during the last 500 years based on tree-ring data // Climate Dynamics. 2008. Vol. 31. P. 227–245.

Nicolussi K., Kaufmann M., Melvin T. M., van der Plicht J., Schießling P., Thurner A. A 9111 year long conifer tree-ring chronology for the European Alps: a base forenvironmental and climatic investigations //The Holocene. 2009. Vol. 19 (6). P. 909–920. doi: 10.1177/0959683609336565.

Orvis K. H., Grissino-Mayer H. D. Standardizing the reporting of abrasive papers used to surface tree-ring samples // Tree-Ring Research. 2002. Vol. 58 (1/2). P. 47–50.

Palmer W. C. Meteorological drought U. S. // Department of Commerce Research Paper. 1965. Vol. 45. 65 p.

Panayotov M., Bebi P., Trouet V., Yurukov S. Climate signal in tree-ring chronologies of Pinus peuce and Pinus heldreichii from the Pirin Mountains in Bulgaria // Trees. 2010. Vol. 24 (3). P. 479–490. doi: 10.1007/s00468–010–0416-y.

Panofsky H. A., Brier G. W. Some Applications of Statistics to Meteorology. Earth and Mineral Sciences Continuing Education, College of Earth and Mineral Sciences. The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, 1958. 224 p.

Panyushkina I. P., Karpukhin A. A., Engovatova A. V. Moisture record of the Upper Volga catchment between AD1430 and 1600 supported by a $\delta^{13}C$ tree-ring chronology of archaeological pine timbers // Dendrochronologia. 2016. Vol. 39. P. 24–31.

Parker M.L., Henoch W.E.S. The use of Engelmann spruce latewood density for dendrochronological purposes // Canadian Journal of Forest Research. 1971. Vol. 1 (2). P. 90–98.

Pearson K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space // Philosophical Magazine. 1901. Vol. 2. P. 559–572.

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.

Penman H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass // Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. — The Royal Society, 1948. V.193 (1032). P. 120–146.

Petoukhov V., Rahmstorf S., Petri S., Schellnhuber H.J. Quasiresonant amplification of planetary waves and recent Northern Hemisphere weather extremes // PNAS. 2012. Vol. 110 (14). P. 5336–5341.

Pichler P., Oberhuber W. Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003 // Forest Ecology and Management. 2007. Vol. 242 (2). P. 688–699.

Pilcher J.R. A statistical oak chronology from the north of Ireland // Tree-Ring Bulletin. 1976. Vol. 36. P. 21–27.

Puchałka R., Koprowski M., Przybylak J., Przybylak R., Dąbrowski H.P. Did the late spring frost in 2007 and 2011 affect tree-ring width and earlywood vessel size in Pedunculate oak (Quercus robur) in northern Poland? // International journal of biometeorology. 2016. Vol. 60 (8). P. 1143–1150.

Pukienė R. Pinewood growth dynamics in Uzpelkiu Tyrelis oligotrophic bog during the Subatlantic period: Dissertation. Vilnius Institute of Botany, 1997. 27 p.

R Core Team. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015. https://www.R-project.org/

Razuvayev V.N., Apasova E.G., Martuganov R.A., Steurer P., Vose R. Daily Temperature and Precipitation Data for 223 U.S.S.R. Stations. ORNL/CDIAC, Numerical data package — 040, Oak Ridge National laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 1993.

Remote Sensing of Drought: Innovative Monitoring Approaches / B.D. Wardlow, M.C. Anderson, J.P. Verdin (eds.). CRC Press, 2012. 422 p.

Rienecker M.M., Suarez M.J., Gelaro R., Todling R., Bacmeister J., Liu E., Bosilovich M.G., Schubert S.D., Takacs L., Kim G.-K., Bloom S., Chen J., Collins D., Conaty A., da Silva A., Gu W., Joiner J., Koster R.D., Lucchesi R., Molod A., Owens T., Pawson S., Pegion P., Redder C.R., Re-

ichle R., Robertson F.R., Ruddick A.G., Sienkiewicz M., Woollen J. MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications // Journal of Climate. 2011. Vol. 24 (14). P. 3624–3648.

Rinn F. TSAP. Version 3.0. Reference manual. Computer program for time series analysis and presentation. Heidelberg, 1996.

Roeckner E., Bäuml G., Bonaventura L., Brokopf R., Esch M., Giorgetta M., Hagemann S., Kirchner I., Kornblueh L., Manzini E., Rhodin A., Schlese U., Schulzweida U., Tompkins A. The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: Model description. Rep. 349. Max Planck Inst. for Meteorol., Hamburg, Germany, 2003. 140 p.

Romesburg C.H. Cluster Analysis for Researchers. Life Time Learning, 1984. 334 p.

Rydval M., Larsson L.-Å., McGlynn L., Gunnarson B.E., Loader N.J., Young G.H.F., Wilson R. Blue intensity for dendroclimatology: should we have the blues? Experiments from Scotland // Dendrochronologia. 2014. Vol. 32 (3). P. 191–204.

Saha S., Moorthi S., Pan, H.L., Wu X., Wang J., Nadiga S., Tripp P., Kistler R., Woollen J., Behringer D., Liu H., Stokes D., Grumbine R., Gayno G., Wang J., Hou Y.-T., Chuang H.-Y., Juang H-M.H., Sela J., Iredell M., Treadon R., Kleist D., Van Delst P., Keyser D., Derber J., Ek M., Meng J., Wei H., Yang R., Lord S., van den Dool H., Kuma A.r, Wang W., Long C., Chelliah M., Xue Y., Huang B., Schemm J.-K., Ebisuzaki W., Lin R., Xie P., Chen M., Zhou S., Higgins W., Zou C.-Z., Liu Q., Chen Y., Han Y., Cucurull L., Reynolds R.W., Rutledge G., Goldberg M. The NCEP climate forecast system reanalysis // Bulletin of the American Meteorological Society. 2010. Vol. 91 (8). 1015 p.

Sano M., Buckley B.M., Sweda T. Tree-ring based hydroclimate reconstruction over northern Vietnam from Fokienia hodginsii: eighteenth century mega-drought and tropical Pacific influence // Climate Dynamics. 2009. Vol. 33. P. 331–340. DOI 10.1007/s00382–008–0454-y.

Schneidereit A., Schubert S., Vargin P., Lunkeit F., Zhu X., Peters D.H.W., Fraedrich K. Largescale flow and the long-lasting blocking high over Russia: Summer 2010 // Mon. Wea. Rev. 2012. Vol. 140. P. 2967–2981.

Schubert S.D., Wang H., Koster R.D., Suarez M.J., Groisman P.Y. Northern Eurasian heat waves and droughts // Journal of Climate. 2014. Vol. 27 (9). P. 3169–3207.

Schweingruber F.H. Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology. D. Reidel, Dordrecht, The Netherlands, 1988. 276 p.

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.

Schweingruber F.H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Bräker O.U. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology // Dendrochronologia. 1990. Vol. 8. P. 9–38.

Schweingruber F.H., Fritts H.C., Bräker O.U., Drew L.G., Schär E. The X-ray technique as applied to dendroclimatology // Tree-Ring Bulletin. 1978. Vol. 38. P. 61–91.

Seftigen K., Cook E.R., Linderholm H.W., Fuentes M., Björklund J. The potential of deriving tree-ring based field reconstructions of droughts and pluvials over Fennoscandia // Journal of Climate. 2014. doi: http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-13–00734.1.

Semenov V.A., Latif M., Dommenget D., Keenlyside N.S., Strehz A., Martin T., Park W. The Impact of North Atlantic-Arctic Multidecadal Variability on Northern Hemisphere Surface Air Temperature // Journal of Climate. 2010. Vol. 23 (21). P. 5668–5677.

Sheppard P.R., Graumlich L.J., Conkey L.E. Reflected-light image analysis of conifer tree-rings for reconstructing climate // The Holocene. 1996. Vol. 6 (1). P. 62–68.

Sheppard P.R., Singavarapu S.Y. Solving the 'magnification irony' in reflected-light image analysis of conifer tree-rings using a microscope // Journal of Imaging Science and Technology. 2006. Vol. 50. P. 304–308.

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.

Smiljanić M., Seo J-W., Läänelaid A., van der Maaten-Theunissen M., Stajić B., Wilmking M. Peatland pines as a proxy for water table fluctuations: Disentangling tree growth, hydrology and possible human influence // Science of the Total Environment. 2014. Vol. 500–501. P. 52–63.

Spurk M., Friedrich M., Hofmann J., Remmele S., Frenzel B., Leuschner H.-H., Kromer B. Revisions and extension of the Hohenheim oak and pine chronologies: New evidence about the timing of the Younger Dryas/Preboreal transition // Radiocarbon. 1998. Vol. 40 (3). P. 1107–1116.

St. George S. An overview of tree-ringwidth records across the Northern Hemisphere // Quaternary Science Reviews. 2014. Vol. 95. P. 132–150.

St. George S., Meko D.M., Girardin M.-P., MacDonald G.M., Nielsen E., Pederson G.T., Sauchyn D.J., Tardif J.C., Watson E. The Tree-Ring Record of Drought on the Canadian Prairies // Journal of Climate. 2009. Vol. 22(3). P. 689–710. doi: 10.1175/2008JCLI2441.1.

Stahle D.W., Cleveland M.K., Hehr J.C. A 450-year drought reconstruction for Arkansas, United States // Nature. 1985. Vol. 316 (6028). P. 530–532.

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

Stambaugh M.C., Guyette R.P., McMurry E.R., Cook E.R., Meko D.M., Lupo A.R. Drought duration and frequency in the U.S. Corn Belt during the last millennium (AD992–2004) //Agricultural and Forest Meteorology. 2011. Vol. 151 (2). P. 154–162.

Steila D. Drought. The Encyclopedia of Climatology / J.E. Oliver, R.W. Fairbridge (eds.). Pub. by Van Nostrand Reinhold Company. Inc., New York, 2008. P. 388–395.

Stockton C.W. and Meko D.M. A long-term history of drought occurrence in western United States as inferred from tree rings // Weatherwise. 1975. Vol. 28 (6). P. 244–249.

Stoffel M., Bollschweiler M. Tree-ring analysis in natural hazards research — an overview // Natural Hazards and Earth System Science. 2008. Vol. 8 (2). P. 187–202.

Stokes M.A., Smiley T.L. An Introduction to Tree-Ring Dating. Chicago: University of Chicago Press, 1968. 73 c.

Stokes M.A., Smiley T.L. An introduction to tree-ring dating. The University of Arizona Press, Tucson, 1996. 73 p.

Sutton R.T., Dong B. Atlantic Ocean influence on a shift in European climate in the 1990s // Nature Geoscience. 2012. Vol. 5 (11). P. 788–792.

Sutton R.T., Hodson D.L.R. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate // Science. 2005. Vol. 309 (5731). P. 115–118.

Swetnam T., Thompson M., Sutherland E. Using Dendrochronology to Measure Radial Growth of Defoliated Trees. Washington, DC: US Department of Agriculture, Forest Service, Cooperative State Research Service. 1985. Vol. 639. 39 p.

Szekely G.J., Rizzo M.L. Hierarchical clustering via Joint Between-Within Distances: Extending Ward's Minimum Variance Method // Journal of classification. 2005. Vol. 22 (2). P. 151–183.

Therrell M.D., Stahle D.W., Diaz J.V., Oviedo E.H.C., Cleaveland M.K. Tree-ring reconstructed maize yield in Central Mexico: 1474–2001 // Climatic Change. 2006. Vol. 74 (4). P. 493–504. doi: 10.1007/s10584–006–6865-z

Thorn H.C.S. Some Methods of Climatological Analysis // WMO Technical Note Number 81. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 1966. 53 p.

Torrence C., Compo G.P. A practical guide to wavelet analysis // Bulletin of the American Meteorological Society. 1998. Vol. 79 (1). P. 61–78.

Touchan R., Shishov V.V., Meko D.M., Nouiri I., Grachev A. Process based model sheds light on climate sensitivity of Mediterranean tree-ring width // Biogeosciences. 2012. Vol. 9 (3). P. 965–972.

Trenberth K.E., Dai A., van der Schrier G., Jones P.D., Barichivich J., Briffa K.R., Sheffield J. Global warming and changes in drought // Nature Climate Change. 2013. Vol. 4(1). P. 17–22. doi:10.1038/nclimate2067.

Trenberth K.E., Fasullo J.T. Climate extremes and climate change: The Russian heat wave and other climate extremes of 2010 // Journal of Geophysical Research. 2012. Vol. 117. D17103. doi:10.1029/2012JD018020.

Tyrlis E., Hoskins B.J. Aspects of Northern Hemisphere atmospheric blocking climatology // Journal of Atmospheric Sciences 2008. Vol. 65 (5). P. 1638–1652.

Vaganov E.A., Hughes M.K., Kirdyanov A.V., Schweingruber F.H., Silkin P.P. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia // Nature. 1999. Vol. 400 (6740). P. 149–151.

Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V. Growth Dynamics of Tree Rings: Images of Past and Future Environments. SpringereVerlag, Berlin, 2006. 358 p.

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. Vol. 35. P. 34–38.

Van der Schrier G., Briffa K.R., Jones P.D., Osborn T.J. Summer moisture variability across Europe // Journal of Climate. 2006. Vol. 19 (12). P. 2818–2834.

Van Ommen T.D., Morgan V. Snowfall increase in coastal East Antarctica linked with southwest Western Australian drought // Nature Geoscience. 2010. Vol. 3 (4). P. 267–272.

Vance T.R., Roberts J.L., Plummer C.T., Kiem A.S., van Ommen T.D. Interdecadal Pacific variability and eastern Australian megadroughts over the last millennium // Geophysical Research Letters. 2015. Vol. 42(1). P. 129–137. doi: 10.1002/2014GL062447.

*Vicente-Serrano S.*M., *Beguerla S., Lopez-Moreno J.I.* A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index // Journal of Climate. 2010. Vol. 23 (7). P. 1696–1718.

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.

Wang J., Rich P.M., Price K.P., Kettle W.D. Relations between NDVI and tree productivity in the central Great Plains // International Journal of Remote Sensing. 2004. Vol. 25 (16). P. 3127–3138.

Wang X., Zhang Q.B., Ma K., Xiao S. A tree-ring record of 500-year dry-wet changes in northern Tibet, China // The Holocene. 2008. Vol. 18 (4). P. 579–588.

Warren W.G. On removing the growth trend from dendrochronological data // Tree-Ring Bulletin.Vol. 40. P. 35–44.

Wazny T. Wood and climate of the year 1000 A.D. // Europe Around the Year 1000 / P. Urbanczyk (ed.). Warsaw, 2001. P. 101–107.

Wetter O., Pfister C. An underestimated record breaking event–why summer 1540 was likely warmer than 2003 // Climate of the Past. 2013. Vol. 9 (1). P. 41–56.

Wetter O., Pfister K., Werner J.P., Zorita E., Wagner S., Seneviratne S.I., Herget J., Grunewald U., Luterbacher J., Alcoforado M.-J., Barriendos M., Bieber U., Brazdil R., Burmeister K.H., Camenisch C., Contino A., Dobrovolny P., Glaser R., Himmelsbach I., Kiss A., Kotyza O., Labbe T., Limanowka D., Litzenburger L., Nordl O, Pribyl K., Retso D., Riemann D., Rohr C., Siegfried W., Soderberg J., Spring J.-L. The year-long unprecedented European heat and drought of — a worst case // Climatic Change. 2014. Vol. 125. P. 349–363. doi: 10.1007/s10584–014–1184–2.

Wiedenmann J.M., Lupo A.R., Mokhov I.I., Tikhonova E.A. The climatology of blocking anticyclones for the Northern and Southern Hemispheres: Block intensity as a diagnostic // Journal of Climate. 2002. Vol. 15 (23). P. 3459–3473.

Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology // Journal of Applied Meteorology and Climatology. 1984. Vol. 23(@). P. 201–213.

Wilhite D.A. Drought / J.P. Stolman, J. Lidstone, L.M. DeChano (eds.). International Perspectives on Natural Disasters: Occurrence, Mitigation, and Consequences. Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands, 2004. P. 147–162.

Wilmking M., Juday G.P., Barber V.A., Zald H.S. Recent climate warming forces contrasting growth responses of white spruce at treeline in Alaska through temperature thresholds // Global Change Biology. 2004. Vol. 10 (10). P. 1724–1736.

Wilson R., Rao R., Rydval M., Wood C., Larsson L.-Å., Luckman B.H. Blue intensity for dendroclimatology: the BC blues: a case study from British Columbia Canada // Holocene. 2014. Vol. 24 (11). P. 1428–1438.

Wilson R.J.S., Luckman B.H., Esper J. A 500-year dendroclimatic reconstruction of spring/summer precipitation from the lower Bavarian Forest Region, Germany // International Journal of Climatology. 2005. Vol. 25 (5). P. 611–630.

Woodhouse C.A., Gray S.T., Meko D.M. Updated streamflow reconstructions for the Upper Colorado River Basin // Water Resourses Research. 2006. Vol. 42. doi.org/10.1029/2005WR004455.

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.

Yadav R.R., Misra K.G., Yadav A.K., Kotlia B.S., Misra S. 2015. Tree-ring footprints of drought variability in last ~300 years over Kumaun Himalaya, India and its relationship with crop productivity. Quaternary Science Reviews. Vol. 117. P. 113–123.

http://buzulukskiybor.ru/

http://drought.unl.edu/MonitoringTools/VegDRI.aspx

http://gorod.kaluga.ru/img/famous/storg.html

http://gorod.kaluga.ru/img/famous/storg.htmlhttp://gorod.kaluga.ru/img/famous/storg.html

http://hrsl.arsusda.gov/drought

http://mos-churches.ru/wp-content/uploads/2012/10/39476325_1234279441_arh_rus_hram_v_ostankino.jpg

http://moskva.kotoroy.net/

http://ria.ru/spravka/20131103/974497127.html

http://sobory.ru/photo/1296

http://sobory.ru/photo/1296http://sobory.ru/photo/1296

http://static.panoramio.com/photos/original/13597926.jpg

http://static.panoramio.com/photos/original/13597926.jpghttp://static.panoramio.com/photos/original/13597926.jpg

http://svozem.ru/svoya-zemlya/poselki/petrovskoe/obustroistvo/404-istoricheskaya-spravka-s-petrovskoe.html

http://temples.ru/card.php? ID=12655

http://vkgz.ru/about/

http://www.etoretro.ru/pic98438.htm?position=46&sort=DESC&sort_field=image_date&y1=1964&y2=1985

http://www.sobory.ru

http://www.temples.ru/legend.php#02

http://www.zapoved.ru/catalog/118/Марий-Чодра-национальный-парк

http://www.zapoved.ru/catalog/77-Приволжская-лесостепь-государственный-природный-заповедник/

http://www.zapoved.ru/catalog/biodiversity/35/Жигулевский-государственный-природный-биосферный — заповедник-имени-ИИ-Спрыгина/

http://www.zapovednik-belogorye.ru/

https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smap

https://ru.wikipedia.org/wiki/Волжско-Камский_заповедник/

List of figures and tables

Introduction

Fig. 1. Maps showing the distribution of tree-ring width records of different length (from St. George, 2014).

Fig. 2. Maps showing the magnitude and sign of correlation coefficients between seasonal climate variables and tree-ring widths at sites across the Northern Hemisphere. Climate response to (a) total summer (JJA) precipitation, (b) mean summer temperature, (c) total winter (DJF) precipitation (St. George, 2014).

Fig. 3. Pressler increment borer (Haglöf) with extractor.

Fig. 4. Transverse sections of conifer tree (A) where light part — earlywood, dark — latewood and ring-porous oak where large vessels — early wood, small vessels — late wood.

Fig. 5. Example of tree-ring width standardization procedure using ARSTAN software.

Fig. 6. Natural distribution area of spruce, pine and oak in Eurasia (EUFORGEN2009, www.euforgen.org). Asterisk indicates tree-ring site location used in Part 4 Chapter 1 for Blue Intensity analysis.

Part 1

Table 1.1.1. Drought classification according to SHC, normalized SHC, SPI, SPEI and PDSI.

Fig. 1.1.1. The spatial distribution of dendrochronological sites (shown in circles) on the East European Plain (outlined with dotted line) on the generalized landscape map (Landscape map of the USSR, 1988). The landscapes: 1 — southern taiga, 2 — subtaiga, 3 — broad-leaved forest, 4 — and typical southern forest steppe, 5 — northern steppe, 6 — typical steppe, 7 — semidesert.

Table 1.1.2. The correlation coefficients between the time series of various indicators of drought, averaged within the study area (Fig. 1.1.1) in May (1), June (2), July (3) during the period 1936–2012.

Table 1.1.3. The frequency of strong and extensive droughts per decade (cases/year) in the economic regions of the East European plain in May and July for the period 1891–2010 according to statistics of Hydrometeorological Center RF (1), normalized SHC (2) and SPI (3).

Table 1.1.4. Areas of severe drought (%) in the economic regions of Russia, according to the normalized SHC from May to July in the period 1936–2012. Years of extreme drought coverage in bold.

Table 1.1.5. Same as in Table 1.1.4, according to the two-month SPI June and July during the period 1901–2012.

Fig. 1.1.2. The frequency of severe drought in the center of the East European Plain, according to the normalized SHC (on the left) and the SPI (on the right) in May (a, b), June (c, d) and July (e, f) in the period 1961–1990.

Fig. 1.1.3. Change of frequency of severe drought in the center of the East European Plain in May (a, b), May-June (c, d) and May-July (e, f) in the periods 1936–1960 (on the left) and 1991–2012 (on the right) as compared with 1961–1990 according to the SHC data. Area of the increase of severe drought frequency is shaded.

Fig. 1.1.4. Change of frequency of severe drought in the center of the East European Plain in May (a, b), June (c, d) and July (e, f) in the periods 1936–1960 (on the left) and 1991–2012 (on the right) as compared with 1961–1990 according to the SPI data. Area of the increase of severe drought frequency is shaded.

Fig. 1.2.1. Change of repeatability of anticyclones centers (%) over European Russia in May (a) and in June (c) during the period 1949–1960 and in May (b) and in June (d) during the period 1991–2012 compared with the period 1961–1990 using the 500 hPa geopotential height data. Area of the increase of the repeatability of anticyclones centers is shaded. The thick line indicates a contour with a value of 0. Contours interval is 20 gpm.

Fig. 1.2.2. The surface temperature anomalies T (°C) (a) and the atmospheric pressure (hPa) (compared with the period 1948–2012) (b) observed in July 2010 according to the reanalysis NCEP / NCAR (Kalnay et al., 1996).

Table 1.3.1. Drought index Dm calculation in depend on surface air temperature anomalies (dT) and monthly precipitation rate (dP) (relative to their long-term means).

Fig. 1.3.1. Fraction of the European part of Russia (50°–65°N, 30°–60°E), which suffered drought with different intensity based on CRU data.

Table 1.3.2. Correlation coefficient between different drought indices for the european part of Russia (50°–65°N, 30°–60°E) in May-June-July for 1901–2012 years based on CRU data. All coefficients are statistically significant at 5% rate.

Fig. 1.3.2. Heat fluxes (W m-2) pattern related to Atlantic Multidecadal Oscillation that is used to force the climate model.

Fig. 1.3.3. Sea surface temperature anomalies in North Atlantic (40–60N) serving as an index of Atlantic Multidecadal Oscillation in different numerical simulations (CONTR, AMO, AMOx2, AMO40).

Fig. 1.3.4. Correlation coefficient between AMO index and area of drought in the European part of Russia (50–65N, 30–60E) in control experiment (CONTR) and in experiments with realistic and doubled AMO amplitude (AMO and AMO2). Data were smoothed with 11-year running means.

Fig. 1.3.5. Correlation coefficient between 11-year running means of AMO index and drought index Dm in May-June-July based on: observations (CRU) for 1901–2013 (upper left panel), control model simulations (upper right panel), model simulations with realistic AMO amplitude (lower left panel), model simulations with doubled AMO amplitude (lower right panel). Correlation coefficients that exceed 0.34 are statistically significant.

Part 2

Fig. 2.1.1. The impact of water stress on forming thin tree rings.

Fig. 2.1.2. The impact of water stress on forming thin tree rings at the next year.

Fig. 2.1.3. Tree rings width of Norway spruce at the plot in Central Forest Reserve.

Fig. 2.1.4. The radial growth index of Norway spruce at the plot in Central Forest Reserve.

Table 2.1.1. The correlation coefficients between radial growth index of spruce and meteorological parameters of calendar and previous year.

Fig. 2.1.5. Measured (dotted line) and calculated by the equation $Y = 0.6592 + 0.0431 \cdot T10{-}1 + 0.0369 \cdot T4$ (continuous line) index of spruce growth.

Fig. 2.1.6. Residual of real radial growth indices of spruce from the calculated means.

Fig. 2.1.7. Modul means of residuals between real indices of radial growth from the means predicted by the linear regression model.

Fig. 2.1.8. June precipitation sum for meteorological station of Central Forest Reserve.

Fig. 2.1.9. June precipitation of calendar year and June precipitation of previous year sum

Table 2.2.1. Characteristics of sample plots for investigated tree species.

Table 2.2.2. Correlation coefficients for radial growth indices and precipitation of the calendar year when tree ring formed.

Table 2.2.3. Correlation coefficients for radial growth indices and precipitation of the calendar year when tree ring formed.

Table 2.2.4. Correlation coefficients for radial growth indices with temperatures of previous year.

Table 2.2.5. Correlation coefficients for radial growth indices and temperatures of the calendar year when tree ring formed.

Part 3

Fig. 3.1.1. Map of distribution of tree-ring sites.

Table 3.1.1. Description of tree-ring chronologies of English oak, Norway spruce and Scots pine.

Figure 3.1.2. Photo of some sampling sites.

Table 3.1.2. Basic statistics of used chronologies.

Table 3.1.3. Summary of correlation analysis of tree-ring chronologies and hydrometeorological records. More details are provided in Suplemental Materials 2 Statistically significant ($p<0.05$) positive coefficients of correlation are shown as "+", negative — as "–". Statistically significant positive and negative coefficients with drought indices are marked by gray and black colors.

Fig. 3.1.3. Correlation between pine, spruce and oak chronologies and drought indices PDSI (a) and CPC (b). Method of map plotting is described by V.V. Matskovsky (2011).

Fig. 3.1.4. Summary of Pearson correlation analysis between tree-ring width chronologies and PDSI computed using DendroClim software (see original data in Supplemental Material 3). Orange color indicates positive statistically significant coefficients computed between tree-ring width chronologies and PDSI, blue — negative, gray — lack of climate records for analysis.

Table 3.2.1. Description of tree-ring sites and statistics computed for developed tree-ring width chronologies.

Table 3.2.2. Characteristics of weather stations closely located to tree-ring sites.

Table 3.2.3. Variables used in non-linear model.

.Fig. 3.2.1. Distribution function of tree-ring indices.

Fig. 3.2.2. Regions obtained based on hierarchic cluster analysis (a) and principal component analysis (b). Dots depict weather stations from Russian hydrometeorological network.

Fig. 3.2.3. Time-series of 11-years averaged regional chronologies (1, 2, 3 and 4) over period of 1901–2007.

Table 3.2.4. Distribution of tree-ring sites over clusters defined by hierarchic cluster analysis.

Table 3.2.5. Coefficients of correlation computed between tree-ring chronologies and climate variables.

Fig. 3.2.4. Statistically significant coefficients of correlation ($p < 0,05$) computed between tree-ring chronologies and 5 months SPEI over period from January to December in moving 30-years length window. Months (the last month of the period) shown at Y-axis, years (the last of 30-years window) at X-axis.

Fig. 3.2.5. Dendrogram for the first quasi-homogeneous region. Gray and black areas indicate lower and higher than average tree-ring growth. Total model performance accounts 61%.

Fig. 3.2.6. Lower than average tree-ring growth of L10S, M13S and OPP chronologies over the period 1901–2012 ss. (gray figures) and due to climatic conditions (black figures) lead to Node 7 shown at Fig. 3.2.5.

Fig. 3.2.7. Dendrogram for the second quasi-homogeneous region. Gray and black areas indicate lower and higher than average tree-ring growth. Total model performance accounts 70%.

Fig. 3.2.8. Lower than average tree-ring growth of T07S, T09S, T01S, Y01S and X01S chronologies over the period 1901–2012 ss. (gray figures) and due to climatic conditions (black figures) lead to (a) Node 5 and (b) Node 11 shown at Fig. 3.2.7.

Fig. 3.2.9. Dendrogram for the third quasi-homogeneous region. Gray and black areas indicate lower and higher than average tree-ring growth. Total model performance accounts 72,3%.

Fig. 3.2.10. Lower than average tree-ring growth of T13S, T11S and V02S chronologies over the period 1901–2012 ss. (gray figures) and due to climatic conditions (black figures) lead to (a) Node 3 and (b) Node 7 and (c) Node 9 shown at Fig. 3.2.9.

Table 3.3.1. List of pointer years indicated by different methods (see details in “Materials and Methods” section).

Table 3.3.2. Number of tree rings with width lower or upper than threshold of pointer year identification. Data calculated separately: 1. For years with and without one of the events under consideration (summer droughts, late spring frosts and insect's outbreaks or their combination); 2. For three methods of pointer year identification (see details in "Materials and Methods" section). Statistical significance was assessed by chi squared method; p-value is in the last column.

Fig. 3.3.1. Master chronology of tree ring width SENS (ARSTAN) for AD1717–2014 for Moscow, Tver' and Kaluga regions. Reliable part (EPS> 0,85) after 1779 marked with black line

Table 3.3.3. Correlation of SENS tree ring pine chronology indices with meteorological data.

Table 3.3.4. Years of anomalous growth of pine for Moscow, Tver' and Kaluga regions according to SENS master chronology.

Fig. 3.3.2. Pointer years of SENS chronology.

Fig. 3.3.3. Anomalies of mean monthly temperatures (а) and monthly sums of precipitation (б) for the years of low pine growth: 1921, 1935, 1941, 1964, 2011 (1p-12p — months of previous year, 1–12 — months of current year). Data acquired from the CRUTS3.22 archive for the periods AD1901–2013, and averaged for the territory 52.5°–57.5° N, 32.5–40.5° E.

Fig. 3.3.4. Correlations of TRW chronology with drought indices.

Fig. 3.3.5. Superposed epoch analysis of SPEI_10 < –1 σ events (solid) and TRW indices in corresponding years (dashed) on the left, and vice versa, TRW < –1 σ events (dashed) and SPEI_10 AQ6 indices in corresponding years (solid) on the right. Shadings show significance intervals, p = 0.05

Part 4

Fig. 4.1.1. Measurement process of earlywood and latewood widths.

Fig. 4.1.2. Standard chronologies of tree-ring, earlywood and latewood widths and blue intensity.

Table 4.1.1. Basic statistics of chronologies.

Table 4.1.2. Pearson coefficients of correlation between chronologies.

Fig. 4.1.3. Results of correlation analysis between chronologies of ring-width, earlywood and latewood widths and monthly mean air

temperatures (upper graph) and monthly sum of precipitation (lower graph). Correlation computed over 16 months' interval: from June to December of preceding year (VIp-XIIp) and from January to October of the current year. Dashed lines indicate threshold of statistical significance ($p < 0.05$).

Fig. 4.1.4. Results of correlation analysis between BI chronology and monthly mean air temperatures (black columns) and monthly sum of precipitation (grey columns). Correlation computed over 16 months' interval: from June to December of preceding year (VIp-XIIp) and from January to October of the current year. Dashed lines indicate threshold of statistical significance ($p < 0.05$).

Table 4.1.3. Calibration and verification statistics of the model used for mean May-September air temperature reconstruction based on BI chronology of pine in Kaluga region.

Fig. 4.1.5. Comparison between BI-based reconstructed and instrumental mean air May-September temperatures in Kaluga region.

Fig. 4.1.6. Reconstructed mean May-September air temperature anomalies computed relative 1961–1990 reference period.

Fig. 4.1.7. Spatial correlation between BI chronology and instrumental mean May-September air temperature. Asterisk indicates location of used tree-ring site.

Fig. 4.1.8. Fragment of standard chronologies of tree-ring, earlywood and latewood widths from Kaluga region. Vertical lines indicate drought years.

Fig. 4.2.1. Gauging stations and dendrochronological sites used in the analysis.

Table 4.2.1. Characteristics of tree-ring chronologies built from living trees.

Fig. 4.2.2. Long-term variability of mean annual streamflow and precipitation for the Volga region: а) Mesha riv. б) Sura riv. (1939–1978), в) Kondurcha riv. (1939–1981), г) Ik riv. (1986–2013), д) Ilet' riv. (1965–2013).

Table 4.2.3. Correlations of monthly streamflow and precipitation for the Volga region.

Table 4.2.4. Correlations of mean annual streamflow of the studied rivers for the period from 1939 to 2013 (significance — * $p > 0.01$, ** $p > 0.05$).

Fig. 4.2.3. The results of PCA analysis for the sites (T01S, T02S, T06S, T07S, T08S, T09S, T10S, Y01S и Y02S), 1828–2013.

Fig. 4.2.4. Interannual variability of PDSI and TRW correlations for the Volga region for the period from current January to September.

Fig. 4.2.5. Interannual variability of streamflow and TRW correlations for the Volga region (1, 2 ... — current year, 1p, 2p... — previous year).

Fig. 4.2.6. Actual and reconstructed streamflow data (m^3/s), Ilet river (1965–2014).

Table. 4.2.5. Calibration/verification statistics for the streamflow (based on Y01S tree-ring chronology) and PDSI (based on Y02S and MasterTY tree-ring chronologies) reconstructions.

Fig. 4.2.7. Actual and reconstructed JJAS PDSI data (m^3/s) based on MasterTY tree-ring chronology for the period from 1965 to 2014.

Fig. 4.3.1. Spectral curves of healthy vegetation (http://gis-lab.info/qa/spectrum-lib.html).

Fig. 4.3.2. NDVI values and corresponding types of vegetation (Cherepanov, 2011).

Fig. 4.4.1. Anatomical structure of pine and spruce on a radial cut.

Figure 4.4.2. The position of the sample plots used in this work (see also tab. 4.4.1).

Table 4.4.1. List of samples used in this work. Code chronology includes the initial letters of the name of the sample area; the last letter denotes s — pine, e — spruce.

Table. 4.4.2. Correlation coefficients between pine chronologies. Codes of the chronologies are given in table. 4.4.1.

Table 4.4.3. Correlation coefficients between spruce chronologies. Codes of the chronologies are given in table. 4.4.1.

Table. 4.4.4. Coefficients of synchronicity between sites. Codes of the chronologies are given in table. 4.4.1.

Fig. 4.4.3. Chronology of pine and spruce for the Moscow region (a) and their climatic signal (b). The chronology of pine includes three sites in the spruce chronology includes four sites.

Fig. 4.4.4. Maps of the spatial correlations of the chronologies of pine (from top to bottom: russ182, pdb, kov, opp). White circle — the chronology for which the correlation is calculated black circles — chronologies used to built in the correlation field. White dotted line marks the boundary of significant correlations (p=0.05) (Matskovsky, 2011).

Fig. 4.4.5. The dependence of the average correlations between the chronologies of pine (black solid), fir (dotted black) and larch (grey)

from a distance (for 1901–1990). The horizontal line shows the border of significant correlations (p = 0.05).

Fig. 4.4.6. Map of locations of tree-ring sites of archaeological and architectural wood (composed by I. S. Bushueva).

Table 4.4.5. List of samples (archaeological and architectural wood).

Fig. 4.4.7. Ring width chronology for living trees (spruce) of Moscow, Tver and Kostroma regions (thin line) and its sample depth (thick line).

Fig. 4.4.8. Ring width chronology for living trees (pine) of Moscow, Tver, Vladimir and Kaluga regions (thin line) and its sample depth (thick line).

Fig. 4.4.9. Absolutely dated chronologies of pine and spruce and the conifer chronology for Moscow region.

Fig. 4.4.10. Floating ring width chronology for Smolensk region (thin line) and its sample depth (thick line).

Fig. 4.4.11. Ring width chronology of Tver region (thin line) and its sample depth (thick line).

Fig. 4.4.12. Floating chronology of conifers from the excavations of the Moscow Kremlin (thin line) and its sample depth (thick line).

Fig. 4.4.13. Chronology of conifers in the Central region of the East European plain.

CONCLUSIONS

Fig. 1. Correlation of field of PDSI average for the year with its reconstruction based on tree-ring data by the method of point-by-point regression. The correlation coefficient is shown by shading.

Table 1. The results of wavelet analysis of long chronologies in European Russia.

ABSTRACTS

DROUGHTS OF THE EAST EUROPEAN PLAIN ACCORDING TO HYDROMETEOROLOGICAL AND TREE-RING DATA

Introduction (O.N. Solomina)

- Principles of tree-ring analysis
- International achievement is drought reconstructions
- Russian tree-ring based drought reconstructions and major problems of dendrochronologiccal studies in the central part of European Russia
- Methods of tree-ring studies
- Hydrometeorological data used in this book
- Tree species used for the analysis
- Structure of this monograph
- Acknowledgements

Tree-rings are often used for drought reconstructions, especially in the arid and semi-arid areas (Fritts, 1976; Meko et al., 1995; Woodhouse, Overpeck, 1998; Stahle et al., 2000; Cook et al., 2004, 2015). These reconstructions extend the series of instrumental climate observations and help to understand natural and anthropogenic components of modern climatic changes. Globally, the ring width of trees growing in the extra-tropical areas of the Northern hemisphere depends on winter, summer precipitation or summer temperature (St. George, 2014). In the temperate zone of Europe the ring width is usually sensitive to droughts (Büntgen et al., 2010; Vitas, 2004; Siwkcki and Ufnalski, 1998; Büntgen et al., 2007; Koprowski et al., 2012; Linderholm, 2001; Panayotov et al., 2010; Brazdil et al., 2002; Dobrovolny et al., 2015).

In the European Russia the frequency and severity of droughts was studied since the late 19th century using hydrometeorological records (Voeikov, 1887; Drozdov, 1980; Zolotokrilin, 2013; Frolov, Strashnaya, 2011; Schubert et al., 2014), historical data (Bogolepov, 1907; Buchinsky, 1957; Borisenkov, Pasetsky, 1988; Klige et al., 1998), stratigraphy of lake sediments (Rauner, 1981; Popova, 2001) and tree-rings (Shvedov, 1892; Chernavskaya, 1985; Krenke, Chernavskaya, 2002; Matveev, 2003;

Matveev et al., 2012a; Matskovsky, 2013; Solomina et al., 2016). The most detailed studies of climatic signal in conifer ring width was published by Matskovsky (2013), who identified the 55°–60° N as an approximate border between temperature — and drought-sensitive conifer trees.

For our analyses we used the most widespread species of trees growing on the East European Plain, such as Picea abies (L.) H. Karst., Pinus sylvestris L. and Quercus robur L. as well as some species artificially introduced in Moscow region (Abies sibirica Ldb., Phellodendron amurense Rupr., Pinus peuce Griseb., Quercus rubra L., Pinus strobus L., Thuja occidentals L., Fraxinus pensylvanica, Picea Schrenkiana Fisch et. C.A. Mey.). All together we constructed 59 new ring width chronologies and one chronology for maximum density (pine) mostly for the regions south of 55–60° N that were previously underrepresented in the data bases. Due to poor preservation of the old living trees in the densely populated areas of the European Russia we also used the ancient wood from the constructions and archeological sites to extend our ring width chronologies.

For our analyses we applied standard tree-ring methodology (Schweingruber, 1988; Cook, and Kairiukstis, 1990). For the sample processing we used TSAP (Time Series & Analysis Presentation), CooRecorder® and CDendro® (http://www.cybis.se/forfun/dendro/). The cross-dating was performed with the COFECHA software (Holmes, 1983), while for the detrending we used ARSTAN (AutoRegressive-STANdardization) version 3.02V (Cook, 1985). The EPS (Expressed Population Signal) (> 0.85) was used as an indicator of the reliable portion of chronologies (Briffa, 1995). The response function was calculated for 15 months preceding the growth (from May to October) with DendroClim software (Biondi and Waikul, 2004). The pointer years were identified according to methodology described by Schweingruber et al., 1990; Neuwirth et al., 2004, 2007, Becker et al, 1994; Merian and Lebourgeois, 2011, Cropper, 1979 and Matskovsky (http://paleoglaciology.org/ru/TreeRingLab/). In order to analyze extreme hydrometeorological events we used superposed epochs method (Lough and Fritts, 1987).

For the correlation analyses with ring width and density we utilized several archives for hydrometeorological data (http://meteo.ru/, Razuvayev et al., 1993; http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/; http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.UDel_AirT_Precip.html; http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.pdsi.html; http://www.esrl.noaa.gov/psd/); http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/

Global2011/Precip_revised_3.02/README.GlobalImTs2011.html; 20th Century Reanalysis V2 (Compo et al., 2011), ERA-Interim (Dee et al., 2011), NCEP-CFSR (Saha et al., 2010), NASA-MERRA (Rienecker et al., 2011). The monograph includes 4 Parts and they are further subdivided into chapters. The chapters are independent, but they all concern the focus of this book: the studies of the droughts of the East-European Plain using hydrometeorological and tree-ring data.

PART 1. INSTRUMENTAL OBSERVATIONS OF DROUGHTS IN THE EAST EUROPEAN PLAIN AND THE ANALYSIS OF THEIR CAUSES

Chapter 1. Droughts in the East European Plain: instrumental observation

- General statements. Methodology (A.N. Zolotokrilin)
- Quantitative drought indices (A.N. Zolotokrilin, E.A. Cherenkova)
- Drought indices used in this paper (A.N. Zolotokrilin, E.A. Cherenkova)
- Geographical distribution and temporal variations of droughts in European Russia (A.N. Zolotokrilin, E.A. Cherenkova)

Chapter 1 provides an overview of drought classification, different methodological approaches of drought identification, and results of the spatial-temporal analysis of drought characteristics of the growing season in the East European Plain in the 20th — early 21st century according to various drought indicators. Several drought indices were used for the analysis of drought: Selyaninov's Hydrothermal Coefficient (SHC), Palmer Drought Severity Index (PDSI), Standardized Precipitation Index (SPI), and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI).

The assessment of the frequency of extensive severe drought from May to July per decade in the period 1891–2010 showed that the normalized SHC underestimates the feature comparing with the data of the Hydrometeorological Center of Russia. SPI, conversely, overestimates their frequency. The increase of severe drought frequency in the center of European Russia in 1991–2000 was revealed according to all drought indicators. The highest frequency of severe drought was found in the decades of 1931's — 1940's and 1991's — 2000's in the center

of European Russia, in Central Chernozem region and in the Volga region. These results associated with extensive severe drought observed for several consecutive years.

Areas of severe droughts according to the official statistic data of the Hydrometeorological Centre of Russia were compared with the same areas estimated using normalized SHC and SPI index. The results reflected the coherence between normalized SHC and SPI in the years of the extensive drought with duration of not less than 2 months covered more than 30% of at least one of the Federal District of European Russia.

Chapter 2. The causes and conditions for the drought occurrence (V.A. Semenov, A.N. Zolotokrilin, E.A. Cherenkova, A. Yu.Mikhailov)

Extensive droughts are associated with large-scale stationary anticyclones. The drought in the European part of Russia occurs when the anticyclonic regime of atmospheric circulation prevails. It was shown that both SPI and SPEI indices demonstrate the closest linkage with the frequency of anticyclone centers. The features of long-lasting blocking in the summer 2010 were examined in the European Russia. The identified wave structure of surface pressure anomalies in July 2010 appeared in the alternation of the anomalies of different signs along the latitude.

Chapter 3. Influence of Atlantic Multidecadal Oscillation to the drought conditions in the Northern Eurasia (V.A. Semenov, A.V. Chernokul'sky)

Estimates of the impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on droughts' formation in the Northern Eurasia are presented. The estimates are based on numerical simulations with ECHAM5 atmospheric general circulation model coupled with mixed layer ocean model. It is found that the effect of sea surface temperature anomalies in the North Atlantic related to the Atlantic Multidecadal Oscillation is principally different to that caused by internal atmospheric dynamics and leads to increased drought occurrence on the European part of Russia. The model estimates are in general agreement with the results based on empirical data.

PART 2. PHYSIOLOGICAL BASIS OF TREE-RING BASED DROUGHT RECONSTRUCTIONS

Chapter 1. Drought sensitivity signal in tree-rings of different species (D. E. Rumiantsev, A. E. Kukhata)

• Physiological basis of the drought sensitivity detected in ring width (D. E. Rumiantsev)
• Identification of drought sensitive component in the chronologies with a weak drought signal (D. E. Rumiantsev, A. E. Kukhata)

Chapter 2. Identification of chronologies with strong drought signal (D. E. Rumiantsev, T. O. Kuznetsova)

Drought has a negative effect on plant metabolism, it determines their low photosynthetic activity that leads to the reduction of yield, damage the health of plant and decreases their tolerance to other negative environmental factors. The plant species have specific or non-specific tolerance to drought. However, droughts always impact negatively the metabolism of all species. That's why all tree species used in this paper (*Picea abies (L.) H. Karst., Pinus sylvestris L.* and *Quercus robur L.*) are potentially useful for dendroclimatic reconstructions and projections. In this chapter we consider two potential approaches for tree-ring-based drought reconstructions. One is based on the separation of drought resistance component in the chronology with a mixed climatic signal. Second one is the search of species (including the alien species introducents) with a stronger climatic signal.

PART 3. DROUGHTS IN THE EAST EUROPEAN PLAIN: TREE-RING DATA

Chapter 1. Tree-ring chronologies in the Central Part of the European Russia, their coherency in space and correlation with climatic parameters (O. N. Solomina, V. V. Matskovsky, V. V. Kuznetsova, E. A. Dolgova)

• Study area
• Sites description

• Climatic signal in tree ring width of pine, spruce and oak in the European Russia

No tree-ring chronologies were reported so far in the International Tree Ring Data Bank for the central part of the East-European Plain. Due to the intense anthropogenic press the old trees are rare in this region and the climatic signal embedded in the ring width is not strong and is always complex. In this study we present the new tree-ring network of 59 ring width chronologies of pine, oak and spruce up to 297 years long in a large region of Central European Russia (54–57N, 33–40E) and analyze their climatic response. Tree ring growth in the region is controlled by both temperature and precipitation of vegetation period, and most analyzed chronologies have significant correlation with the drought indices such as PDSI and CPC for the current and sometimes previous year, although the coefficient of correlation rarely exceeds 0,5. The results of correlation analyses are presented in the Attachment 3. In this attachment we also display the output from Dendroclim software. They show the lack of stationarity of these correlation over the 20th-early 21th centuries in many of ring width chronologies.

Chapter 2. Investigation of climatic signal enclosed in tree-ring chronologies from European Russia based on linear and non-linear statistical methods. The stability of climate signal over time (E.A. Cherenkova, V.V. Matskovsky, E.A. Dolgova)

• Materials and methods
• Meteorological parameters and tree rings: linear statistical methods of analysis
• Meteorological parameters and tree rings: non-linear statistical methods of analysis

This chapter is dedicated to investigation of climate response of tree-ring width by applying both linear and non-linear statistical approaches. 14 tree-ring width chronologies of pine (*Pinus Sylv. L*) from the vast area (latitudes of 52°–57° and longitudes of 35°–52°) were used in this study. Two statistical methods were used to develop regional chronologies that would characterize vast climatically identical territories (clusters): principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis. It was found that all chronologies can be divided

into 3 clusters of quasi-homogeneous changes in tree-ring width (Fig. 3.2.2). The accuracy of the clasterization was confirmed by variability in 11-year running means of time series averaged within each cluster in the period of 1901–2007 (Fig. 3.2.3). The high quality of the sample decomposition is confirmed by coefficients of correlation of each chronology and center of cluster (Table 3.2.4). Each local chronology was correlated with all available instrumental records and results are shown in the Table 3.2.5. All chronologies revealed positive statistically significant relation with 5-months SPEI variation averaged over May-September period. Further, this relation was investigated concerning temporal signal stability. Climate signal weakening was found in the middle of 20th century for several chronologies (M13S, OPP, T02S, T04S, T07S and T11S). Non-linear statistical method was used to identify climate variables influenced on tree-ring growth in each cluster. For this purpose, indices of tree-ring growth were substituted by dichotomous variables indicating "Higher" and "Lower" than average tree-ring growth. Results of modeling are presented in Figures 3.2.5, 3.2.7 and 3.2.9. It turns out that higher than average growth in the first cluster resulted in combination of factors such as the lack of drought conditions in June, warm previous November and current March (Fig. 3.2.5, Node2→Node6→Node12). Left chain (Fig. 3.2.5, Node1→Node3→Node7) represents combination of climate variables that have led to lower than average tree-ring growth. Such situation was observed in case of drought conditions in May and June (SPEI and PDSI) with negative temperature anomalies in previous November. In the second cluster, model showed that higher than average tree-ring growth resulted in wet conditions during the period of vegetation (Fig. 3.2.7, Node3→Node9→Node18). Model detected 2 sequences that could lead to lower than average tree-ring growth. First sequence (Node1→Node5) is combination of drought condition during the period of vegetation with warmer than average air temperatures of previous October. The second sequence includes drought conditions in May at time when 5-months SPEI is also low (Node1→Node4→Node11). The most important variable that divides all samples in the third cluster is SPEI over vegetation period. Higher than average growth occurs as a result of combination of higher temperature than –4,3 °C in March and wet conditions in spring and early summer (Fig. 3.2.9, Node2→Node6→Node15). The reason of lower tree-ring growth is described by

cold March (lower than –1,6 °C) following by drought conditions over vegetation period (Fig. 3.2.9, Node1→Node3).

Our research revealed that non-linear statistical method can successfully identify combination of climatic variables that influenced the tree-ring growth. The absence or the presence of droughts is the main factor in European Russia that divided tree-ring growth into lower and higher than average groups.

Chapter 3. Minima of tree ring growth and pointer years

Multiple studies showed that even in case of weak or even insignificant correlations of tree ring parameters with meteorological data, the years of extremely high and low tree growth are connected to climatic causes, and may be used for reconstruction of separate climatic events. These years of extreme growth are usually compared to historical sources, because their authors tend to describe uncommon climatic events like anomalously cold, rainy or dry summers, cold spells that damaged crop, unusually severe frosts. There are different methods to determine the years of anomalous tree growth. Some of these methods are described in this chapter. We chose one or another method depending on the aim of the research. Results of study of pointer years of Quercus robur in Tula region and Pinus sylvestris in Moscow, Tver', Kaluga and Voronezh regions are presented in this chapter.

Factors of synchronous decrease of the pedunculate oak annual increment in Tula region (B.F. Khasanov and G.A. Sakulina)

Tree ring width (TRW) of oaks (Quercus robur) is determined by intricate composition of external factors including climate and outbreaks of herbivorous insects. We tested the hypothesis that synchronous decrease of oaks TRW in the central Russia is governed by the reduction of carbon gain during vegetation season. This reduction can be governed either by decreased photosynthetic capacity during summer droughts or by the loss of leaf area after insect's outbreaks or late spring frosts damaging young leaves. Dendrochronological data were collected in the Tula region; in total, we sampled 31 oak and 15 ash (Fraxinus excelsior) trees. Pointer years of oaks were detected by the use of the three methods (Becker et al, 1994; Cropper, 1979; Schweingruber

et al., 1990). Insect's outbreaks were identified by host — non-host species method (Nash et al., 1975; Swetnam et al., 1985); ash was chosen as a non-host species. Various meteorological data were used to indicate years with summer droughts and spring frosts. The latter are fairly frequent in the Central Russia and their timing varies greatly. Obviously, only frosts occurred after bud break could affect oak leaves. To identify these late frosts, we compared meteorological data with the only phenological long time series available, observations of bird-cherry tree (Padus racemosa) flowering in the Moscow region. We supposed that bird cherry flowering in a more northern area always occurs later than oak bud break in a more southern region.

Years characterized by summer droughts, late spring frosts, insect's outbreaks or combination of these factors showed statistically significant (chi squared test) increase of narrow tree ring number. The enhanced number of narrow rings was also specific for years directly following one of the events under consideration. It means that some trees reacted to the external impact later or their reaction was prolonged. These results were similar for all the methods of pointer year's identification. Only in two cases (1968 and 1977) detected pointer years were not associated with one of the considered events. These findings imply that summer droughts, late spring frosts and insect's outbreaks do affect carbon gain of oak trees and, correspondingly, their annual increment. Yet one or more other factors are also operating and still have to be detected.

Pointer years of pine in Central European Russia (O.N. Solomina, V.V. Matskovsky, V.V. Kuznetsova, E.A. Dolgova)

In this section, we explore several pointer years' chronologies derived from pine ring width chronologies of Central European Russia: Moscow, Tver' and Kaluga regions. Pine is less sensitive to spring frosts and insects then oak, and we also have more pine chronologies, that's why pointer years of pine are more promising for reconstruction of anomalously dry years. We united those pine chronologies from central Russia which showed positive response to drought indices, seven chronologies in total with 172 tree ring series included. Derived pointer years were subsequently compared with historical data about extreme climatic events. The results showed that around 25% of historical

evidences coincide with negative pointer years. Coincidences with positive pointer years are mostly accidental.

Pointer years of pine tree ring width chronologies in Voronezh region (V. V. Matskovsky, N. A. Lomakin, S. M. Matveev)

• Chronologies of pine in Voronezh area, their climatic signal and pointer years
• Ring width in the European Russia after the 2010 drought event.

In this section, we provide new tree-ring chronologies of Pinus sylvestris L. for the site in the southernmost natural pine forest in European Russia. Based on these chronologies we develop a quantitative drought reconstruction and disclose the driest years in the region since 1790s. The reconstruction of Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) explains 29% to 39% of instrumental period variability, it adequately tracks low-frequency (30–50yr) variations of drought indices as well as extreme events. Collection of historical evidences from periodicals of 19th century and other historical evidences helped to verify the new reconstruction. We argue that being a complex natural archive, ring width of pine in Voronezh region can be successfully used as an estimator of prolonged droughts (1–2yr).

PART 4. OTHER APPROACHES OF TREE-RING BASED DROUGHT RECONSTRUCTIONS

Chapter 1. Drought signal in multiple tree-ring parameters from Kaluga region (E. A. Dolgova)

• Measurements of optical density, ring width of early and late wood
• Chronologies of optical density, ring width of early and late wood in Kaluga region
• Climatic signal in optical density (Blue Intensity) chronologies and in the early and late wood chronologies in Kaluga region

In this chapter, we explore which of the tree-ring parameters is more sensitive to the past drought events. Total ring-width (TRW),

latewood (LW) and earlywood (EW) ring widths as well as Blue Intensity (BI) were measured (Fig. 4.1.2). Based on the statistics computed for all width-related parameters, latewood formation appeared to be more sensitive to climate than others (Table 4.1.1). The influence of climatic factors on the growth of Scots pine in Kaluga region, was evaluated by comparing annual earlywood, latewood and total ring indices with monthly temperature and precipitation data over the period 1901–2013. Results of the correlation analysis shown in Figure 4.1.3 reveal that the increase of May and July temperature negatively influences the EW formation. All three chronologies (EW, LW, RW) have positive correlation with March precipitation. Unlike ring width chronologies, BI shows high sensitivity to mean May-September temperatures (Fig. 4.1.4). This finding allowed developing May-September temperature reconstruction for 1831–2013s. Adequacy of the applied model is confirmed by the verification and calibration statistics (Table 4.1.3). Comparison between reconstructed and instrumental records shows that the tree-ring based reconstruction simulates well positive trend occurred in last decades in warm period temperature, but underestimates some cases of extremely high temperatures, particularly in 2010 (Fig. 4.1.5). The reason of such phenomena can be related to inverse climatic signal in BI during the years of severe droughts. Vast spatial coverage of the new BI-based reconstruction based on the data from only one tree-ring site from Kaluga region provides prospects for reconstruction of temperature variations for a great region in the central part of European Plain (Fig. 4.1.7). Comparison of TRW, EW and LW chronologies during known drought years showed that depression of LW width occurred in the same years of drought while the depressions of TRW and EW have 1-year lag (Fig. 4.1.8).

Chapter 2. Possibilities and limitations of tree-ring reconstructions of river streamflow (Volga regions) (V. V. Kuznetsova, D. S. Pozhidaeva)

In this chapter we examine the sensitivity of nine pine chronologies (Pinus sylvestris) to the main hydrometeorological parameters that determine radial tree growth patterns. The climatic observations in Volga region (53°–56°N, 46°–52°E) are limited by the length of instrumental hydroclimatic observations: 120 years for precipitation and temperature,

and maximum of 70 years for the streamflow. Tree ring growth in Volga region is mainly controlled by temperatures and precipitation during the vegetation period. Most tree-ring chronologies have stable and significant negative correlation with summer temperatures and positive response to precipitation of the period from May to August of the current year, as well as to precipitation of the period from July to August of the previous year. All pine chronologies have stable and significant response to Palmer Drought Severity Index (PDSI) during the year. The strongest signal was found for the dry season in the current year period from May to October. As for relations between streamflow and tree growth, the strong dependence was identified between the trees` response to streamflow and the distance to hydrology stations. Our reconstruction of Ilet river streamflow from 1850 to 2013 was based on this relation. We have also reconstructed PDSI from 1850 to 2013, using the master-chronology based on PCA analysis. The models explain 27 to 32% of the PDSI and streamflow variability. The reconstructed datasets reflect the main extremes in the instrumental records.

Chapter 3. Monitoring of vegetation and droughts according to the remote sensing technology and tree-rings (I. S. Bushueva)

- Methodological aspects of remote sensing studies of droughts
- Remotes sensing and dendrochronology

This chapter explains how images the vegetation indexes (e. g. NDVI) are being calculated with the help of satellite to estimate the condition of vegetation, to detect and evaluate the severity and spatial distribution of draughts. It also provides the analysis of current international experience in using both Earth remote sensing data coupled with dendrochronology in different parts of the World.

Chapter 4. Prospects for extension of ring-width chronologies in Central European Russia back in time (O. N. Solomina, V. V. Matskovsky, D. E. Rumyantsev)

- Methodological aspects of temporal extension of chronologies
- Coherency of ring width in space
- Correlation maps for chronologies

• "Historical wood" data. Floating chronologies.
• Regional chronologies based on living trees and their cross-dating with historical wood

Ring width chronologies based on archeological wood in Central Russia currently are local, and are not connected with the living trees chronologies terminating in the late Medieval time (Chernikh, 1996; Karpukhin, 2009). Our new "dead wood" chronologies are based on the pine (*Pinus sylvestris L.*) and spruce (*Picea abies (L.) Karst.*) samples without separation of species. This is possible while the two species (living trees) within the same regions usually cross-date well and react in a similar way to the climate variations. Most of them positively correlate with the drought indices. To prove this we analyzed the coherency of chronologies located in the area 42°–52°N and 23°–43°E for the period 1945–1999. The maps of spatial correlations of chronologies are displayed at the Fig. 4.4.4. In general, spruce regional chronologies demonstrate a stronger correlation than those of pine. At the Fig. 4.4.6 we demonstrated the location of dead wood sites while the description of the sites if summarized in the table 3.1.1. The living pine chronologies from Moscow, Tver', Vladimir and Kaluga regions cross-date well and therefore were included in one regional chronology spanning from AD1717 to 2011 (Fig. 4.4.8). The spruce regional chronology is based on the samples collected in Moscow, Tver' and Kostroma regions (AD1713–2010) (Fig. 4.4.7). The dead wood from five buildings in Moscow region was used to construct the floating chronology spanning from 1682 to 1912. The wood from archeological collection from the Smolensk Kremlin covers the period from 1387 to 1739 and yielded the absolute date due to the successful cross-dating with the Dannershtern building (ITRDB) (Fig. 4.4.10). The floating chronology in Tver' region includes 61 series and covers AD1536–1909 (Fig. 4.4.11). We also successfully cross-dated 27 samples from archeological collections of Kremlin and other buildings in Moscow (AD1140–1534) (Fig. 4.4.12). A number of chronologies mentioned above cross-date against each other and were united in one Central East European chronology (Fig. 4.4.13). It is 871 years long covering the period from 1140 to 2010, however it clearly needs a better replication.

SUMMARY AND CONCLUSIONS (O. N. Solomina, V. V. Matskovsky)

In this section we summarize the reported data on the temporal and spatial dynamics of droughts in the East European Plain, we discuss our results in the context of European materials, and analyze the possible uncertainties and prospects related to the application of the method of tree-ring based reconstructions in the region. As was shown in Chapter 1, Part 1, regular instrumental meteorological observations in the territory of the ETR cover a little more than a century. By mid-1930s the density of the network of meteorological stations had increased. Based on these data, severe droughts lasting at least 2 months (and covering more than 30% of the area at least in one region) were observed in the European Russia in 1901, 1906, 1920, 1921, 1924, 1931, 1936, 1938, 1946, 1951, 1972, 1979, 1981, 1999, 2010.

As a result of our research in recent years, we have built 59 chronologies of the ring width of pine, spruce and oak. The duration of most of them is 120–150 years, but 7 chronologies (OPP, H256S, KL, M13S, T01S, T03S, V01D) reach 250 years or more. The vast majority of the chronologies are obtained for the pine, and they are quite evenly distributed within the forest zone of European Russia. The spruce chronologies are grouped in the Northern part of the territory while the oak chronologies tend to group in the South (see Fig. 3.1.1 Part 3, Chapter 1).

Using wood from archaeological excavations and old buildings and a cross-dating procedure we also constructed several regional coniferous chronologies of longer duration, in particular, for the following six regions: Kaluga (294 years), Smolensk (353 years), Yaroslavl (150, 155 and 246 years), Kostroma (449 years), Arkhangelsk (646 and 827 years old), Vologda (925 and 285 years). The chronologies for the Smolensk and Kaluga regions were merged into a single regional chronology. The reliability and sample depth of these chronologies are different, and they need to be improved, however, we can already conclude that in the future dendroclimatic reconstructions in some parts of the European Russia can span the whole last Millennium. Chronologies of the Arkhangelsk and Vologda regions, mainly reflect the thermal factor, while those located to the south, can be used for the assessment of aridity variations (Matskovsky, 2013).

We identified that tree growth in the Central and southern parts of the European Russia largely depends on a combination of heat and moisture, which is characterized by the aridity indices (e. g., PDSI, SPI, SPEI) (see Table 3.1.3, Part 3, Chapter 1). In general, trees, that are most sensitive to aridity (pine) were discovered in the Voronezh and in the Volga regions. This is not surprising: these areas are subject to more frequent and severe droughts. Thus, the maximum frequency of droughts (0,4) was observed in the decade 1931–1940 in the Central Chernozem region and in the three decades (1931–1940, 1951–1960 and 1991–2000) in the Volga district. In the Central district the maximum frequency of droughts, equal to 0.3, was observed in the decade 1991–2000. The number of droughts for two consecutive years increases from 2 in the Moscow region, to 5 in Central Chernozem and to 6 in the Volga region (see Part 1, Chapter 1).

Using the nonlinear methods of analysis, we constructed three separate regional chronologies and found out that the chronology from the Central part of the European Russia (the non-Chernozem zone) reacts most stably to the drought in May and June. For the Central Chernozem and the Volga regions, the decrease of the ring width growth is connected to the prolonged summer drought combined with severe drought in May (see Part 3, Chapter 2).

The pointer years of pine in the Central part of the European Russia were formed in connection with hot and dry summer seasons. However, in certain cases, the narrow rings were also associated with low winter temperatures.

Abnormal summer heat in the Moscow region in 2010 resulted in the reduction of annual increment of in 2010 and 2011, but the reduction was only within one standard deviation. Meanwhile the meteorological situation in year 2010 was anomalous for the past 120 years (Meshcherskaya et al., 2011; Savin et al., 2011; Cherenkova, 2012; Zolotokrylin, Titkova, 2012). It means that the pointer years do not always provide adequate information on the magnitude of the reconstructed meteorological parameters, that is necessary to compare modern events with the past. In fairness, it should be noted that climate models (CMIP5) also can't reproduce individual droughts, even such as the extreme one that occurred in Europe in 1540 (Wetter et al., 2014).

Our analysis showed that the reaction of maximum density of pine rings in the Central part of the European Russia on climate variations is

significantly different from the response of ring width. Maximum density mainly reflects the variability of air temperature in May-September. This conclusion changes fundamentally the prospects of paleoclimatic reconstructions of summer temperatures in temperate regions where the dependence of the ring width from hydrometeorological conditions is weak and ambiguous. According to our reconstruction based on maximum optical density (Blue Intensity) of the pine wood for the period between 1831 and 2013, relatively warm periods in the Kaluga region occurred in 1830–1890, 1900–1970, 1990–2013: cold ones are identified in 1890–1895 and 1970–1990. The magnitude of variability of the temperature values in Moscow in this period was 7 °C basing on the instrumental data (Lokoshchenko, 2012), and 5 °C according to our reconstruction for the Kaluga region.

In general, the analysis of the chronologies indicates the positive relationship of pine annual increments with drought sensitivity indices in all three studied regions (Fig. 1 in Conclusion chaper). Our results show that using integrated hydroclimatic indicators (such as indices of aridity), large tree-ring data sets, and data from reanalysis, the diversity of reactions of individual trees to climatic variations can be to some extent neutralized, and spatial climate reconstructions can be produced.

The table 1 shows that for the Voronezh chronology the years of narrow rings coincide with the meteorological data (>1 standard deviation) in 13 cases (in 1984, 1975, 1957, 1954, 1949, 1946, 1942, 1938, 1936, 1921, 1898, 1897, 1891). In 4 cases narrow rings were observed in the year following the drought (in 1985, 1950, 1947, 1943). The growth depression only for the following year was observed in 1973, 1952, 1940, 1932 and 1912. In some years of severe droughts 2013–2014, 1940, 1933–1935, 1928–1930, 1895 the ring width did not show any depression (Strashnaya, 2011).

The chronology SENS (Central Nechernozemie) is sensitive to the droughts of 1939, 1936, 1921, 1897, 1891. The growth depressions occurred in the following year after a drought in 2011, 1996, 1964, 1956, 1940. The reaction to the droughts of ring width in 2003, 1993, 1969, 1941–1942, 1926 (Starshnaya, 2011) are not found.

For the Volga region (Master chronology TY) narrow rings were observed in 1998, 1996, 1992, 1988, 1984, 1981, 1978, 1976, 1975, 1970,

1969, 1964, 1942, 1923, 1921, 1911, 1906, 1898, 1891 years (> 1 standard deviation). Note that in the second half of the twentieth century, the depression of growth was observed much more regularly than in the late XIX — early XX century.

Smoothed values of the aridity indices (e. g., PDSI and SPEI) are often more closely correlated with the ring width, as seen in the chronology of the Voronezh region. According to this reconstruction, the XIX century was characterized by generally less arid conditions than the XX — beginning of XXI century, except for the severe drought of the 1890s, which led to the well-known consequences in the Southern and the South-Eastern regions of the European Russia, including the famine and social instability.

This conclusion is confirmed by the analysis of the chronology of pine SENS, constructed for the non-Chernozem areas of Central European Russia. in this chronology, the negative anomalies are less frequent throughout the nineteenth century than in the twentieth century. Comparison with the historical data (see Part 3, Chapter 3) shows that negative anomalies of pine growth (narrow rings) in the late eighteenth and mid-nineteenth century, apparently, was primarily related to cold winters, while the growth suppressions of the XX — beginning of XXI century are mainly correlated with droughts. It may be associated with a tendency to the decrease of continentality and severity of the climate in the European Russia in the recent decades, that is also recorded by the historical data (Lyakhov, 1984) and the long series of meteorological observations in Moscow (Lokoshchenko, 2012). According to these observations, in the last 145 years relative humidity in Moscow is noticeably reduced, the climate has become warmer and drier, the degree of continentality has decreased. If so, then, apparently, it is possible that the dominant climatic signal in ring width in the Moscow region over the last two to two and a half centuries has somewhat shifted However, this assumption requires further investigation.

According to Wavelet analysis (table. 1), the ring width chronologies in the European Russia show cycles 30–35, 64–81, 112–118 years long. Northern chronologies (Arkhangelsk and Vologda regions) also demonstrate longer cycles 177–185 and 355 years long, that is also associated with longer duration of the chronologies themselves.

Thus, unfortunately, a one-to-one correspondence between instrumentally recorded droughts and rings width in the the European Russia

is not observed. Quite often, the growth depression is delayed by 1 year, compared with drought cases (for example, in 2011, 1995, 1972, 1963, 1942). Approximately 20–30% of cases of growth depressions are not associated with droughts even in the most sensitive chronologies.

ATTACHMENTS

Attachment 1 Table 1. Response function

Attachment 2 Figure 1. Response functions

Attachment 3. Stability of response (from Dendroclim)

Attachment 4. Pointer years (Oak, Tula) (Khasanov B. F.)

Attachment 5. Historical data from Voronezh region (Lomakin N. A.)

Attachment 6 Architechtural and archeological site description (Solomina O. N., Matskovsky V. V., Mikhalenko V. N., Lazukova L. I.)

Содержание

ВВЕДЕНИЕ....3
Принципы дендрохронологии....4
Мировой опыт реконструкции засух по дендрохронологическим данным....8
Обзор российских работ и основные проблемы дендрохронологии в центре ЕТР....13
Методика дендрохронологических исследований....16
Массив использованных гидрометеорологических данных....25
Использованные древесные породы....28
Структура монографии....30
Благодарности....31

ЧАСТЬ 1. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЗАСУХАМИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ И АНАЛИЗ ИХ ПРИЧИН

Глава 1. Засухи Восточно-Европейской равнины: инструментальные наблюдения....33
Общие положения. Методические вопросы....33
Количественные показатели засухи....35
Обзор используемых показателей засух....36
Распространение и динамика засух на территории....44
Глава 2. Причины и условия возникновения засух....67
Глава 3. Влияние Атлантического долгопериодного колебания на формирование засух в Северной Евразии....73

ЧАСТЬ 2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАСУХ ПО ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Глава 1. Засухозависимый климатический сигнал в ширине годичных колец разных видов древесных растений....83
Физиологические основы формирования засухозависимого климатического сигнала в хронологиях....83
Выделение засухозависимой компоненты из хронологии со слабым засухозависимым климатическим сигналом....93
Глава 2. Выявление хронологий с сильным засухозависимым сигналом....103

ЧАСТЬ 3. ЗАСУХИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ: ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Глава 1. Древесно-кольцевые хронологии в центральной части ЕТР, их сопряженность в пространстве и корреляция с климатическими параметрами 113
Район работ 113
Описание пробных площадей 116
Отклик ширины колец сосны, ели и дуба на климатические условия 131
Глава 2. Исследование климатического сигнала в древесно-кольцевых хронологиях ЕТР с помощью линейных и нелинейных статистических методов. Устойчивость сигнала во времени 150
Введение 150
Материалы и методы 152
Результаты 161
Исследование влияния метеорологических параметров на ширину годичных колец с помощью линейных методов 165
Исследование влияния метеорологических параметров на ширину годичных колец с помощью нелинейных методов 173
Глава 3. Минимумы прироста годичных колец и реперные годы 183
Факторы, определяющие синхронное понижение прироста дуба черешчатого (на примере Тульской области) 183
Реперные годы для сосны обыкновенной в центральной части ЕТР 193
Реперные годы в рядах ширины годичных колец сосны в Воронежской области 203

ЧАСТЬ 4. ДРУГИЕ ПОДХОДЫ К РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАСУХ ПО ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ

Глава 1. Связь с засушливостью ширины колец ранней и поздней древесины и оптической плотности колец сосны (на примере Калужской области) 208

Измерения оптической плотности и ширины кольца ранней и поздней древесины ... 209
Хронологии оптической плотности и ширины кольца ранней и поздней древесины в Калужской области ... 213
Климатический сигнал в хронологиях оптической плотности BI и в хронологиях ширины колец ранней и поздней древесины сосны в Калужской области ... 215
Выводы ... 222
Глава 2. Возможности и ограничения реконструкции речного стока по дендрохронологическим данным (на примере Поволжья) ... 223
Выводы ... 236
Глава 3. Мониторинг состояния растительности и засух по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и дендрохронология ... 237
Методические аспекты дешифрирования засух по ДЗЗ ... 237
ДЗЗ и дендрохронология ... 242
Глава 4. Возможности продления древесно-кольцевых хронологий в Центральном регионе России ... 247
Методические аспекты продления хронологий на ЕТР ... 247
Согласованность приростов на ЕТР в пространстве ... 249
Карты корреляции хронологий ... 262
Массив дендрохронологических данных «исторической древесины». Плавающие шкалы ... 265
Сводные хронологии по живым деревьям в центральной части ЕТР и перекрестное датирование ... 277

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ... 286

Список литературы ... 297

List of figures and tables ... 329

ABSTRACTS ... 338

ПРИЛОЖЕНИЯ НА ДИСКЕ

Приложение 1. Таблица. Статистически значимые коэффициенты корреляции ширины колец и метеорологических данных

Приложение 2. Функция отклика ширины колец

Приложение 3. Функция отклика, рассчитанная с помощью программы Dendroclim

Приложение 4. Реперные годы (дуб, Тула)

Приложение 5. Исторические данные в Воронежской области (Н.А. Ломакин)

Приложение 6. Описание архитектурных и археологических объектов, использованных для отбора образцов на дендрохронологический анализ (О.Н. Соломина, В.В. Мацковский, В.Н. Михаленко, Л.И. Лазукова)

Засухи Восточно-европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным

О. Н. Соломина, И. С. Бушуева, Е. А. Долгова,
А. Н. Золотокрылин, В. В. Кузнецова, Т. О. Кузнецова,
А. Е. Кухта, Л. И. Лазукова, Н. А. Ломакин, В. В. Мацковский,
С. М. Матвеев, А. Ю. Михайлов, В. Н. Михаленко,
Д. С. Пожидаева, Д. Е. Румянцев, Г. А. Сакулина,
В. А. Семёнов, Б. Ф. Хасанов, Е. А. Черенкова,
А. В. Чернокульский

Корректоры *Н. А. Стрельникова, Т. В. Никонова*
Оригинал-макет *М. А. Гунькин*
Дизайн обложки *М. А. Гунькин*

Подписано в печать 21.06.2017. Формат 60 × 90/16
Бумага офсетная. Печать офсетная
Усл.-печ. л. 22,5
Тираж 300 экз. Заказ № 846

Издательство «Нестор-История»
197110 Санкт-Петербург, ул. Петрозаводская, д. 7
Тел. (812)235-15-86
e-mail: nestor_historia@list.ru
www.nestorbook.ru

Отпечатано в типографии
издательства «Нестор-История»
Тел. (812)235-15-86

Приложение 1.
Таблица. Статистически значимые коэффициенты корреляции ширины колец и метеорологических данных.

Код хронологии A05S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27333	125,8 km	N = 84																				
T мин				-0,24																			
T средн				-0,4	-0,29											-0,32							
T макс				-0,33	-0,26	-0,23										-0,26							
Осадки																					0,26	0,26	0,23
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро	-0,24	-0,24	-0,25	-0,3													0,32	0,27		0,28			
архив 455	27347	108,8 km	N = 117																				
T средн				-0,36	-0,23											-0,33							-0,21
Осадки				0,19					-0,19				-0,3			0,29					0,21	0,27	0,28
архив 476	27425	65,4 km	N = 83																				
T средн				-0,34	-0,38									0,32		-0,37							
PDSI	56,25 N	38,75 E	114,5 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	57,25 N	39,25 E	5,2 km	N = 62																			
Влажность почвы					0,27	0,25																	
индексы NOAA		N = 61																					
NAO							0,38																
SCAND																		-0,31					
POLAR																							
EA								-0,26															
EAWR																							
CRU TS 3,0	57,25 N	39,25 E	5,2 km	N = 105																			
T мин				-0,27																	0,2		

T средн				-0,35	-0,25											-0,3							
T макс				-0,32	-0,23											-0,28							
dT сутки				-0,25	-0,25	-0,2										-0,3	-0,22	-0,29			-0,25	-0,21	-0,24
Осадки							-0,21									0,24	0,19			-0,26	0,32	0,34	0,28
Отн влажн				0,28	0,34	0,23			-0,23							0,27	0,27	0,32			0,34	0,3	0,28
Облачность																							
Дни с осадками				0,21	0,21											0,31	0,24				0,3	0,36	0,31
Дни с заморозками				0,29										-0,23									
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии DUBK																								
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	73,8 km	N = 61																				
T мин																							
T средн													0,28										
T макс																							
Осадки												0,36											
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро																							
архив 455	27612	76,3 km	N = 117																				
T средн																		0,18					
Осадки												0,4											
архив 476	27425	66 km	N = 83																				
T средн																		0,24					
PDSI	56,25 N	38,75 E	16 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	56,25 N	38,75 E	16 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND		-0,3		-0,36				0,27			-0,29	-0,41				-0,25							
POLAR																0,31							
EA	0,31				0,36								0,34				0,32						
EAWR		0,27						-0,26					-0,36										
CRU TS 3,0	56,25 N	38,75 E	16 km	N = 105																			
T мин				-0,21																			
T средн																							
T макс																							
dT сутки																							

Осадки												0,25											
Отн влажн																							
Облачность						-0,23																	
Дни с осадками								-0,28	-0,2														
Дни с заморозками																	-0,27						
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии F04S																								
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	26781	133,8 km	N = 65																				
T мин																							
T средн							-0,25						-0,25										
T макс																			-0,29				
Осадки									-0,26											-0,33			
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро	-0,35	-0,35	-0,3	-0,25							-0,26	-0,25											
архив 455	26781	132,1 km	N = 113																				
T средн				-0,29	-0,22	-0,24	-0,21									-0,27						-0,2	-0,21
Осадки																0,2							0,2
архив 476	27707	100,6 km	N = 81																				
T средн																-0,29							
PDSI	53,75 N	33,75 E	104,5 km	N = 111																			
Индекс сухости	-0,22			-0,22		-0,19	-0,2																
CPC Soil Moisture	54,75 N	34,25 E	12,3 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND																							
POLAR																							
EA									-0,32	-0,27									-0,28	-0,32			
EAWR									-0,27				-0,35		0,28								
CRU TS 3,0	54,75 N	34,25 E	12,3 km	N = 105																			
T мин				-0,22					0,2							-0,2							
T средн				-0,2												-0,22							
T макс									0,19														

dT сутки																							
Осадки				0,25					-0,24							0,36				-0,3	0,21	0,3	0,32
Отн влажн					0,22			0,22				0,26				0,24			0,26	0,22			
Облачность																							
Дни с осадками					0,28		-0,2		-0,28							0,26	0,29			-0,27		0,26	0,19
Дни с заморозками				0,28												0,22							
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии F06E																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	26781	138,5 km	N = 65																				
T мин										0,38				-0,31								-0,3	
T средн			-0,29										0,25										
T макс			-0,36																				
Осадки																							
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро				-0,27																			
архив 455	26781	136,6 km	N = 70																				
T средн				-0,29	-0,3			-0,26	0,25				0,28										
Осадки									0,27										0,26	0,29			
архив 476	27707	99,6 km	N = 69																				
T средн				-0,31	-0,31			-0,27		0,29			0,33										
PDSI	53,75 N	33,75 E	110,1 km	N = 68																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	54,75 N	34,25 E	5,9 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND														0,28								0,27	
POLAR															-0,29								
EA																		-0,33	-0,31		-0,29	-0,27	
EAWR																							
CRU TS 3,0	54,75 N	34,25 E	5,9 km	N = 68																			
T мин	0,27								0,28	0,34		0,31	0,38	0,24					0,35	0,3	0,32		
T средн	0,25			-0,29	-0,28				0,32	0,4		0,31	0,36						0,35	0,34			
T макс				-0,27	-0,24				0,28	0,38		0,27	0,36						0,31	0,31			
dT сутки										-0,35		-0,26											

Осадки					0,24																		
Отн влажн				0,28	0,29					-0,32													
Облачность									0,34	0,24		0,28								0,3			
Дни с осадками				0,27	0,27														0,25	0,27			
Дни с заморозками									-0,28	-0,27		-0,26							-0,29	-0,27			
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии H12E																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27823	226,9 km	N = 73																				
T мин										0,3													
T средн									0,28					-0,27								-0,26	
T макс																	-0,29				-0,24	-0,29	
Осадки															0,32						0,28	0,3	0,26
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро													-0,27			0,25	0,31	0,24		0,32			
архив 455	27703	80,5 km	N = 76																				
T средн									0,23					-0,28								-0,27	
Осадки	0,25				0,23											0,28			0,31		0,29	0,33	0,3
архив 476	27707	33,9 km	N = 81																				
T средн														-0,27									
PDSI	53,75 N	36,25 E	37,3 km	N = 96																			
Индекс сухости														0,34	0,4	0,39	0,39	0,33	0,29		0,37	0,4	0,4
CPC Soil Moisture	53,75 N	35,75 E	24,1 km	N = 62																			
Влажность почвы												0,27		0,29	0,38	0,36			0,29		0,33	0,35	0,39
индексы NOAA		N = 61																					
NAO			-0,36							0,3													
SCAND												-0,28											
POLAR					0,28					-0,27	-0,27			-0,29					-0,34	-0,37			
EA																							
EAWR					-0,36														-0,28				
CRU TS 3,0	53,75 N	35,75 E	24,1 km	N = 96																			
T мин		-0,2												-0,3									
T средн														-0,31									
T макс														-0,34								-0,27	
dT сутки					-0,24					-0,21				-0,24								-0,27	

Осадки											0,21				0,26	0,23			0,41		0,42	0,38	0,35
Отн влажн					0,29									0,27					0,22		0,27	0,29	0,22
Облачность																							
Дни с осадками					0,25						0,22			0,22		0,21	0,25		0,22		0,38	0,4	0,29
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии H12S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	160,1 km	N = 61																				
T мин				-0,33			-0,28					-0,43				-0,3			-0,36	-0,34		-0,26	-0,31
T средн												-0,41							-0,3	-0,27			
T макс									0,41			-0,41							-0,31	-0,33			
Осадки																			-0,28	-0,32			
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро	-0,26		-0,27													-0,3							
архив 455	27703	29,4 km	N = 76																				
T средн				-0,27	-0,33											-0,23	-0,25						-0,23
Осадки					0,23																		
архив 476	27707	81,8 km	N = 81																				
T средн				-0,26					0,28			-0,26											
PDSI	53,75 N	36,25 E	110,2 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	54,75 N	36,25 E	16,1 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO					-0,32					-0,31		-0,35								-0,27			
SCAND																			0,28				
POLAR				-0,3	-0,27																		
EA				-0,39	-0,3		-0,27		-0,33				-0,26			-0,42	-0,29		-0,48	-0,41	-0,38	-0,39	-0,32
EAWR																							
CRU TS 3,0	54,75 N	36,25 E	16,1 km	N = 105																			
T мин				-0,2					0,24														
T средн									0,29														
T макс				-0,29	-0,23				0,23			-0,21				-0,21							-0,23
dT сутки				-0,26	-0,29	-0,26			-0,21						-0,23	-0,24	-0,2		-0,24		-0,26	-0,29	-0,28

Осадки																							
Отн влажн			-0,23						-0,24	-0,28									-0,2	-0,2			
Облачность			-0,22						0,2														
Дни с осадками					0,25																		
Дни с заморозками				0,26					-0,23					-0,2									
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии H256S																								
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	170,9 km	N = 61																				
T мин				0,44	0,26				0,42	0,33		0,31				0,29			0,44	0,43			
T средн				0,26					0,34			0,31	0,35					0,32	0,46	0,39	0,37		
T макс												0,3							0,36	0,39			
Осадки					0,27						0,3	0,4								0,29			
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро									0,39		0,46	0,44	0,36	0,29									
архив 455	27703	15,1 km	N = 76																				
T средн			0,23						0,24			0,34	0,29					0,31	0,34	0,28	0,31		
Осадки					0,36							0,27											
архив 476	27707	73,2 km	N = 81																				
T средн																		0,26					
PDSI	53,75 N	36,25 E	86,8 km	N = 136																			
Индекс сухости				0,19	0,22	0,23	0,22	0,23	0,25	0,25	0,27	0,29	0,25	0,27	0,28	0,31	0,31	0,27	0,3	0,26	0,3	0,3	0,3
CPC Soil Moisture	54,75 N	36,25 E	24,7 km	N = 62																			
Влажность почвы					0,3	0,3					0,28	0,34	0,34	0,32	0,27				0,31	0,26	0,28	0,27	
индексы NOAA		N = 61																					
NAO					-0,32																		
SCAND		-0,29	-0,28									-0,38			-0,27								
POLAR						0,32	-0,27					-0,38								-0,37			
EA			0,29	0,37	0,31								0,26			0,31	0,43		0,32		0,37	0,33	
EAWR				-0,36			-0,35	-0,3											-0,43	-0,31	-0,31		
CRU TS 3,0	54,75 N	36,25 E	24,7 km	N = 105																			
T мин						-0,23																	
T средн						-0,21												0,21					
T макс																		0,22					
dT сутки					-0,22				-0,2	-0,29		-0,2								-0,29			

Осадки					0,24						0,2	0,23				0,19							
Отн влажн				0,24	0,34	0,27					0,29	0,35		0,2	0,19				0,38	0,31	0,29	0,27	0,23
Облачность	0,22			0,24	0,22				0,3	0,38	0,2	0,37			0,23				0,36	0,42			
Дни с осадками				0,21	0,31						0,23	0,25					0,24		0,22			0,21	
Дни с заморозками																		-0,26			-0,21		
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии K04-05																								
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27333	89,5 km	N = 84																				
T мин												-0,23				-0,28							-0,22
T средн			-0,25	-0,27	-0,3																		
T макс			-0,24	-0,41	-0,3						-0,23												
Осадки																							
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро	-0,32	-0,29	-0,29	-0,33																			
архив 455	27355	66,1 km	N = 75																				
T средн			-0,31	-0,28	-0,28						-0,23												
Осадки		0,22																					
архив 476	27333	100,3 km	N = 127																				
T средн				-0,23	-0,2											-0,25							-0,2
PDSI	58,75 N	43,75 E	126,7 km	N = 136																			
Индекс сухости				0,2	0,19				0,18	0,18	0,18		0,23	0,26	0,27	0,29	0,26	0,24	0,22		0,27	0,28	0,28
CPC Soil Moisture	57,75 N	42,75 E	14,4 km	N = 62																			
Влажность почвы						0,25																	
индексы NOAA		N = 61																					
NAO							0,27					-0,35											
SCAND	0,26										0,27						0,28					0,28	
POLAR																							
EA									-0,41	-0,27					-0,27				-0,39	-0,45		-0,26	
EAWR			0,27					-0,34					-0,41		0,25				-0,27	-0,29			
CRU TS 3,0	57,75 N	42,75 E	14,4 km	N = 105																			
T мин					-0,22																		
T средн					-0,23																		
T макс				-0,22	-0,23											-0,19							
dT сутки																							

Осадки																								
Отн влажн					0,23				-0,24												-0,19			
Облачность		0,23																						
Дни с осадками					0,21																			
Дни с заморозками																								
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии K05S																								
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27333	89,5 km	N = 84																				
T мин				-0,3							-0,24												
T средн																							
T макс																							
Осадки			-0,24																				
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро																							
архив 455	27355	66,1 km	N = 75																				
T средн											-0,27												
Осадки																							
архив 476	27333	100,3 km	N = 127																				
T средн		0,21								-0,19													
PDSI	58,75 N	43,75 E	126,7 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	57,75 N	42,75 E	14,4 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO											-0,41						-0,42		-0,29	-0,29			
SCAND																							
POLAR																							
EA		0,33																					
EAWR			0,35		-0,28																		
CRU TS 3,0	57,75 N	42,75 E	14,4 km	N = 105																			
T мин					0,27												0,31				0,33	0,32	0,21
T средн																							
T макс																					0,25	0,24	
dT сутки			0,25												0,26								

Осадки																							
Отн влажн			-0,24		-0,2									-0,27	-0,2				-0,26		-0,31	-0,3	-0,2
Облачность																							
Дни с осадками																							
Дни с заморозками				0,23		0,24	0,23																
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии K06S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27333	224 km	N = 84																				
T мин																			0,22		0,24		
T средн																							
T макс	0,22																						
Осадки					0,28							0,27							0,24				
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро						0,27	0,25			0,25							0,23	0,25	0,28				
архив 455	27051	141,1 km	N = 117																				
T средн							0,24												0,22				
Осадки	-0,19																						
архив 476	27164	7,2 km	N = 67																				
T средн																							
PDSI	58,75 N	43,75 E	30,8 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	58,75 N	44,25 E	13 km	N = 62																			
Влажность почвы	0,26					0,38	0,44	0,42	0,42	0,44	0,43	0,43	0,41	0,36	0,3	0,31	0,3	0,3	0,45	0,45	0,38	0,35	0,32
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND						-0,28				-0,37													
POLAR																							
EA			0,29																				
EAWR																							
CRU TS 3,0	58,75 N	44,25 E	13 km	N = 105																			
T мин							0,2												0,26	0,23	0,22		
T средн																			0,24	0,2			
T макс													0,22			0,2			0,29		0,3	0,24	
dT сутки	0,26		0,21										0,27	0,25	0,22				0,22		0,33	0,27	0,23

Осадки	-0,26																						
Отн влажн																							
Облачность																							
Дни с осадками																							
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии KL																								
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27333	238 km	N = 84																				
T мин						0,27						-0,22											
T средн			-0,29	-0,36	-0,27							-0,23											
T макс			-0,29	-0,47	-0,28	-0,24			0,23		-0,31	-0,22											
Осадки	-0,25			0,36																			
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро	-0,33	-0,3	-0,31	-0,4			0,3	0,29		0,35													
архив 455	27051	136 km	N = 117																				
T средн			-0,23	-0,31	-0,29							-0,2											
Осадки			0,25														-0,19						0,19
архив 476	27164	18,4 km	N = 67																				
T средн				-0,28																			
PDSI	58,75 N	43,75 E	44,6 km	N = 136																			
Индекс сухости			0,18	0,25	0,27	0,27	0,25	0,23	0,22	0,2								0,18	0,23	0,24			
CPC Soil Moisture	58,75 N	44,25 E	26,9 km	N = 62																			
Влажность почвы	0,33	0,29	0,33	0,46	0,53	0,56	0,52	0,44	0,43	0,44	0,42	0,39	0,33	0,27					0,4	0,46	0,27		
индексы NOAA		N = 60																					
NAO							0,36					-0,29											
SCAND	0,31																	-0,35					
POLAR																							
EA																							
EAWR													-0,27						-0,29				
CRU TS 3,0	58,75 N	44,25 E	26,9 km	N = 105																			
T мин				-0,19	-0,2							-0,2											
T средн				-0,28	-0,21																0,19		
T макс				-0,33	-0,24																		
dT сутки				-0,36								0,21											

Осадки	-0,24			0,32				-0,21										0,28						
Отн влажн			0,22	0,34	0,28																			
Облачность				0,24																				
Дни с осадками	-0,3		0,21	0,3	0,26			-0,3													-0,26			
Дни с заморозками												0,23												
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии L03S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	188,8 km	N = 61																				
T мин																							
T средн																							
T макс																							
Осадки	-0,31						-0,29					0,44											
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро									0,29														
архив 455	26393	90,6 km	N = 117																				
T средн			0,23						0,21									0,25	0,24		0,19		
Осадки					0,29																		
архив 476	27208	59,7 km	N = 78																				
T средн																		0,25					
PDSI	56,25 N	36,25 E	114,3 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	57,25 N	35,75 E	13,7 km	N = 62																			
Влажность почвы						0,3						0,25	0,27						0,26		0,26		
индексы NOAA		N = 61																					
NAO					-0,4		0,31																
SCAND	0,26							0,27				-0,36											
POLAR				-0,36																			
EA								-0,35		-0,34										-0,34			
EAWR								-0,26					-0,27										
CRU TS 3,0	57,25 N	35,75 E	13,7 km	N = 105																			
T мин			0,22															0,26					
T средн			0,19	-0,21	-0,21													0,26					
T макс			0,26		-0,19													0,25	0,21		0,22		
dT сутки			0,21		-0,2																		0,2

Осадки					0,29						0,22			0,22										
Отн влажн				0,19	0,35				-0,25															
Облачность																								
Дни с осадками				0,24	0,31																		0,22	
Дни с заморозками				0,28												0,23		-0,26						
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии L10S																								
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	179,2 km	N = 61																				
T мин	0,28							0,39											0,33	0,3			
T средн	0,27																						
T макс	0,26											0,31											
Осадки				0,34				0,38								0,34			0,38	0,31			0,32
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро						0,44	0,36	0,38		0,36						0,41	0,31	0,26		0,3			
архив 455	26393	124,4 km	N = 117																				
T средн							-0,25								-0,21								-0,19
Осадки			0,3												0,29						0,22	0,2	0,26
архив 476	27208	66,4 km	N = 78																				
T средн																							-0,25
PDSI	56,25 N	36,25 E	124,1 km	N = 136																			
Индекс сухости	-0,21	-0,18																					
CPC Soil Moisture	57,25 N	36,75 E	13,3 km	N = 62																			
Влажность почвы				0,26	0,35	0,31	0,3	0,36	0,42	0,39	0,36	0,33	0,3	0,28	0,38	0,51	0,46	0,35	0,46	0,39	0,44	0,46	0,46
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND																		-0,36			-0,28		
POLAR							-0,28					-0,35								-0,36			
EA				0,28			0,26													0,26			
EAWR																	-0,42	-0,29	-0,38		-0,35		
CRU TS 3,0	57,25 N	36,75 E	13,3 km	N = 105																			
T мин					-0,21																		
T средн					-0,2		-0,19																
T макс					-0,2		-0,21																
dT сутки								-0,22							-0,21								

Осадки															0,21						0,21		0,24
Отн влажн				0,24	0,29							0,22			0,29						0,22	0,26	0,3
Облачность																							
Дни с осадками				0,2											0,22							0,2	0,25
Дни с заморозками							0,19	-0,2															
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии L11E																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	26477	145,1 km	N = 128																				
T мин					-0,38	-0,22											-0,36				-0,24	-0,34	-0,24
T средн					-0,19																		
T макс								0,29										0,22					
Осадки								0,21					0,23										
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро				-0,22																			
архив 455	26477	145,7 km	N = 119																				
T средн					-0,2																		
Осадки													0,22										
архив 476	26479	81,9 km	N = 81																				
T средн																							
PDSI	56,25 N	33,75 E	54,1 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	56,25 N	32,75 E	26,5 km	N = 62																			
Влажность почвы																		-0,27					
индексы NOAA		N = 61																					
NAO												-0,26	-0,29										
SCAND														0,3			0,36		0,32		0,32	0,43	
POLAR																							
EA									-0,41											-0,29			
EAWR			0,29					-0,38			-0,29				0,33					-0,29			0,28
CRU TS 3,0	56,25 N	32,75 E	26,5 km	N = 105																			
T мин																							
T средн																							
T макс								0,21											0,21		0,21		
dT сутки																	0,2					0,2	

Осадки										-0,23													
Отн влажн				0,2									0,23										
Облачность						-0,24								-0,22			-0,21	-0,21	-0,21		-0,29	-0,24	
Дни с осадками																							
Дни с заморозками				0,23																			
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии M10D																								
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	11,5 km	N = 61																				
T мин																							
T средн																							
T макс						-0,29			0,27														
Осадки							-0,26																
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро																							
архив 455	27612	10,5 km	N = 117																				
T средн	-0,19													0,21									
Осадки							-0,3																
архив 476	27612	11,1 km	N = 59																				
T средн																							
PDSI	56,25 N	38,75 E	82,3 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	55,75 N	37,75 E	1,7 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO										-0,27													
SCAND																							
POLAR																							
EA				-0,27																			
EAWR						0,26																	
CRU TS 3,0	55,75 N	37,75 E	1,7 km	N = 105																			
T мин	-0,22					-0,2						-0,2											
T средн	-0,21													0,2									
T макс	-0,26											-0,22											
dT сутки																							

Осадки								-0,22																
Отн влажн																								
Облачность																								
Дни с осадками										-0,22														
Дни с заморозками						0,23								-0,22										
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии M10S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27648	115 km	N = 123																				
T мин	0,28		0,22								0,25		0,25						0,27	0,24	0,2		
T средн			0,2		-0,18	-0,2			0,24		0,21	0,24				-0,22	-0,22			0,27		-0,23	
T макс						-0,22		-0,28	0,29		0,21						-0,22						
Осадки					0,19				0,2					0,18	0,19	0,2			0,28	0,21	0,24	0,31	0,26
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро						0,24	0,21	0,19	0,19	0,23				-0,23		0,25	0,24	0,22		0,27			
архив 455	27731	74,1 km	N = 77																				
T средн									0,23														
Осадки				0,21	0,2										0,19				0,27		0,21	0,26	0,25
архив 476	27730	71 km	N = 76																				
T средн						-0,29			0,25	0,23	0,23	0,31				-0,25	-0,23			0,3			
PDSI	56,25 N	41,25 E	136,1 km	N = 136																			
Индекс сухости	0,21	0,18		0,2	0,26	0,28	0,25	0,24	0,27	0,26	0,28	0,26	0,22	0,24	0,31	0,32	0,36	0,26	0,33	0,27	0,32	0,33	0,32
CPC Soil Moisture	55,25 N	40,25 E	13,6 km	N = 62																			
Влажность почвы																			0,28		0,28	0,27	
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																			0,38	0,36			
SCAND																							
POLAR																							
EA																-0,29						-0,25	-0,27
EAWR																							
CRU TS 3,0	55,25 N	40,25 E	13,6 km	N = 105																			
T мин			0,35						0,2		0,2	0,21							0,25	0,25			
T средн			0,27						0,23		0,21	0,25					-0,22			0,27			
T макс			0,25		-0,2	-0,24			0,28	0,2		0,22					-0,25			0,31			
dT сутки				-0,2	-0,32	-0,37					-0,2					-0,21	-0,37	-0,3	-0,23		-0,26	-0,27	

Осадки					0,23										0,21		0,28		0,27		0,24	0,31	0,2
Отн влажн	-0,22				0,21	0,28											0,24				0,2	0,24	0,2
Облачность					0,26	0,31											0,29	0,23	0,25		0,21	0,21	
Дни с осадками					0,27						0,25						0,33		0,3	0,21	0,24	0,32	
Дни с заморозками											-0,21	-0,28							-0,24	-0,24			
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии M11D																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	3,9 km	N = 61																				
T мин																							
T средн				-0,32																			
T макс						-0,32			0,26														
Осадки															0,28								0,28
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро																							
архив 455	27612	0 km	N = 117																				
T средн																							
Осадки															0,3								
архив 476	27612	3,6 km	N = 59																				
T средн				-0,33													-0,31						
PDSI	56,25 N	38,75 E	87,5 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	55,75 N	37,75 E	10,9 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																-0,37							-0,32
SCAND																							
POLAR																							
EA							0,27		0,28														
EAWR										-0,27										-0,28			
CRU TS 3,0	55,75 N	37,75 E	10,9 km	N = 105																			
T мин	-0,2			-0,23																			
T средн																							
T макс	-0,21			-0,22																			
dT сутки							0,2			-0,25													

Осадки										-0,2	-0,19				0,24					-0,28			0,2
Отн влажн											0,19	0,21											
Облачность										0,22													
Дни с осадками							-0,2	-0,2		-0,2	-0,2				0,21					-0,31			
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии M13S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	49,9 km	N = 61																				
T мин									0,32	0,32									0,36	0,38			
T средн									0,32			0,27					0,31	0,26	0,35	0,33	0,26		
T макс												0,26							0,28	0,36			
Осадки											0,28	0,35								0,28			
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро											0,32	0,29											
архив 455	27612	48,2 km	N = 117																				
T средн					-0,19				0,29	0,23								0,2	0,24	0,27			
Осадки												0,29								0,26			
архив 476	27612	50 km	N = 59																				
T средн																		0,3					
PDSI	56,25 N	36,25 E	68,3 km	N = 136																			
Индекс сухости				0,17	0,21	0,24	0,2	0,2	0,2	0,21	0,22	0,26	0,19	0,23	0,25	0,24	0,24		0,24	0,22	0,24	0,25	0,25
CPC Soil Moisture	55,75 N	36,75 E	6 km	N = 62																			
Влажность почвы												0,31	0,31	0,34	0,33	0,3			0,3		0,33	0,35	0,33
индексы NOAA		N = 61																					
NAO															-0,31							-0,28	-0,31
SCAND												-0,26		-0,26									
POLAR						0,35					-0,36	-0,31					0,33		-0,32	-0,48			
EA			0,26	0,36												0,3	0,36		0,29		0,31	0,31	0,26
EAWR					-0,29		-0,28										-0,31		-0,27				
CRU TS 3,0	55,75 N	36,75 E	6 km	N = 105																			
T мин									0,21									0,25	0,24	0,21			
T средн					-0,23				0,23	0,22								0,22	0,21	0,23			
T макс					-0,22				0,24									0,23					
dT сутки				-0,19	-0,25					-0,2			0,2							-0,22			

Осадки					0,24						0,22			0,24		0,25			0,25			0,28	0,22
Отн влажн				0,3	0,39									0,22	0,22	0,28	0,2		0,21		0,33	0,34	0,31
Облачность			0,32	0,33	0,22				0,21			0,28			0,35				0,26	0,26		0,25	0,29
Дни с осадками				0,24	0,28						0,21			0,23		0,27			0,28	0,22		0,34	0,23
Дни с заморозками									-0,2	-0,22								-0,22	-0,2				
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии M18E																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	62,6 km	N = 61																				
T мин										0,29									0,31	0,31			
T средн									0,32	0,29			0,35		-0,29				0,3	0,37			
T макс																							
Осадки	-0,32											0,26											0,26
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро								0,28															
архив 455	27612	58,8 km	N = 117																				
T средн				-0,22	-0,45					0,23					-0,2	-0,31	-0,22				-0,2	-0,33	-0,32
Осадки	-0,31																						
архив 476	27612	62,4 km	N = 59																				
T средн									0,34	0,3			0,33		-0,27					0,33			-0,26
PDSI	56,25 N	36,25 E	120,8 km	N = 121																			
Индекс сухости		0,18	0,23	0,24	0,31	0,3	0,27	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,25	0,29	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,29	0,34	0,34	0,35
CPC Soil Moisture	55,25 N	37,25 E	7,4 km	N = 62																			
Влажность почвы																0,31			0,26		0,25	0,27	0,29
индексы NOAA		N = 61																					
NAO	0,34									0,29	0,27									0,27			
SCAND		-0,31	-0,42									-0,38			-0,33				-0,28				
POLAR																							
EA					0,27												0,3						
EAWR									-0,3				-0,36						-0,27				
CRU TS 3,0	55,25 N	37,25 E	7,4 km	N = 105																			
T мин					-0,27					0,27													
T средн				-0,23	-0,46				0,2	0,27						-0,28	-0,21					-0,3	-0,29
T макс				-0,21	-0,46				0,2	0,24						-0,26	-0,22					-0,28	-0,26
dT сутки				-0,25	-0,51					-0,32	-0,31	-0,21			-0,27	-0,3	-0,33	-0,2	-0,45	-0,32	-0,34	-0,39	-0,35

Осадки	-0,2				0,25											0,25			0,19		0,2	0,27	0,29
Отн влажн		0,21	0,24	0,35	0,57	0,27		0,23						0,22	0,28	0,37	0,36		0,34		0,41	0,45	0,4
Облачность					0,26				0,2	0,34		0,23			0,21		0,21		0,33	0,26	0,24	0,26	0,22
Дни с осадками				0,21	0,42					0,25					0,2	0,22	0,27				0,21	0,34	0,3
Дни с заморозками					0,25					-0,24					0,2								
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии M19S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	102,6 km	N = 61																				
T мин											-0,26				-0,25							-0,36	-0,31
T средн									0,32													-0,3	
T макс									0,37	-0,35													
Осадки				0,28								0,36											
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро									0,26														
архив 455	27719	79,3 km	N = 82																				
T средн				-0,27		-0,23			0,24							-0,29							-0,23
Осадки	-0,22					0,27						0,38	-0,27	0,25		0,23		0,24	0,33		0,26	0,26	
архив 476	27625	72,8 km	N = 91																				
T средн				-0,37	-0,24	-0,24			0,29							-0,45	-0,26					-0,28	-0,37
PDSI	53,75 N	38,75 E	147,6 km	N = 136																			
Индекс сухости																0,18	0,18	0,17					
CPC Soil Moisture	54,75 N	37,75 E	19 km	N = 62																			
Влажность почвы																0,33	0,33		0,25		0,29	0,32	0,3
индексы NOAA		N = 61																					
NAO							0,31																
SCAND							0,26	0,33				-0,3						-0,25					
POLAR									0,3														
EA										-0,33									-0,28	-0,27			
EAWR									-0,3				-0,38							-0,27			
CRU TS 3,0	54,75 N	37,75 E	19 km	N = 105																			
T мин				-0,2					0,29														
T средн				-0,2					0,29														
T макс				-0,23					0,27							-0,26						-0,22	-0,24
dT сутки									-0,24							-0,26	-0,25		-0,22		-0,2	-0,28	-0,25

Осадки				0,25								0,32				0,33			0,29		0,27	0,32	0,28
Отн влажн					0,23				-0,22														
Облачность									0,22								0,21					0,22	
Дни с осадками				0,21	0,26											0,26	0,24				0,23	0,34	0,27
Дни с заморозками				0,21					-0,2														
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии OLIS																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	56,9 km	N = 60																				
T мин									0,3						-0,26								
T средн									0,38														
T макс			-0,28																				
Осадки				0,28								0,28											
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро									0,32														
архив 455	27612	54,9 km	N = 117																				
T средн				-0,22	-0,31				0,3							-0,23						-0,21	-0,25
Осадки		0,27		0,27																			
архив 476	27509	50,8 km	N = 72																				
T средн				-0,32	-0,43				0,3							-0,24							
PDSI	56,25 N	36,25 E	69,6 km	N = 136																			
Индекс сухости				0,23	0,26	0,23	0,18	0,18	0,19	0,2	0,21	0,24	0,23	0,24	0,23	0,25	0,25	0,19	0,24	0,21	0,25	0,25	0,24
CPC Soil Moisture	55,75 N	36,75 E	6,6 km	N = 60																			
Влажность почвы					0,3	0,27						0,27	0,28	0,26	0,26	0,3	0,26		0,28		0,31	0,31	0,29
индексы NOAA		N = 58																					
NAO																					-0,27		
SCAND								0,29				-0,33											
POLAR																							
EA										-0,28													
EAWR								-0,27	-0,36				-0,37						-0,34	-0,31			
CRU TS 3,0	55,75 N	36,75 E	6,6 km	N = 105																			
T мин									0,29														
T средн				-0,23	-0,32				0,31							-0,22						-0,21	-0,25
T макс				-0,25	-0,33				0,31							-0,19						-0,2	-0,23
dT сутки				-0,28	-0,37				-0,19							-0,24	-0,22		-0,28		-0,21	-0,28	-0,24

Осадки				0,25	0,28											0,3			0,21		0,2	0,25	0,23
Отн влажн				0,27	0,41											0,31	0,27		0,21		0,29	0,32	0,27
Облачность				0,23					0,32	0,2									0,21	0,22			
Дни с осадками				0,36	0,4											0,31	0,28		0,25		0,26	0,38	0,32
Дни с заморозками					0,24				-0,31														
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии ОРР																							
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27823	226,6 km	N = 73																				
Т мин				0,38						0,34		0,35				0,4			0,36	0,32			0,23
Т средн										0,32	0,23	0,42	0,35						0,39	0,4			
Т макс											0,34	0,39							0,29	0,41			
Осадки							0,24				0,29		0,25		0,27				0,37	0,33	0,23		
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро						0,32	0,25	0,24			0,3	0,28				0,35	0,29		0,27				
архив 455	27703	71,6 km	N = 76																				
Т средн						-0,28				0,31		0,41	0,28						0,29	0,31			
Осадки			0,3																				
архив 476	27707	32 km	N = 81																				
Т средн						-0,31				0,28		0,24	0,36							0,26			
PDSI	53,75 N	36,25 E	43,2 km	N = 136																			
Индекс сухости			0,19	0,19		0,26	0,25	0,24	0,25	0,27	0,3	0,29	0,27	0,28	0,34	0,32	0,3	0,28	0,31	0,27	0,32	0,32	0,33
CPC Soil Moisture	54,25 N	35,75 E	22,9 km	N = 62																			
Влажность почвы				0,29						0,29	0,35	0,39	0,37	0,39	0,42	0,38	0,29		0,38	0,3	0,41	0,42	0,42
индексы NOAA		N = 61																					
NAO							-0,27			0,28		0,31								0,27			
SCAND			-0,31											-0,27	-0,27				-0,33		-0,37	-0,35	
POLAR						0,28					-0,3	-0,38					0,28			-0,49			
EA			0,3	0,42	0,3			0,26	0,34	0,4			0,33			0,43	0,53		0,6	0,48	0,51	0,48	0,32
EAWR							-0,28								-0,29				-0,28		-0,27	-0,26	-0,32
CRU TS 3,0	54,25 N	35,75 E	22,9 km	N = 105																			
Т мин				0,22						0,23	0,21	0,24	0,25			0,28			0,35	0,3	0,25		0,21
Т средн									0,19	0,29	0,25	0,3	0,28						0,37	0,36	0,21		
Т макс										0,21	0,22	0,3	0,29						0,32	0,3			
dT сутки								-0,2		-0,31			0,25		-0,22								

Осадки																			0,35	0,22	0,24	0,24	0,26
Отн влажн	-0,22			0,22	0,2	0,3	0,22		-0,25			-0,28			0,38	0,26					0,3	0,36	0,4
Облачность			0,34	0,31	0,24							0,23			0,51		0,23		0,25		0,24	0,34	0,4
Дни с осадками											0,22								0,37	0,32	0,2	0,23	0,25
Дни с заморозками				-0,21					-0,21	-0,35		-0,28				-0,31		-0,21	-0,41	-0,37	-0,33	-0,26	-0,29
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии OZER																								
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	123,7 km	N = 61																				
T мин				0,34	0,27				0,33	0,31									0,44	0,43			
T средн									0,26	0,26		0,26	0,29						0,39	0,39			
T макс																			0,26	0,32			
Осадки	-0,26								0,28											0,32			
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро						0,35	0,27	0,29			0,28	0,26						0,26					
архив 455	27731	79,5 km	N = 77																				
T средн				0,28					0,23			0,24						0,33	0,28	0,31			
Осадки															0,2								
архив 476	27625	32,5 km	N = 91																				
T средн													0,24					0,34	0,29	0,24			
PDSI	53,75 N	38,75 E	124 km	N = 136																			
Индекс сухости						0,18	0,17	0,18	0,21	0,22	0,23	0,22	0,2	0,2	0,22	0,18	0,2	0,19	0,22	0,21	0,21	0,21	0,2
CPC Soil Moisture	54,75 N	38,75 E	17,6 km	N = 62																			
Влажность почвы	0,29	0,27	0,29	0,32	0,39	0,43	0,43	0,36	0,41	0,46	0,46	0,46	0,42	0,35	0,34	0,35	0,29		0,52	0,47	0,4	0,38	0,36
индексы NOAA		N = 61																					
NAO	0,27								0,27											0,36			
SCAND			-0,27		-0,35					-0,28		-0,36			-0,36				-0,37		-0,35	-0,35	-0,29
POLAR																0,3							
EA					0,3				0,28				0,26				0,41		0,37	0,26	0,35	0,28	
EAWR				-0,32	-0,31		-0,35				0,26					-0,25			-0,28				
CRU TS 3,0	54,75 N	38,75 E	17,6 km	N = 105																			
T мин																		0,24	0,28	0,27			
T средн																		0,25	0,24	0,22			
T макс																		0,21	0,21	0,2			
dT сутки								-0,22	-0,2			-0,21								-0,3			

Осадки					0,21							0,22							0,24	0,22			
Отн влажн						0,3									0,24								
Облачность									0,22	0,26		0,23								0,25			
Дни с осадками					0,27							0,23											
Дни с заморозками												-0,22				-0,19	-0,26	-0,28	-0,33	-0,27	-0,38	-0,28	
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии PACH																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	26188	162,3 km	N = 51																				
T мин	0,4				-0,4					0,36			0,37										
T средн				-0,29	-0,46															0,31			
T макс	0,3																						
Осадки																							
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро		-0,31	-0,31	-0,35																			
архив 455	26289	84,8 km	N = 73																				
T средн	0,27				-0,36				0,31		0,25	0,25	0,3						0,37	0,35			
Осадки																							-0,21
архив 476	26479	124,3 km	N = 81																				
T средн					-0,26						0,26	0,39	0,27						0,4	0,35			
PDSI	56,25 N	33,75 E	116,8 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	57,25 N	33,25 E	7,8 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																0,25							
SCAND				0,27												0,26							
POLAR							-0,39					-0,31											
EA																							
EAWR													-0,25						-0,26				
CRU TS 3,0	57,25 N	33,25 E	7,8 km	N = 105																			
T мин	0,26		0,2		-0,29				0,25		0,22	0,26	0,31						0,37	0,35	0,23		
T средн	0,2				-0,34				0,28	0,22	0,22	0,25	0,3						0,34	0,35			
T макс					-0,24				0,27		0,19	0,23	0,29						0,28	0,31			
dT сутки				-0,2							-0,23	-0,2								-0,25			

Осадки																								
Отн влажн				0,28	0,36				-0,21															
Облачность									0,2		0,24	0,23									0,31			
Дни с осадками																								
Дни с заморозками					0,22				-0,28			-0,23								-0,3	-0,29			
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии PANS																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	26477	182,3 km	N = 112																				
T мин								0,25		0,23									0,28	0,28			
T средн												0,22							0,23	0,27			
T макс												0,27											
Осадки			0,22		0,22																		
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро						0,35	0,34	0,29	0,26	0,31													
архив 455	26393	98,9 km	N = 111																				
T средн					-0,28			0,2				0,23							0,32	0,3	0,2		
Осадки	-0,19				0,26																		
архив 476	26499	117,4 km	N = 107																				
T средн																	0,24						
PDSI	56,25 N	33,75 E	94,1 km	N = 109																			
Индекс сухости	0,23	0,24	0,22		0,25	0,2																	
CPC Soil Moisture	57,25 N	33,25 E	21,6 km	N = 62																			
Влажность почвы					0,27	0,31	0,28	0,28	0,27						0,3	0,28			0,28	0,27		0,26	0,3
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																	0,27						
SCAND												-0,29											
POLAR																							
EA																							
EAWR																							
CRU TS 3,0	57,25 N	33,25 E	21,6 km	N = 105																			
T мин			0,21					0,24		0,23				0,27			0,2		0,37	0,34	0,26	0,23	
T средн					-0,26			0,24		0,22		0,2		0,25			0,2		0,36	0,32	0,27	0,22	
T макс					-0,25			0,21											0,27	0,28			
dT сутки										-0,25										-0,23			

Осадки					0,27																		
Отн влажн					0,21		0,24										-0,2						
Облачность										0,24										0,26			
Дни с осадками					0,27																		
Дни с заморозками					0,28									-0,31					-0,29	-0,26			
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии R03D																							
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	34009	10,6 km	N = 71																				
Т мин																							
Т средн																							
Т макс																							
Осадки																							
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро																							
архив 455	34009	1,7 km	N = 70																				
Т средн																							
Осадки									0,26														
архив 476	34009	10,6 km	N = 69																				
Т средн																							
PDSI	51,25 N	36,25 E	51,9 km	N = 68																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	51,75 N	36,25 E	5 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																					-0,32	-0,28	-0,26
SCAND																							
POLAR										0,27													
EA				-0,29																			
EAWR														-0,28									
CRU TS 3,0	51,75 N	36,25 E	5 km	N = 68																			
Т мин																							
Т средн																							
Т макс																							
dT сутки							0,27						-0,28										

Осадки																								
Отн влажн																								
Облачность													0,29											
Дни с осадками							-0,28																	
Дни с заморозками																								
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии R10D																								
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	34009	74,8 km	N = 80																				
T мин					-0,26																		
T средн					-0,26																		
T макс					-0,27																		
Осадки															0,35								
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро																							
архив 455	34009	71,1 km	N = 79																				
T средн					-0,23																		
Осадки															0,34								
архив 476	34202	36,3 km	N = 65																				
T средн				-0,4	-0,26																		
PDSI	51,25 N	36,25 E	29,9 km	N = 77																			
Индекс сухости															0,27								0,25
CPC Soil Moisture	51,25 N	35,75 E	17 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND																							
POLAR						-0,33																	
EA	-0,27		-0,31		-0,31																-0,26		
EAWR																							
CRU TS 3,0	51,25 N	35,75 E	17 km	N = 77																			
T мин																							
T средн														0,29									
T макс				-0,25																			
dT сутки				-0,24																			

Осадки													0,24		0,26								
Отн влажн																							
Облачность													0,25										
Дни с осадками															0,31								0,24
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии SHIR																								
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	26477	151,2 km	N = 128																				
T мин			-0,28	-0,26												-0,3					-0,28	-0,25	-0,33
T средн				-0,21	-0,22																		
T макс				-0,2	-0,23																		
Осадки																							
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро	-0,27	-0,26	-0,31	-0,29	-0,23																		
архив 455	26289	109,5 km	N = 73																				
T средн																							
Осадки																							
архив 476	26479	92,6 km	N = 81																				
T средн																							
PDSI	56,25 N	33,75 E	108,7 km	N = 136																			
Индекс сухости					0,18																		
CPC Soil Moisture	57,25 N	32,75 E	22,4 km	N = 62																			
Влажность почвы					0,3	0,29																	
индексы NOAA		N = 61																					
NAO					-0,38		0,48																
SCAND																							
POLAR		-0,32		-0,29																			
EA		-0,36						-0,28	-0,31	-0,35									-0,3	-0,35			
EAWR	-0,33																						
CRU TS 3,0	57,25 N	32,75 E	22,4 km	N = 105																			
T мин																							
T средн																							
T макс																							
dT сутки																							

Осадки																								
Отн влажн				0,2	0,31	0,2																		
Облачность																								
Дни с осадками					0,25																			
Дни с заморозками				0,26													0,2		-0,21					
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии SOS																							
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	27 km	N = 60																				
Т мин															-0,31							-0,34	-0,31
Т средн															-0,26								-0,26
Т макс																							
Осадки												0,43											
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро			-0,28						0,27														
архив 455	27612	23,1 km	N = 117																				
Т средн														-0,22				0,25				-0,21	
Осадки												0,44								0,3			
архив 476	27612	26,7 km	N = 59																				
Т средн																							
PDSI	56,25 N	38,75 E	106,5 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	55,75 N	37,75 E	22,9 km	N = 60																			
Влажность почвы													0,28										
индексы NOAA		N = 58																					
NAO					-0,28																		
SCAND												-0,3											
POLAR																							
EA																							
EAWR								-0,39	-0,34											-0,35			
CRU TS 3,0	55,75 N	37,75 E	22,9 km	N = 105																			
Т мин														-0,21	-0,22			0,25					
Т средн														-0,21	-0,23			0,26				-0,22	-0,2
Т макс														-0,22	-0,22			0,23				-0,2	
dT сутки									-0,28										-0,24	-0,26			

Осадки			-0,2									0,24											
Отн влажн	0,19		-0,21									0,33											
Облачность									0,3	0,25		0,23							0,22	0,31			
Дни с осадками			-0,23																				
Дни с заморозками								-0,2							0,21			-0,29			-0,21		
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии T01S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27595	32,3 km	N = 128																				
T мин																							-0,21
T средн														-0,22	-0,23							-0,26	-0,26
T макс														-0,37	-0,23	-0,2			-0,22		-0,25	-0,33	-0,26
Осадки		0,19		0,25	0,23			-0,18						0,32	0,26	0,23			0,21		0,35	0,41	0,36
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро						0,19	0,19			0,18			-0,19	-0,21		0,3	0,34	0,37	0,24	0,34			
архив 455	27595	54,7 km	N = 83																				
T средн																						-0,24	
Осадки		0,22		0,28	0,25			-0,32						0,4	0,25				0,22		0,33	0,4	0,33
архив 476	27595	54,6 km	N = 82																				
T средн																-0,25						-0,29	-0,26
PDSI	56,25 N	48,75 E	109,6 km	N = 136																			
Индекс сухости					0,17								0,18	0,24	0,27	0,28	0,3	0,27	0,21		0,27	0,28	0,28
CPC Soil Moisture	55,25 N	49,25 E	6,8 km	N = 62																			
Влажность почвы															0,36	0,38	0,39	0,37	0,27		0,36	0,37	0,38
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND		-0,28					0,26			-0,33													
POLAR															-0,26						-0,31	-0,34	-0,31
EA										-0,29													
EAWR				-0,33																			
CRU TS 3,0	55,25 N	49,25 E	6,8 km	N = 105																			
T мин																							
T средн														-0,25	-0,21						-0,22	-0,29	-0,24
T макс														-0,19									
dT сутки														-0,22									

Осадки				0,21	0,22			-0,24						0,33	0,23							0,3	0,36	0,27
Отн влажн														0,33								0,31	0,3	
Облачность														0,21										
Дни с осадками				0,24	0,27	0,19		-0,3						0,28		0,29	0,24	0,2				0,44	0,45	0,36
Дни с заморозками																								
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии T02S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27595	32,3 km	N = 128																				
T мин																							
T средн	x																						
T макс			IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен
Осадки		архив 223	27595	32,3 km	N = 128																		
		T мин																					
Агро		T средн													0,24								
		T макс								-0,29	0,23												
архив 455		Осадки					0,24				0,25	0,23	0,26								0,24	0,18	0,18
T средн			T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова											
Осадки		Агро					0,19	0,19											0,19	0,2			
архив 476		архив 455	27595	54,7 km	N = 83																		
T средн		T средн			0,24										0,31								
		Осадки			-0,22						0,3	0,28	0,28								0,23		
PDSI																							
Индекс сухости		архив 476	27595	54,6 km	N = 82																		
		T средн			0,22										0,28								
CPC Soil Moisture																							
Влажность почвы		PDSI	56,25 N	48,75 E	109,6 km	N = 136																	
		Индекс сухости																					
индексы NOAA																							
NAO		CPC Soil Moisture	55,25 N	49,25 E	6,8 km	N = 62																	
SCAND		Влажность почвы																					
POLAR																							
EA		индексы NOAA		N = 61																			
EAWR		NAO																					
		SCAND												-0,28									
CRU TS 3,0		POLAR																					-0,3
T мин		EA			0,28					-0,28		-0,28										-0,31	
T средн		EAWR													-0,3								
T макс																							
dT сутки		CRU TS 3,0	55,25 N	49,25 E	6,8 km	N = 105																	

Осадки		T мин			0,2										0,26						0,2		0,24
Отн влажн		T средн					-0,2																
Облачность		T макс			0,22										0,28								
Дни с осадками		dT сутки													0,23								
Дни с заморозками		Осадки																					
		Отн влажн						0,25						0,25		0,24					0,3	0,23	0,23
20th Reanalysis		Облачность																					
Давление		Дни с осадками					0,24	0,27				0,21											
Толщина снега		Дни с заморозками								0,2													
		20th Reanalysis	N	E	км																		
		Давление																					
		Толщина снега																					

Код хронологии T03S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	34139	38,9 km	N = 116																				
T мин	0,23								0,21	0,27	0,31	0,37	0,21	0,19		0,2			0,45	0,43	0,28	0,23	
T средн									0,26	0,34	0,37	0,37	0,22						0,34	0,47			
T макс									0,38	0,27	0,38	0,27			-0,2					0,41		-0,21	-0,21
Осадки								0,19	0,38	0,42	0,37				0,2				0,5	0,49	0,25	0,21	
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро					0,33	0,29									0,38	0,4	0,29	0,27		0,23			
архив 455	34122	88,9 km	N = 90																				
T средн									0,25	0,33	0,36	0,41							0,35	0,49			
Осадки						0,26			0,33	0,23	0,34				0,2	0,19		0,21	0,52	0,44	0,32	0,23	0,27
архив 476	34139	38,9 km	N = 44																				
T средн										0,34	0,32	0,33								0,4			
PDSI	51,25 N	41,25 E	73,6 km	N = 136																			
Индекс сухости	0,33	0,3	0,32	0,29	0,31	0,31	0,31	0,36	0,38	0,42	0,42	0,43	0,41	0,41	0,44	0,41	0,41	0,38	0,44	0,4	0,44	0,43	0,43
CPC Soil Moisture	51,25 N	40,25 E	6,5 km	N = 62																			
Влажность почвы	0,34	0,33	0,38	0,38	0,4	0,47	0,45	0,41	0,43	0,51	0,54	0,54	0,54	0,55	0,62	0,59	0,54	0,54	0,62	0,51	0,63	0,62	0,62
индексы NOAA		N = 61																					
NAO							-0,31					0,42					0,25		0,26	0,29			
SCAND					-0,27					-0,25				-0,26	-0,27		-0,34		-0,45	-0,28	-0,38	-0,42	
POLAR												-0,36											
EA			0,37						0,28	0,28									0,3	0,27			
EAWR				-0,29							0,27												
CRU TS 3,0	51,25 N	40,25 E	6,5 km	N = 105																			
T мин			0,22						0,23	0,31	0,33	0,34	0,22						0,42	0,43			
T средн									0,25	0,31	0,34	0,35	0,21						0,36	0,45			
T макс					-0,19	-0,23			0,28	0,31	0,35	0,37			-0,25	-0,19	-0,21			0,41		-0,29	-0,27
dT сутки		-0,28	-0,29	-0,36	-0,24	-0,28		-0,22						-0,42	-0,46	-0,41	-0,26	-0,19	-0,35		-0,42	-0,51	-0,49

Осадки								0,2	0,37	0,35	0,28	0,21							0,45	0,47			
Отн влажн	-0,26					0,22			-0,37		-0,22	-0,39	-0,26		0,22				-0,21	-0,38		0,2	0,2
Облачность														0,22	0,33	0,21						0,32	0,32
Дни с осадками									0,34	0,26	0,26								0,45	0,43			
Дни с заморозками										-0,32	-0,26	-0,35							-0,42	-0,4	-0,2		
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии T04S																							
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	28900	129 km	N = 73																				
Т мин			-0,26							-0,28													-0,28
Т средн			-0,36												-0,42	-0,32	-0,23		-0,3		-0,36	-0,49	-0,48
Т макс			-0,28											-0,28	-0,33	-0,25	-0,34		-0,36	-0,25	-0,34	-0,44	-0,37
Осадки																						0,26	
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро	-0,33	-0,32	-0,36	-0,31							-0,33	-0,34	-0,34	-0,37						0,23			
архив 455	35011	96,9 km	N = 74																				
Т средн			-0,28												-0,46	-0,3	-0,27				-0,37	-0,52	-0,5
Осадки															0,3						0,23	0,26	
архив 476	35011	95,9 km	N = 73																				
Т средн			-0,25												-0,46	-0,33	-0,25				-0,41	-0,5	-0,52
PDSI	53,75 N	51,25 E	98,5 km	N = 136																			
Индекс сухости								0,2	0,21	0,21	0,21	0,23	0,3	0,36	0,39	0,43	0,39	0,3	0,31	0,21	0,38	0,4	0,42
CPC Soil Moisture	53,25 N	52,25 E	26,2 km	N = 62																			
Влажность почвы															0,26	0,39	0,44	0,45	0,27		0,35	0,35	0,34
индексы NOAA		N = 61																					
NAO			0,3												0,26								
SCAND																-0,31							
POLAR							0,3					0,26						-0,29					
EA																-0,25							
EAWR																0,27						0,35	0,25
CRU TS 3,0	53,25 N	52,25 E	26,2 km	N = 105																			
Т мин		-0,21	-0,21												-0,38	-0,23						-0,35	-0,41
Т средн		-0,21	-0,25											-0,2	-0,45	-0,36					-0,27	-0,46	-0,52
Т макс														-0,21	-0,4	-0,31					-0,21	-0,38	-0,46
dT сутки														-0,28	-0,34	-0,33					-0,22	-0,35	-0,41

Осадки														0,31	0,3	0,32			0,33		0,38	0,44	0,39
Отн влажн				0,21										0,33	0,34	0,32	0,27				0,35	0,43	0,39
Облачность														0,31									
Дни с осадками														0,2	0,35	0,28					0,33	0,39	0,41
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии T05S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	28900	127,7 km	N = 73																				
T мин																							
T средн														-0,24	-0,31							-0,31	-0,34
T макс														-0,29	-0,26						-0,25	-0,29	-0,24
Осадки																							
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф. Селянинова													
Агро														-0,27									
архив 455	35011	93,6 km	N = 74																				
T средн								0,26						-0,25	-0,36	-0,26					-0,3	-0,39	-0,41
Осадки												0,25			0,24							0,25	0,24
архив 476	35011	93 km	N = 73																				
T средн														-0,26	-0,35	-0,26					-0,34	-0,43	-0,41
PDSI	53,75 N	51,25 E	103,7 km	N = 136																			
Индекс сухости					0,2	0,23	0,22	0,22	0,19	0,17	0,17	0,19	0,22	0,29	0,33	0,36	0,35	0,33	0,27	0,2	0,33	0,34	0,35
CPC Soil Moisture	52,75 N	52,25 E	26,1 km	N = 62																			
Влажность почвы				0,29	0,28	0,27				0,27	0,29	0,33	0,34	0,36	0,45	0,54	0,51	0,46	0,41	0,27	0,51	0,51	0,51
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND												-0,27							-0,31				
POLAR																							
EA	0,28			0,27	0,29								0,26						0,26		0,34	0,27	
EAWR																							
CRU TS 3,0	52,75 N	52,25 E	26,1 km	N = 105																			
T мин		-0,22												-0,25	-0,31	-0,26					-0,34	-0,42	-0,38
T средн								0,2						-0,28	-0,33	-0,19					-0,25	-0,36	-0,34
T макс		-0,21	-0,22											-0,36	-0,39	-0,23			-0,22		-0,32	-0,4	-0,4
dT сутки			-0,23	-0,25				-0,3		-0,2		-0,22		-0,41	-0,41				-0,39	-0,31	-0,29	-0,36	-0,37

Осадки				0,24								0,36			0,32	0,33			0,36		0,35	0,37	0,41
Отн влажн			0,23				0,23					0,21		0,38	0,35	0,24			0,31		0,37	0,39	0,34
Облачность		0,22	0,28	0,23				0,21	0,25	0,29	0,24	0,3		0,4	0,26				0,36	0,34	0,23	0,33	0,24
Дни с осадками				0,25								0,28			0,28	0,3					0,3	0,32	0,38
Дни с заморозками								-0,2										-0,23					
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии T06S																							
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	28900	23,8 km	N = 73																				
Т мин																							
Т средн					-0,3									-0,24		-0,33	-0,31				-0,31	-0,43	-0,32
Т макс				-0,26	-0,42			-0,25						-0,3	-0,3	-0,38	-0,5		-0,32		-0,49	-0,54	-0,43
Осадки				0,38	0,31										0,27	0,25	0,34		0,38		0,46	0,49	0,35
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро						0,39	0,39	0,37	0,37	0,39	-0,27	-0,27	-0,28	-0,4		0,48	0,44	0,46	0,32	0,46			
архив 455	28900	30,8 km	N = 73																				
Т средн					-0,3									-0,23		-0,32	-0,3				-0,31	-0,42	-0,31
Осадки				0,42	0,29									0,24	0,26	0,29	0,34		0,46		0,49	0,5	0,37
архив 476	27995	59,3 km	N = 103																				
Т средн				-0,23	-0,27		-0,21			0,24				-0,34	-0,27	-0,26	-0,26				-0,34	-0,46	-0,35
PDSI	53,75 N	48,75 E	89,6 km	N = 136																			
Индекс сухости					0,2	0,19	0,17	0,18	0,18	0,18			0,19	0,22	0,3	0,32	0,38	0,31	0,26	0,18	0,3	0,31	0,31
CPC Soil Moisture	53,25 N	49,75 E	22,9 km	N = 62																			
Влажность почвы						0,3	0,32	0,34	0,34	0,35	0,34	0,31	0,32	0,38	0,46	0,46	0,39	0,36	0,44	0,36	0,45	0,46	0,47
индексы NOAA		N = 61																					
NAO	0,27											0,28	0,27						0,36	0,26	0,28		
SCAND									-0,31	-0,25									-0,29				
POLAR																							
EA																							
EAWR														0,35									
CRU TS 3,0	53,25 N	49,75 E	22,9 km	N = 105																			
Т мин					-0,19					0,23				-0,23								-0,26	
Т средн				-0,21	-0,28					0,19				-0,31	-0,22	-0,26	-0,24				-0,27	-0,43	-0,32
Т макс					-0,24									-0,31	-0,26	-0,29	-0,28				-0,34	-0,46	-0,35
dT сутки				-0,31	-0,26				-0,23	-0,2		-0,25		-0,36	-0,37	-0,42	-0,38		-0,42	-0,23	-0,45	-0,53	-0,47

Осадки				0,21										0,3	0,2	0,26	0,19		0,35		0,44	0,44	0,31
Отн влажн				0,38	0,35	0,22								0,35	0,33	0,35	0,45		0,27		0,45	0,52	0,4
Облачность														0,34							0,28	0,37	
Дни с осадками														0,32	0,26	0,27	0,22		0,33		0,45	0,49	0,37
Дни с заморозками										-0,19								-0,23					
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии T07S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	28900	36 km	N = 73																				
T мин										0,24	0,3								0,31	0,29			
T средн					-0,24					0,29		0,28								0,28			
T макс					-0,3					0,23							-0,28				-0,26	-0,27	
Осадки				0,26	0,25														0,27		0,23		
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро						0,34	0,33	0,33	0,3	0,3						0,32	0,24	0,26					
архив 455	28900	44,1 km	N = 73																				
T средн					-0,24					0,29		0,3								0,29			
Осадки				0,25	0,22														0,3	0,24			
архив 476	27995	55,2 km	N = 103																				
T средн					-0,24					0,28				-0,3								-0,24	
PDSI	53,75 N	48,75 E	76,4 km	N = 136																			
Индекс сухости					0,2	0,22											0,19	0,18					
CPC Soil Moisture	53,25 N	49,75 E	21,2 km	N = 62																			
Влажность почвы						0,26	0,27	0,29	0,26						0,32	0,29			0,29	0,26	0,28	0,3	0,32
индексы NOAA		N = 61																					
NAO											0,28								0,29	0,27			
SCAND	0,26								-0,26										-0,31				
POLAR																							
EA	0,37				0,26																		
EAWR														0,38									
CRU TS 3,0	53,25 N	49,75 E	21,2 km	N = 105																			
T мин										0,25				-0,23				0,25		0,2			
T средн					-0,24					0,24				-0,28								-0,23	
T макс					-0,24					0,26				-0,27								-0,24	
dT сутки				-0,27	-0,3	-0,35			-0,23					-0,25	-0,22	-0,21		-0,22	-0,28		-0,3	-0,3	-0,26

Осадки				0,2		0,26													0,22		0,23		
Отн влажн				0,24	0,38	0,36								0,3			0,26		0,22		0,27	0,31	
Облачность						0,25			0,2										0,25	0,2	0,21		
Дни с осадками				0,2	0,28	0,23				0,22	0,22			0,19					0,28		0,31	0,29	0,2
Дни с заморозками										-0,2								-0,27			-0,26		
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии T08S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	28722	201,5 km	N = 109																				
T мин																							
T средн										0,26					-0,23					0,2		-0,23	
T макс														-0,24	-0,27						-0,23	-0,28	-0,23
Осадки														0,25	0,26				0,26		0,26	0,32	0,23
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро														-0,25		0,33	0,33	0,29	0,23	0,31			
архив 455	28900	199,4 km	N = 73																				
T средн										0,3		0,24											
Осадки												0,22		0,26					0,38	0,27	0,3	0,29	
архив 476	28719	105,4 km	N = 65																				
T средн										0,31													
PDSI	53,75 N	53,75 E	99,5 km	N = 136																			
Индекс сухости	0,23	0,25	0,23	0,22	0,26	0,26	0,28	0,27	0,26	0,27	0,27	0,3	0,33	0,4	0,43	0,42	0,43	0,37	0,37	0,28	0,42	0,43	0,43
CPC Soil Moisture	54,25 N	52,75 E	19,7 km	N = 62																			
Влажность почвы							0,26							0,29	0,45	0,39	0,34	0,37	0,34		0,4	0,42	0,44
индексы NOAA		N = 61																					
NAO										0,39	0,46									0,34			
SCAND		-0,27										-0,27							-0,33	-0,27		-0,29	
POLAR				0,32																			
EA	0,33			0,35	0,43												0,31		0,28		0,26	0,3	0,3
EAWR			-0,29								0,28			0,26									
CRU TS 3,0	54,25 N	52,75 E	19,7 km	N = 105																			
T мин										0,27													
T средн										0,3				-0,2								-0,23	
T макс					-0,24					0,29				-0,26	-0,26						-0,22	-0,32	-0,23
dT сутки					-0,31	-0,26						-0,19		-0,35	-0,39		-0,24		-0,34		-0,38	-0,41	-0,34

Осадки				0,25						0,21				0,26	0,22	0,24			0,38	0,23	0,31	0,34	0,29
Отн влажн					0,35	0,29	0,23							0,34	0,35		0,38	0,23	0,27		0,41	0,44	0,31
Облачность	0,37						0,2			0,27		0,27	0,32	0,3	0,35				0,37	0,29	0,35	0,34	0,25
Дни с осадками				0,19						0,2				0,22	0,24				0,31	0,21	0,29	0,32	0,28
Дни с заморозками										-0,33	-0,26								-0,23	-0,21			
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии T09S																								
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27333	224,2 km	N = 84																				
T мин																							
T средн																							
T макс																							
Осадки												0,22						0,22	0,26		0,23		
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро																0,29	0,22			0,22			
архив 455	27051	140,7 km	N = 117																				
T средн													0,2	-0,22									
Осадки							-0,24																
архив 476	27164	7,5 km	N = 67																				
T средн																							
PDSI	58,75 N	43,75 E	30,9 km	N = 136																			
Индекс сухости																	0,2						
CPC Soil Moisture	58,75 N	44,25 E	13,4 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO			0,28																				
SCAND												-0,34											
POLAR																							
EA																							
EAWR																							
CRU TS 3,0	58,75 N	44,25 E	13,4 km	N = 105																			
T мин				0,2													0,19						
T средн														-0,21									
T макс													0,23										
dT сутки	0,21												0,21										

Осадки													-0,2				0,22					0,23	
Отн влажн	-0,38		-0,24										-0,23										
Облачность	-0,2																						
Дни с осадками																0,2							
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии T10S																							
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	34172	208,3 km	N = 71																				
T мин	-0,29		-0,25	-0,27			-0,32								-0,35	-0,32					-0,26	-0,33	-0,44
T средн	-0,26						-0,34							-0,27	-0,25	-0,23			-0,24		-0,27	-0,33	-0,3
T макс					0,25																		
Осадки														0,25			0,29						
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро	-0,25	-0,24									-0,25	-0,24		-0,28									
архив 455	27962	129,9 km	N = 117																				
T средн		-0,32												-0,39	-0,19						-0,22	-0,34	-0,21
Осадки									0,2	0,26	0,2			0,3					0,25	0,23			
архив 476	27872	63,3 km	N = 80																				
T средн							-0,24																
PDSI	53,75 N	46,25 E	60,7 km	N = 136																			
Индекс сухости		0,19	0,18	0,19	0,24	0,25	0,22	0,2	0,19	0,21	0,23	0,24	0,26	0,33	0,35	0,36	0,39	0,34	0,31	0,22	0,36	0,37	0,36
CPC Soil Moisture	53,25 N	46,75 E	15,9 km	N = 62																			
Влажность почвы													0,26	0,36	0,38	0,36	0,33	0,31	0,27		0,39	0,39	0,38
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND							0,32	0,3				-0,3											
POLAR																							
EA																							
EAWR																							
CRU TS 3,0	53,25 N	46,75 E	15,9 km	N = 105																			
T мин		-0,33												-0,3	-0,21				-0,21			-0,3	-0,22
T средн		-0,3												-0,31									
T макс		-0,3												-0,33									
dT сутки				0,24				0,2						-0,29									

Осадки						0,21								0,3							0,19	0,24	
Отн влажн														0,31									
Облачность														0,28									
Дни с осадками														0,25							0,2	0,25	
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии T11S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	34123	91,7 km	N = 91																				
T мин											0,29							0,22					
T средн											0,24			-0,25		-0,28	-0,23					-0,34	-0,26
T макс				-0,22							0,28				-0,22	-0,24	-0,33				-0,26	-0,36	-0,28
Осадки												0,25			0,23	0,24			0,28		0,28	0,34	0,32
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро									0,33					-0,23			0,22	0,24	0,3	0,24			
архив 455	27935	72,7 km	N = 122																				
T средн				-0,19					0,21					-0,27		-0,35	-0,22				-0,23	-0,37	-0,3
Осадки							-0,24															0,23	
архив 476	34026	51,3 km	N = 65																				
T средн																						-0,27	
PDSI	51,25 N	38,75 E	150,5 km	N = 136																			
Индекс сухости															0,19	0,23	0,3	0,23			0,21	0,23	0,21
CPC Soil Moisture	52,25 N	39,75 E	25 km	N = 62																			
Влажность почвы															0,32	0,45	0,45	0,41			0,36	0,37	0,39
индексы NOAA		N = 61																					
NAO									0,27										0,27	0,32			
SCAND										-0,3	-0,26			-0,3					-0,39	-0,27	-0,3	-0,29	
POLAR																							
EA			0,3																				
EAWR				-0,29																			
CRU TS 3,0	52,25 N	39,75 E	25 km	N = 105																			
T мин														-0,25								-0,26	-0,19
T средн				-0,19										-0,24	-0,19	-0,23					-0,2	-0,33	-0,27
T макс														-0,21		-0,23	-0,21					-0,3	-0,24
dT сутки									-0,24	-0,22	-0,23	-0,22				-0,23	-0,31		-0,22	-0,22		-0,25	-0,2

Осадки							-0,23						-0,21		0,24							0,27	0,21
Отн влажн				0,25											0,23	0,33	0,33				0,3	0,36	0,32
Облачность									0,2	0,29		0,22				0,19	0,27		0,23	0,24		0,27	
Дни с осадками							-0,22								0,23	0,23	0,21				0,21	0,32	0,29
Дни с заморозками												-0,19											
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии T12D																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	34123	91 km	N = 91																				
T мин	0,22			-0,31	-0,3					0,23													
T средн				-0,36	-0,51				0,23	0,22							-0,25			0,21			
T макс				-0,3	-0,33	-0,24																	
Осадки				0,28	0,29				0,27										0,23	0,22			0,22
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро		-0,22			0,36										0,28								
архив 455	27935	73,1 km	N = 122																				
T средн				-0,29	-0,37				0,21														
Осадки	-0,2				0,3										0,23	0,22			0,22			0,23	0,29
архив 476	34026	50,8 km	N = 65																				
T средн				-0,29	-0,42																		
PDSI	51,25 N	38,75 E	149,8 km	N = 136																			
Индекс сухости									0,18	0,18	0,22	0,26	0,2		0,21	0,21	0,21	0,24	0,21		0,23	0,21	0,21
CPC Soil Moisture	52,25 N	39,75 E	24,1 km	N = 62																			
Влажность почвы					0,29	0,28																	
индексы NOAA		N = 61																					
NAO			0,28																				
SCAND																							
POLAR					-0,26									0,27									
EA				-0,26	-0,29											-0,26						-0,26	
EAWR						0,28																	
CRU TS 3,0	52,25 N	39,75 E	24,1 km	N = 105																			
T мин			0,23	-0,25	-0,29					0,2				0,2				0,2	0,21				
T средн			0,2	-0,31	-0,39				0,22	0,22							-0,2			0,21			
T макс				-0,34	-0,45					0,2							-0,28						
dT сутки				-0,28	-0,42	-0,26						-0,24			-0,29	-0,3	-0,3		-0,22		-0,26	-0,33	-0,34

Осадки					0,22				0,31			0,19			0,19	0,21			0,31	0,26	0,21	0,23	0,28
Отн влажн	-0,23			0,26	0,35				-0,36														
Облачность				0,2	0,38							0,23										0,2	
Дни с осадками					0,35			0,24				0,2	-0,22						0,23	0,25			
Дни с заморозками				0,2	0,25													-0,21						
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии T13S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27947	88,8 km	N = 73																				
T мин										0,29													
T средн										0,35	0,25	0,31		-0,24	-0,34					0,33		-0,35	-0,29
T макс											0,27				-0,31		-0,29			0,3	-0,28	-0,33	-0,26
Осадки												0,28					0,23		0,28		0,32	0,28	
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро				-0,24	-0,23									-0,3		0,37	0,32	0,27		0,33			
архив 455	27947	83,4 km	N = 122																				
T средн		-0,23			-0,21					0,37	0,2			-0,34	-0,29		-0,26			0,34	-0,25	-0,42	-0,29
Осадки																	0,22		0,27		0,29	0,29	
архив 476	34059	85,9 km	N = 55																				
T средн			-0,27							0,45	0,33	0,43			-0,45				0,3	0,47		-0,37	-0,31
PDSI	51,25 N	43,75 E	147,2 km	N = 136																			
Индекс сухости	0,36	0,37	0,37	0,37	0,39	0,4	0,37	0,38	0,38	0,37	0,39	0,4	0,46	0,48	0,52	0,5	0,54	0,49	0,48	0,39	0,52	0,53	0,52
CPC Soil Moisture	52,25 N	42,75 E	16,4 km	N = 62																			
Влажность почвы	0,37	0,36	0,44	0,49	0,45	0,48	0,5	0,47	0,45	0,49	0,49	0,51	0,51	0,53	0,62	0,6	0,51	0,49	0,62	0,52	0,62	0,62	0,63
индексы NOAA		N = 61																					
NAO								0,35			0,25								0,27	0,31			
SCAND			-0,32												-0,45		-0,28		-0,36		-0,34	-0,38	-0,28
POLAR												-0,39											
EA			0,36	0,28					0,4	0,26									0,41	0,37	0,29	0,27	
EAWR			-0,27	-0,29							0,29												
CRU TS 3,0	52,25 N	42,75 E	16,4 km	N = 105																			
T мин		-0,26								0,37	0,28	0,23		-0,27	-0,32		-0,21		0,21	0,34	-0,25	-0,39	-0,28
T средн		-0,22								0,33	0,25	0,25		-0,32	-0,35		-0,21			0,32	-0,24	-0,4	-0,3
T макс		-0,19								0,3	0,23	0,24		-0,3	-0,34		-0,23			0,31	-0,26	-0,38	-0,29
dT сутки										-0,42	-0,29			-0,27	-0,23				-0,3	-0,25		-0,28	-0,21

Осадки											0,2	0,28		0,27	0,25				0,44	0,23	0,37	0,38	0,28
Отн влажн			0,2	0,31	0,3	0,21								0,37	0,43	0,33	0,35		0,32		0,42	0,49	0,43
Облачность								0,25	0,21	0,37		0,24		0,21	0,29				0,37	0,33	0,21	0,3	0,26
Дни с осадками				0,23								0,23		0,21	0,22	0,28			0,26		0,35	0,39	0,32
Дни с заморозками	-0,2									-0,29	-0,24	-0,27						-0,21	-0,36	-0,35			
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии V01D																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	34300	82,7 km	N = 70																				
T мин																							
T средн																							
T макс					-0,26																		
Осадки					0,44																		
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро																							
архив 455	34300	78,8 km	N = 116																				
T средн													-0,35	-0,2					-0,31	-0,19	-0,33	-0,24	-0,2
Осадки					0,24				0,23				0,28	0,38					0,41	0,22	0,33	0,3	
архив 476	34202	26,4 km	N = 65																				
T средн																					-0,26		
PDSI	51,25 N	36,25 E	74,3 km	N = 136																			
Индекс сухости													0,31	0,37	0,38	0,35	0,36	0,34	0,28		0,39	0,39	0,38
CPC Soil Moisture	50,75 N	35,75 E	23 km	N = 62																			
Влажность почвы															0,28	0,31					0,29	0,29	0,3
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																		-0,3			-0,27		
SCAND																							
POLAR												-0,29											
EA																							
EAWR																	-0,34						
CRU TS 3,0	50,75 N	35,75 E	23 km	N = 105																			
T мин													-0,32						-0,23		-0,26		
T средн		0,22			0,19								-0,24										
T макс													-0,37	-0,24					-0,27		-0,31	-0,21	
dT сутки													-0,3	-0,25							-0,2		

Осадки													0,27	0,33					0,32		0,3	0,24	
Отн влажн		-0,29	-0,27				-0,26																
Облачность													0,26	0,25									
Дни с осадками													0,29	0,25					0,22		0,28	0,24	
Дни с заморозками														0,2					0,19				
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии V02S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	34300	84,5 km	N = 70																				
T мин																							
T средн				0,27										-0,26						0,31			
T макс			0,3	0,35																0,29			
Осадки							0,29							0,29						0,3			
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро									0,32														
архив 455	34300	80,5 km	N = 107																				
T средн									0,27		0,26	0,23	0,22	-0,25					0,22	0,31			
Осадки				0,21			0,2				0,23			0,21					0,2	0,26			
архив 476	34202	23,6 km	N = 65																				
T средн				0,34																			
PDSI	51,25 N	36,25 E	73,8 km	N = 105																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	50,75 N	35,75 E	20 km	N = 62																			
Влажность почвы														0,28	0,3							0,25	0,27
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND											-0,34	-0,28											
POLAR																							
EA				0,39													0,25				0,31	0,28	
EAWR					-0,26				-0,27					0,32									
CRU TS 3,0	50,75 N	35,75 E	20 km	N = 105																			
T мин									0,27		0,23			-0,31						0,28			
T средн									0,25		0,23			-0,3						0,23			
T макс									0,22		0,24		0,2	-0,28						0,25			
dT сутки									-0,29				0,24							-0,2			

Осадки												0,2		0,29					0,25			0,22	
Отн влажн											0,24						0,2						
Облачность									0,2				-0,23		0,22	0,32			0,21	0,21		0,3	0,34
Дни с осадками					0,25						0,22	0,21		0,27					0,21			0,25	
Дни с заморозками									-0,31		-0,2								-0,25	-0,26			
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии V03S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	34123	149,7 km	N = 91																				
T мин									0,29		0,32	0,25							0,4	0,36			
T средн									0,3	0,25	0,31	0,23		-0,45					0,22	0,35	-0,26	-0,32	
T макс									0,21		0,35	0,24	-0,25	-0,36						0,35	-0,3	-0,3	
Осадки											0,22			0,36					0,36		0,28	0,27	
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро						0,31							-0,23	-0,31		0,35	0,3			0,3			
архив 455	34110	64,4 km	N = 118																				
T средн		-0,3		-0,22	-0,24	-0,2			0,29	0,2	0,2			-0,41	-0,25	-0,19	-0,26			0,22	-0,33	-0,42	-0,28
Осадки		0,21			0,19									0,29					0,26		0,23	0,22	
архив 476	34321	55,4 km	N = 65																				
T средн		-0,26							0,34	0,31	0,31			-0,46			-0,31			0,48	-0,37	-0,42	
PDSI	51,25 N	38,75 E	91,1 km	N = 136																			
Индекс сухости	0,28	0,29	0,27	0,32	0,36	0,35	0,33	0,34	0,33	0,34	0,33	0,35	0,37	0,48	0,42	0,4	0,39	0,39	0,42	0,34	0,44	0,45	0,42
CPC Soil Moisture	50,75 N	37,75 E	8,6 km	N = 62																			
Влажность почвы						0,27	0,32	0,33	0,28					0,31	0,36	0,3			0,29	0,25	0,29	0,33	0,35
индексы NOAA		N = 61																					
NAO										0,26	0,34	0,33							0,3	0,41			
SCAND	-0,32				-0,28				-0,27	-0,26		-0,28					-0,36		-0,39	-0,36		-0,26	
POLAR												-0,28											
EA										0,25							0,27						
EAWR			-0,27	-0,27																			
CRU TS 3,0	50,75 N	37,75 E	8,6 km	N = 105																			
T мин		-0,25							0,29	0,24	0,22			-0,39	-0,21					0,3	-0,24	-0,3	
T средн		-0,23							0,3	0,23	0,22	0,2		-0,4	-0,2					0,29	-0,24	-0,31	
T макс		-0,27				-0,21			0,25	0,2		0,2		-0,46	-0,25		-0,26			0,22	-0,36	-0,44	-0,27
dT сутки				-0,29	-0,29	-0,22			-0,24	-0,34	-0,31			-0,37	-0,21	-0,31	-0,3		-0,42	-0,35	-0,33	-0,44	-0,3

Осадки		0,25												0,4					0,25		0,21	0,25	
Отн влажн						0,29								0,36	0,23	0,22	0,23				0,3	0,36	0,27
Облачность					0,24				0,2	0,22	0,25			0,29			0,23		0,27	0,23	0,21	0,32	
Дни с осадками					0,2									0,29							0,21	0,3	
Дни с заморозками									-0,27	-0,25	-0,28								-0,27	-0,3			
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии VYAZ																							
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	45,4 km	N = 61																				
Т мин									0,32				0,3							0,27			
Т средн									0,38				0,38						0,3	0,33			
Т макс			-0,26																	0,3			
Осадки											0,27	0,32				0,34			0,33	0,37		0,26	
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро									0,29							0,3							
архив 455	27612	42,7 km	N = 117																				
Т средн								0,2	0,19										0,19	0,22			
Осадки		0,29									0,26	0,27				0,27			0,33	0,4			
архив 476	27612	45,4 km	N = 59																				
Т средн									0,33				0,37										
PDSI	56,25 N	36,25 E	84,3 km	N = 136																			
Индекс сухости				0,2	0,19									0,17	0,2	0,24	0,19				0,19	0,21	0,23
CPC Soil Moisture	55,75 N	37,25 E	21,3 km	N = 62																			
Влажность почвы											0,26	0,34	0,35	0,34	0,31	0,35	0,37	0,26	0,37		0,41	0,4	0,35
индексы NOAA		N = 60																					
NAO	0,26					0,31																	
SCAND												-0,42											
POLAR																							
EA			0,28																				
EAWR								-0,26	-0,33				-0,46						-0,32	-0,31			
CRU TS 3,0	55,75 N	37,25 E	21,3 km	N = 105																			
Т мин			-0,22						0,2	0,2					-0,23					0,21			-0,22
Т средн									0,2											0,21			
Т макс			-0,22						0,22						-0,21								-0,21
dT сутки						0,27				-0,27													

Осадки																0,25							
Отн влажн											0,2												
Облачность						-0,31				0,29								-0,21					
Дни с осадками																0,26						0,22	0,23
Дни с заморозками										-0,2									-0,21	-0,21			
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии W01D																								
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл	
архив 223	27823	133,1 km	N = 73																					
Т мин	0,29	0,25												0,33							0,31	0,23		
Т средн	0,31	0,27												0,27										
Т макс	0,25	0,26																						
Осадки									0,29										0,26		0,23			
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова														
Агро					0,34										0,26			0,26	0,24					
архив 455	27719	37,4 km	N = 82																					
Т средн		0,22			-0,36									0,24										
Осадки															0,25									0,25
архив 476	27814	37,7 km	N = 41																					
Т средн														0,37								0,44		
PDSI	53,75 N	36,25 E	71,3 km	N = 136																				
Индекс сухости	0,23	0,24	0,22	0,27	0,29	0,3	0,27	0,29	0,31	0,31	0,31	0,29	0,32	0,33	0,37	0,37	0,33	0,27	0,35	0,3	0,36	0,36	0,38	
CPC Soil Moisture	53,75 N	37,25 E	26,5 km	N = 62																				
Влажность почвы	0,25				0,31	0,32	0,26												0,26					
индексы NOAA		N = 61																						
NAO																								
SCAND																	-0,29							
POLAR				-0,3																				
EA																								
EAWR			-0,42										0,32	-0,27								-0,26		
CRU TS 3,0	53,75 N	37,25 E	26,5 km	N = 105																				
Т мин			0,3		-0,25										0,22									
Т средн				-0,32	-0,42	-0,2											-0,21							
Т макс			0,24		-0,31																			
dT сутки	-0,24			-0,21	-0,36	-0,36						-0,22	-0,22				-0,24		-0,33		-0,3	-0,26		

Осадки																							
Отн влажн				0,27	0,38	0,37		0,24				0,23					0,2		0,3	0,2	0,28	0,24	0,2
Облачность					0,28	0,29						0,19	0,23						0,29		0,27	0,2	
Дни с осадками																							
Дни с заморозками					0,27																		
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии X01S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27459	13,2 km	N = 128																				
T мин							-0,21																
T средн					-0,23					0,19			0,26							0,19		-0,23	
T макс	0,21										0,24	0,22	0,21							0,21			
Осадки	-0,21		0,25	0,19	0,22				0,32	0,33		0,34	-0,21	0,2	0,36	0,25			0,45	0,38	0,31	0,38	0,38
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро					0,23	0,31	0,28	0,26	0,32	0,24					0,3	0,34	0,34	0,31	0,28	0,31			
архив 455	27553	20,2 km	N = 86																				
T средн					-0,27					0,3			0,35							0,25			
Осадки									0,19	0,25					0,34				0,36	0,24	0,22	0,3	0,32
архив 476	27459	16,4 km	N = 127																				
T средн					-0,23					0,21			0,27						0,19	0,22			
PDSI	56,25 N	43,75 E	24,7 km	N = 136																			
Индекс сухости					0,19						0,18			0,24	0,27	0,31	0,3	0,24	0,23		0,27	0,29	0,3
CPC Soil Moisture	56,25 N	44,25 E	12,1 km	N = 62																			
Влажность почвы					0,27										0,32	0,45	0,45	0,33	0,29		0,38	0,4	0,39
индексы NOAA		N = 61																					
NAO								0,28															
SCAND		-0,37	-0,32									-0,26		-0,28	-0,27				-0,26			-0,31	-0,26
POLAR																							
EA	0,31																						
EAWR				-0,28										0,26									
CRU TS 3,0	56,25 N	44,25 E	12,1 km	N = 105																			
T мин			0,25							0,23		0,22	0,21					0,2	0,28	0,27			
T средн					-0,22					0,22			0,23									-0,2	
T макс										0,26		0,22	0,27						0,2	0,24			
dT сутки	0,23				-0,25								0,33				-0,26					-0,23	-0,22

Осадки	-0,29			0,22	0,29								-0,38		0,19		0,21		0,24		0,21	0,36	0,27
Отн влажн					0,31	0,19		0,26					-0,2			0,22	0,27	0,22			0,25	0,3	0,22
Облачность									0,23						0,22								0,23
Дни с осадками					0,21					0,25			-0,27			0,27			0,22			0,33	0,32
Дни с заморозками												-0,2											
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии X02S																								
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27459	58,5 km	N = 119																				
Т мин																			0,21				0,2
Т средн					-0,2							0,2											
Т макс													0,23										
Осадки										0,33									0,29	0,27			
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро						0,22	0,2								0,29	0,2	0,2						
архив 455	27553	73 km	N = 86																				
Т средн												0,25	0,3										
Осадки										0,24					0,27				0,31	0,26	0,2		
архив 476	27459	56,6 km	N = 117																				
Т средн												0,29	0,19						0,23	0,26			
PDSI	56,25 N	43,75 E	72,9 km	N = 116																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	56,75 N	44,75 E	22,5 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO				0,27	0,29							0,29					0,35		0,3	0,31		0,28	
SCAND																							
POLAR																							
EA				-0,3												-0,29						-0,26	-0,29
EAWR					0,36												0,3						
CRU TS 3,0	56,75 N	44,75 E	22,5 km	N = 105																			
Т мин												0,24							0,29	0,26	0,21		
Т средн												0,31							0,27	0,26			
Т макс												0,35	0,23						0,35	0,32	0,24		
dT сутки													0,24	0,24									

Осадки																								
Отн влажн											-0,2													
Облачность																								
Дни с осадками										0,22					0,2									
Дни с заморозками												-0,2								-0,21	-0,21			
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии X03S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27459	58,1 km	N = 128																				
T мин		0,22		0,21				-0,25						0,28							0,32	0,31	
T средн								-0,21															
T макс																							
Осадки																		-0,18					
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро																							
архив 455	27553	72,5 km	N = 86																				
T средн								-0,25															
Осадки																							
архив 476	27459	56,2 km	N = 127																				
T средн																							
PDSI	56,25 N	43,75 E	72,4 km	N = 136																			
Индекс сухости	-0,2																						
CPC Soil Moisture	56,75 N	44,75 E	23,2 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND																							
POLAR						-0,27	0,26										-0,3			0,26	-0,28	-0,28	-0,27
EA				-0,3			-0,3	-0,39						-0,25		-0,4	-0,25		-0,5	-0,45	-0,4	-0,42	-0,35
EAWR					0,3													0,26					
CRU TS 3,0	56,75 N	44,75 E	23,2 km	N = 105																			
T мин					-0,23	-0,2		-0,21															
T средн																							
T макс																							
dT сутки			0,21					0,21									0,2	0,19	0,21		0,22		

Осадки											0,2												
Отн влажн																							
Облачность																					-0,19		
Дни с осадками																							
Дни с заморозками																	-0,22						
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии X04S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27459	58,1 km	N = 128																				
T мин			0,2																		0,25		
T средн			0,19								0,19												
T макс								-0,26			0,2												
Осадки						-0,18																	
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро																		-0,19					
архив 455	27553	72,5 km	N = 86																				
T средн			0,24								0,3												
Осадки																							
архив 476	27459	56,2 km	N = 127																				
T средн			0,2								0,2												
PDSI	56,25 N	43,75 E	72,5 km	N = 136																			
Индекс сухости	-0,2		-0,18	-0,2		-0,2	-0,2	-0,22	-0,22	-0,23	-0,19	-0,19								-0,21			
CPC Soil Moisture	56,75 N	44,75 E	23,9 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO							0,32																
SCAND																							
POLAR						-0,26												-0,34		0,3	-0,28		
EA							-0,38	-0,37						-0,29		-0,44			-0,54	-0,45	-0,43	-0,43	-0,38
EAWR																						0,27	
CRU TS 3,0	56,75 N	44,75 E	23,9 km	N = 105																			
T мин											0,22												
T средн			0,2								0,21												
T макс			0,22								0,26												
dT сутки			0,24																				

Осадки											0,35													
Отн влажн			-0,26																					
Облачность																								
Дни с осадками								-0,26	-0,31												-0,24			
Дни с заморозками																								
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии X05S																							
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27459	57,2 km	N = 128																				
T мин			0,23																				
T средн			0,28						0,18														
T макс			0,21						0,21														
Осадки				0,19						0,19					0,3				0,28		0,28	0,29	0,29
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро							0,2	0,2								0,27	0,3	0,28		0,27			
архив 455	27553	71,6 km	N = 86																				
T средн			0,24		-0,23											-0,23							
Осадки	-0,19														0,38				0,27		0,31	0,32	0,3
архив 476	27459	55,5 km	N = 127																				
T средн			0,28						0,19											0,19			
PDSI	56,25 N	43,75 E	71,9 km	N = 136																			
Индекс сухости															0,18	0,23	0,25	0,26			0,21	0,21	0,21
CPC Soil Moisture	56,75 N	44,75 E	27 km	N = 62																			
Влажность почвы		-0,28	-0,31														0,3	0,28					
индексы NOAA		N = 61																					
NAO										0,31	0,27		0,29							0,31			
SCAND		-0,37												-0,29	-0,27		-0,32		-0,46		-0,47	-0,47	-0,33
POLAR																		-0,26					
EA					0,29				0,26								0,32						
EAWR			-0,3				-0,28																
CRU TS 3,0	56,75 N	44,75 E	27 km	N = 105																			
T мин			0,35															0,21	0,21	0,2			
T средн			0,26		-0,2																		
T макс			0,28						0,22											0,2			
dT сутки				-0,2	-0,24										-0,26	-0,21	-0,27				-0,2	-0,28	-0,28

Осадки															0,23				0,24		0,29	0,31	0,24
Отн влажн				0,26	0,33	0,19								0,23	0,19	0,3	0,36	0,2			0,38	0,41	0,31
Облачность																					0,2		
Дни с осадками				0,22											0,28	0,27					0,26	0,37	0,39
Дни с заморозками																		-0,19					
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии X06S																								
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27459	58,4 km	N = 128																				
T мин						-0,21				0,22													
T средн						-0,18										-0,22							
T макс								-0,21								-0,21							
Осадки				0,22	0,2												0,18				0,24	0,28	0,22
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро						0,22	0,22	0,2	0,32	0,24						0,22	0,23	0,22	0,24	0,23			
архив 455	27553	72,9 km	N = 86																				
T средн																							
Осадки													-0,2										
архив 476	27459	56,8 km	N = 127																				
T средн						-0,18										-0,22							
PDSI	56,25 N	43,75 E	73,2 km	N = 128																			
Индекс сухости																0,19	0,21					0,19	
CPC Soil Moisture	56,75 N	44,75 E	27,1 km	N = 62																			
Влажность почвы	-0,26	-0,29																					
индексы NOAA		N = 61																					
NAO										0,32										0,28			
SCAND				0,36											-0,25								
POLAR										-0,28										-0,28			
EA												0,28											
EAWR																							
CRU TS 3,0	56,75 N	44,75 E	27,1 km	N = 105																			
T мин										0,21													
T средн																-0,2							
T макс																-0,19							
dT сутки																							

Осадки					0,2	-0,22											0,28	-0,27						
Отн влажн					0,25											0,23	0,28						0,21	
Облачность												0,23							0,2					
Дни с осадками								-0,24								0,2							0,24	
Дни с заморозками																0,26								0,26
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии X07S																							
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27459	55,8 km	N = 128																				
T мин	0,22						-0,2					0,19	0,21								0,2		
T средн	0,22																						
T макс	0,38							-0,23				0,21	0,26										
Осадки								0,21	0,3	0,3	0,19				0,18				0,36	0,4			
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро					0,24	0,26	0,2								0,28	0,23							
архив 455	27553	70,2 km	N = 86																				
T средн	0,34											0,23	0,33										
Осадки																			0,22	0,24			
архив 476	27459	54,2 km	N = 127																				
T средн	0,23								0,19														
PDSI	56,25 N	43,75 E	70,6 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	56,25 N	44,75 E	27,6 km	N = 62																			
Влажность почвы							0,27	0,27								0,29	0,27					0,26	0,26
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND						-0,3												-0,32					
POLAR																		-0,26					
EA										-0,27									-0,27				
EAWR													-0,27										
CRU TS 3,0	56,25 N	44,75 E	27,6 km	N = 105																			
T мин	0,23		0,24									0,21	0,19										
T средн	0,2											0,2											
T макс	0,27		0,22									0,25	0,22										
dT сутки	0,27			-0,28									0,21			-0,2							

Осадки				0,22																			
Отн влажн				0,29	0,27				-0,31							0,22	0,2				0,26	0,26	0,24
Облачность																							
Дни с осадками				0,35								-0,2				0,21							0,2
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии XOL																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27612	59,8 km	N = 61																				
T мин																						-0,28	-0,27
T средн																							
T макс			-0,28																				
Осадки																							
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро																							
архив 455	27612	59,4 km	N = 107																				
T средн							0,26										0,28	0,25			0,24		
Осадки		0,27																					
архив 476	27509	60 km	N = 72																				
T средн			-0,34																				
PDSI	56,25 N	36,25 E	46,5 km	N = 105																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	55,75 N	36,75 E	17,9 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND												-0,25					0,33					0,28	
POLAR																							
EA								-0,33	-0,41	-0,28										-0,31			
EAWR													-0,5										0,25
CRU TS 3,0	55,75 N	36,75 E	17,9 km	N = 105																			
T мин			-0,22				0,26										0,2						
T средн							0,27										0,28	0,23	0,19		0,22		
T макс			-0,2														0,21						
dT сутки						0,26							0,23				0,2	0,21	0,27		0,26		

Осадки																							
Отн влажн																							
Облачность						-0,32							-0,31				-0,22	-0,23	-0,31		-0,32		
Дни с осадками																							
Дни с заморозками							-0,24																
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии Y01S																							
	IV р	V р	VI р	VII р	VIII р	IX р	X р	XI р	XII р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27595	71,8 km	N = 128																				
Т мин															-0,19								
Т средн														-0,22	-0,18	-0,23						-0,27	-0,27
Т макс						0,19							0,19	-0,21									
Осадки		0,19												0,2							0,19	0,21	
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро														-0,19		0,19	0,2			0,21			
архив 455	27595	53,9 km	N = 83																				
Т средн																-0,24							-0,23
Осадки																							
архив 476	27595	59,3 km	N = 82																				
Т средн																-0,25							-0,25
PDSI	56,25 N	48,75 E	28,6 km	N = 136																			
Индекс сухости															0,18	0,2	0,21				0,17	0,19	0,19
CPC Soil Moisture	56,25 N	48,25 E	25,9 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND										-0,27		-0,27											
POLAR																					-0,28		
EA								-0,26		-0,35									-0,33	-0,36			
EAWR													-0,31										
CRU TS 3,0	56,25 N	48,25 E	25,9 km	N = 105																			
Т мин																-0,21						-0,22	-0,26
Т средн																-0,2						-0,22	-0,25
Т макс																-0,19							-0,21
dT сутки			0,25																				

Осадки																								
Отн влажн																								
Облачность										0,21														
Дни с осадками								-0,28	-0,2								0,21				-0,24			0,2
Дни с заморозками																								
20th Reanalysis	N	E	км																					
Давление																								
Толщина снега																								

Код хронологии Y02S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27595	72,5 km	N = 128																				
T мин	0,19			0,25						0,2													
T средн	0,19				-0,19								0,19	-0,2		-0,18						-0,26	-0,21
T макс	0,31				-0,19	0,21		-0,23					0,21	-0,24	-0,2	-0,28						-0,33	-0,29
Осадки				0,2					0,23	0,2				0,19	0,35				0,31		0,27	0,3	0,32
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро															0,19	0,28	0,24	0,23	0,19	0,27			
архив 455	27595	54,8 km	N = 83																				
T средн																-0,25						-0,25	-0,23
Осадки				0,31					0,28	0,32				0,26	0,36				0,43	0,25	0,32	0,33	0,34
архив 476	27595	60,3 km	N = 82																				
T средн										0,23						-0,23							
PDSI	56,25 N	48,75 E	29,9 km	N = 136																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	56,25 N	48,25 E	25,7 km	N = 62																			
Влажность почвы															0,29	0,38	0,32	0,32			0,26	0,28	0,34
индексы NOAA		N = 61																					
NAO												0,29							0,28	0,3			
SCAND										-0,26								-0,31					
POLAR																							
EA																							
EAWR						-0,26																	
CRU TS 3,0	56,25 N	48,25 E	25,7 km	N = 105																			
T мин						0,25												0,2					
T средн																-0,26						-0,31	-0,28
T макс												0,19											
dT сутки	0,25												0,22		-0,2	-0,25						-0,22	-0,27

Осадки														0,22	0,39				0,26		0,29	0,29	0,4
Отн влажн				0,25	0,27									0,23	0,26	0,35	0,32		0,31		0,39	0,45	0,38
Облачность																							
Дни с осадками				0,24											0,29	0,34					0,31	0,34	0,47
Дни с заморозками																0,21							0,21
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Код хронологии Z01S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27648	106,9 km	N = 123																				
T мин																		0,24					
T средн					-0,19									-0,25		-0,28	-0,22				-0,22	-0,35	-0,24
T макс																-0,22	-0,22					-0,29	
Осадки													-0,2	0,25		0,2	0,22				0,27	0,32	0,22
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф, Селянинова													
Агро					-0,22						-0,23	-0,21	-0,25	-0,29		0,21	0,29	0,27	0,2	0,31			
архив 455	27665	74,7 km	N = 85																				
T средн																-0,24						-0,23	
Осадки																0,2						0,21	
архив 476	27756	48,9 km	N = 54																				
T средн										0,31													
PDSI	53,75 N	43,75 E	116,3 km	N = 125																			
Индекс сухости														0,18		0,18	0,25	0,21			0,18	0,2	
CPC Soil Moisture	54,75 N	43,25 E	10,3 km	N = 62																			
Влажность почвы	-0,27																0,36	0,31					
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND		-0,28								-0,35	-0,26												
POLAR																							
EA														-0,27									
EAWR																							
CRU TS 3,0	54,75 N	43,25 E	10,3 km	N = 105																			
T мин			0,2							0,2								0,27					
T средн														-0,21		-0,21		0,2				-0,27	
T макс																						-0,21	
dT сутки											-0,22						-0,28		-0,23			-0,2	

Осадки				0,29								0,23	-0,19	0,25		0,31			0,29		0,27	0,31	0,25
Отн влажн				0,2	0,22											0,31	0,35				0,24	0,32	0,2
Облачность											0,19			0,22			0,24		0,21			0,22	
Дни с осадками				0,22					-0,22				-0,21	0,19		0,33	0,23				0,23	0,35	0,23
Дни с заморозками																		-0,23					
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

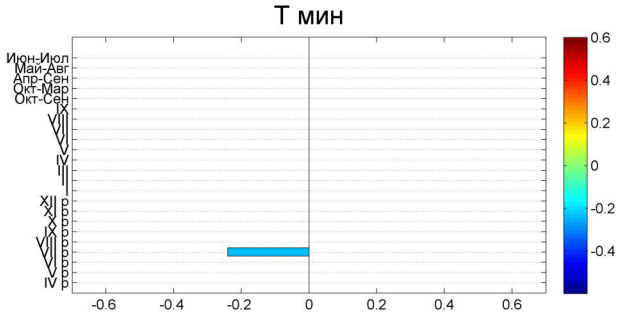
Код хронологии Z02S																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27648	107,1 km	N = 120																				
T мин																	0,21	0,2					
T средн														-0,29								-0,26	
T макс																							
Осадки	-0,2			0,18									-0,25			0,21						0,22	
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф. Селянинова													
Агро					-0,19								-0,19	-0,19			0,24	0,19		0,23			
архив 455	27665	74,8 km	N = 85																				
T средн																							
Осадки	-0,22																						
архив 476	27756	48,5 km	N = 54																				
T средн										0,29													
PDSI	53,75 N	43,75 E	115,8 km	N = 117																			
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	54,75 N	43,25 E	10,2 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND										-0,31													
POLAR																							
EA													0,26										
EAWR									-0,26				-0,28							-0,27			
CRU TS 3,0	54,75 N	43,25 E	10,2 km	N = 105																			
T мин			0,2							0,19													
T средн														-0,21								-0,2	
T макс														-0,2									
dT сутки				-0,21																			

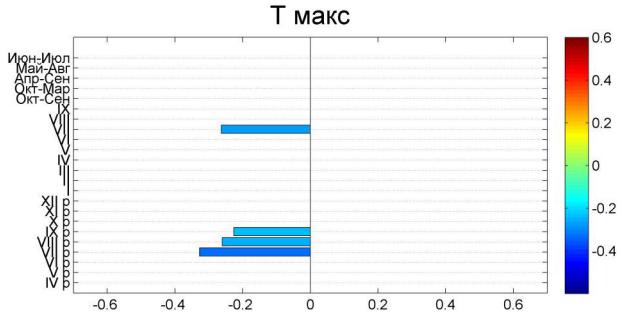
Осадки				0,26								0,2				0,26							0,2
Отн влажн				0,23					-0,25					0,2		0,21	0,27				0,22	0,26	
Облачность									0,2			0,21		0,19					0,21	0,2			
Дни с осадками				0,26				-0,2	-0,3		0,19			0,19		0,27					0,22	0,3	0,19
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

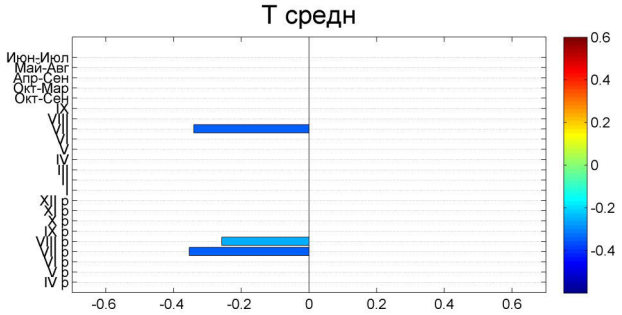
Код хронологии Z03E																							
	IV p	V p	VI p	VII p	VIII p	IX p	X p	XI p	XII p	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Окт-Сен	Окт-Мар	Апр-Сен	Май-Авг	Июн-Июл
архив 223	27648	106,9 km	N = 109																				
T мин										0,22													
T средн															-0,24								-0,26
T макс																							
Осадки					0,2											0,23					0,21		0,28
	T>0	T>5	T>10	T>15	P(T<0)	P(T>0)	P(T>5)	P(T>10)	P(T>15)	Коэф. Селянинова													
Агро																0,23	0,25	0,24		0,24			
архив 455	27665	74,7 km	N = 85																				
T средн																							
Осадки																							
архив 476	27756	48,9 km	N = 54																				
T средн															-0,32								
PDSI	53,75 N	43,75 E	116,3 km	N = 106																			
Индекс сухости															0,19	0,2							0,2
CPC Soil Moisture	54,75 N	43,25 E	10,3 km	N = 62																			
Влажность почвы																							
индексы NOAA		N = 61																					
NAO																							
SCAND												-0,29							-0,28	-0,34			
POLAR			0,37	0,29												0,26							
EA	0,33			0,3																			
EAWR						-0,32								0,3									
CRU TS 3,0	54,75 N	43,25 E	10,3 km	N = 105																			
T мин				-0,22											-0,2								-0,21
T средн															-0,24								-0,24
T макс				-0,22											-0,24								-0,24
dT сутки															-0,2								

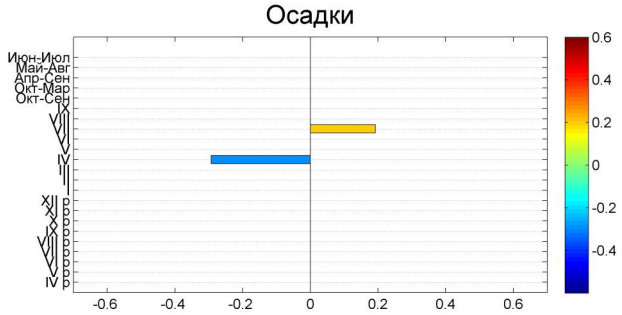
Осадки											0,23						-0,23						0,2
Отн влажн				0,23											0,23								0,27
Облачность																							
Дни с осадками				0,2					-0,2						0,2	0,19							0,28
Дни с заморозками				0,24						-0,2													
20th Reanalysis	N	E	км																				
Давление																							
Толщина снега																							

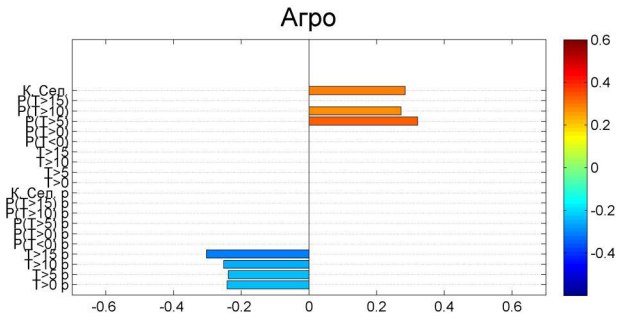
A05S

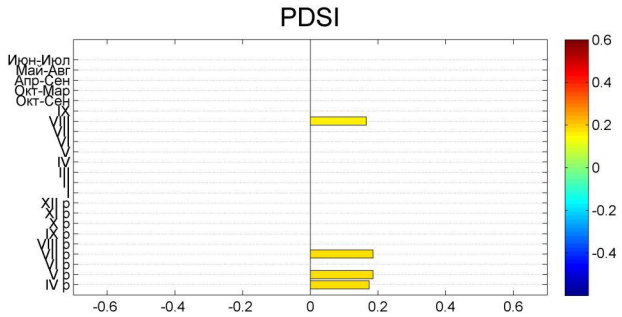

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

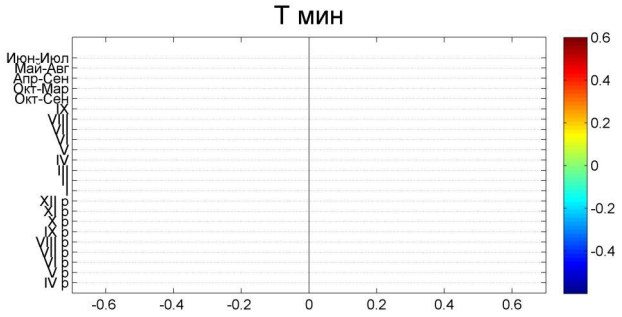

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

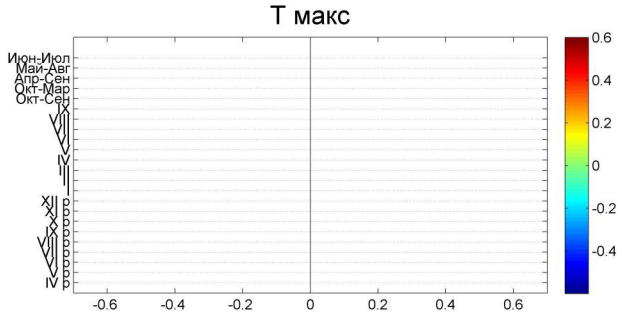

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

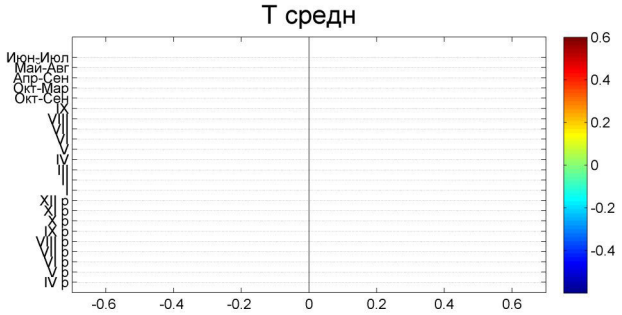

Агро
К Сед
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сед p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

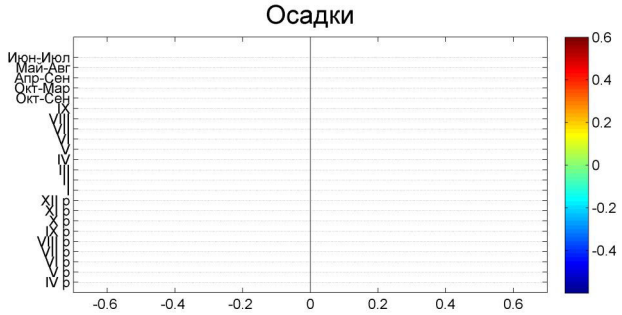

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

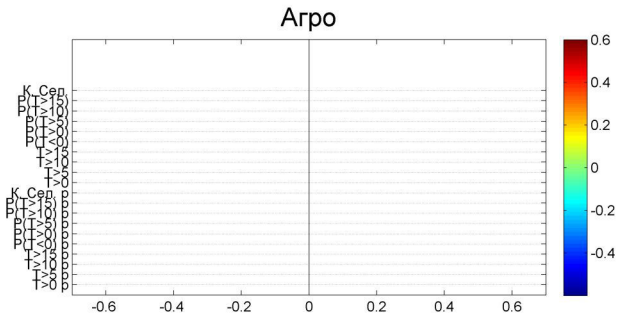
DUBK

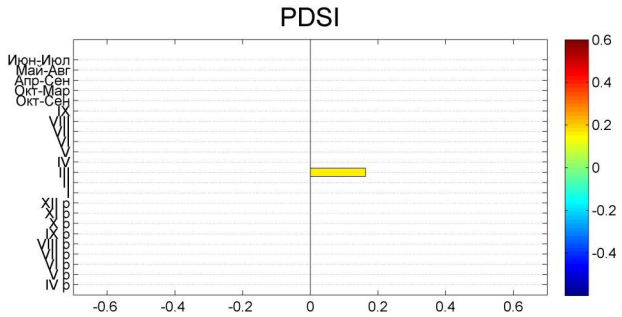

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

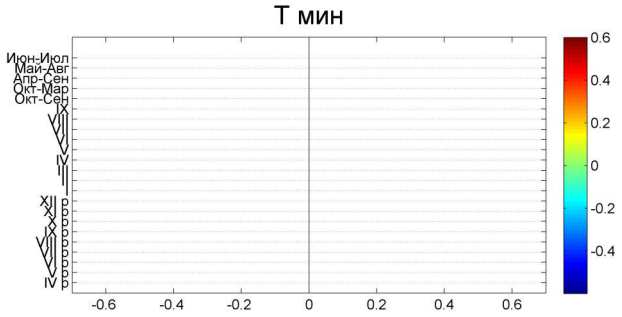

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

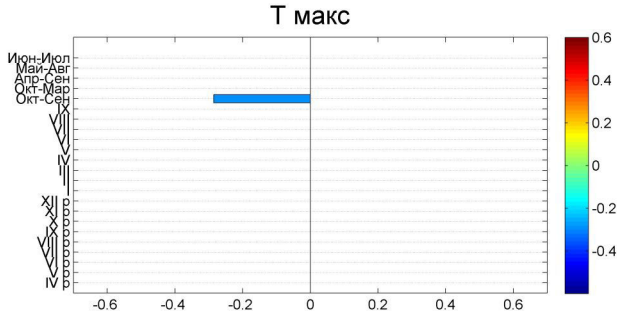

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

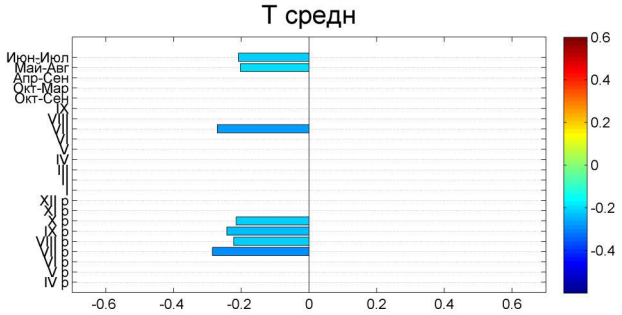

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

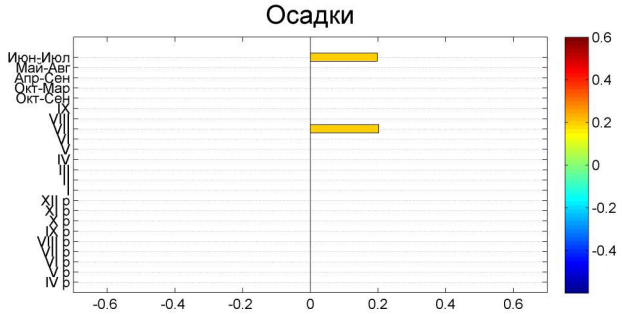

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

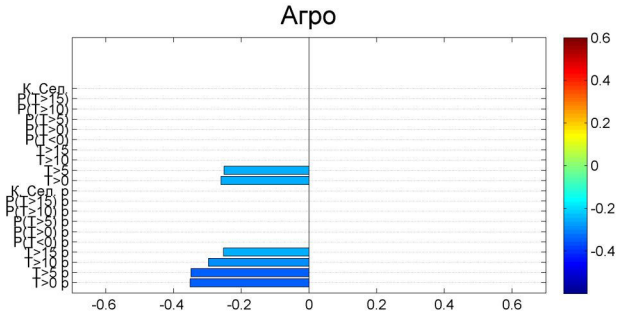
F04S

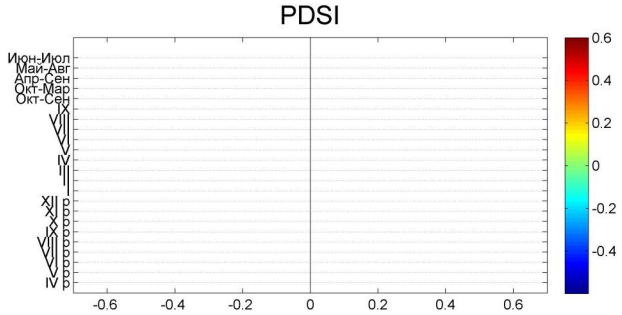

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

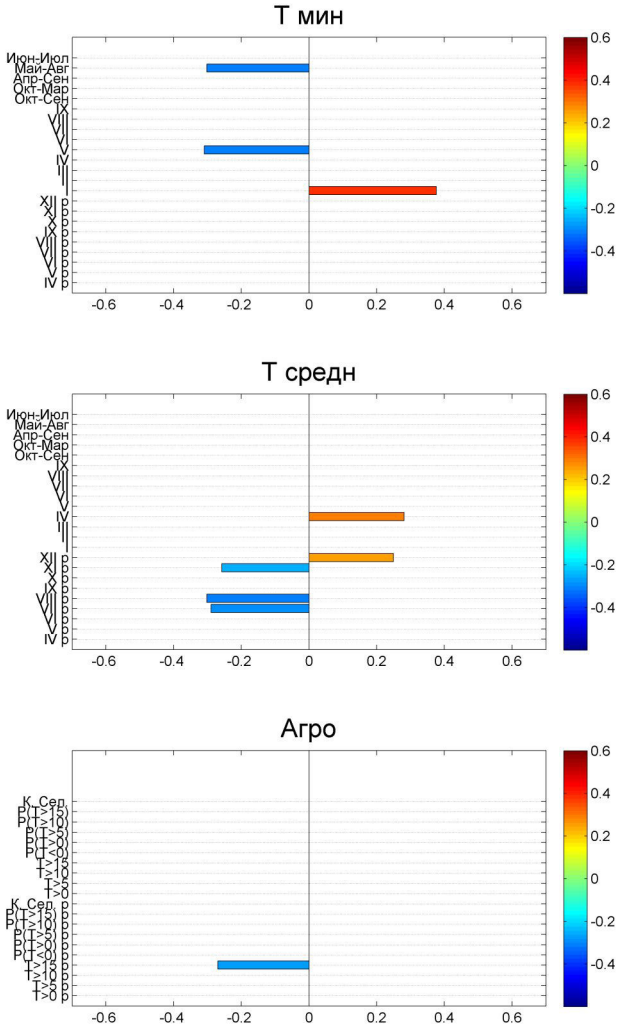

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

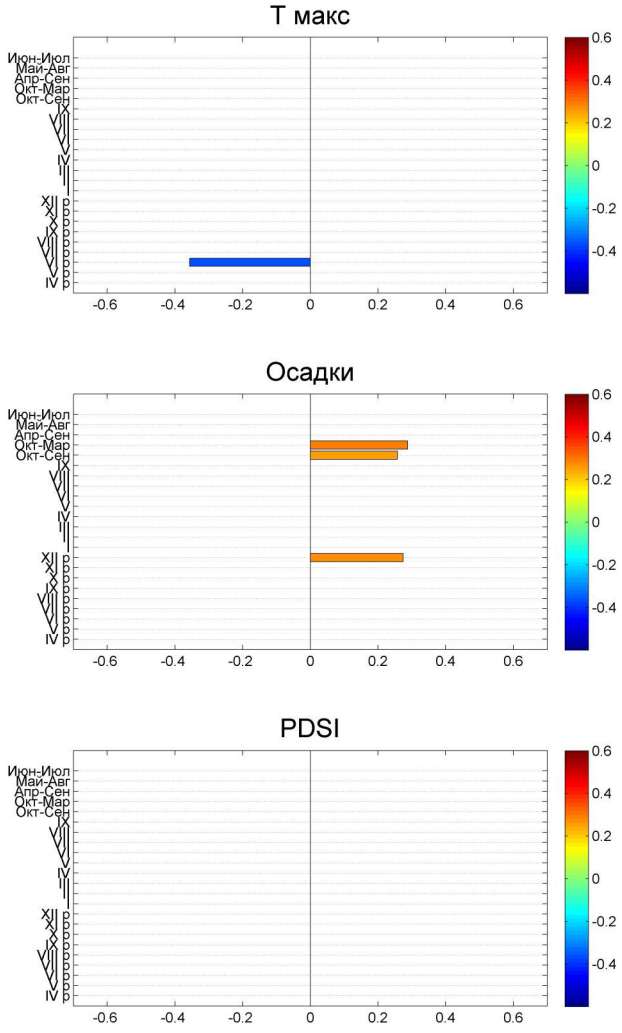

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

F06E


Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

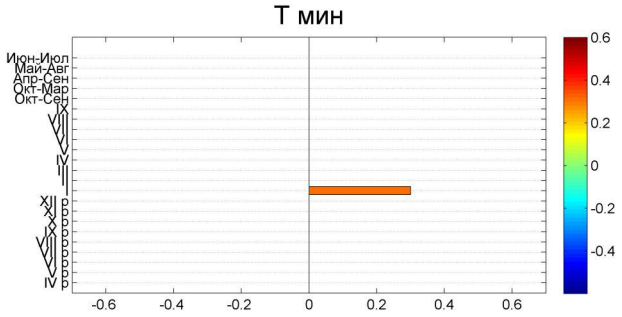
Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

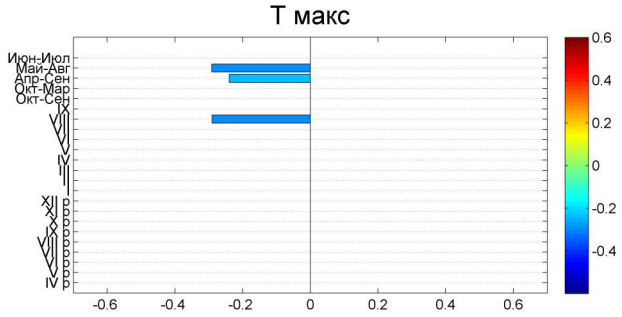
Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

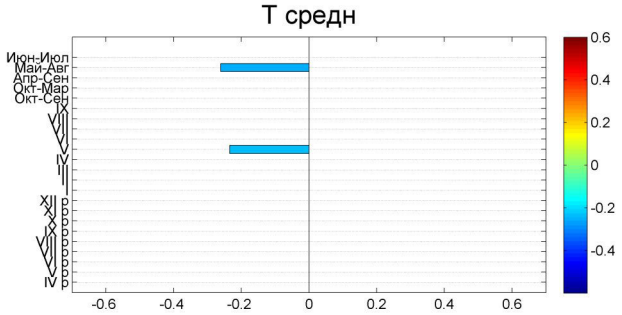
Агро
К Сед
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сед p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

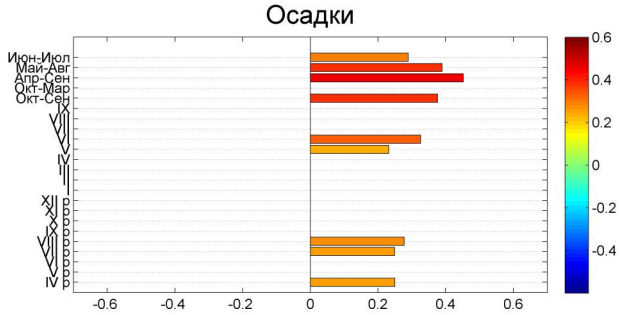
PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

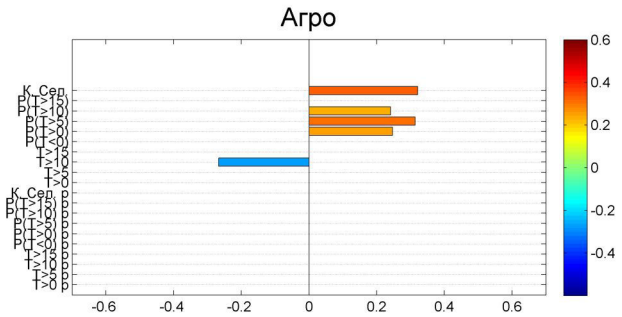
H12E

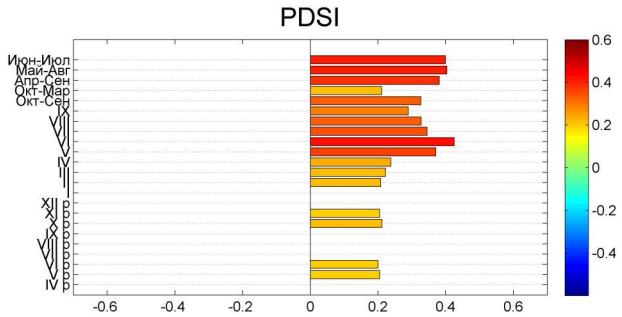

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

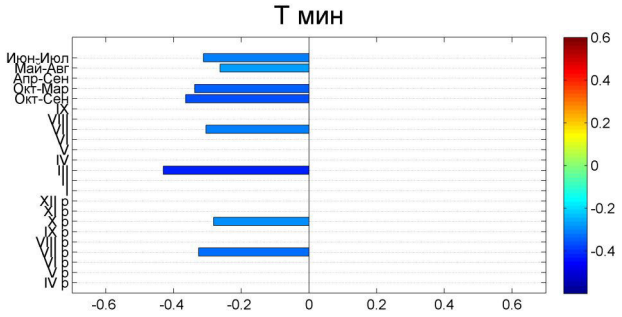

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

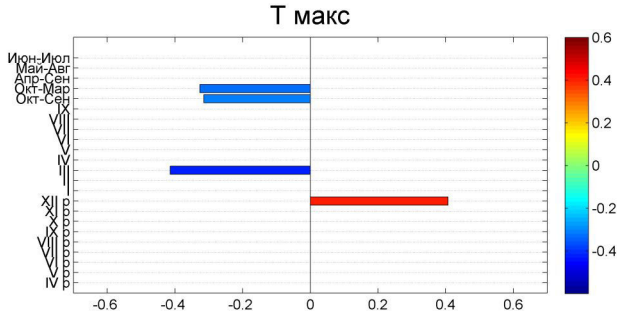

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

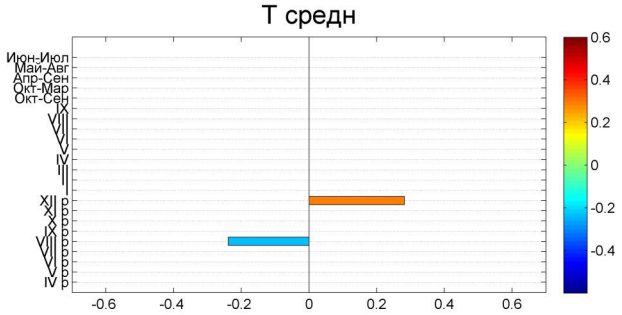

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

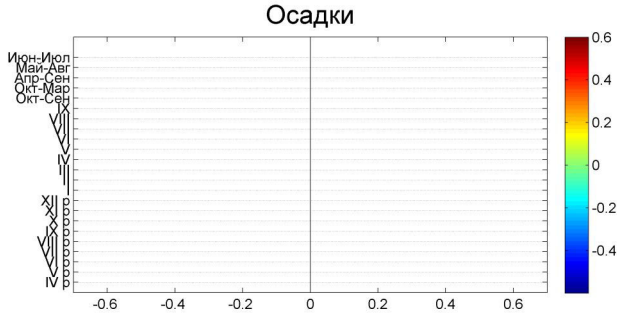

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

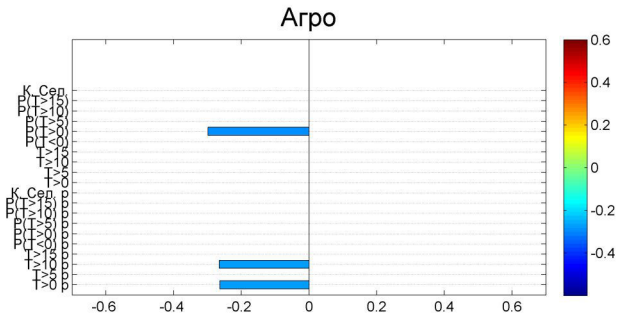
H12S

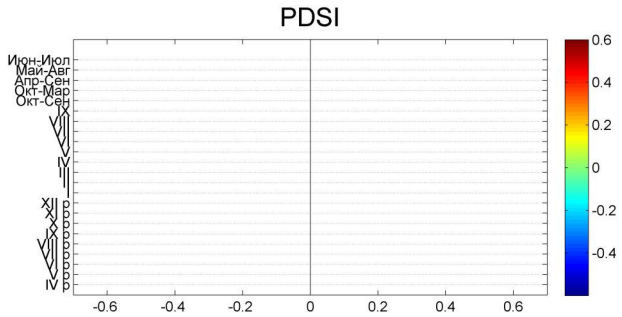

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

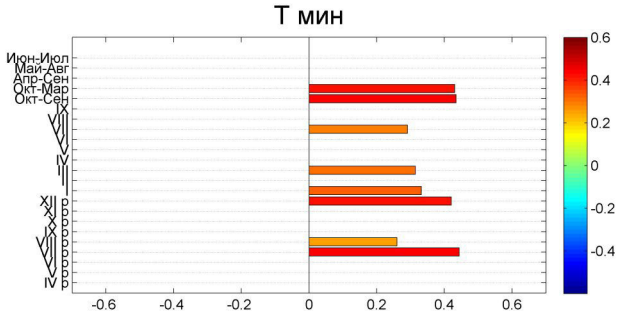

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

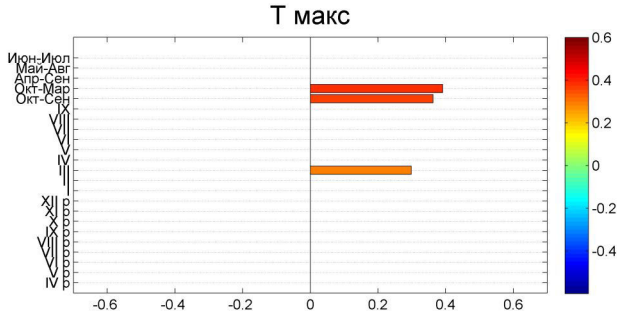

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

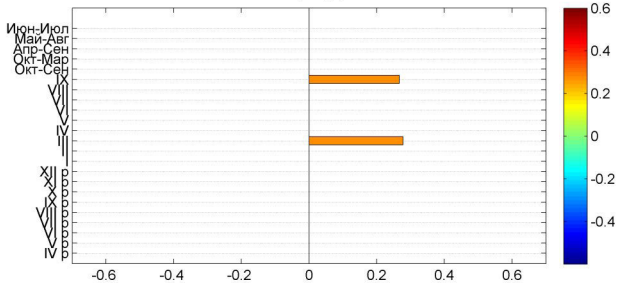

Агро
K Сед
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сед p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

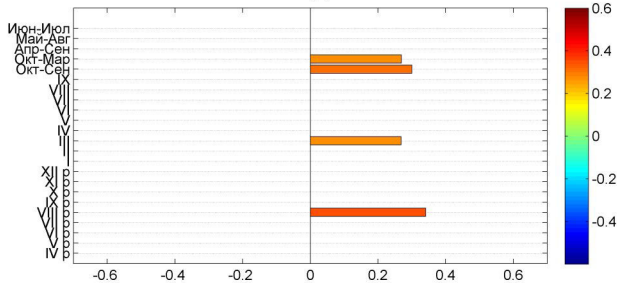

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

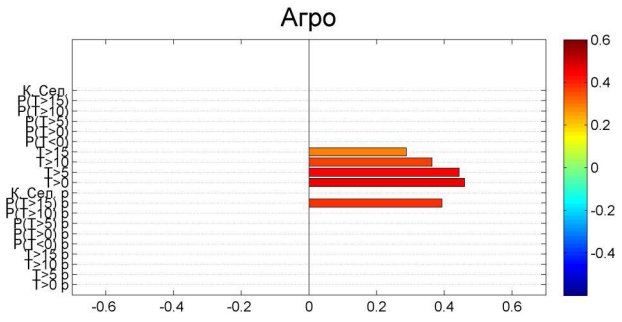
H256S

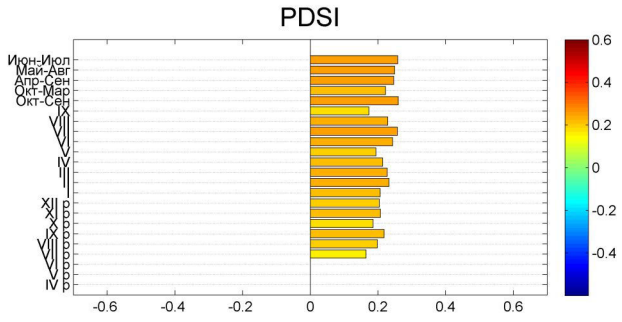

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

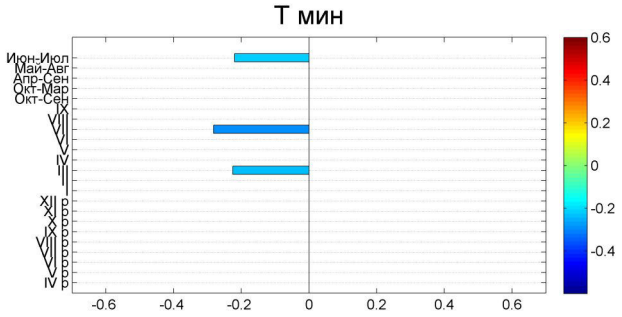

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

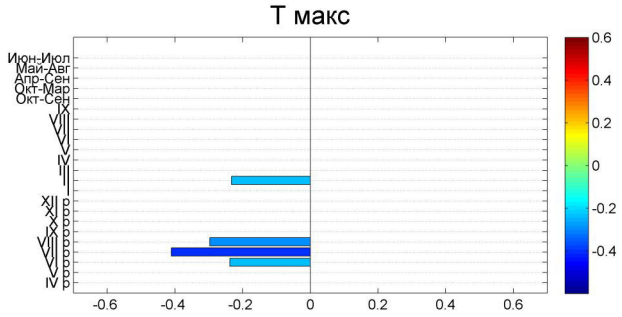

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

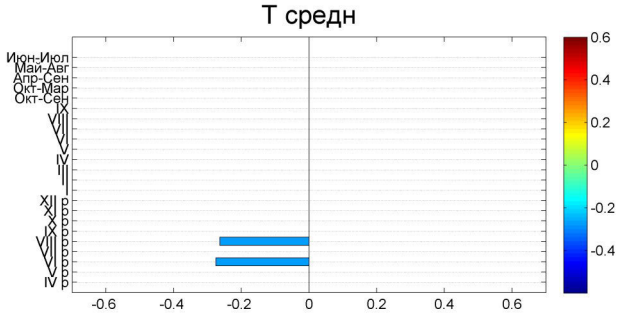

Агро
K Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

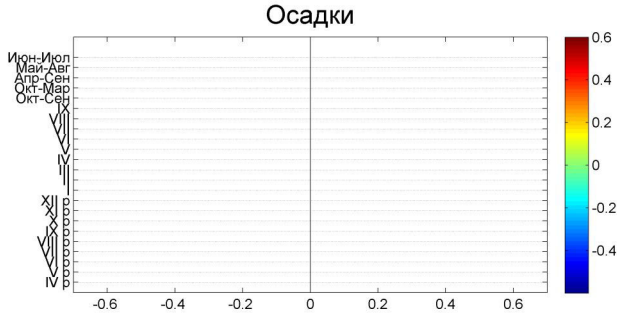

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

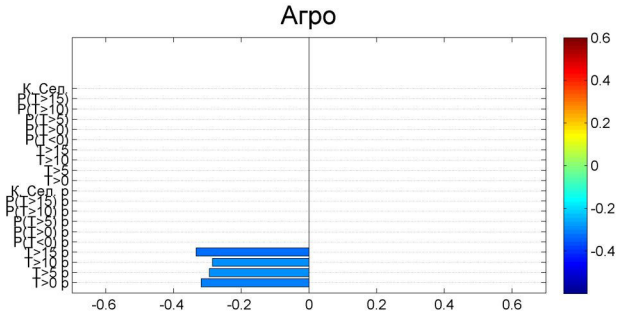
K04-05

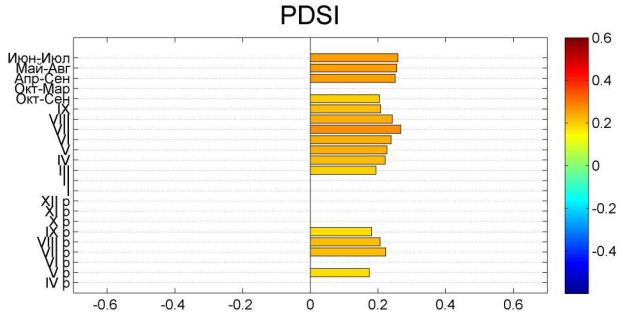

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

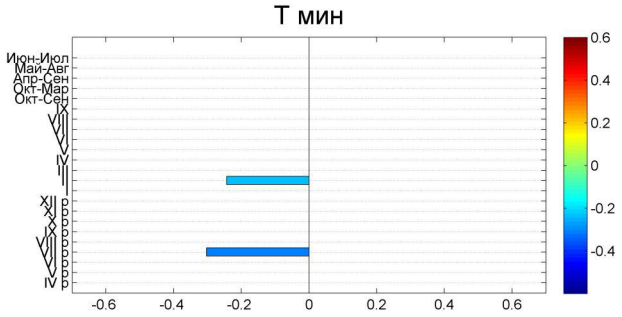

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

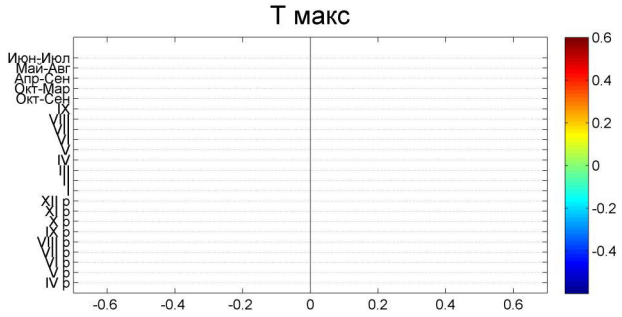

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

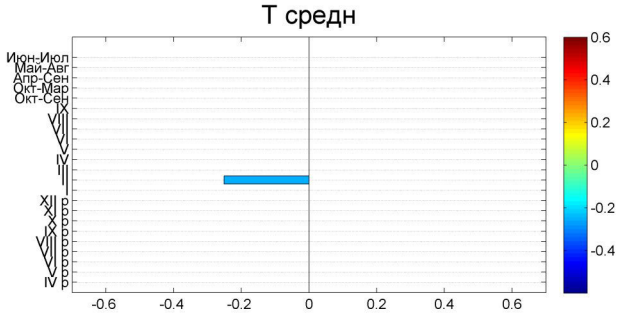

Агро
K Сед
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сед p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

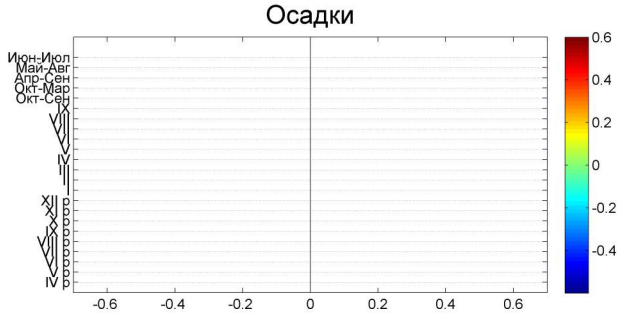

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

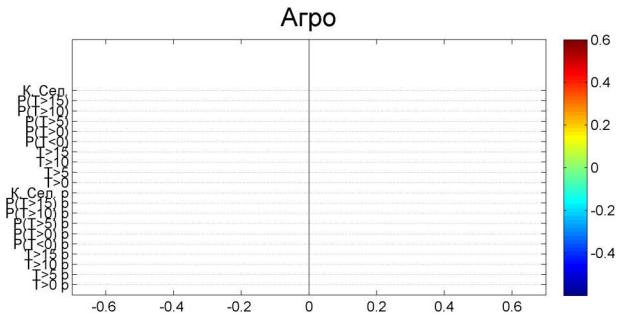
K05S

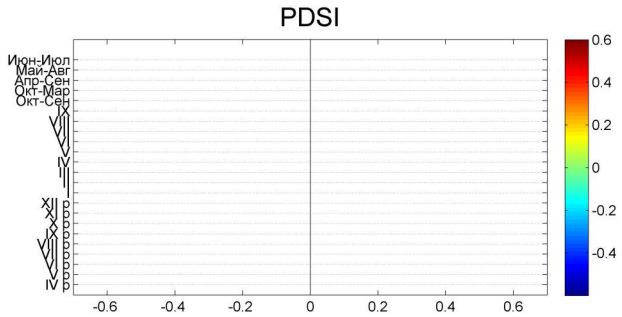

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

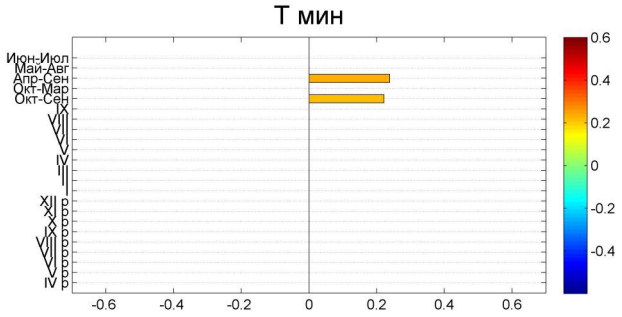

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

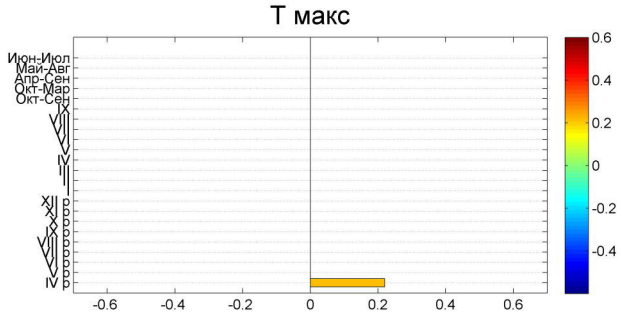

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

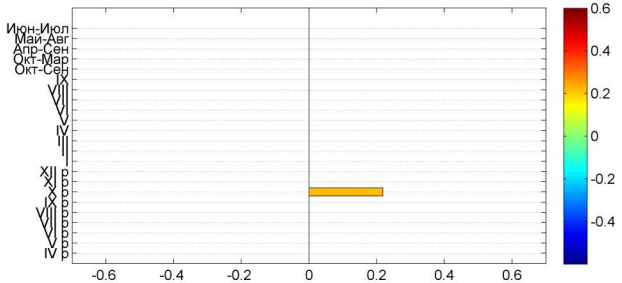

Агро
K Сел
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сел p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

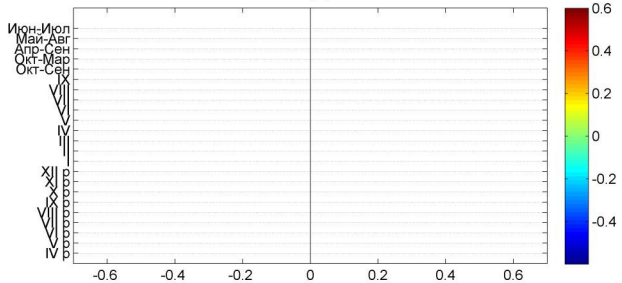

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

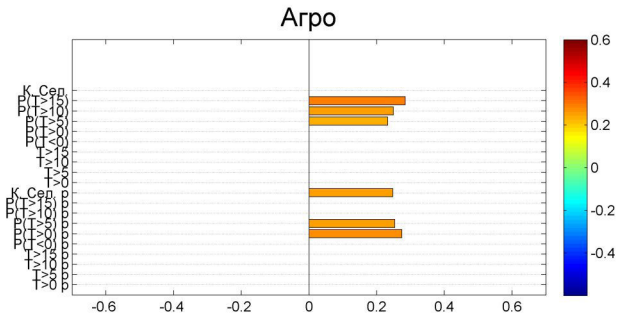
K06S

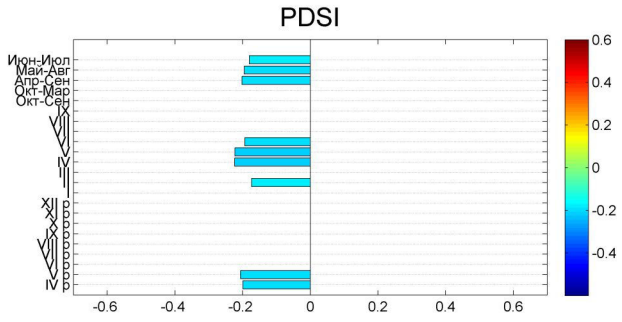

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

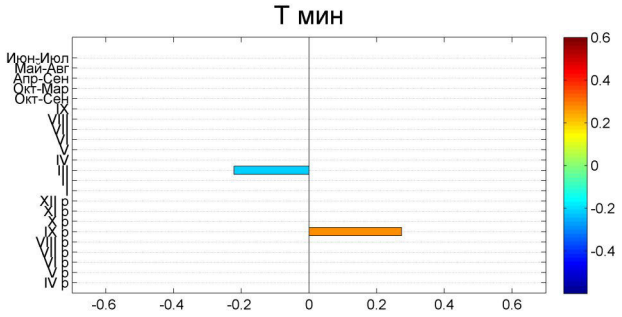

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

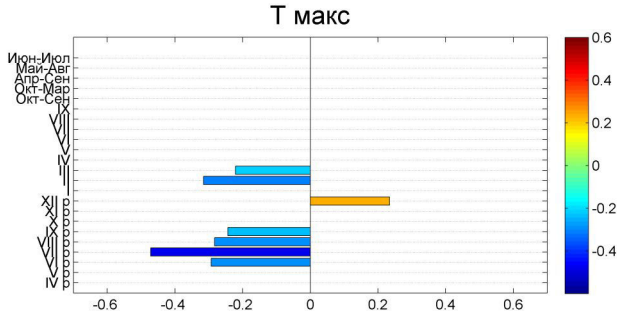

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

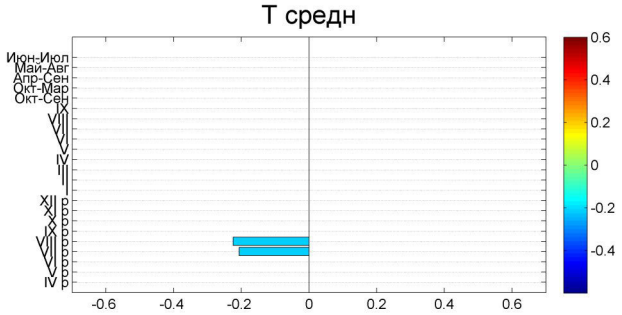

Агро
K Сел
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сел p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

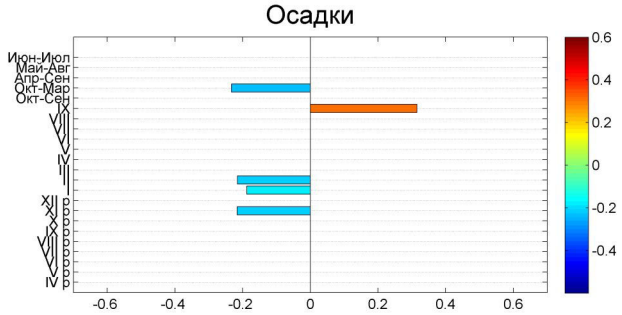

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

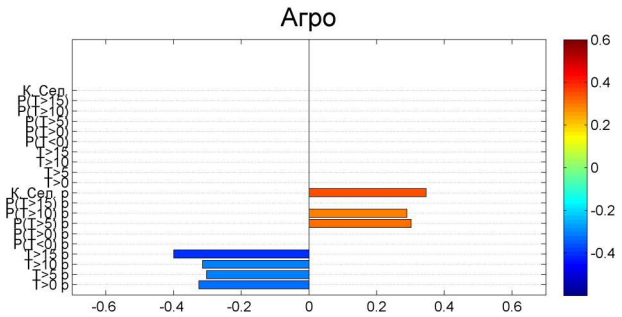
KL

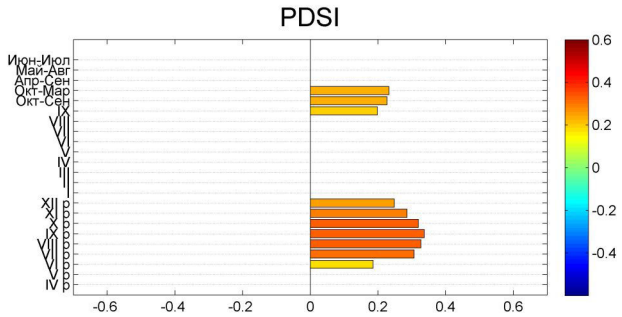

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

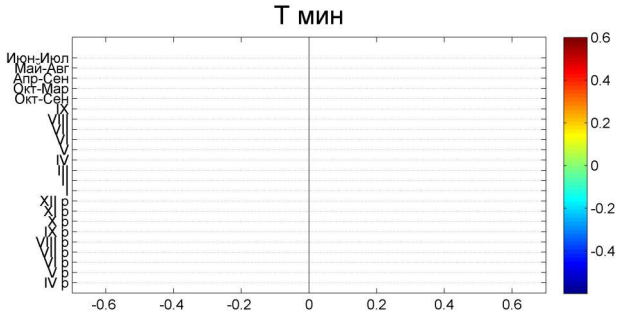

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

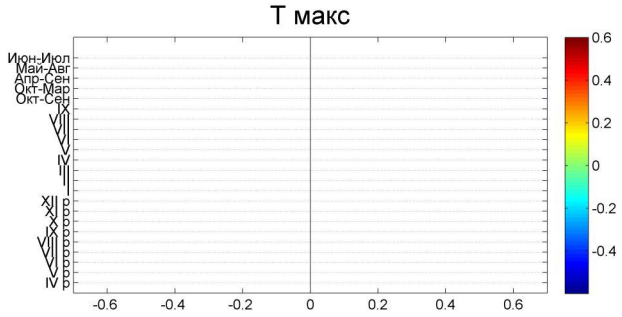

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

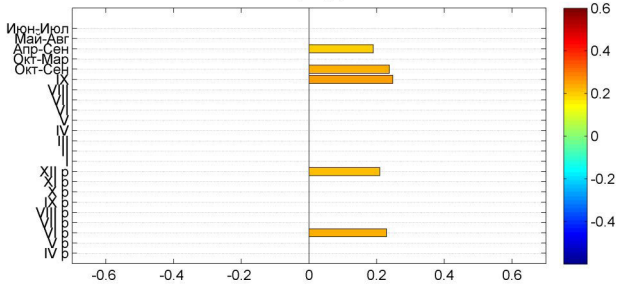

Агро
K Сед
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сед p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

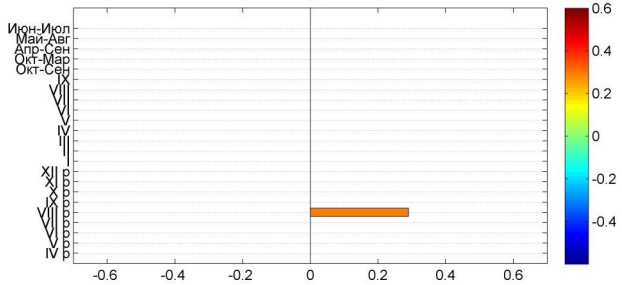

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

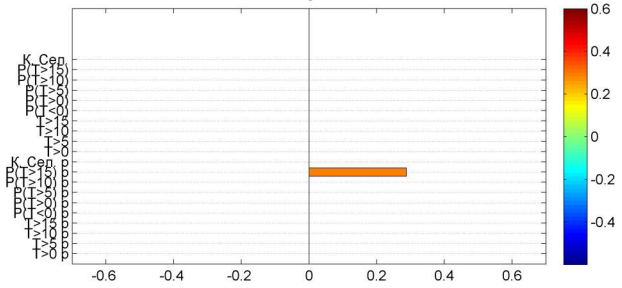
L03S

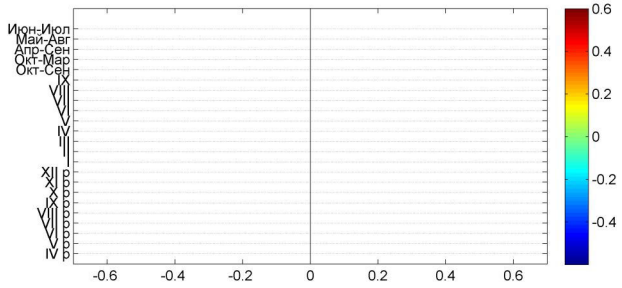

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

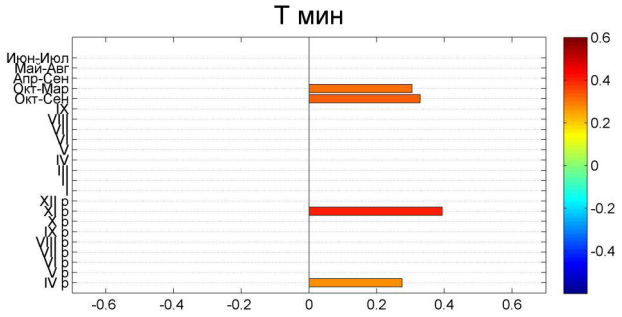

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

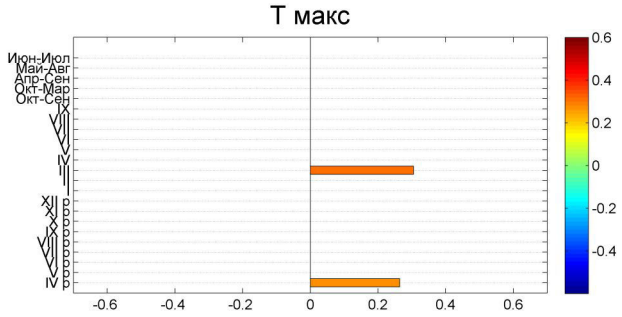

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

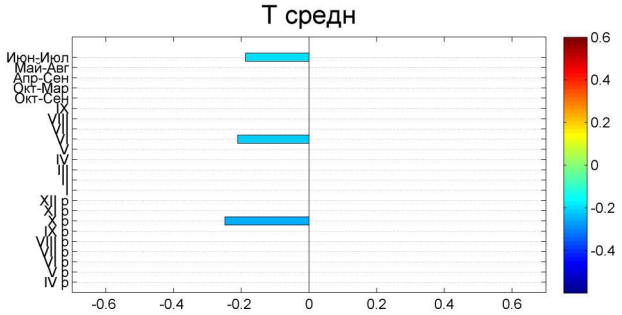

Агро
K Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

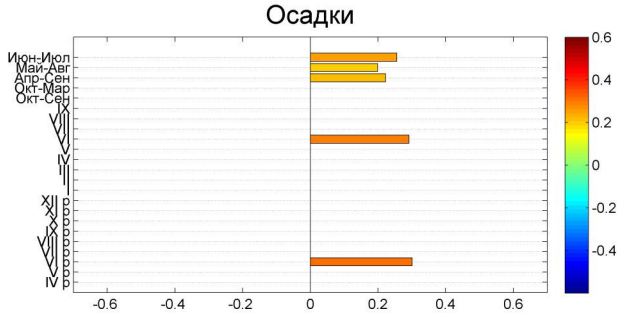

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

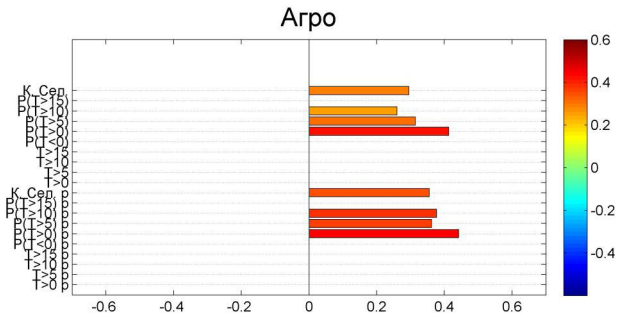
L10S

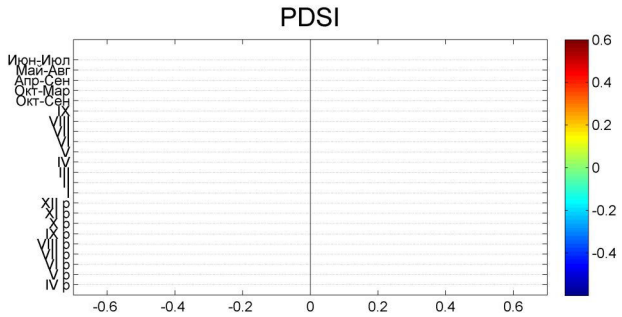

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

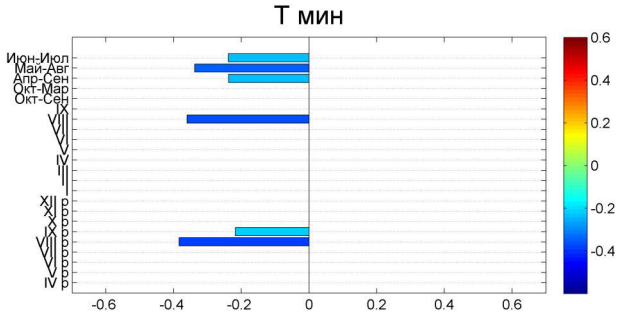

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

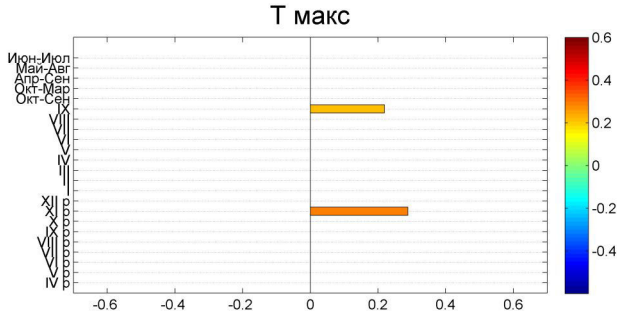

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

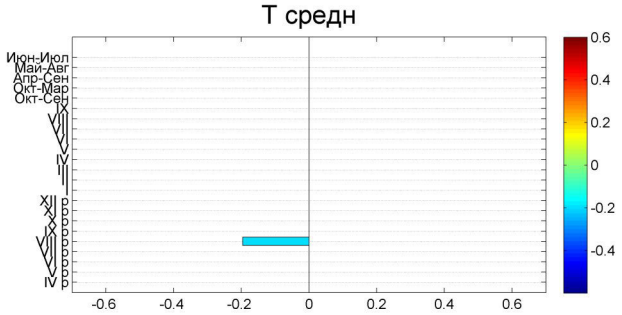

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

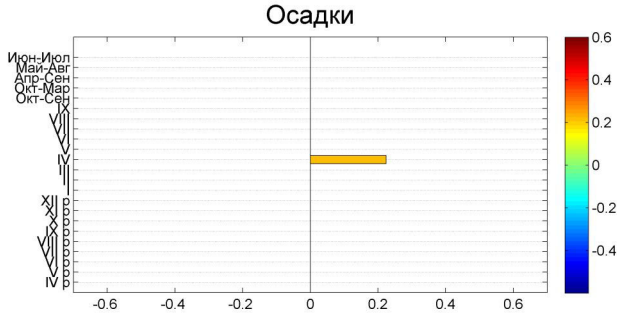

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

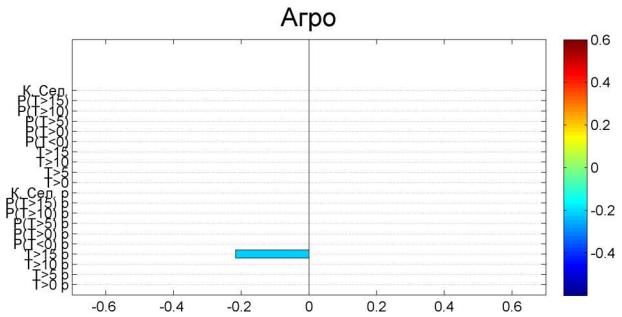
L11E

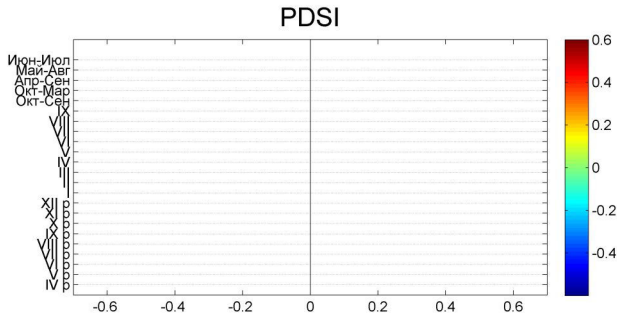

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

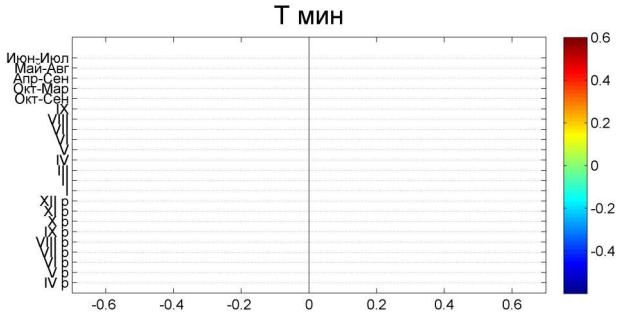

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

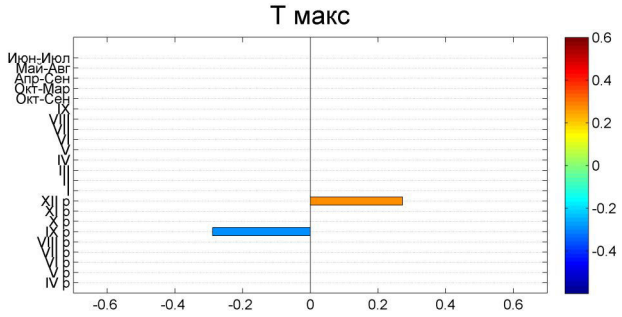

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

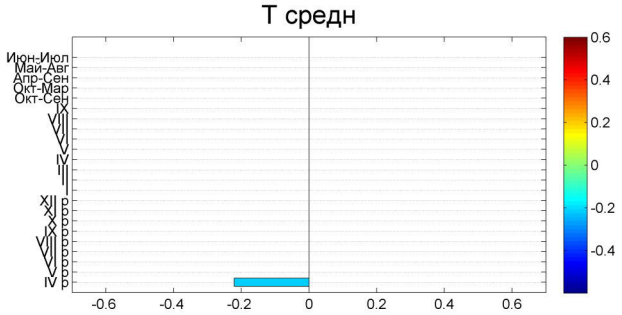

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

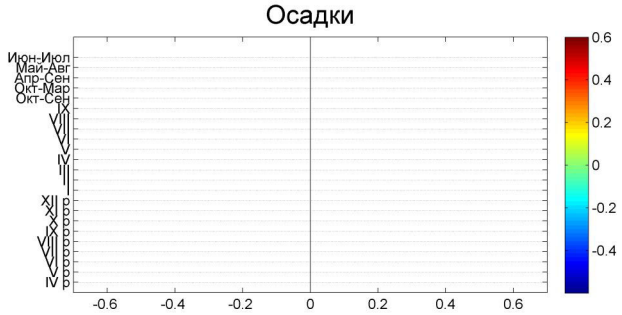

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

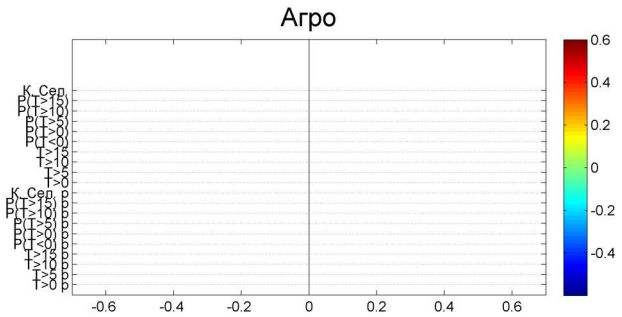
M10D

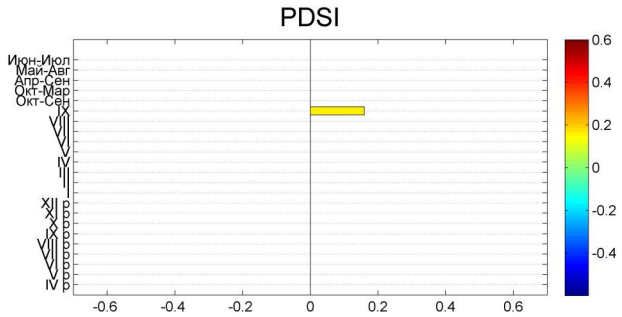

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

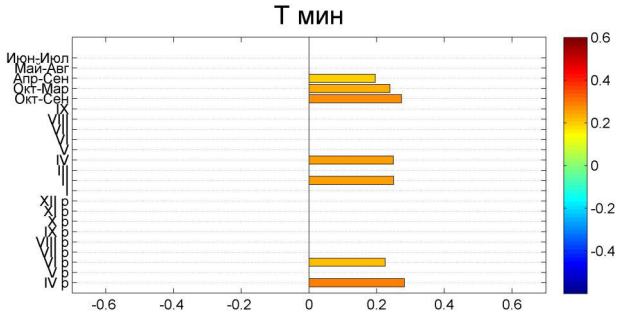

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

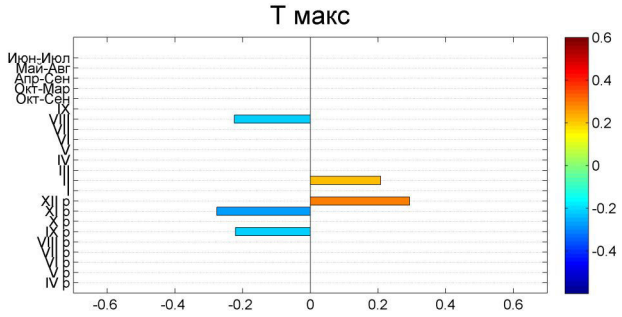

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

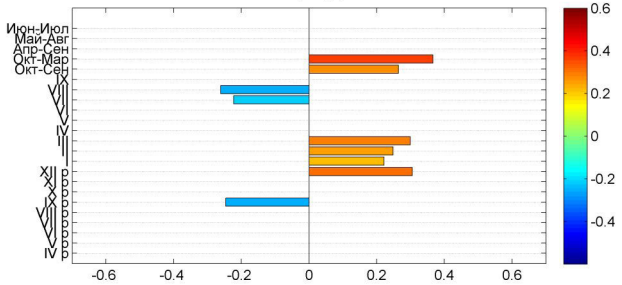

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

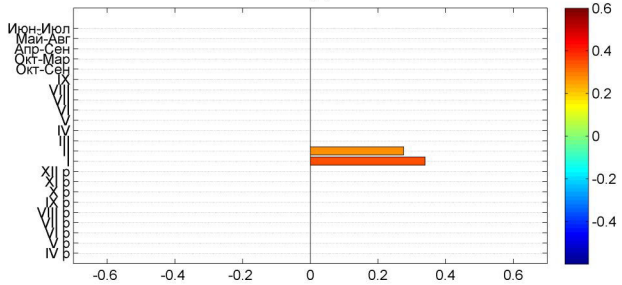

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

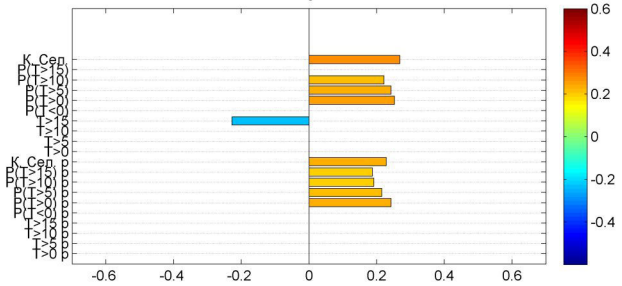
M10S

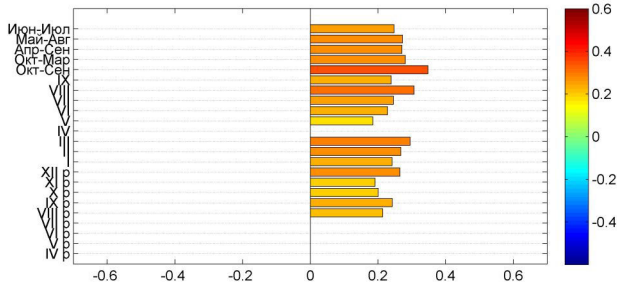

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

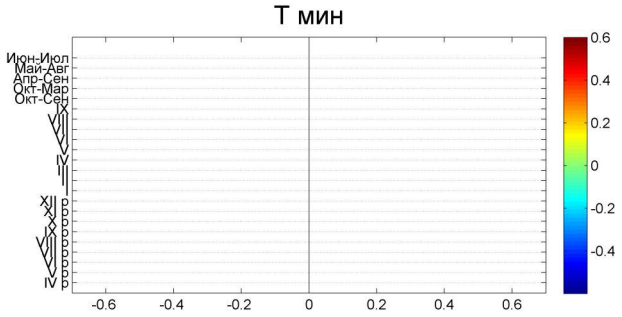

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

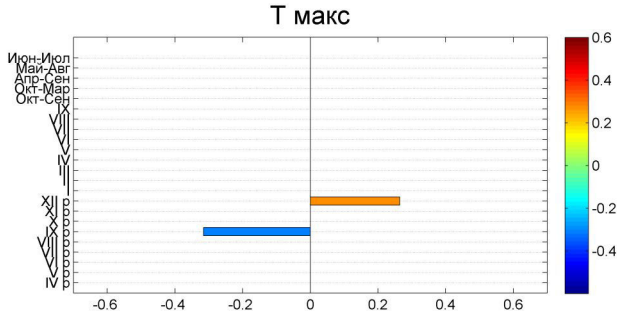

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

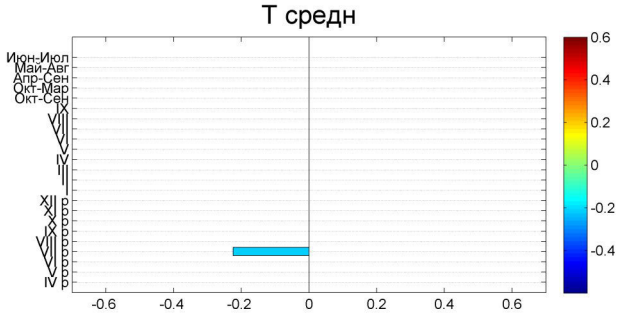

Агро
K Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

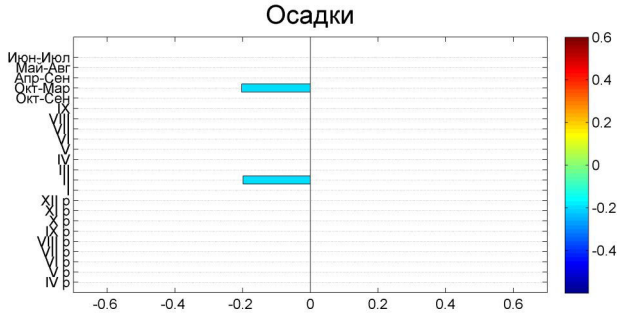

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

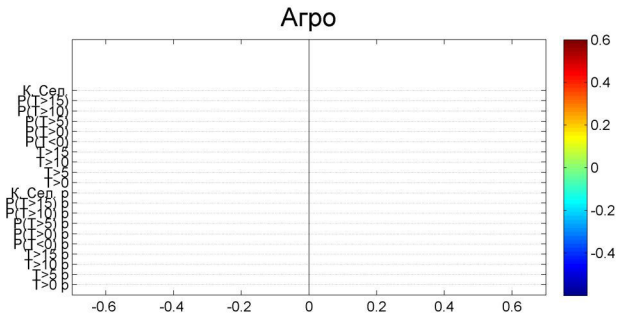
M11D

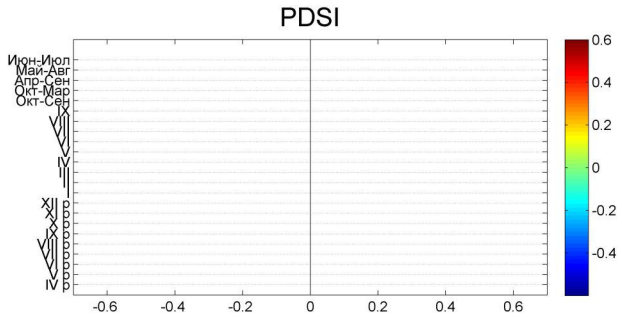

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6

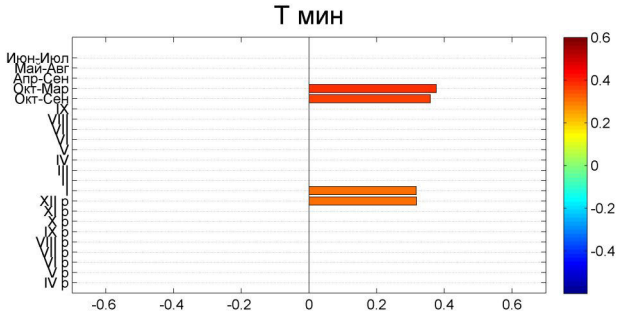

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6

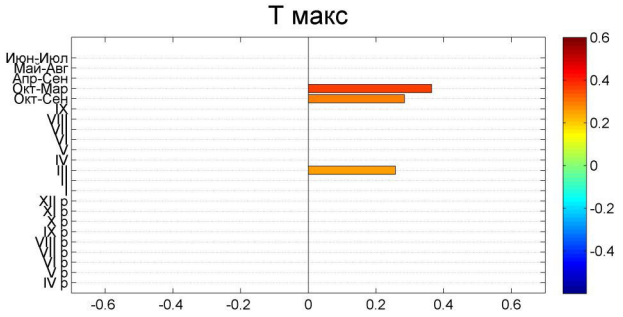

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6

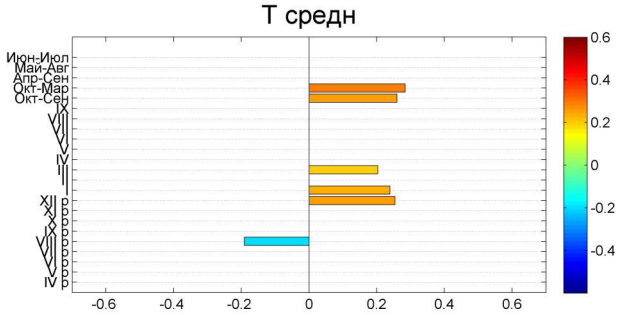

Агро
К Сен
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сен p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6

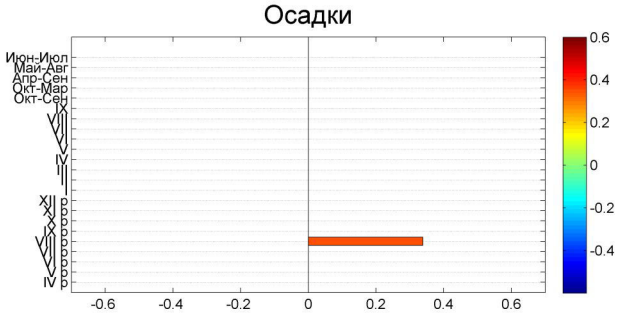

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6

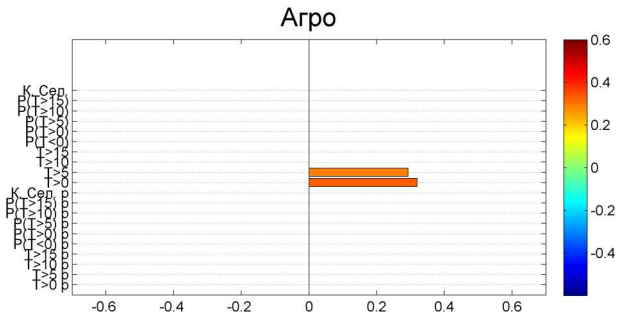
M13S

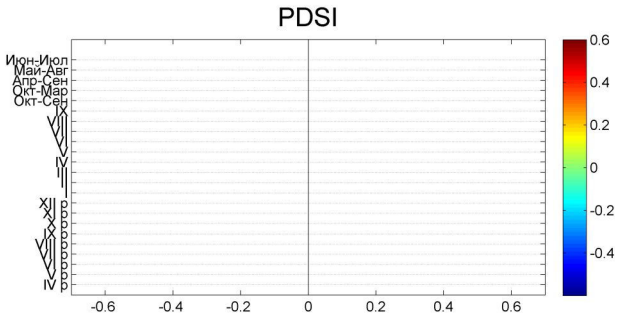

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

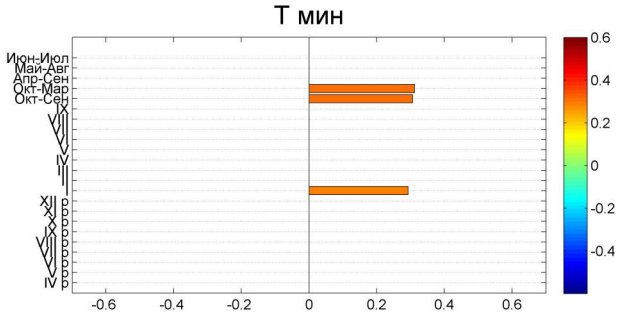

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

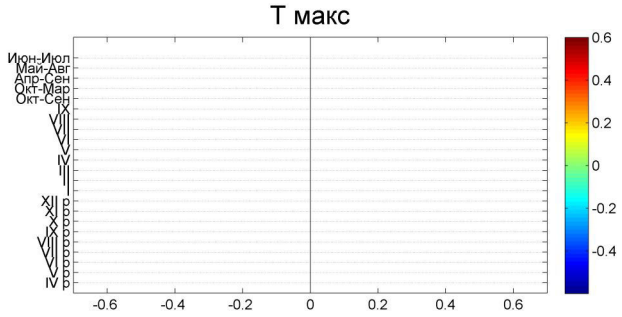

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

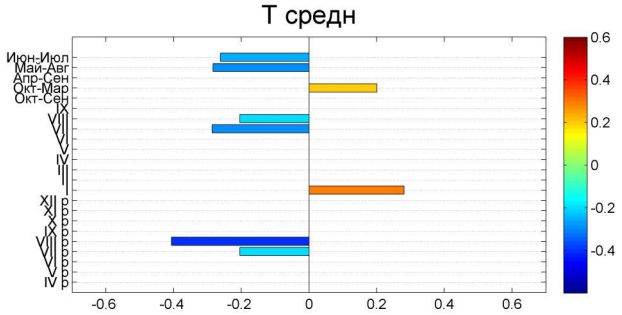

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

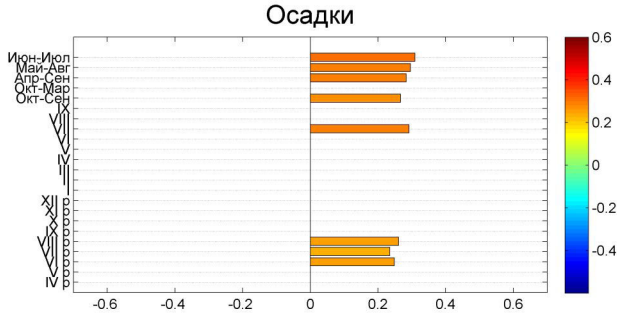

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

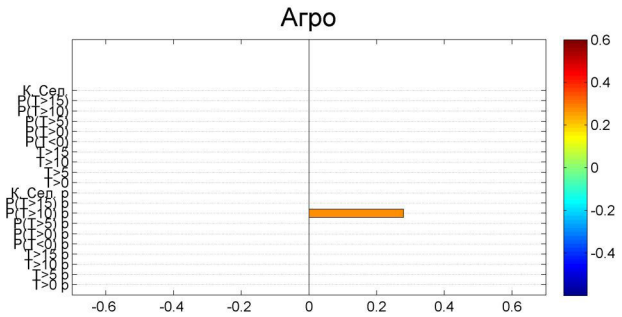
M18E

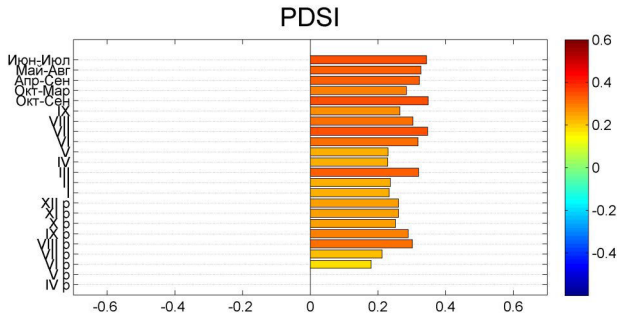

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

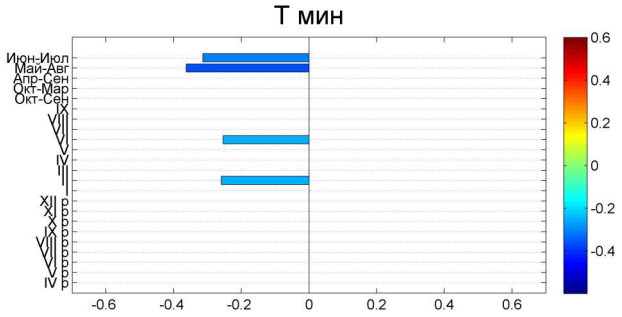

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

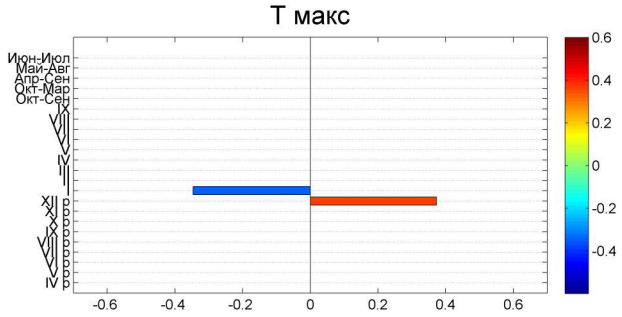

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

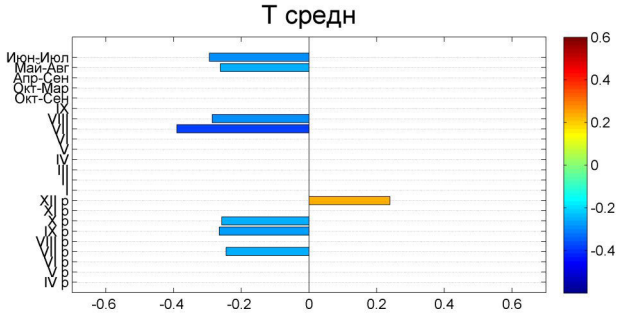

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

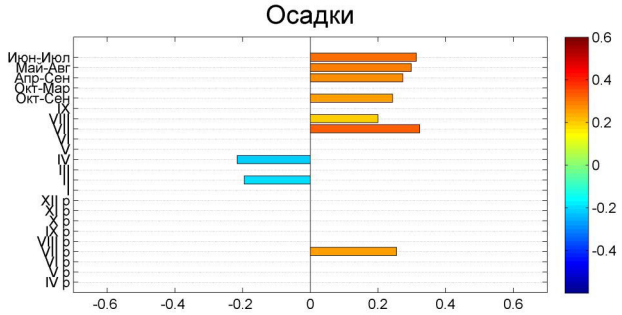

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

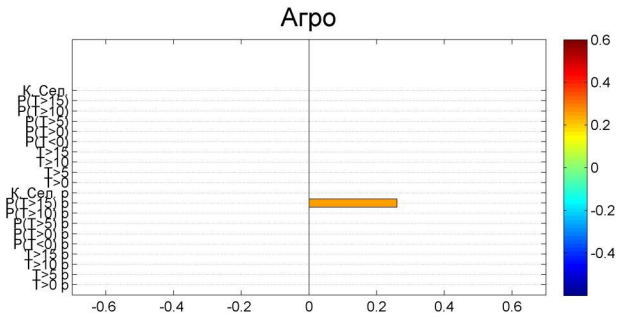
M19S

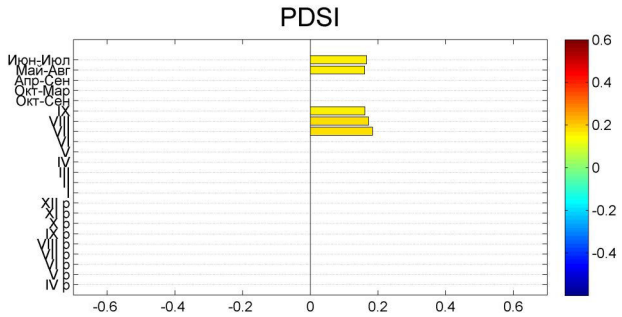

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

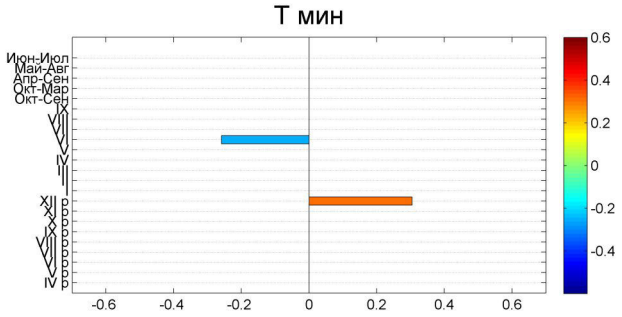

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

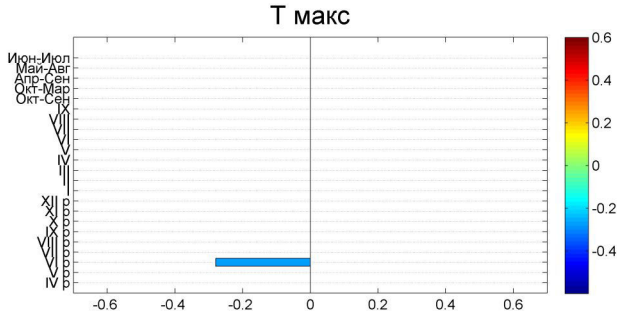

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

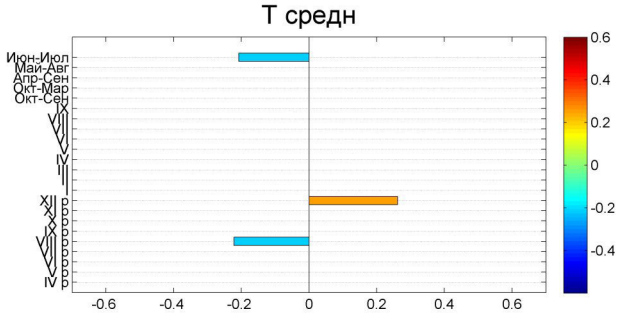

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

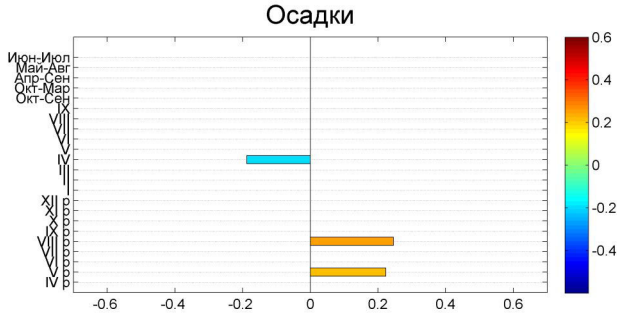

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

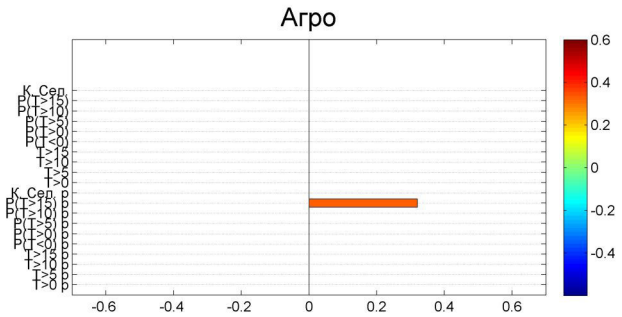
OLIS

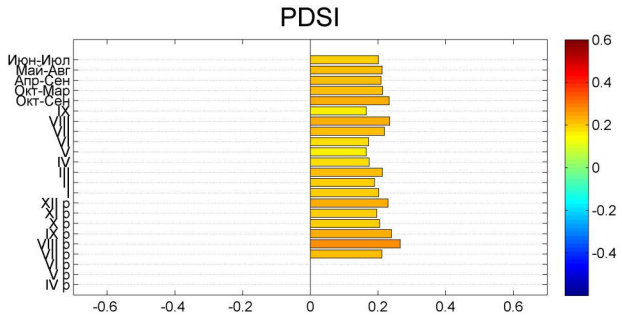

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

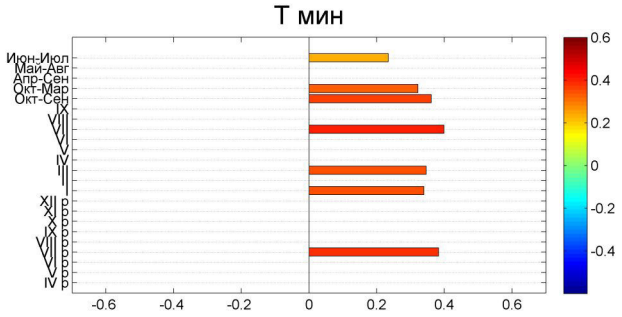

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

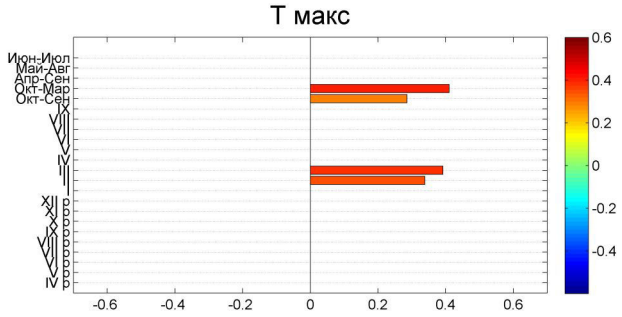

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

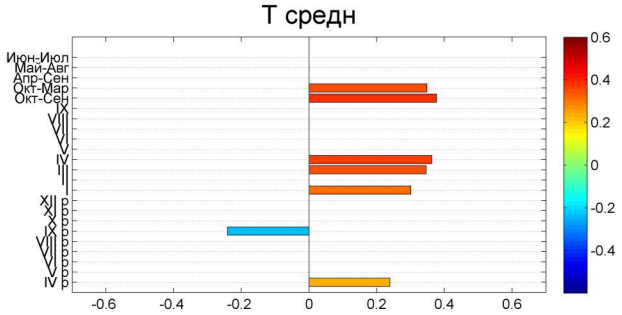

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

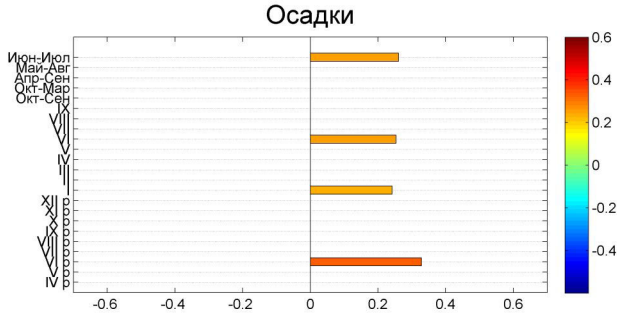

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

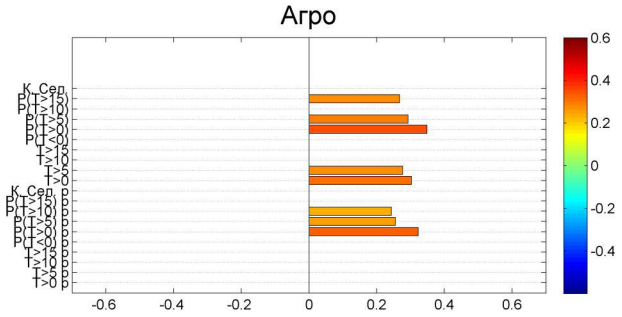
OPP

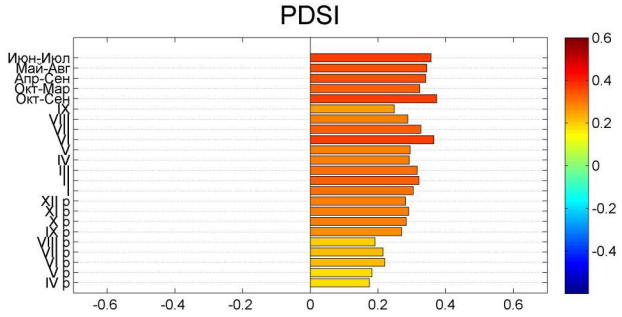

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

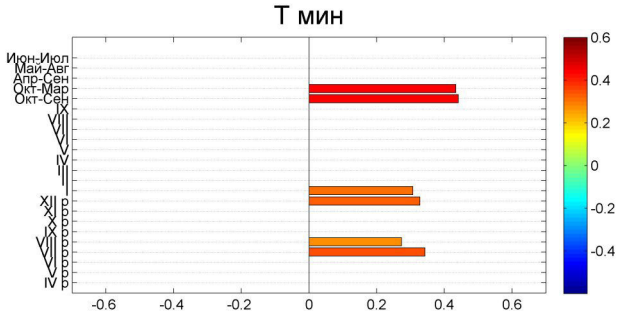

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
III
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

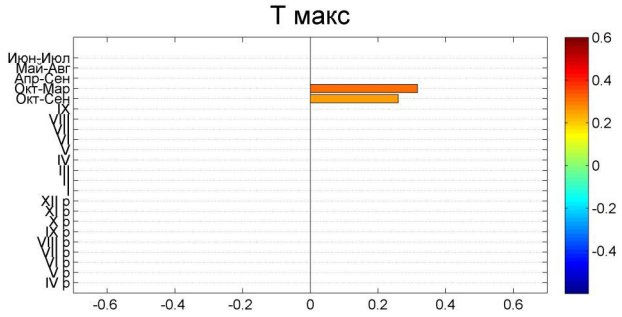

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

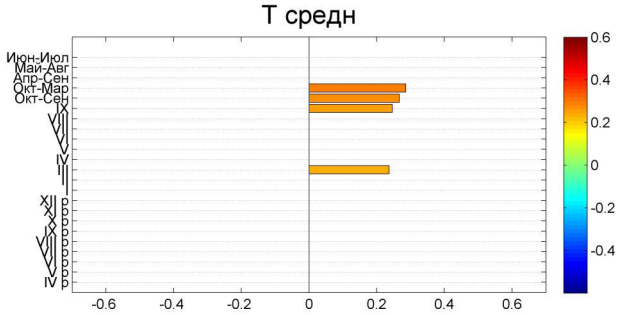

Агро
K Сед
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сед p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

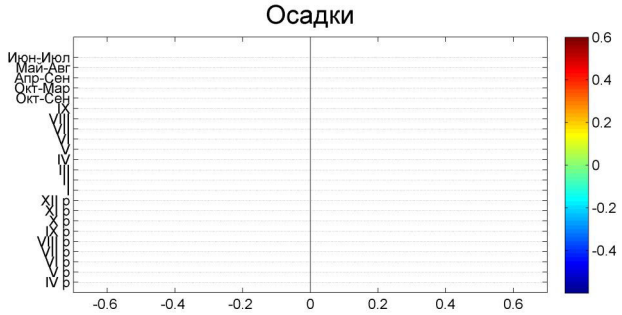

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

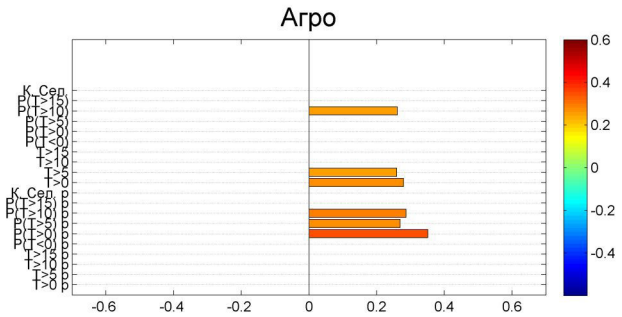
OZER

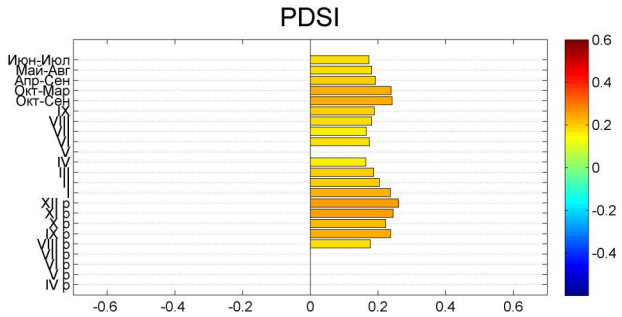

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

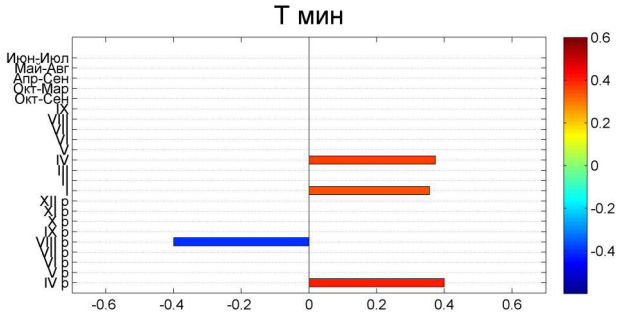

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

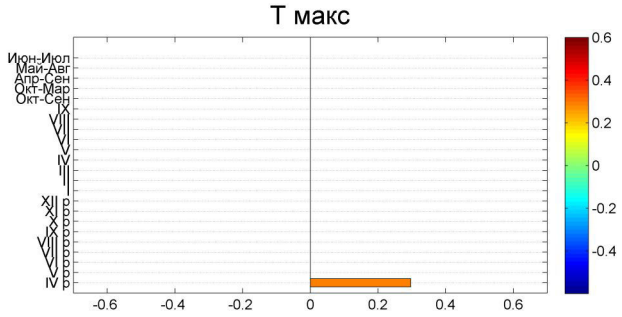

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

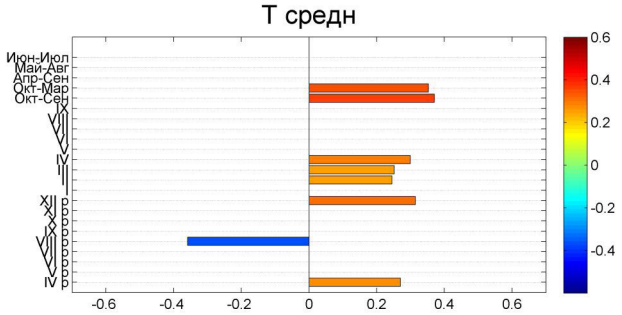

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

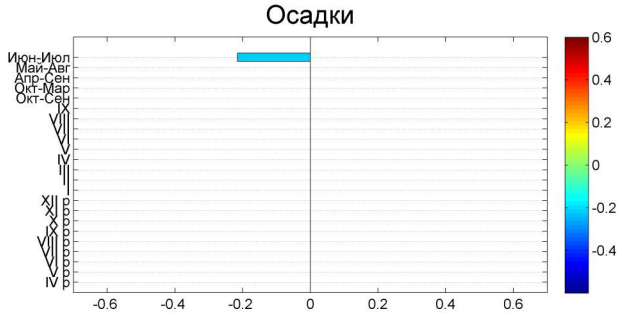

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

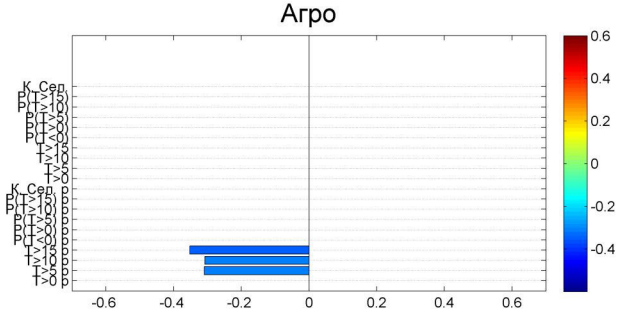
РАСН

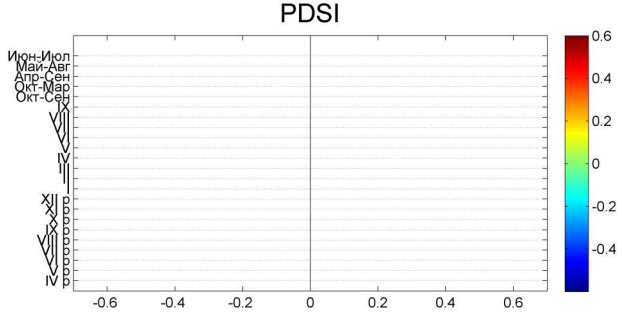

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

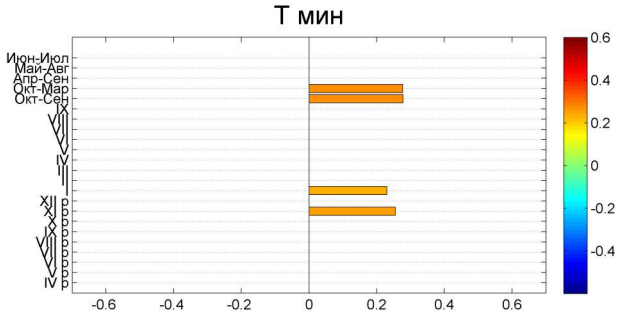

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

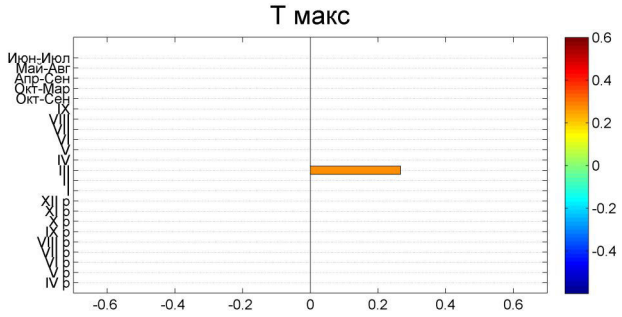

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

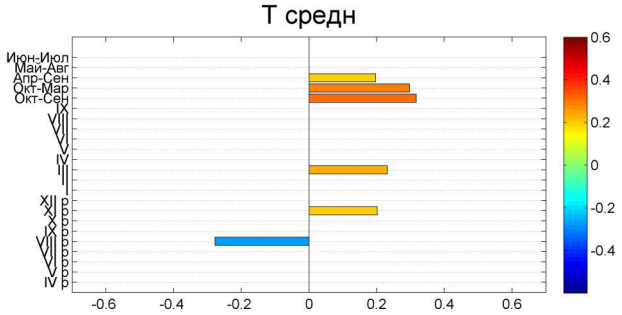

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

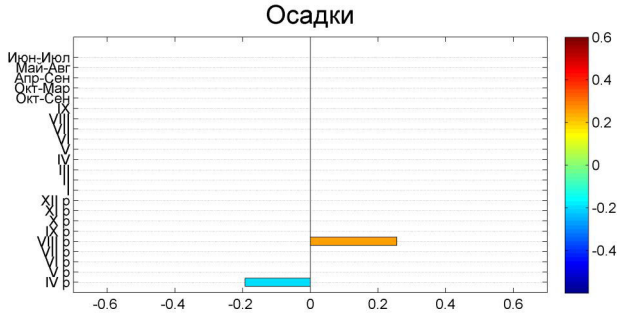

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

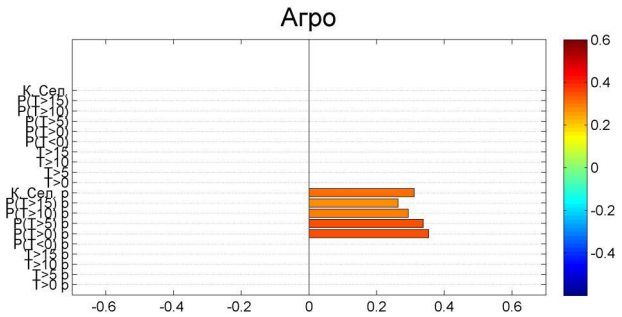
PANS

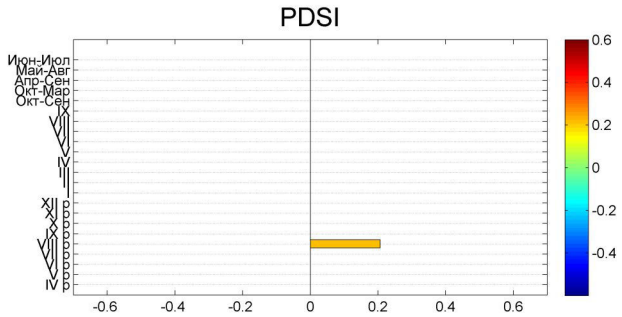

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

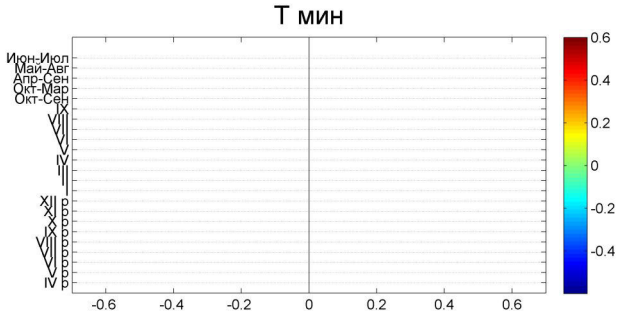

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

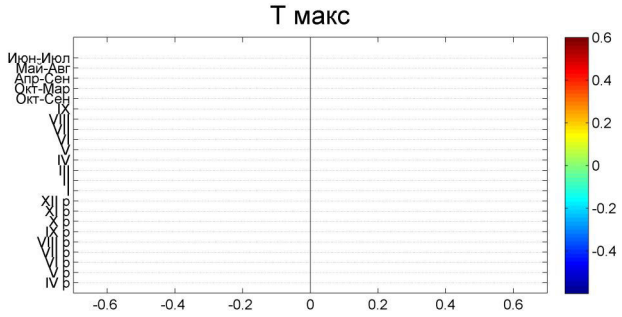

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

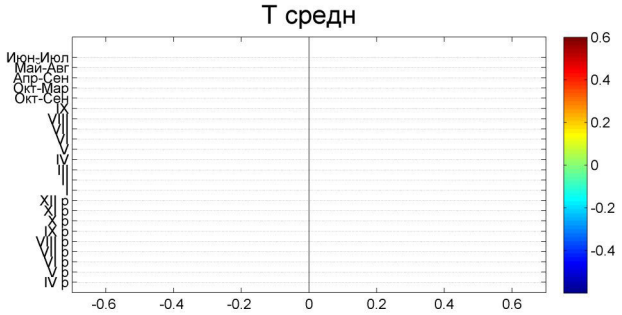

Агро
К Сен
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сен p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

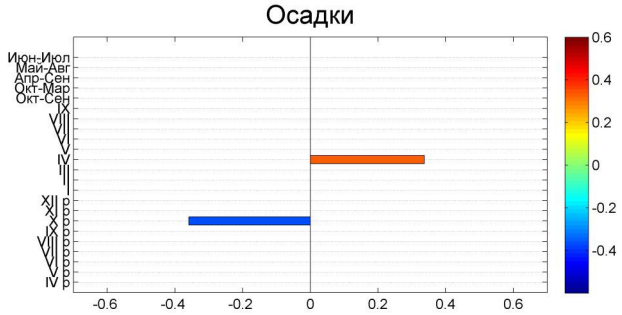

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

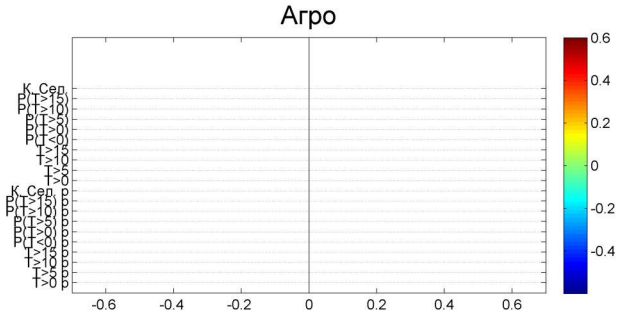
R03D

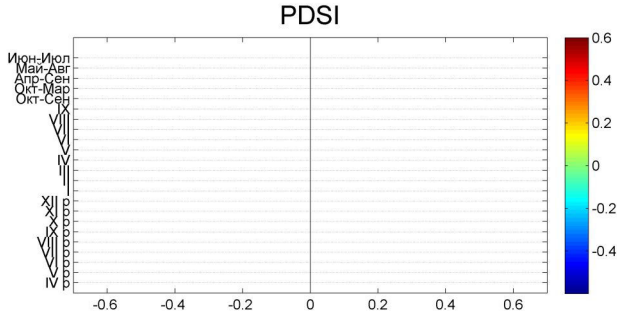

T мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


T макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

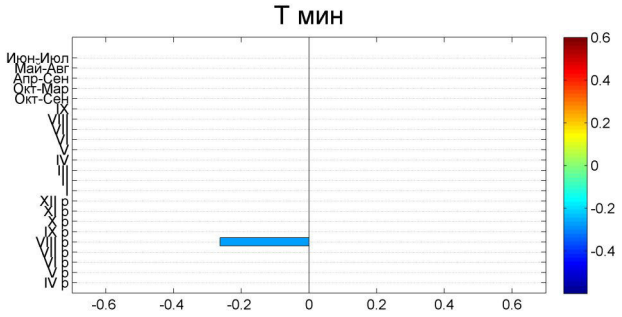

T средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

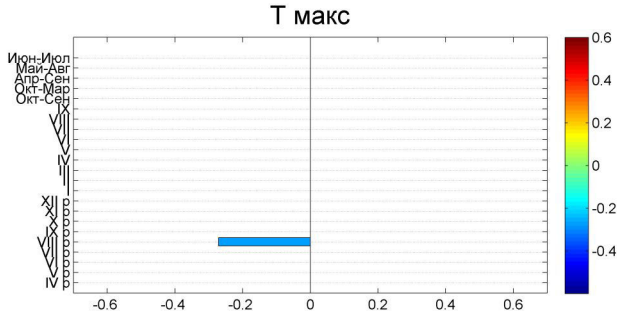

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

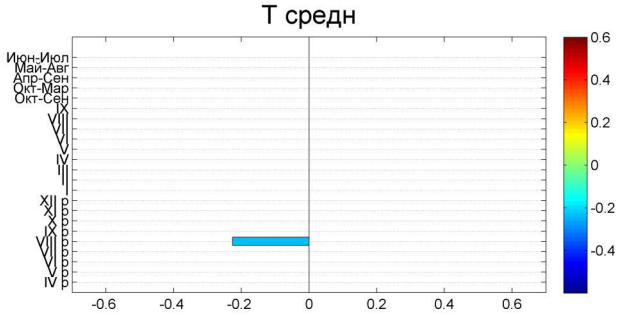

Агро
K Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

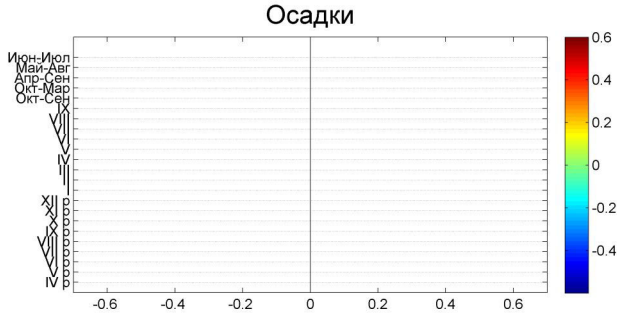

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

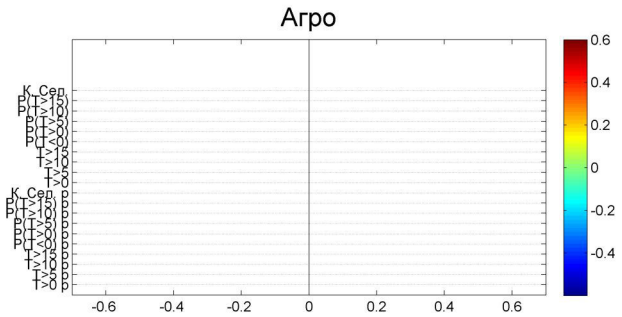
R10D

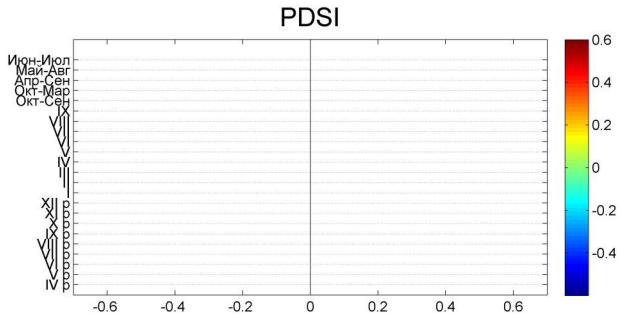

T мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


T макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

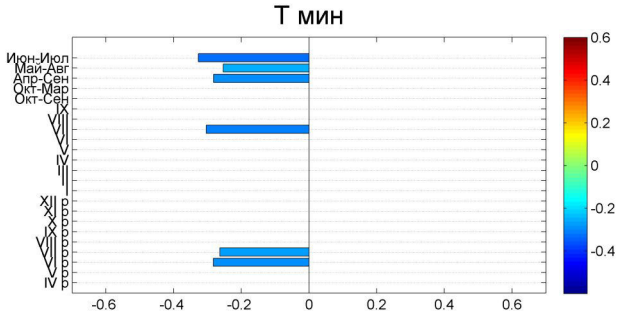

T средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

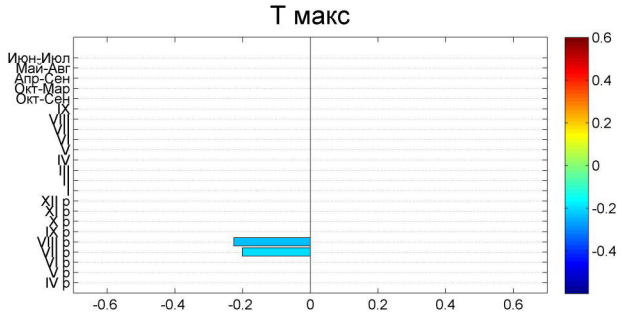

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

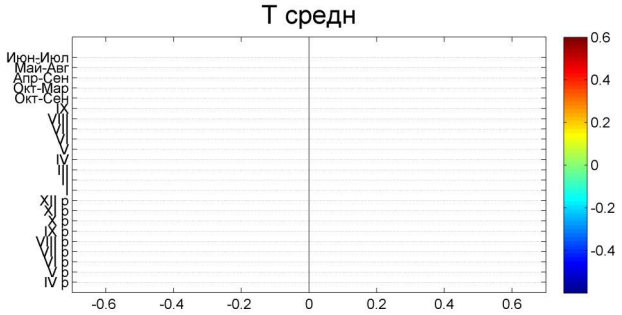

Агро
K Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

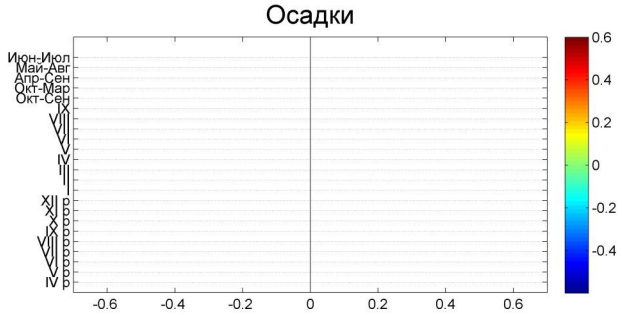

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

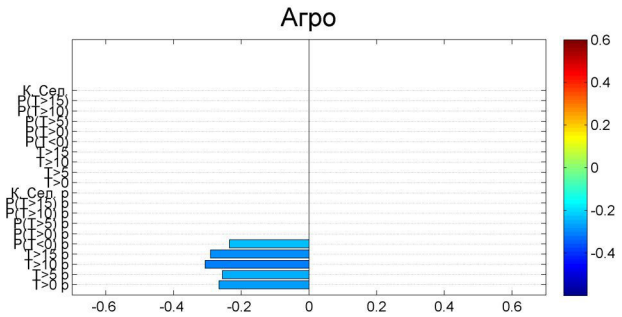
SHIR

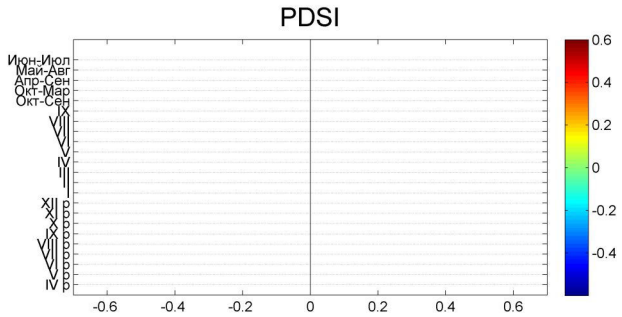

T мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


T макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

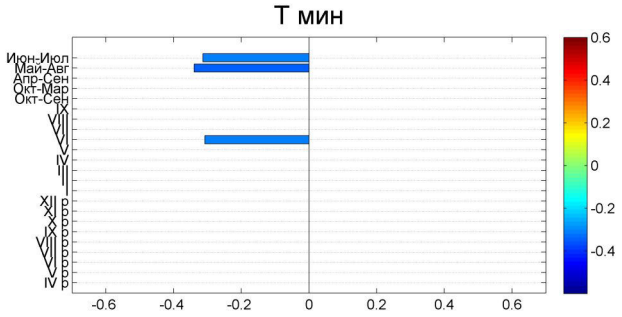

T средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

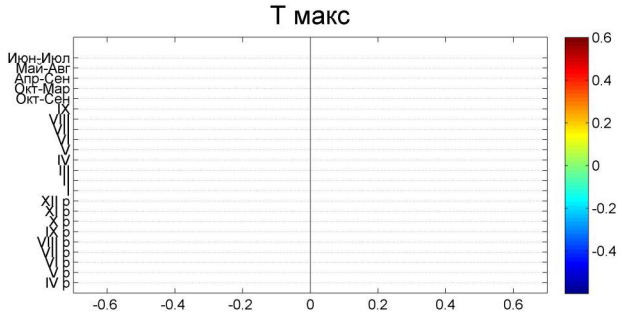

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

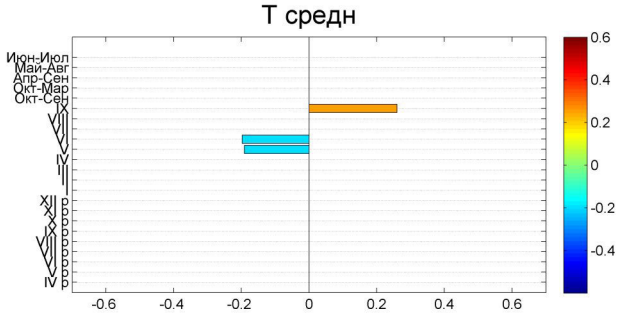

Агро
K Сен
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сен p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

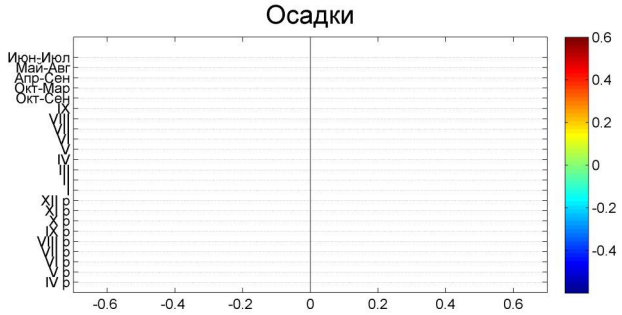

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

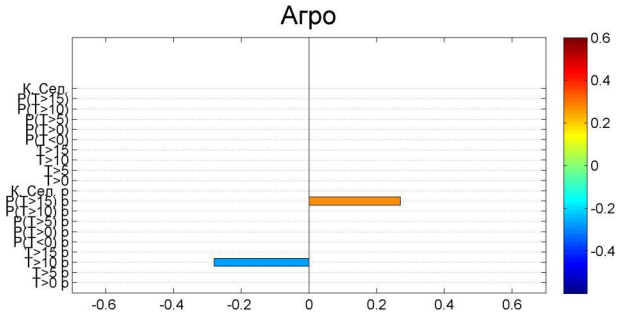
SOS

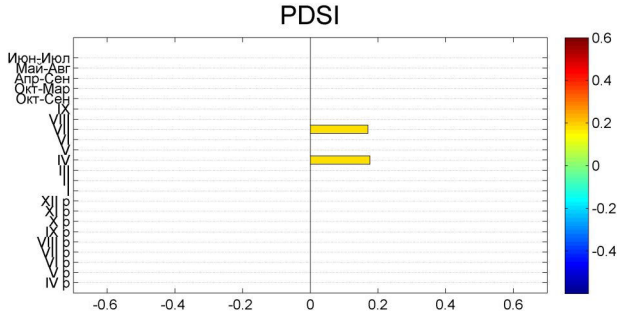

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

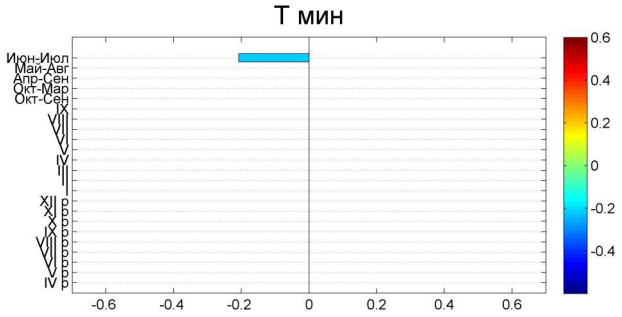

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

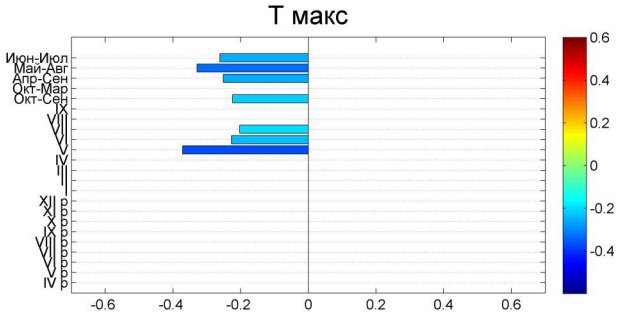

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

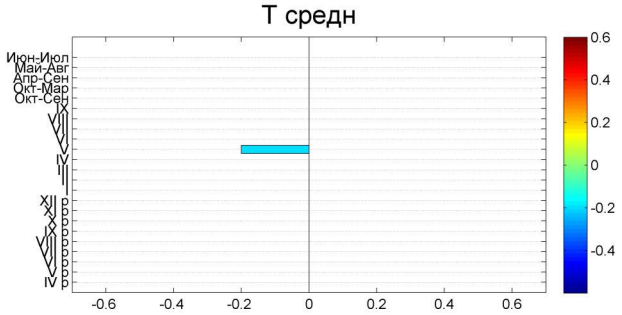

Агро
К Сед
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сед p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

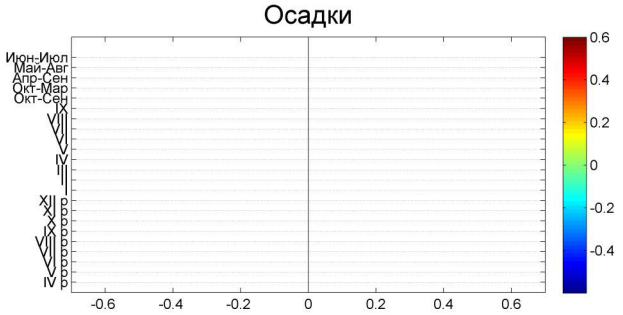

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

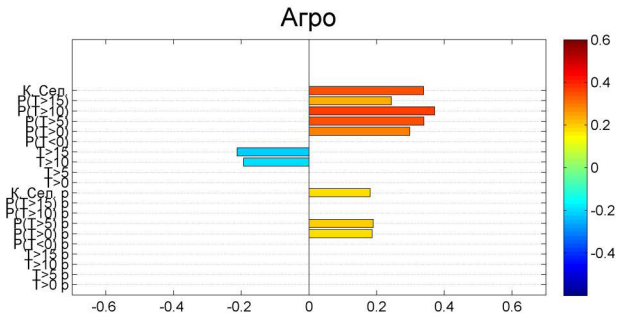
T01S

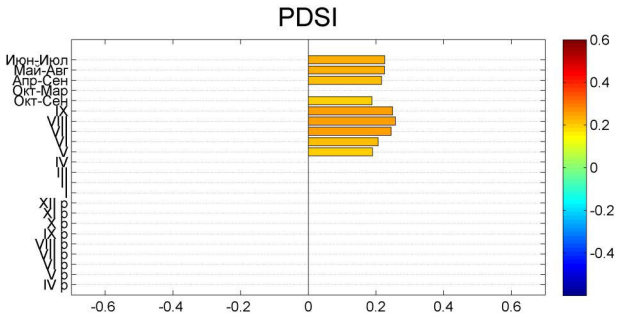

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

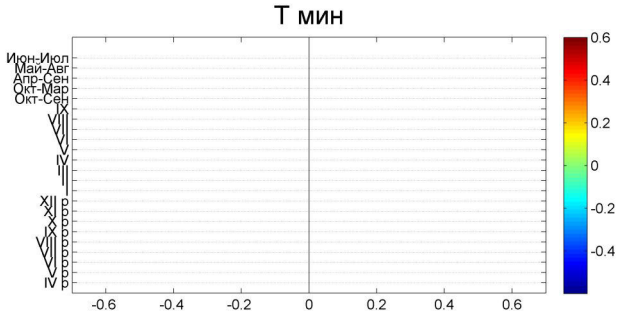

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

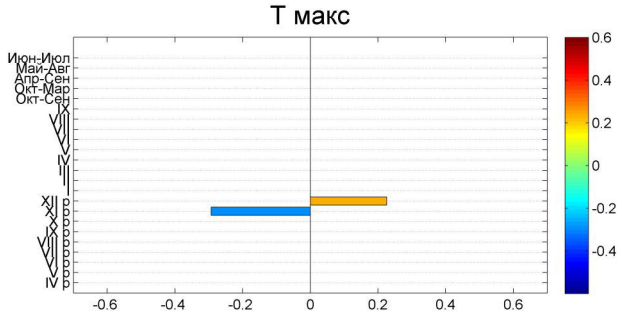

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

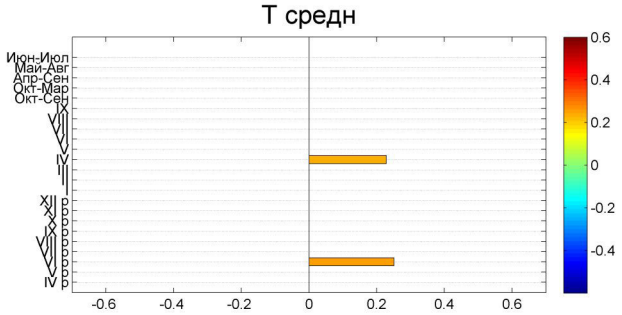

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

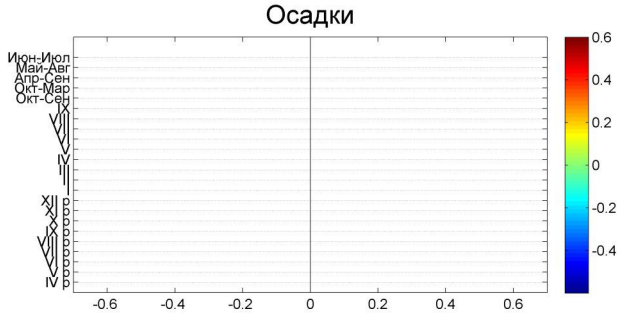

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

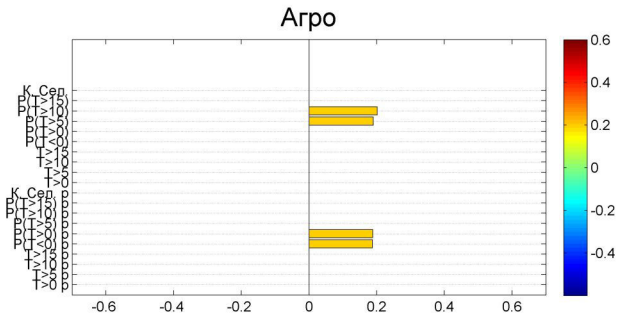
T02S

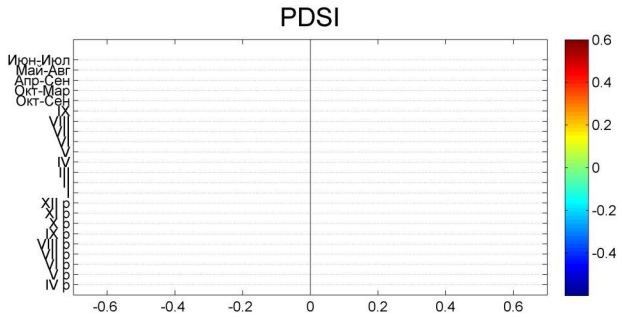

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

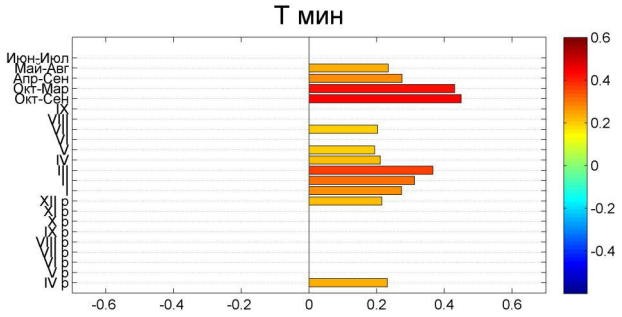

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

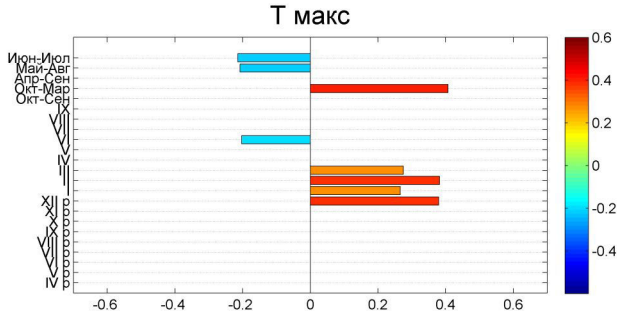

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

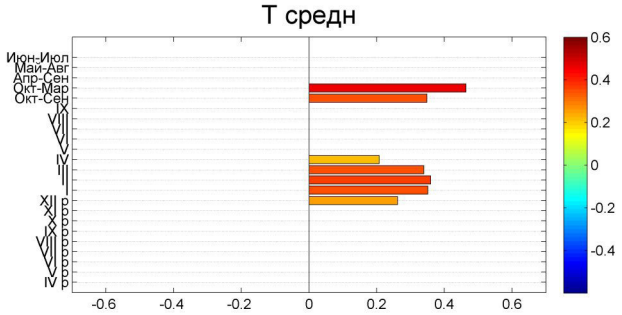

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

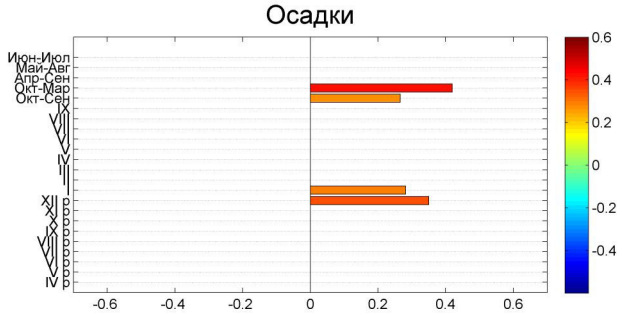

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

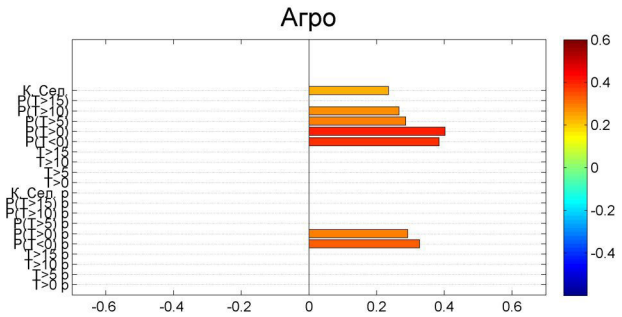
T03S

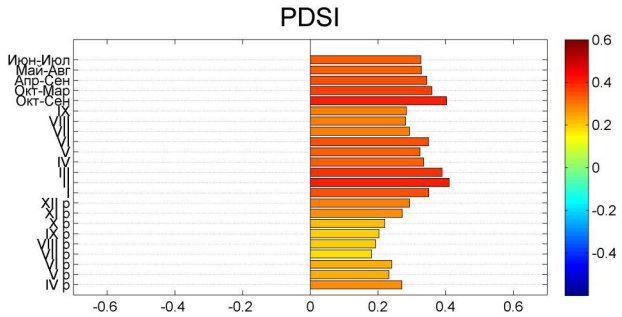

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

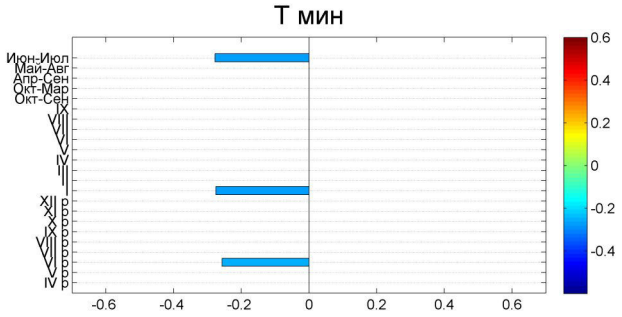

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

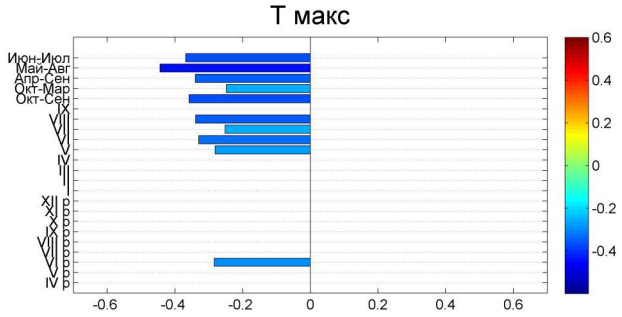

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

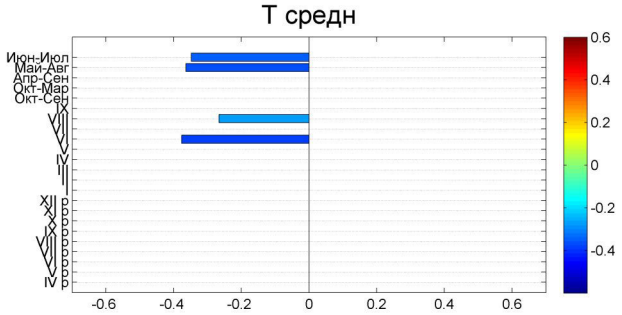

Агро
K Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

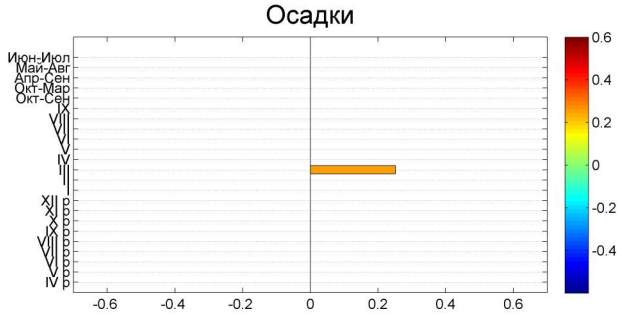

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

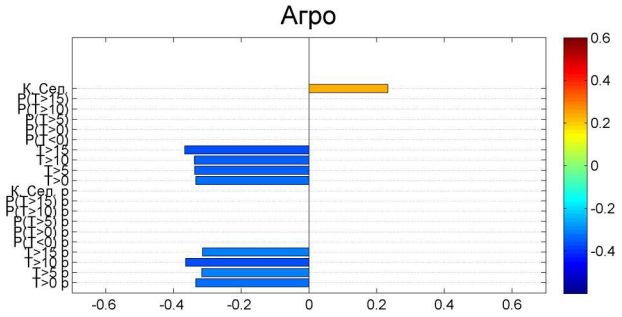
T04S

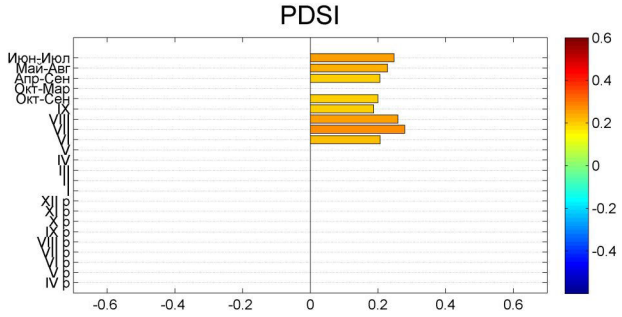

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

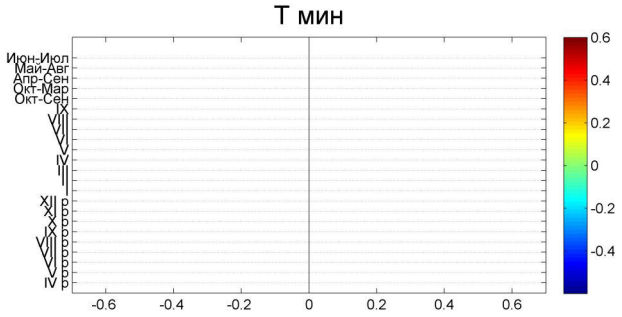

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

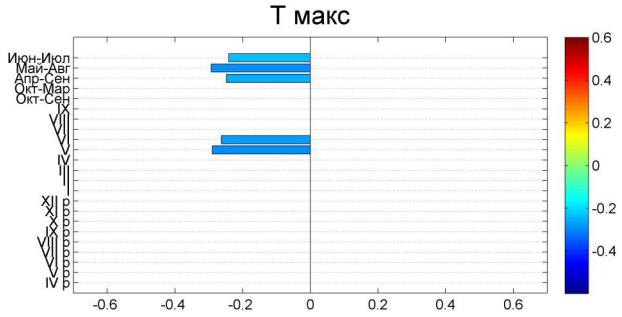

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

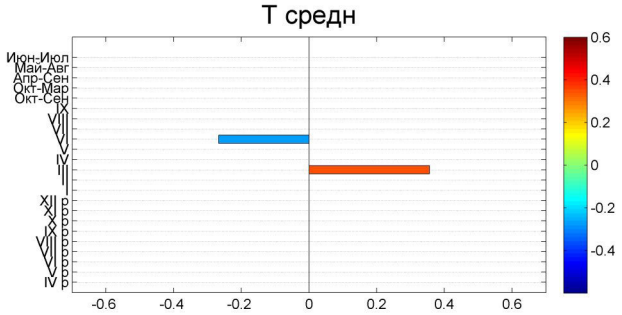

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

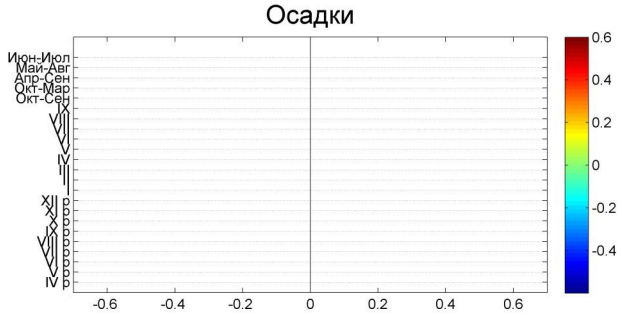

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

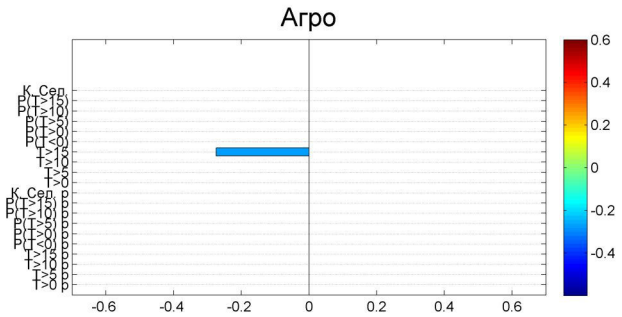
T05S

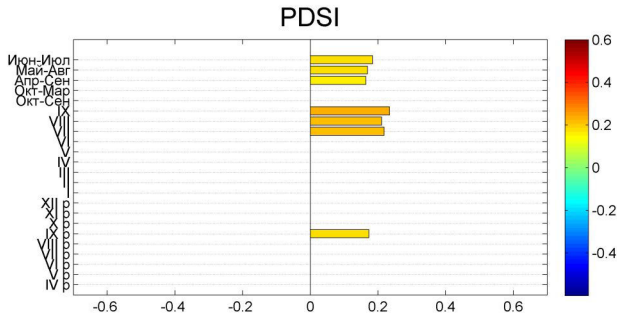

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

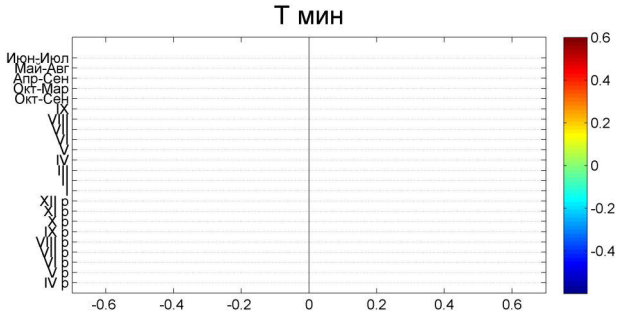

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

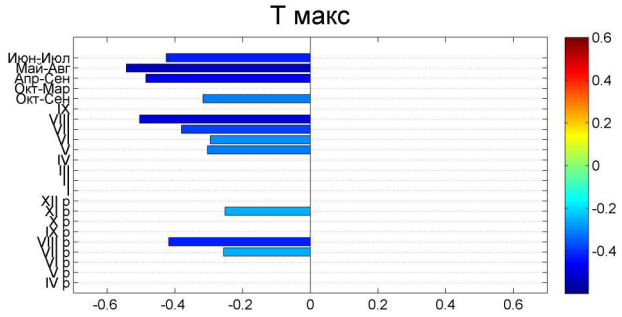

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

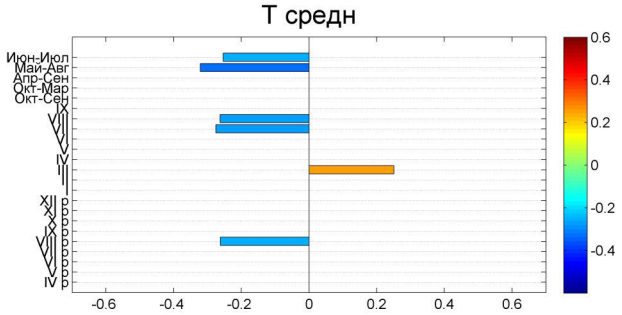

Агро
K Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

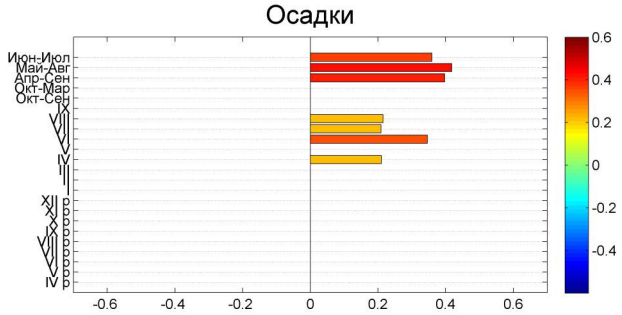

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

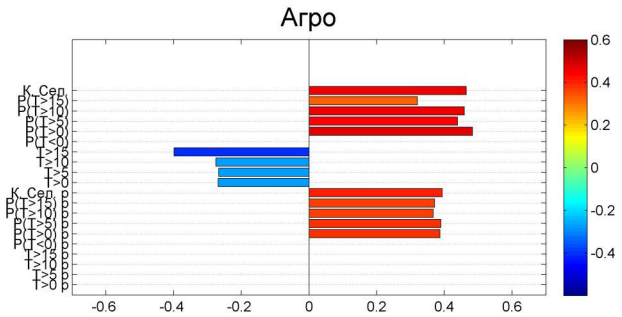
T06S

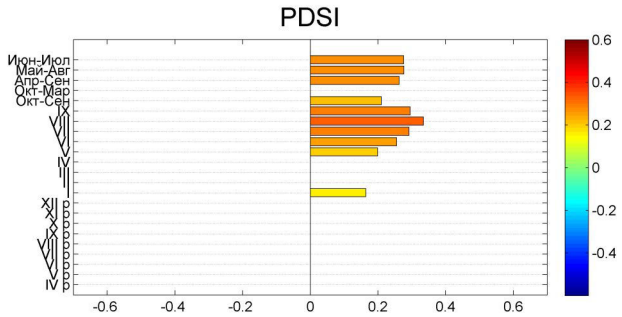

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

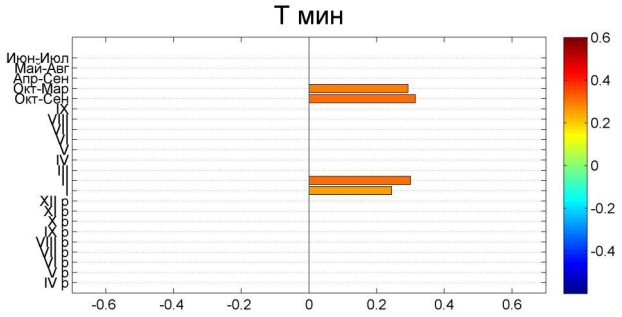

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

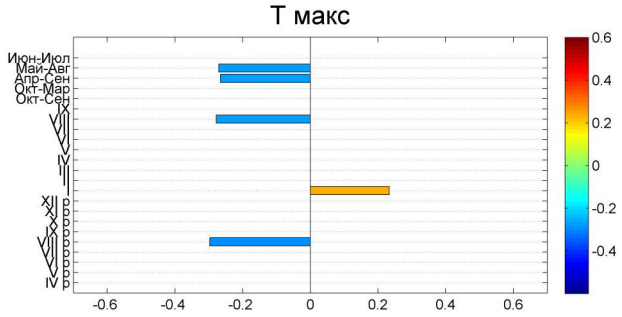

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

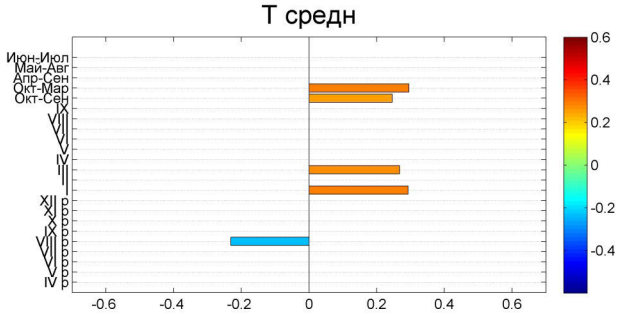

Агро
K Сен
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сен p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

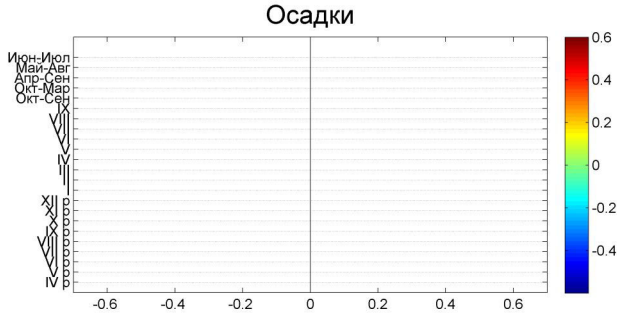

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

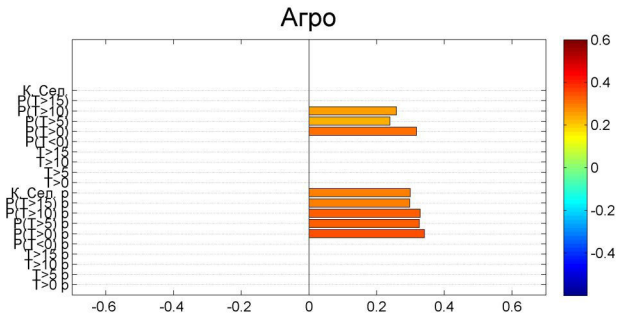
T07S

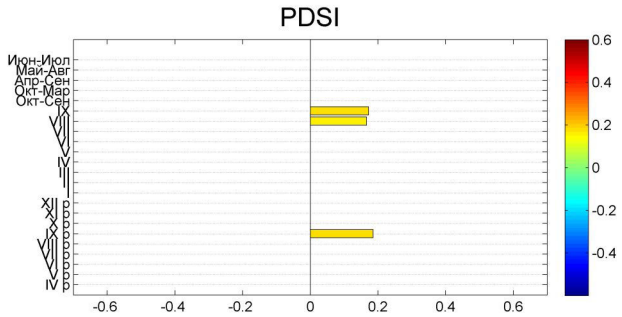

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

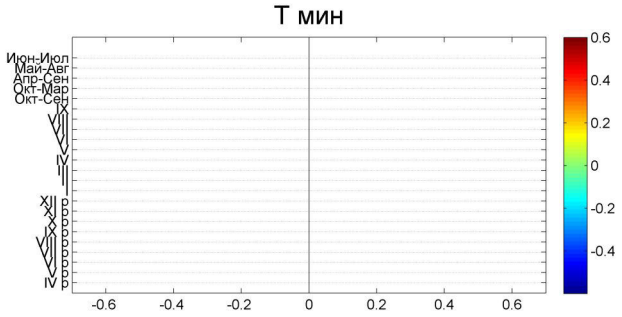

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

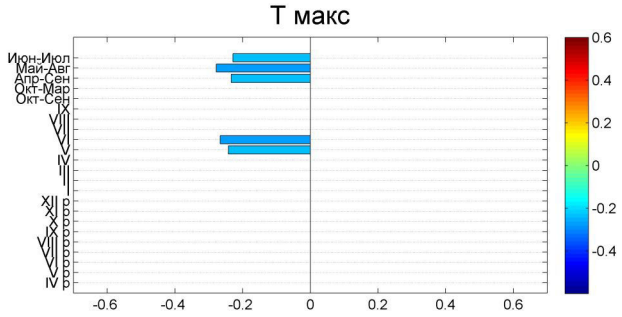

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

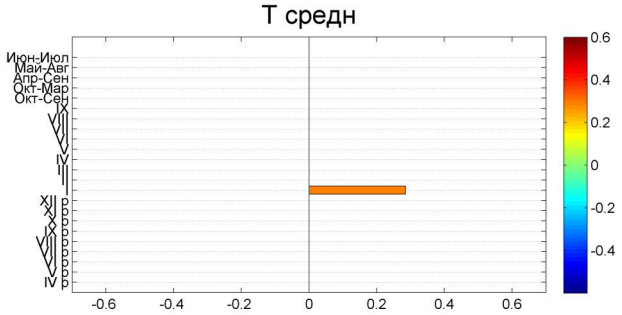

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

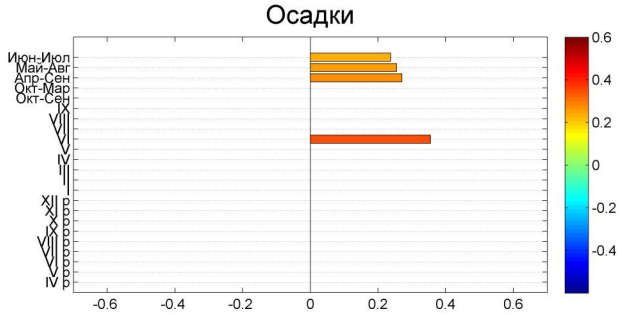

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

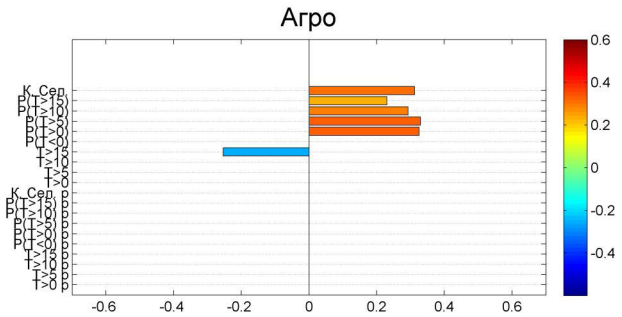
T08S

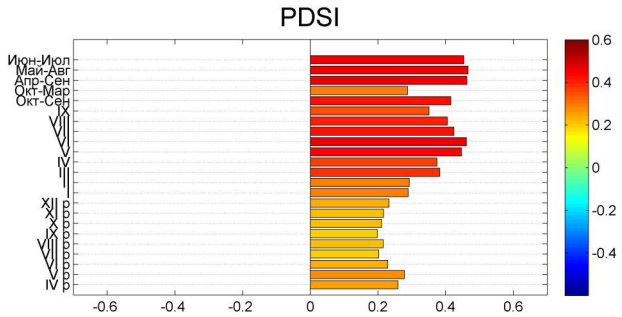

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

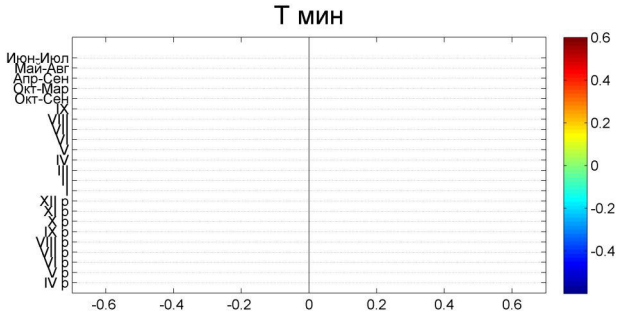

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

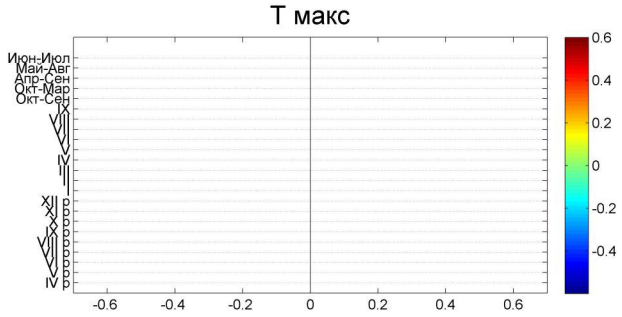

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

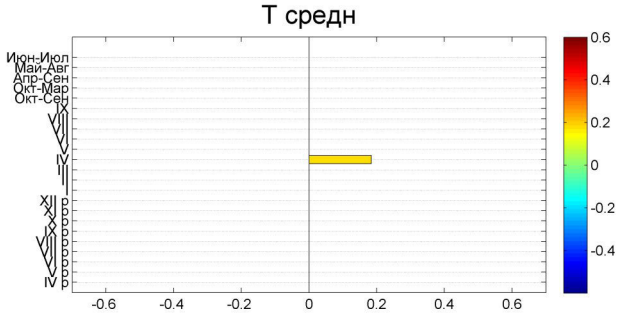

Агро
K Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

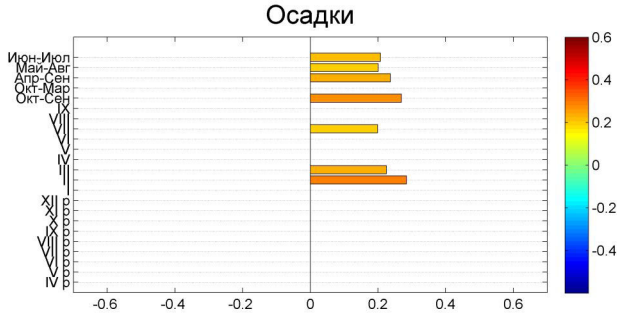

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

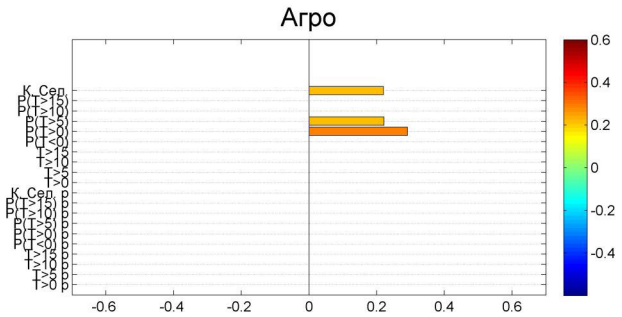
T09S

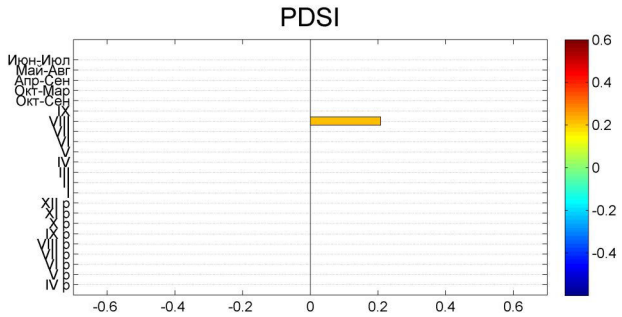

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

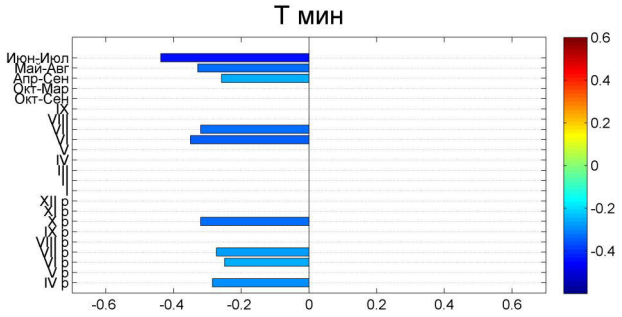

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

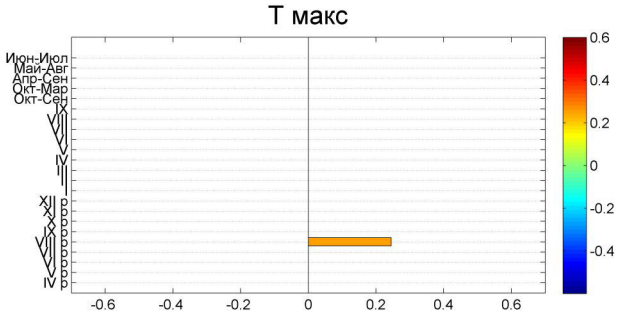

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

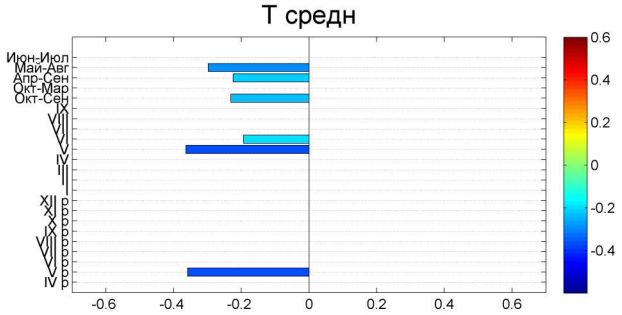

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

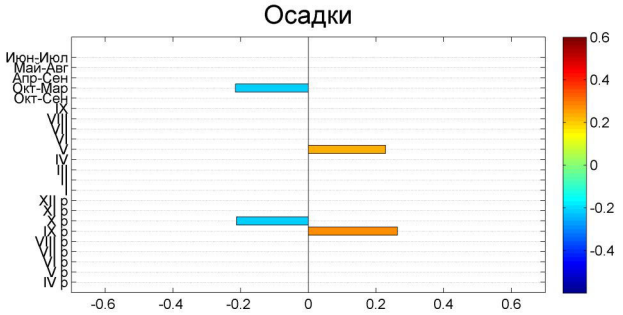

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

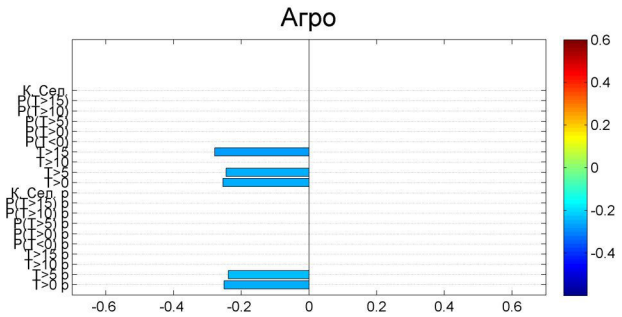
T10S

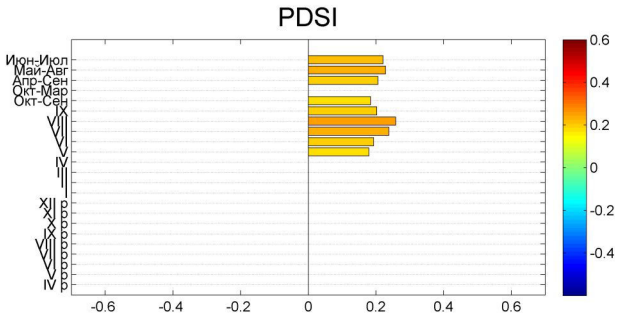

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

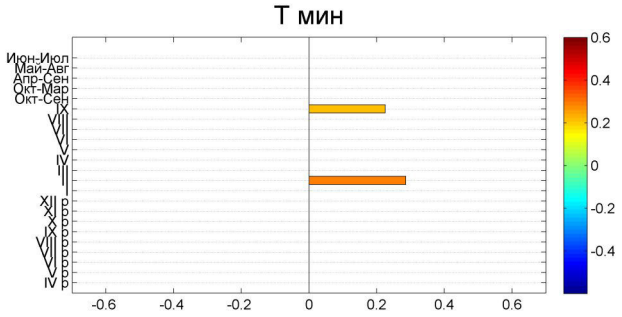

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

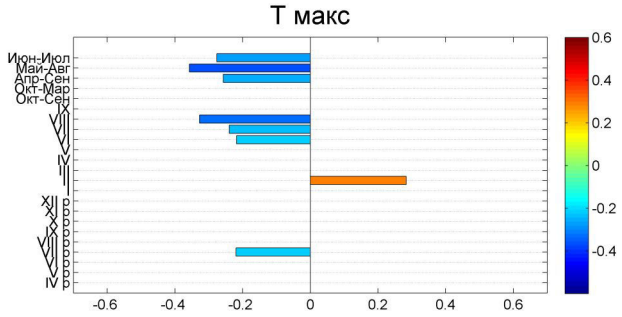

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

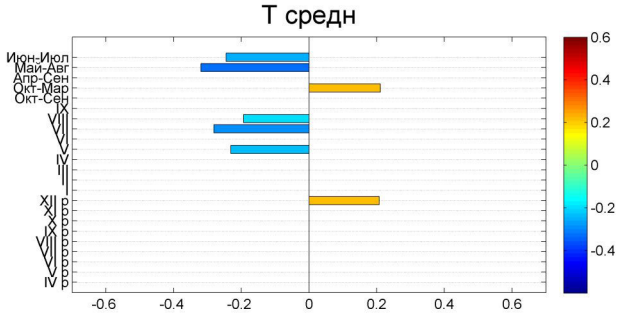

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

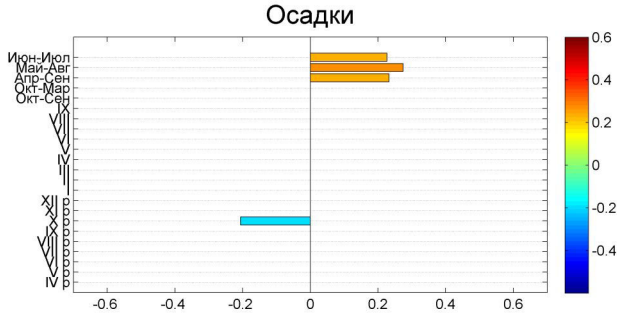

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

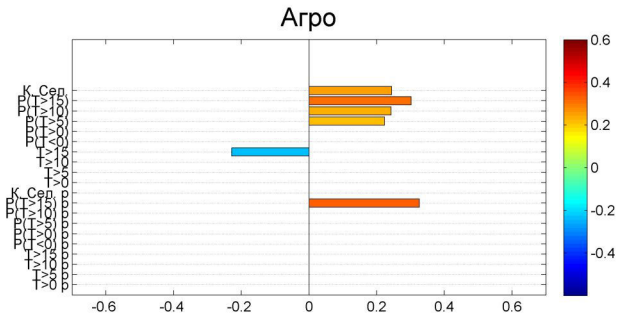
T11S

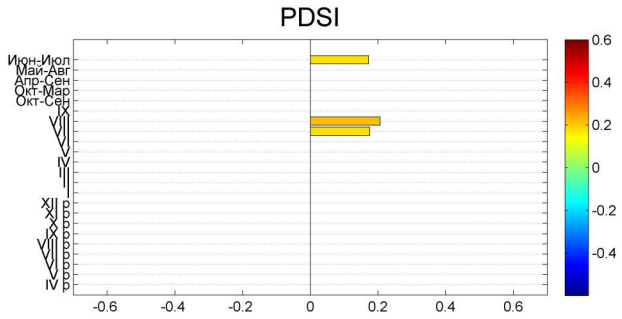

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

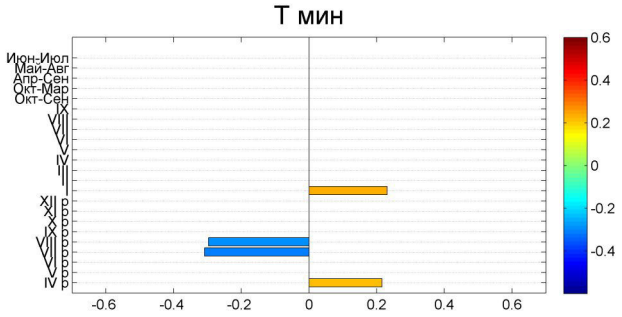

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

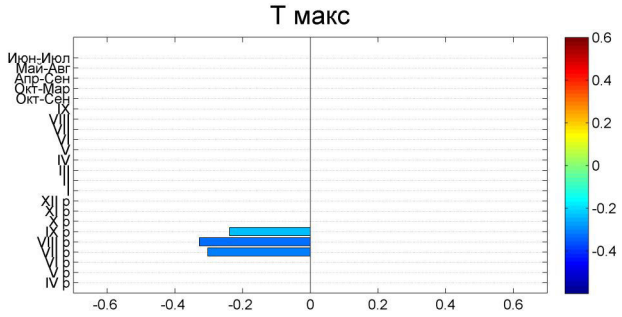

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

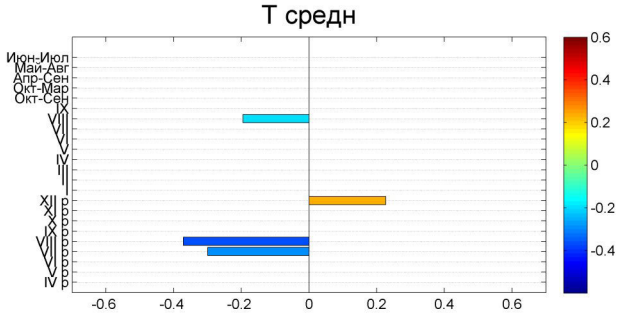

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

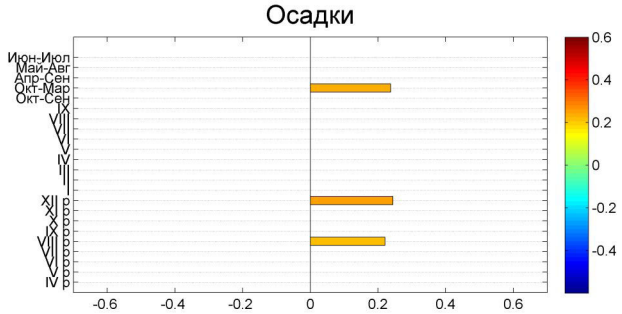

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

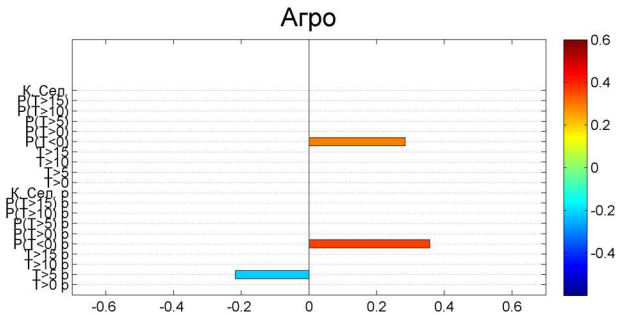
T12D

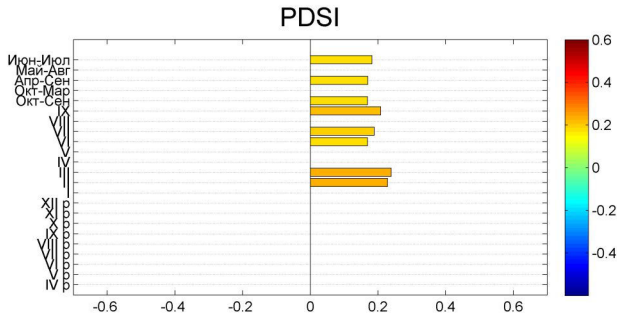

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

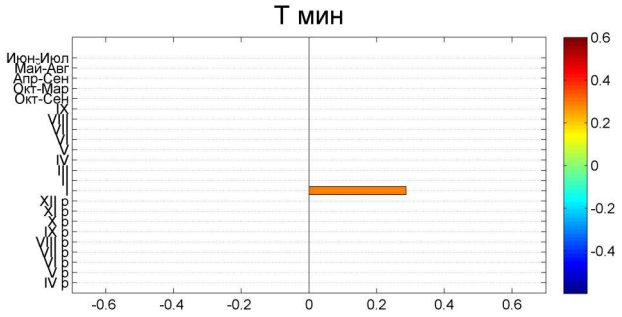

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

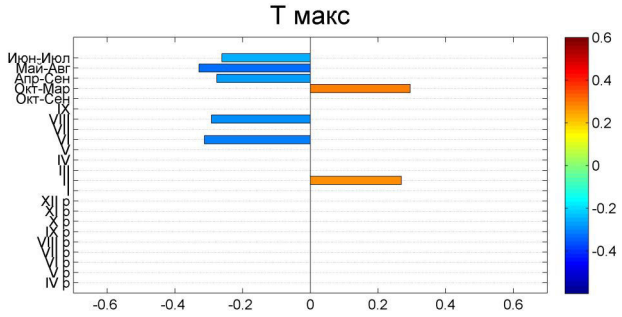

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

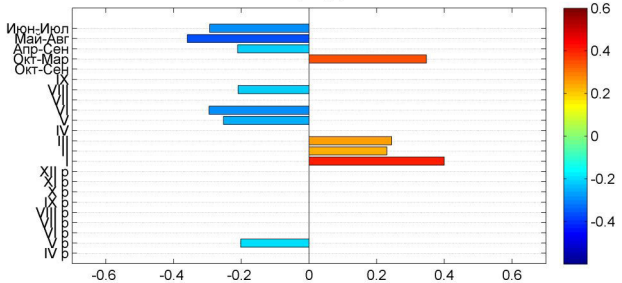

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

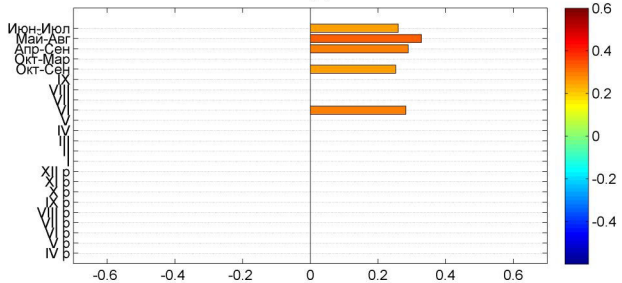

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

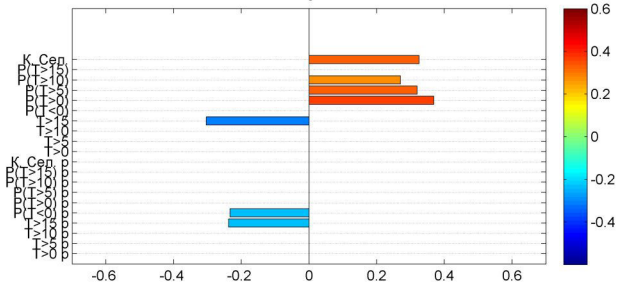
T13S

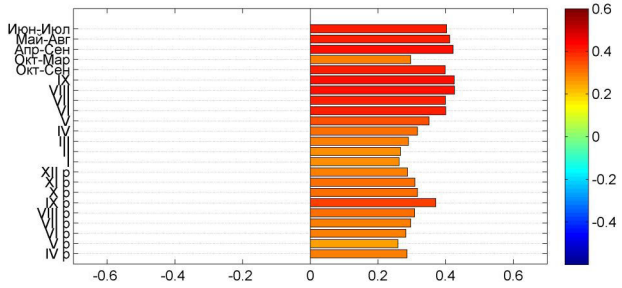

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

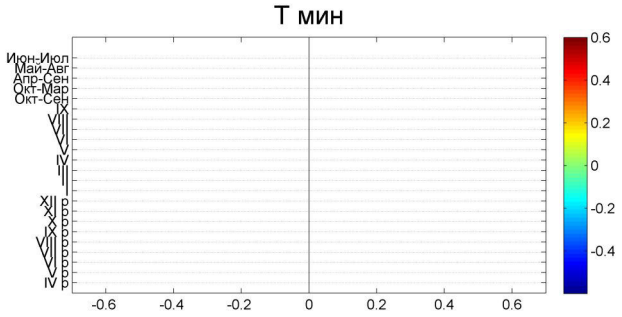

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

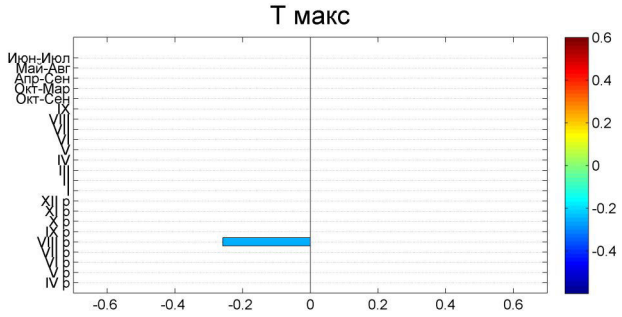

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

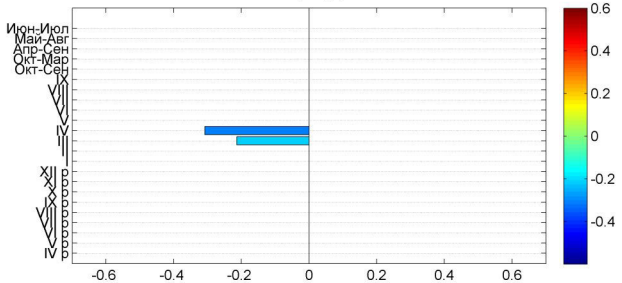

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

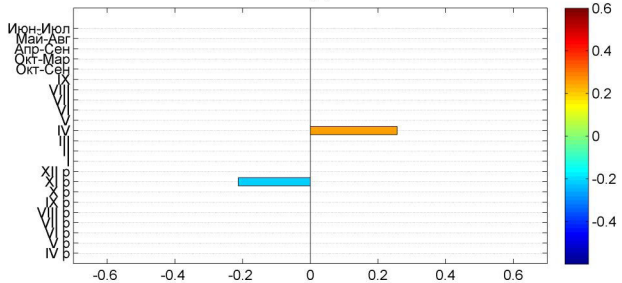

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

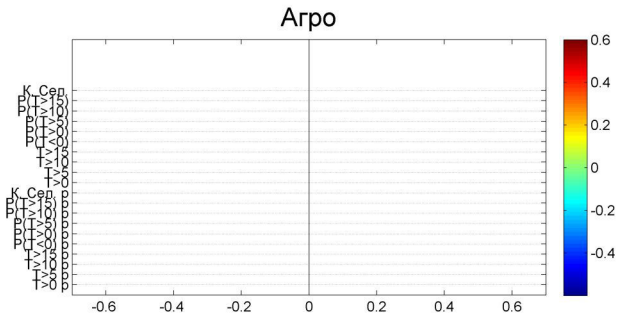
V01D

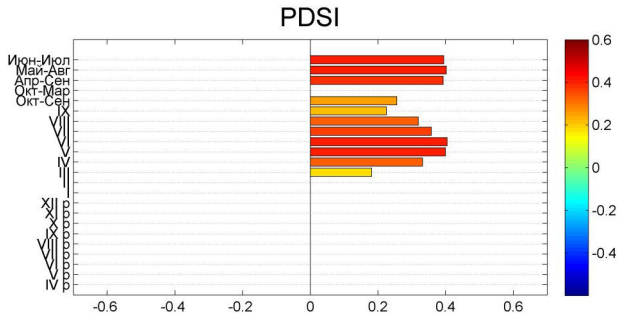

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

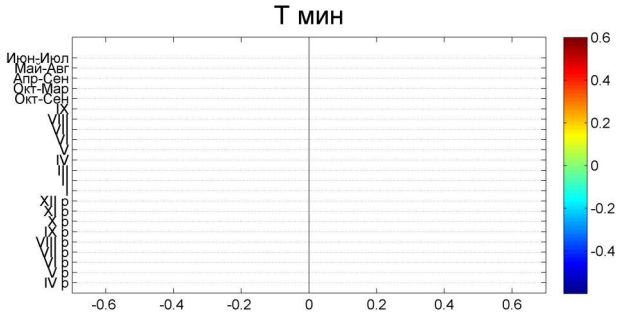

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

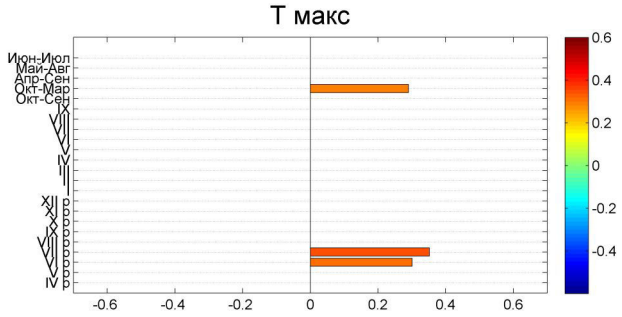

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

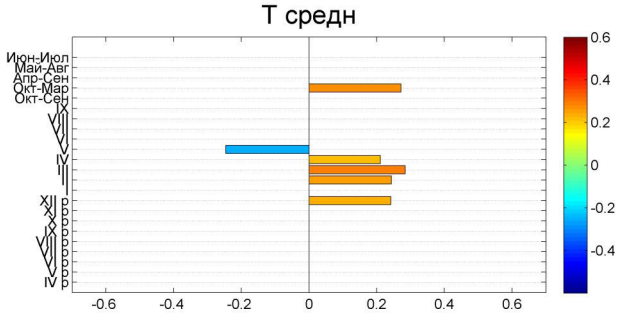

Агро
К Сен
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сен p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

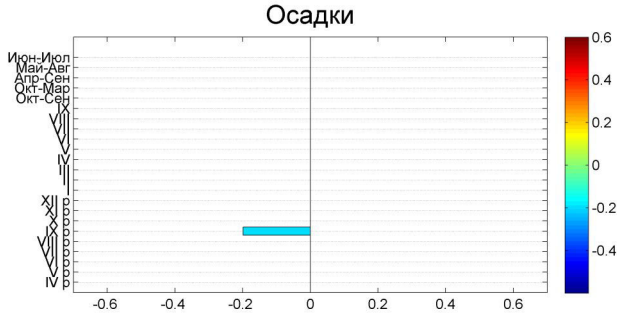

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

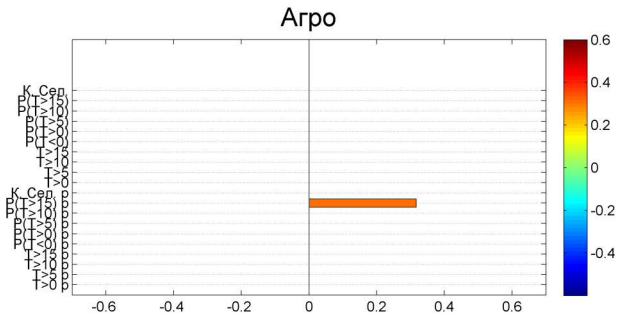
V02S

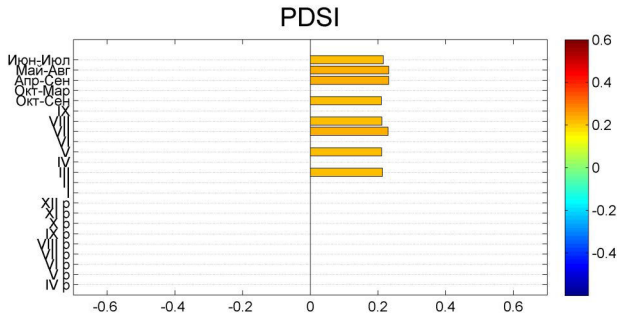

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

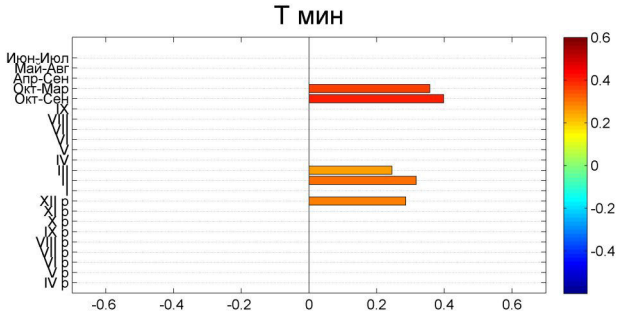

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

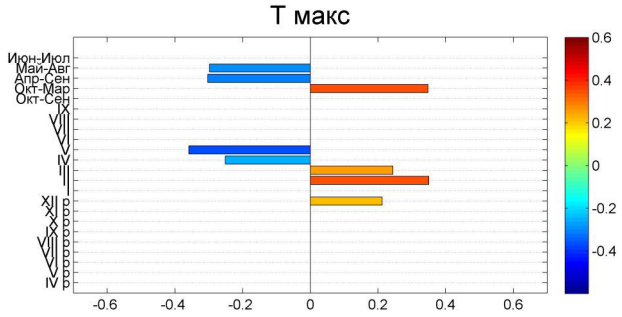

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

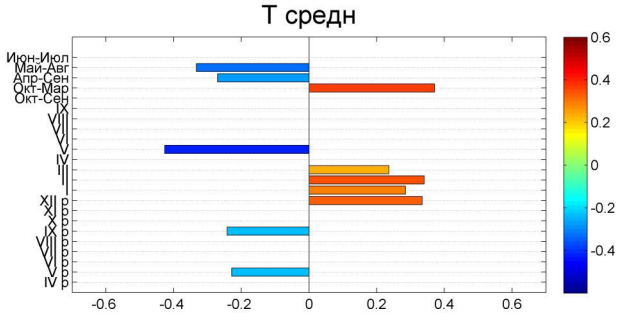

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

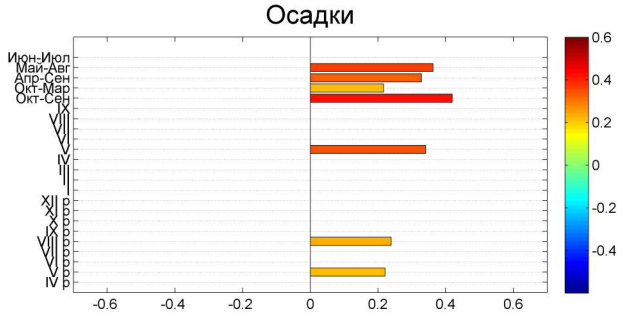

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

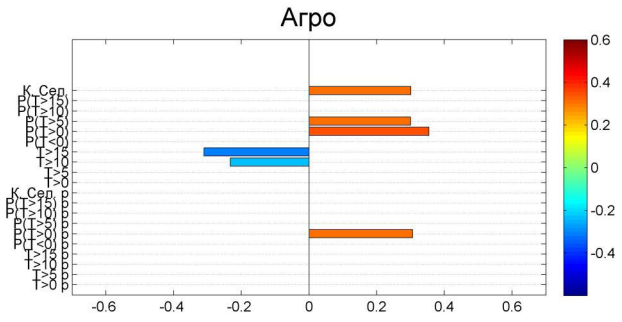
V03S

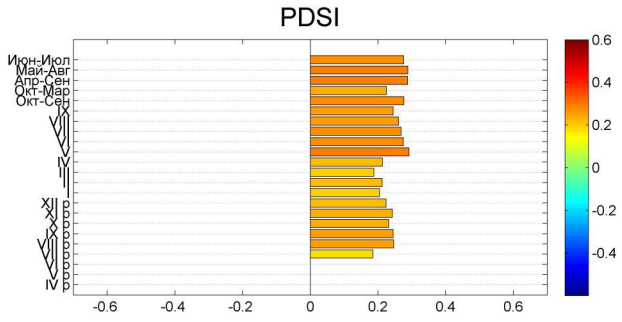

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

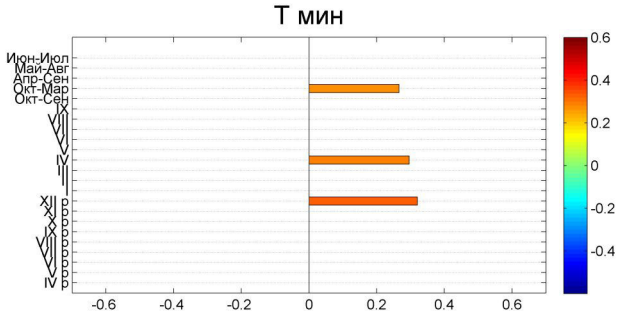

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

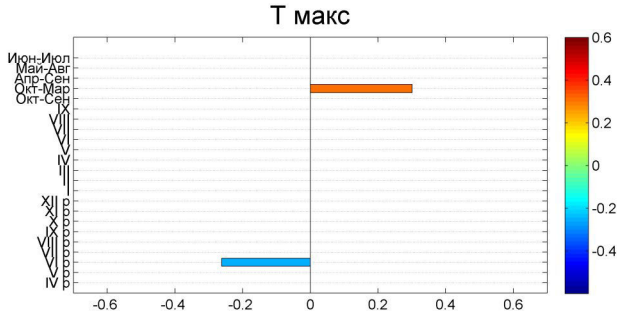

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

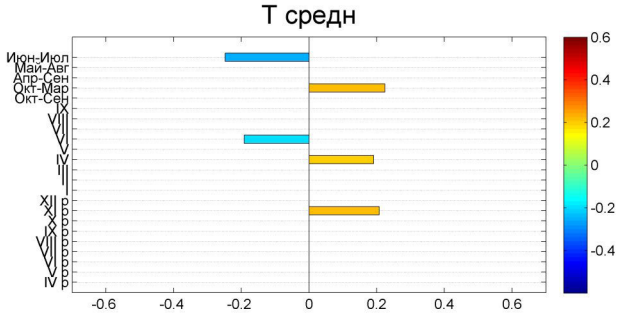

Агро
K Сед
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сед p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

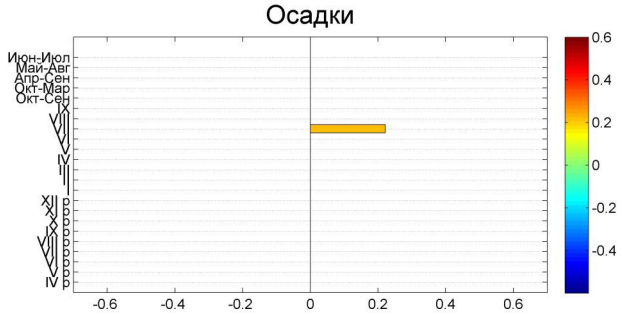

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

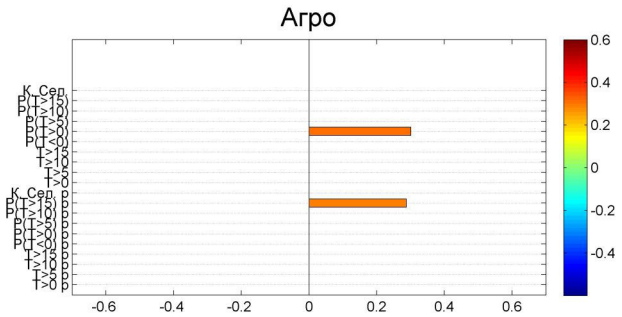
VYAZ

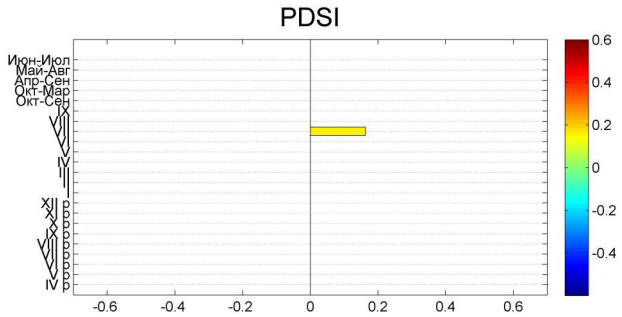

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

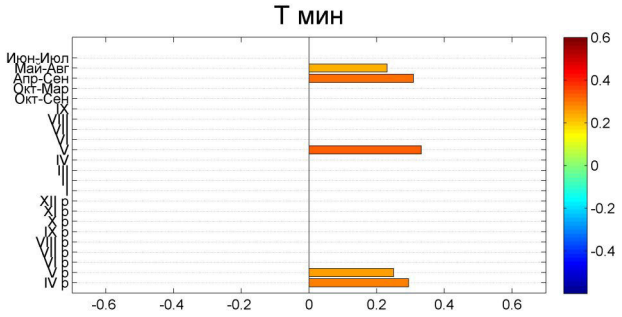

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

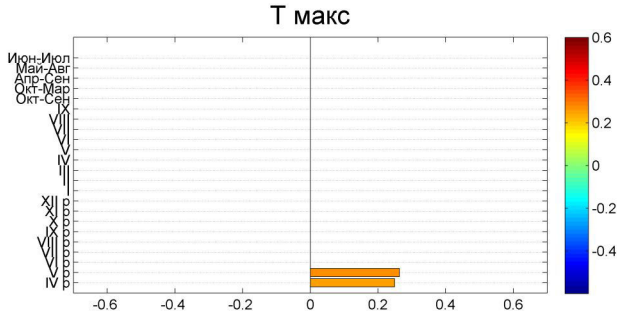

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

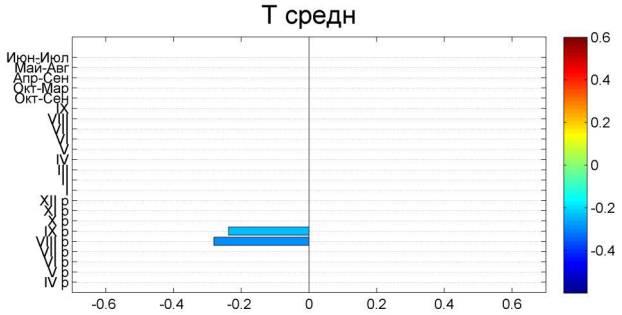

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

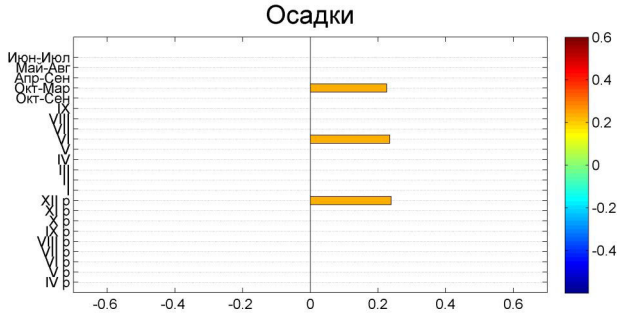

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

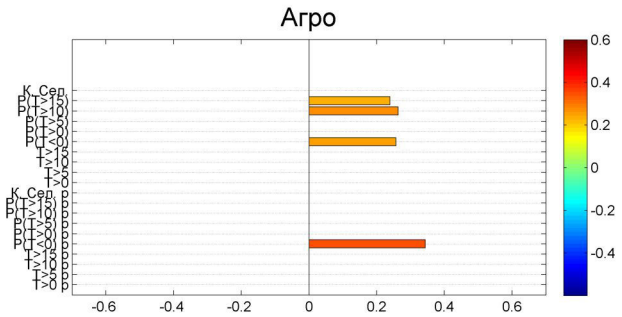
W01D

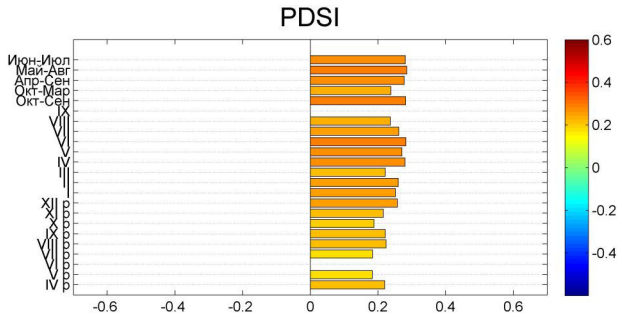

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

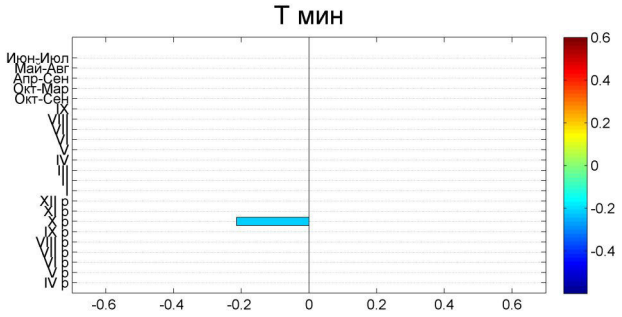

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

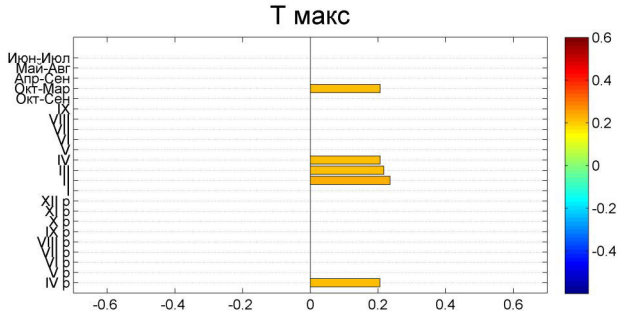

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

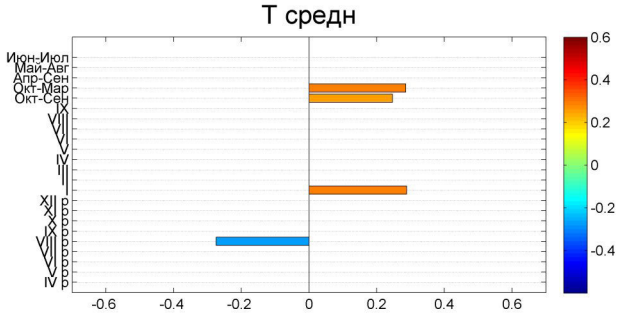

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

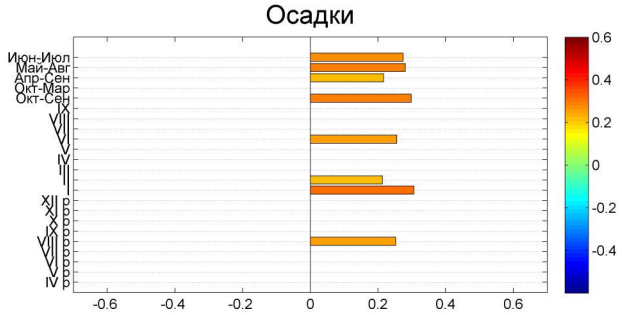

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

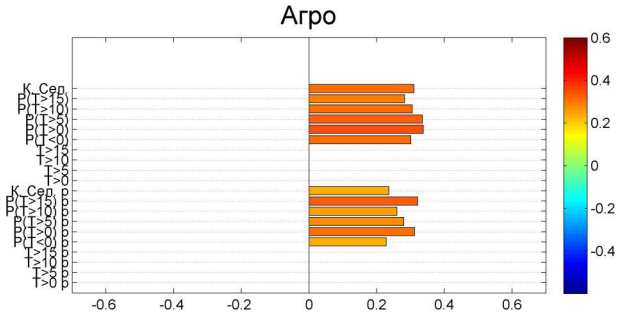
X01S

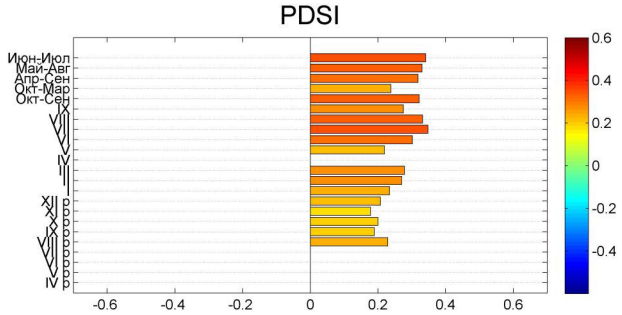

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

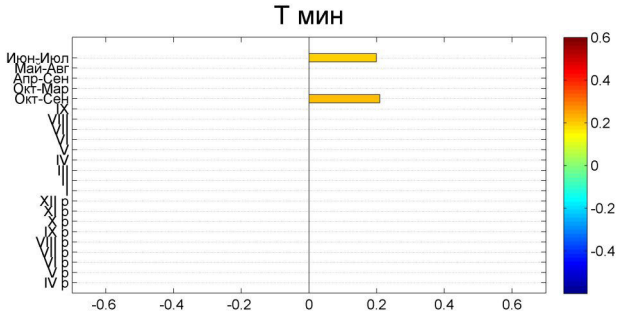

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

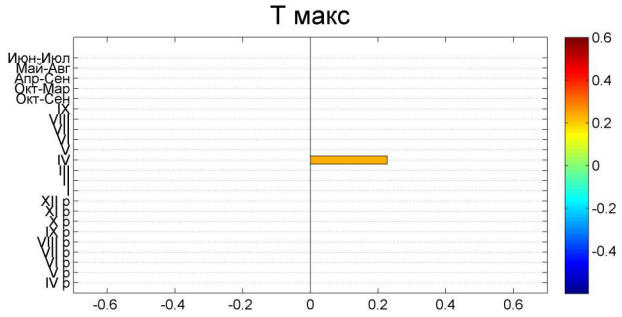

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

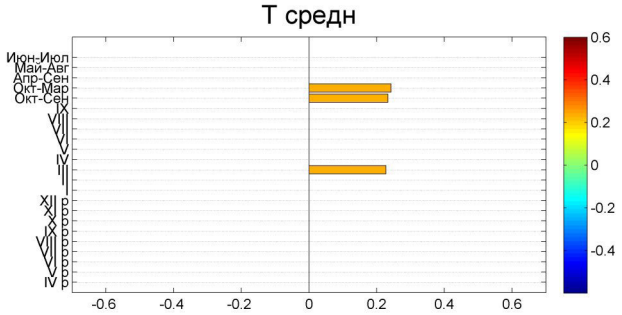

Агро
K Сен
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сен p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

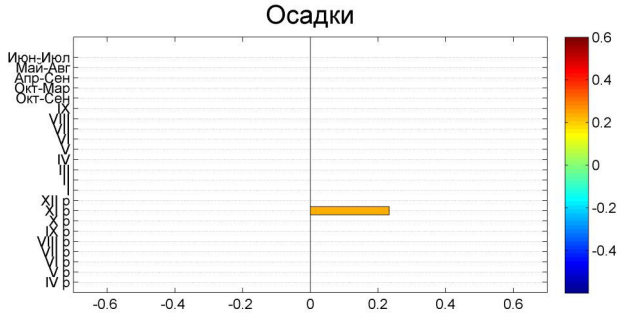

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

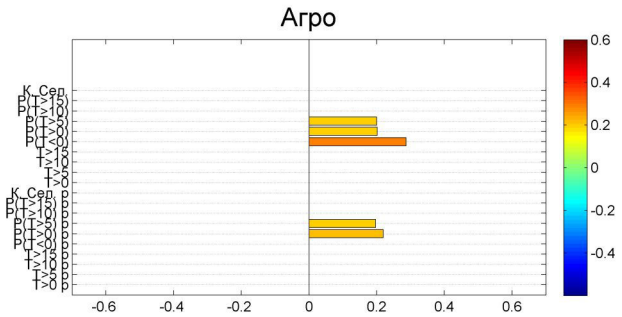
X02S

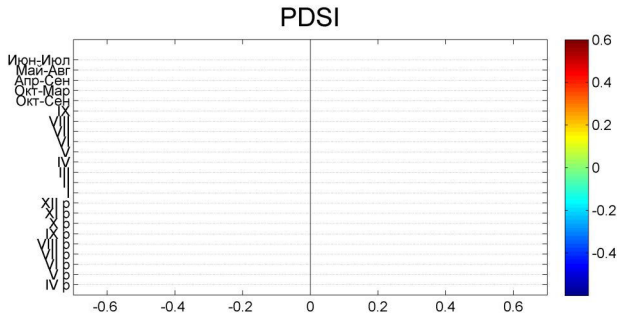

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

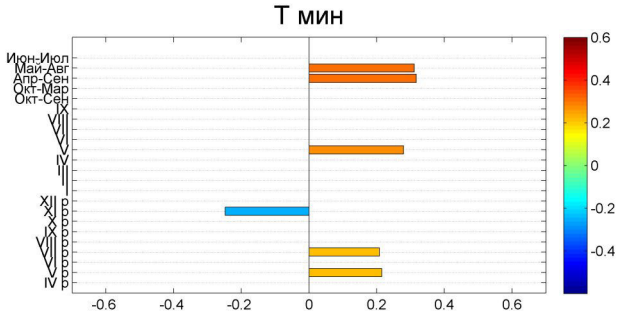

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

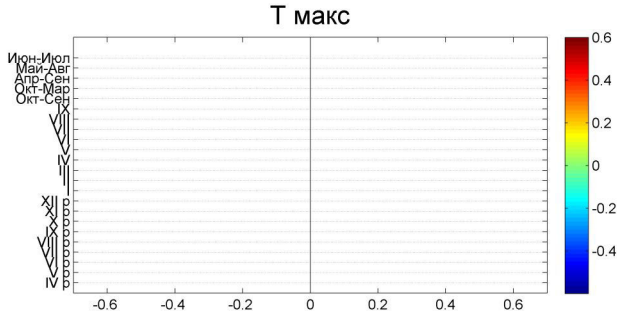

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

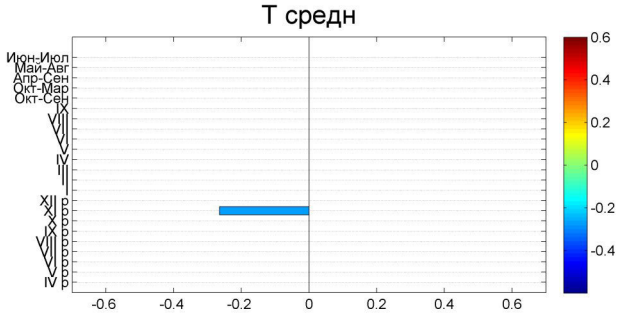

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

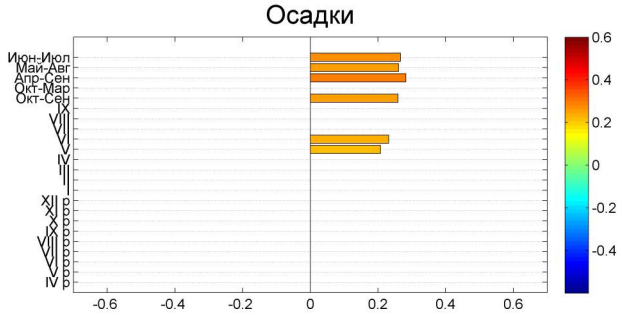

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

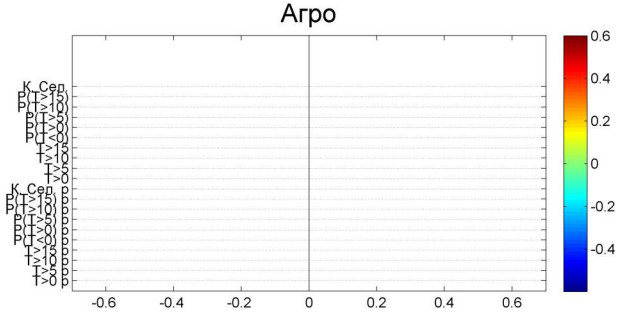
X03S

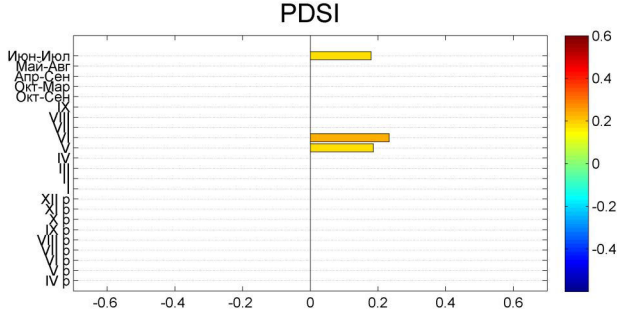

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

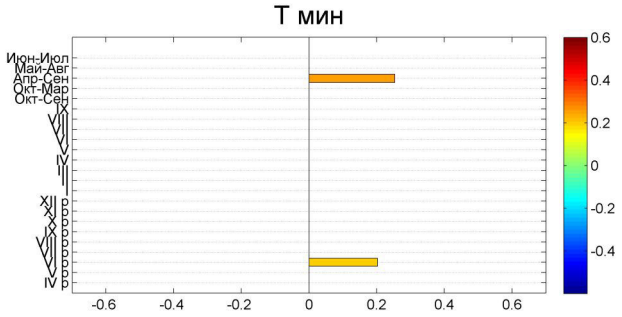

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

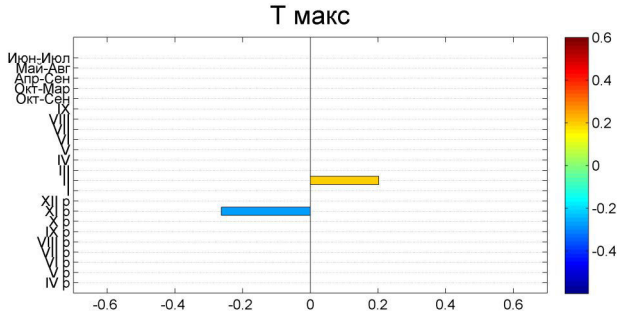

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

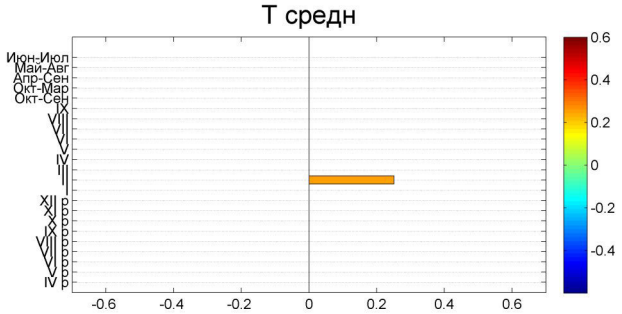

Агро
K Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

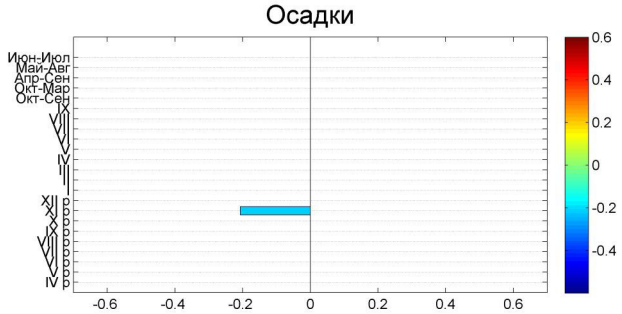

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

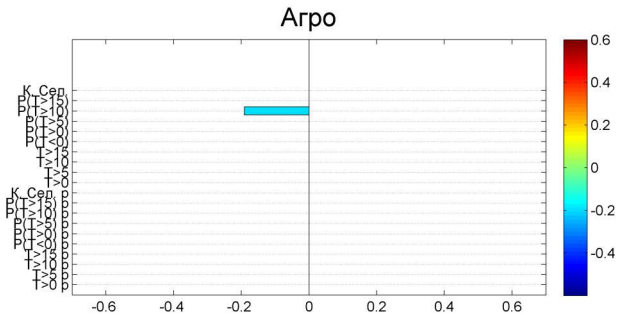
X04S

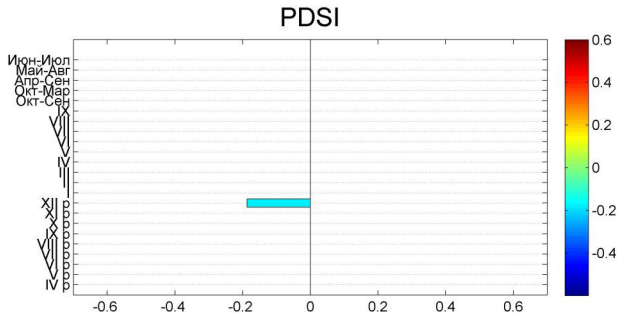

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

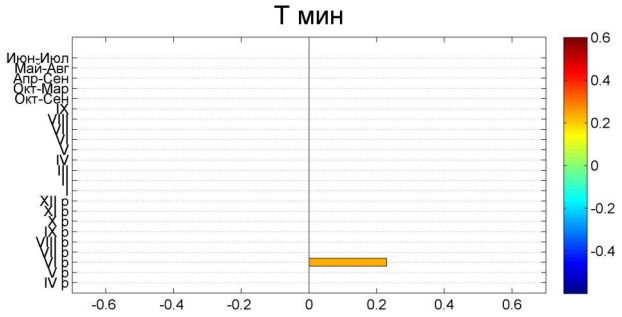

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

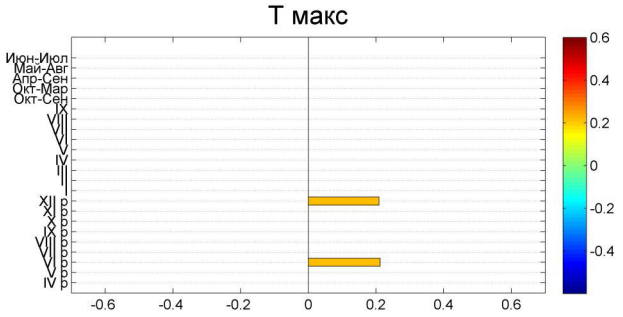

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

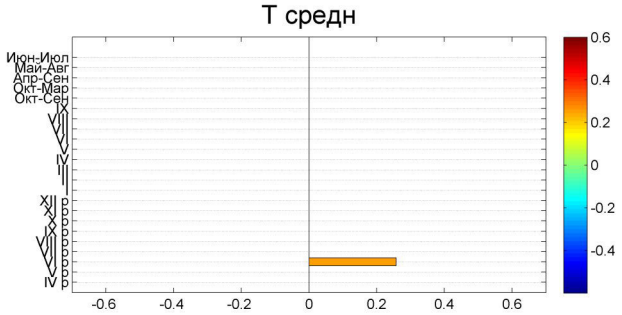

Агро
К Сед
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сед p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

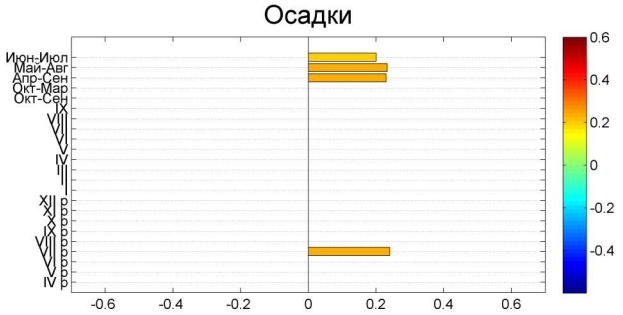

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

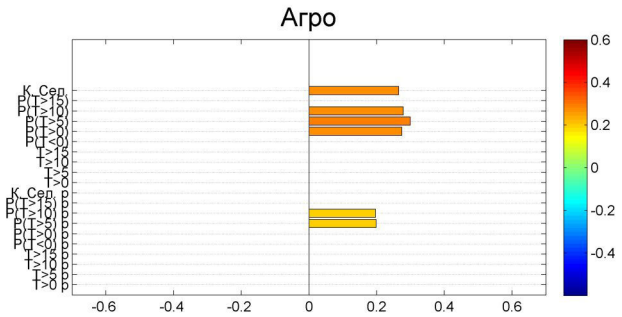
X05S

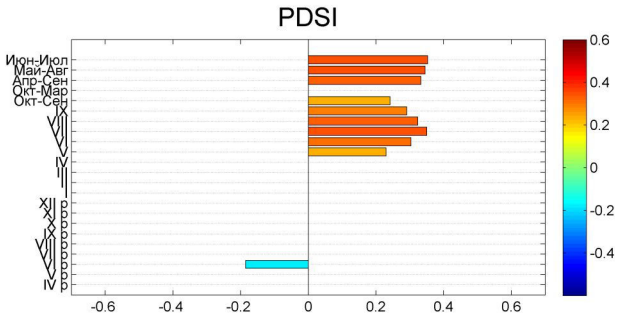

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

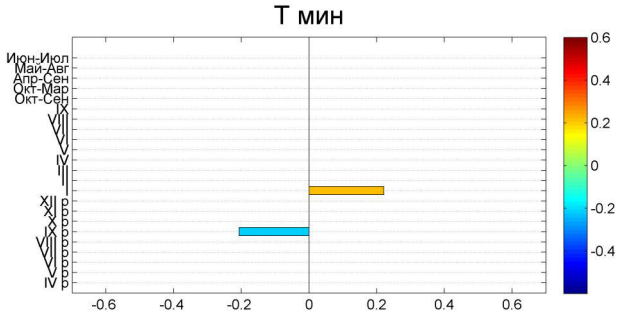

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

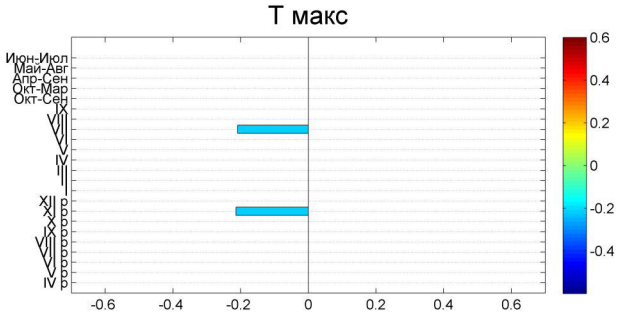

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

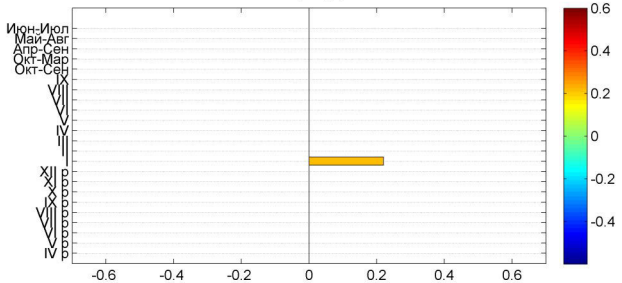

Агро
K Сен
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сен p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

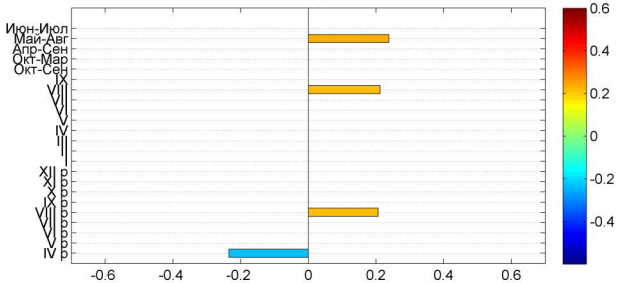

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

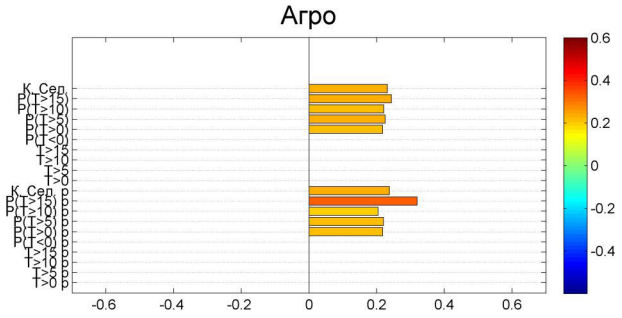
X06S

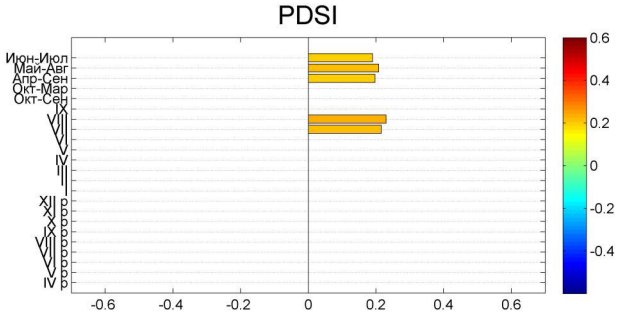

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

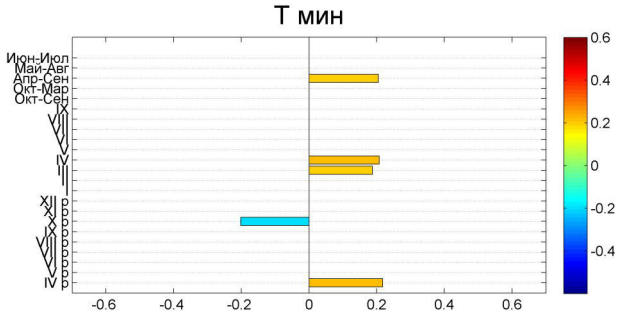

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

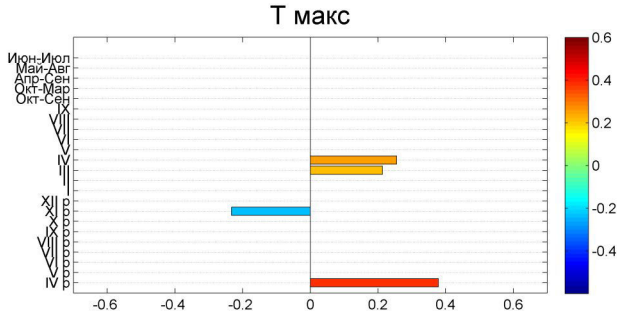

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

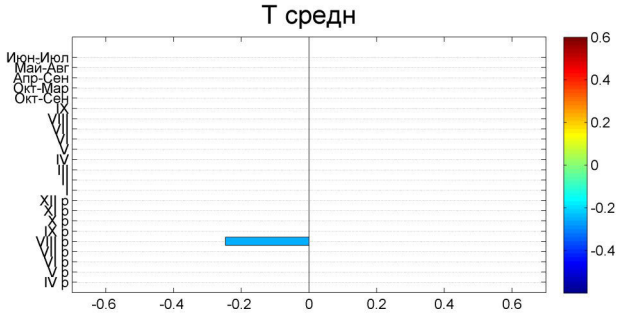

Агро
K Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

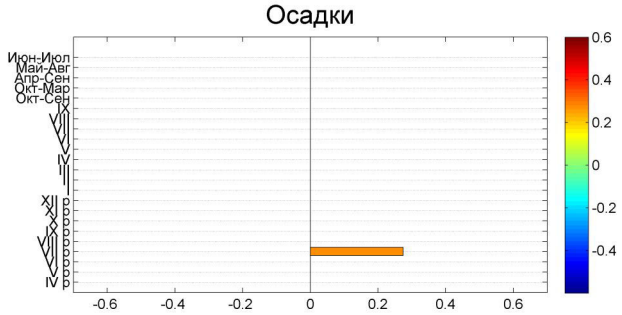

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

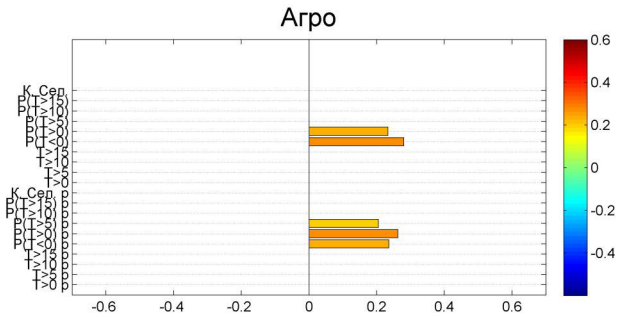
X07S

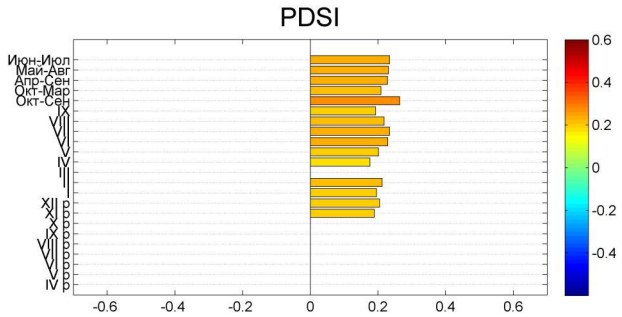

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

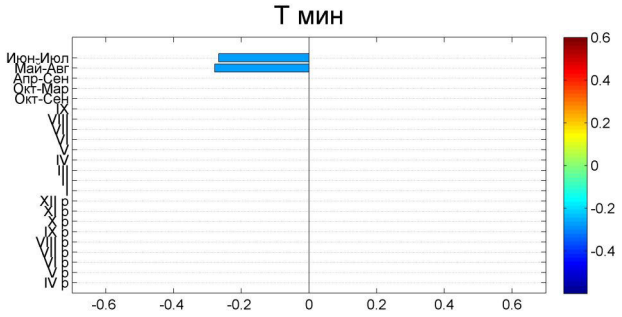

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

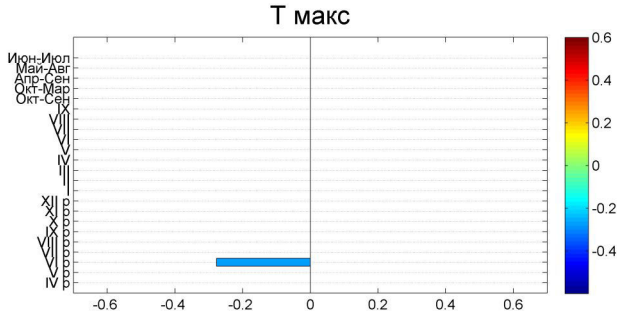

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

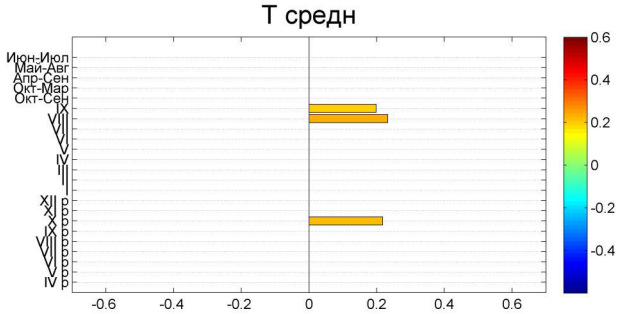

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

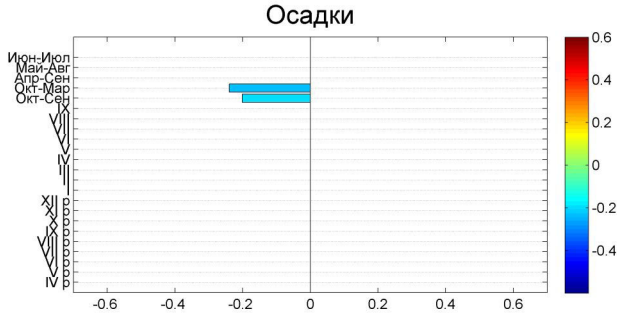

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
III
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

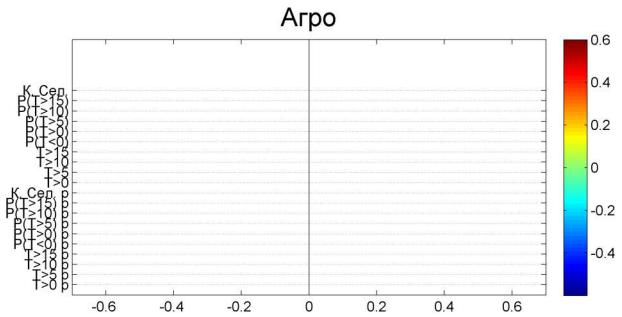
XOL

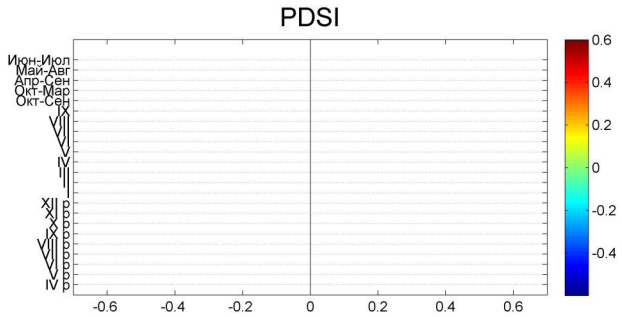

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

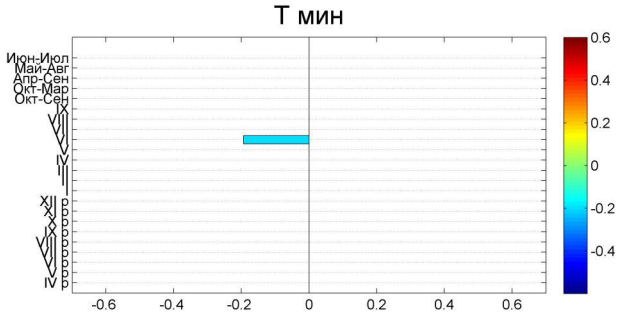

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

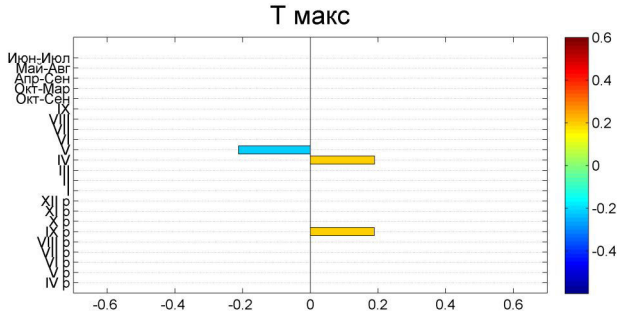

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

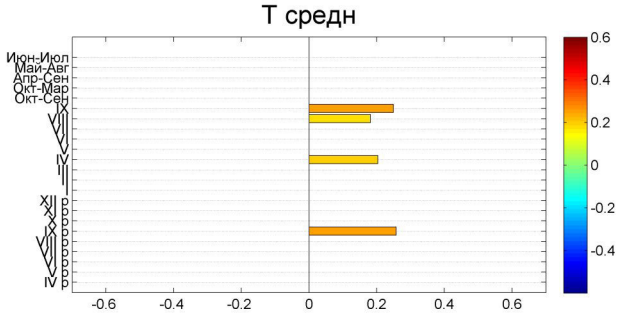

Агро
K Сел
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сел p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

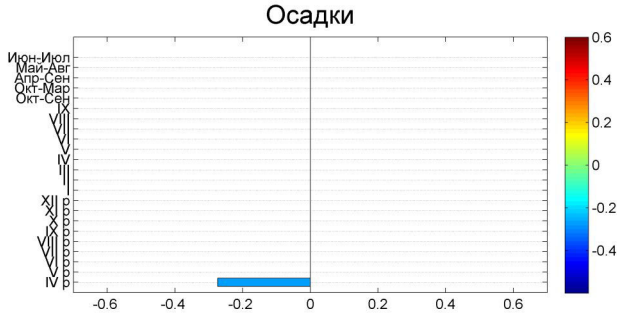

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

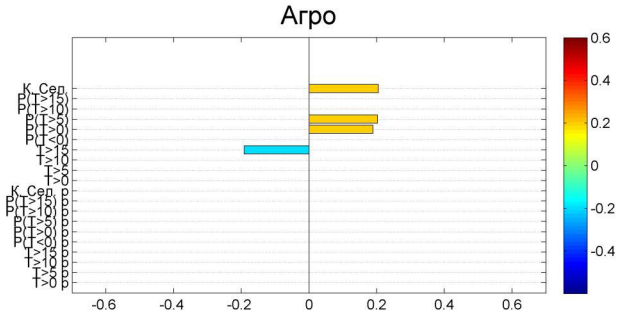
Y01S

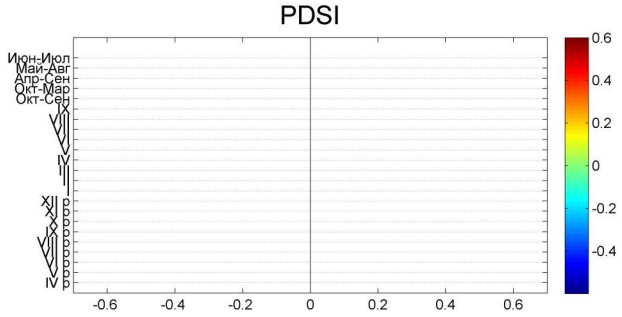

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

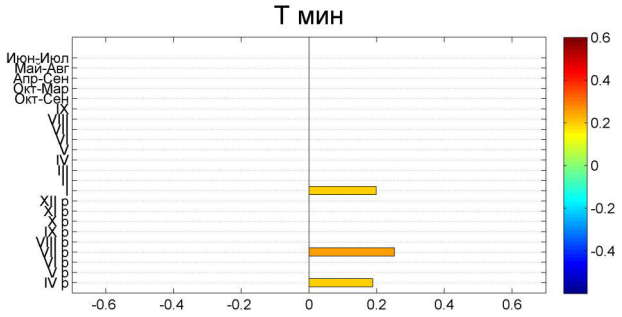

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

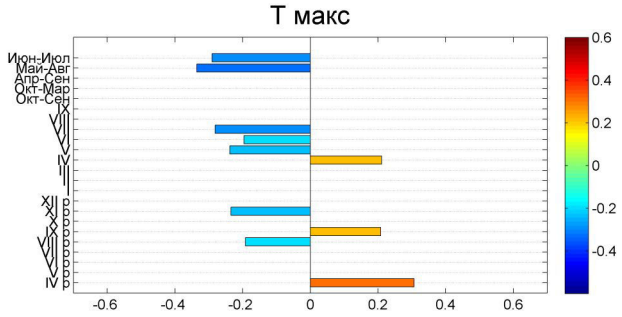

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

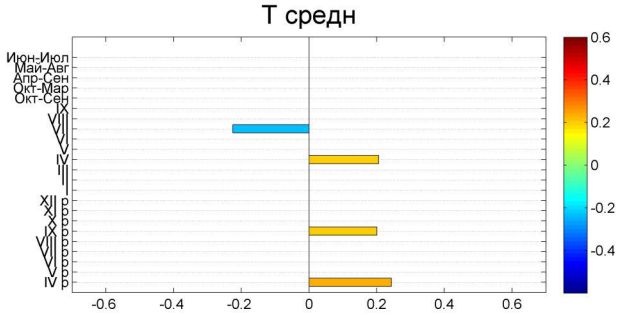

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

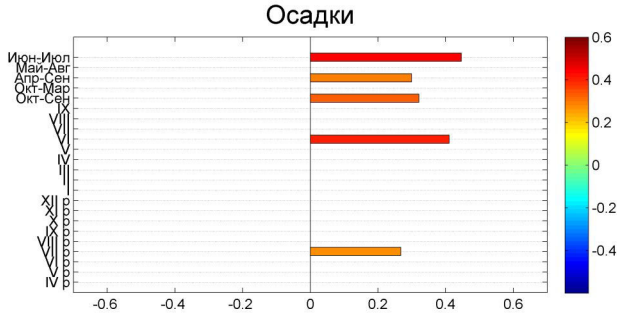

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

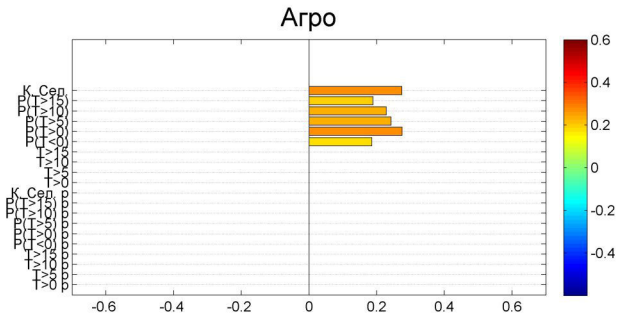
Y02S

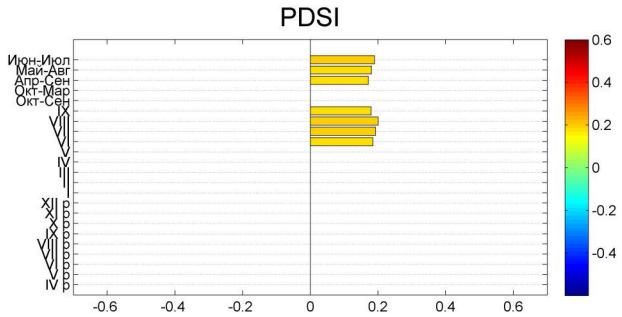

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

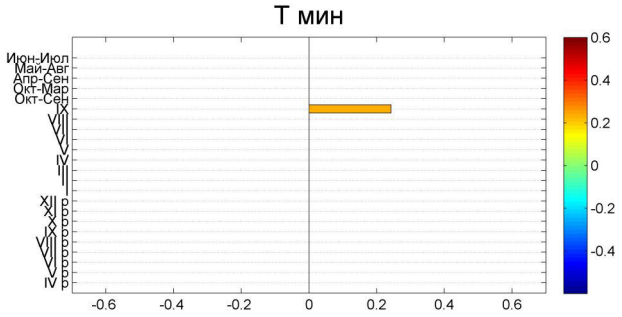

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

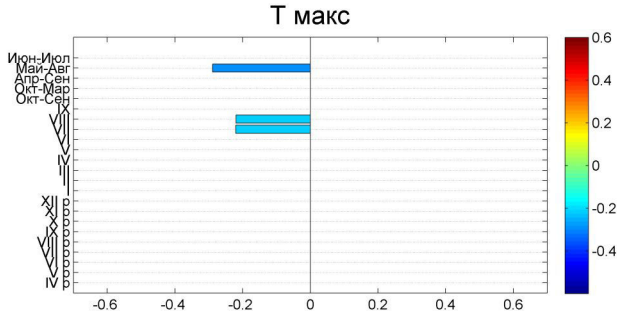

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

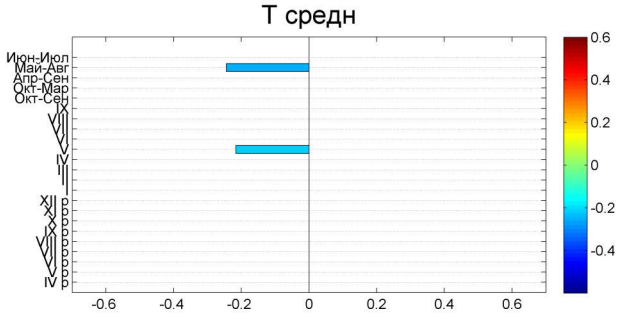

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

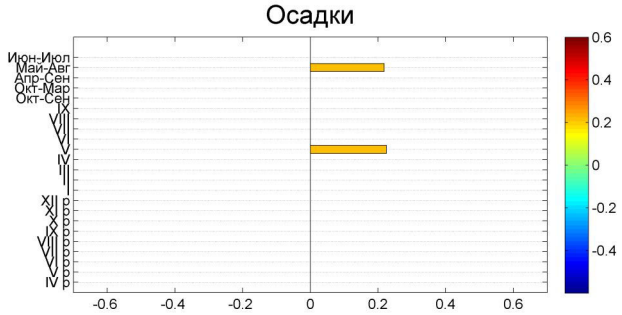

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VI
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

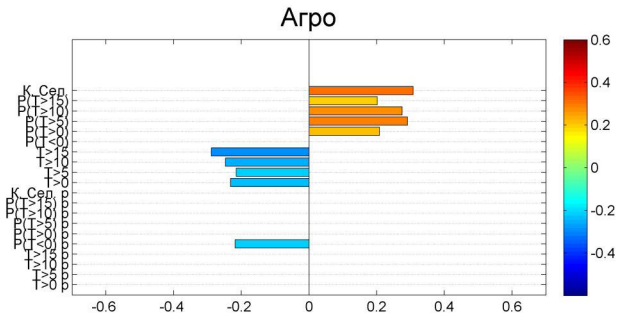
Z01S

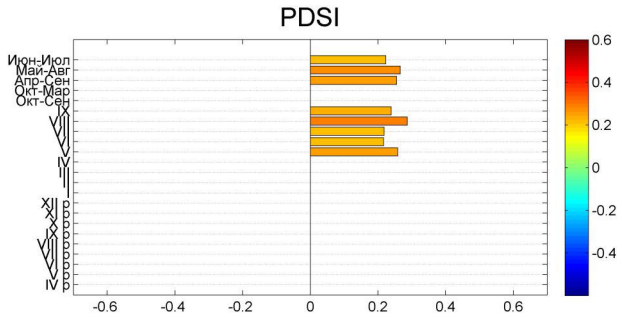

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

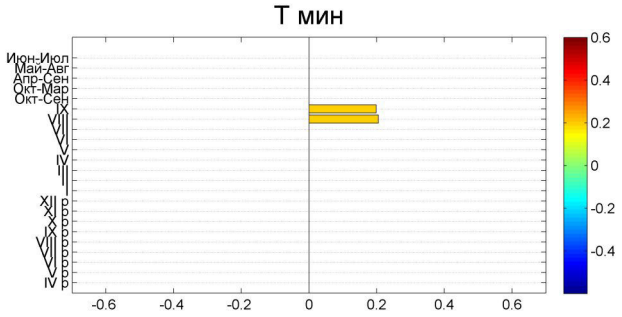

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

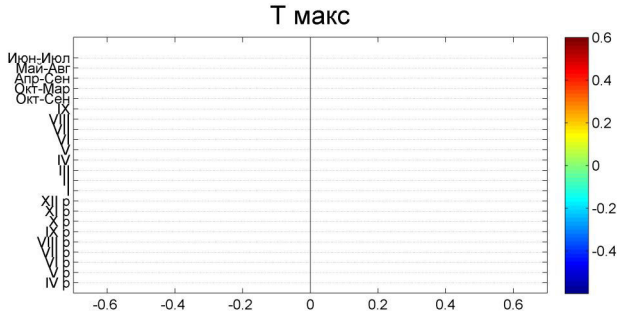

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

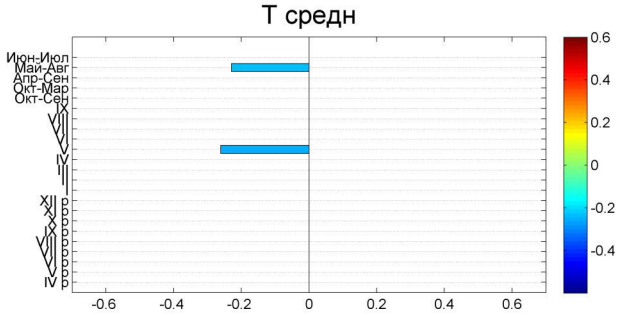

Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

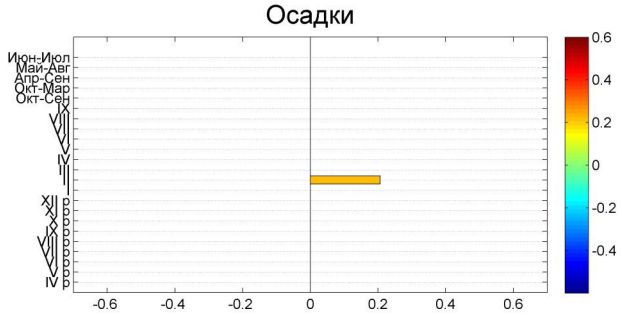

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

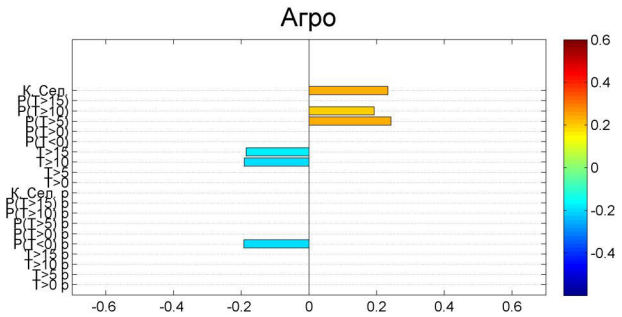
Z02S

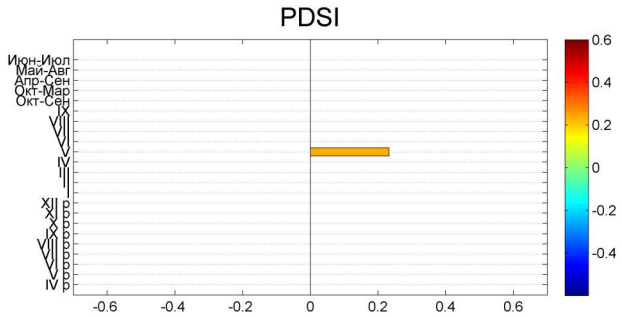

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

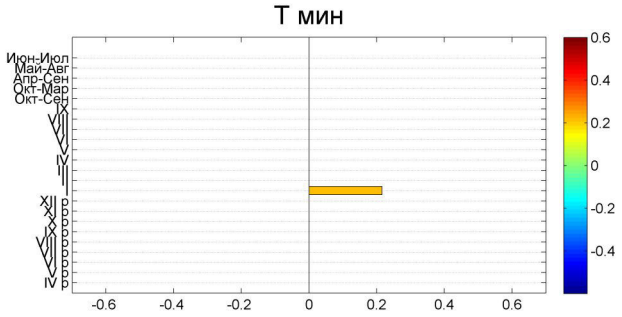

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

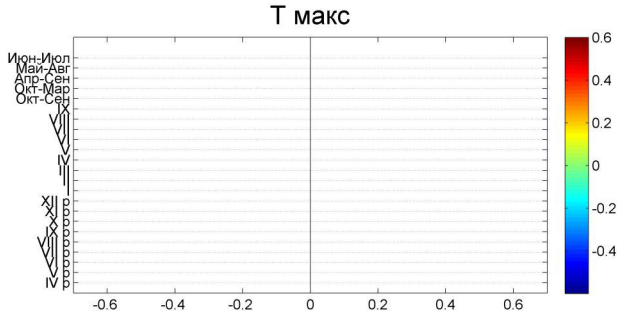

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

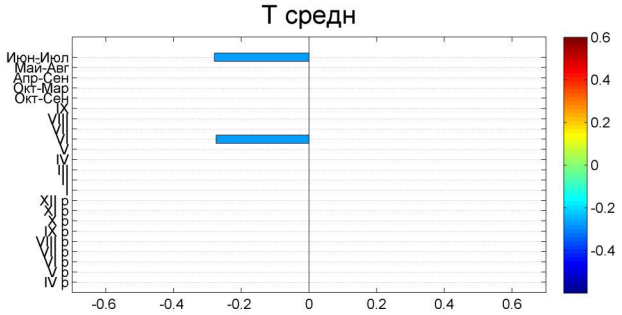

Агро
K Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
K Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

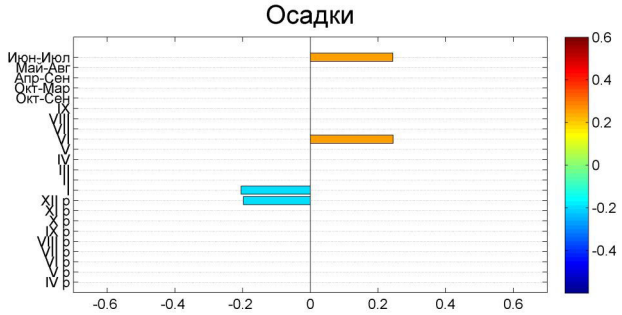

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

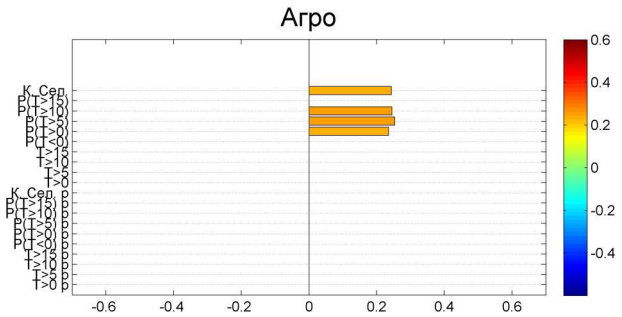
Z03E

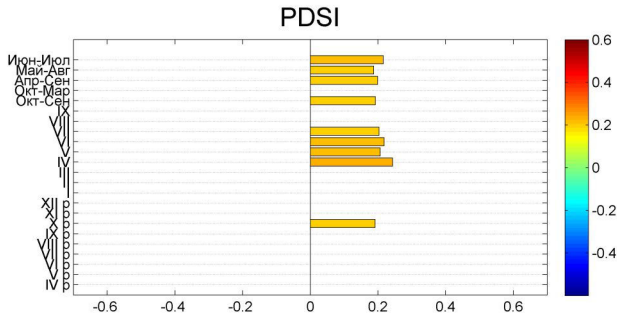

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

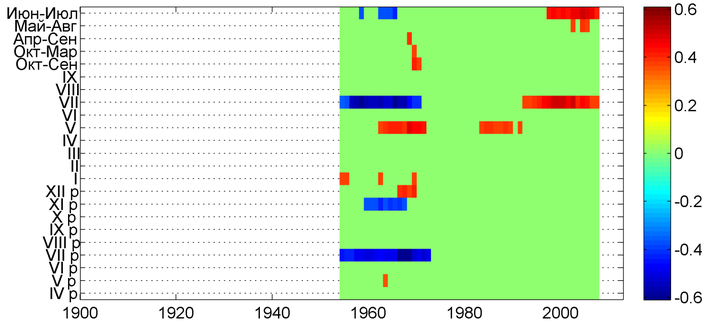

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4


Агро
К Сеп
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К Сеп p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

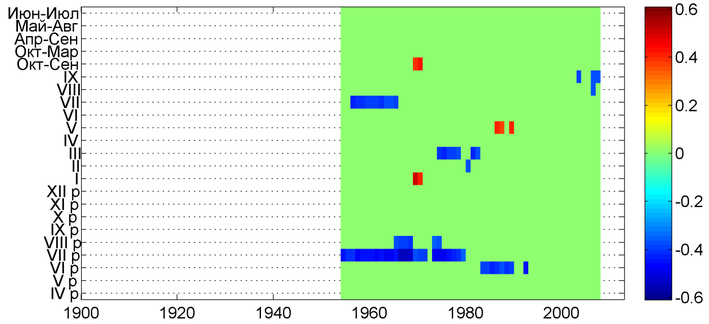

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VII
V
IV
II
XII p
XI p
X p
IX p
VII p
V p
IV p
-0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6
0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4

A05S

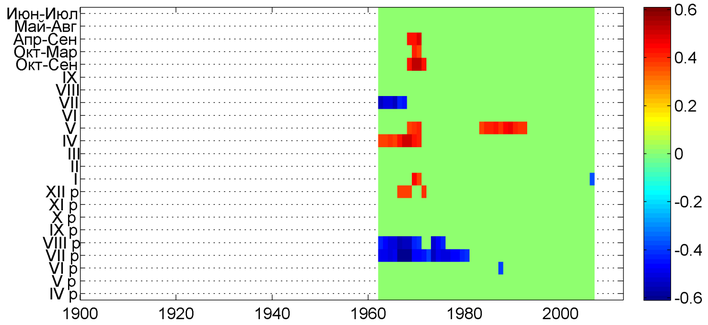
Т мин



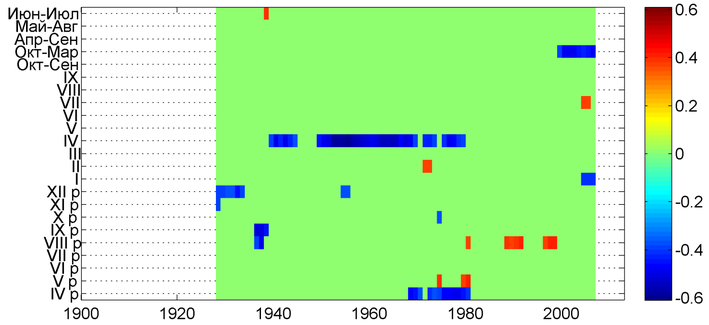
Т макс



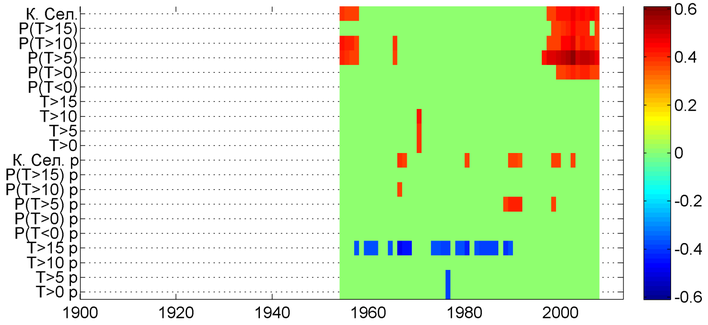
Т средн



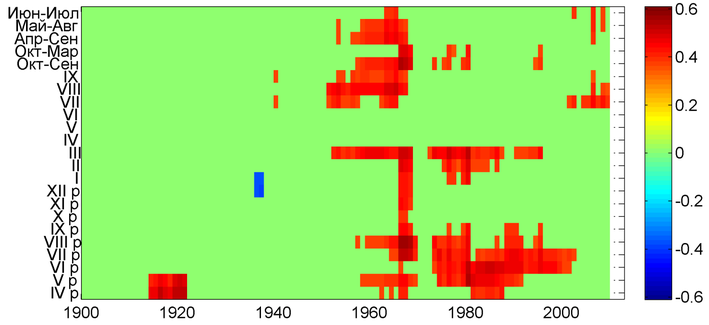
Осадки



Агро

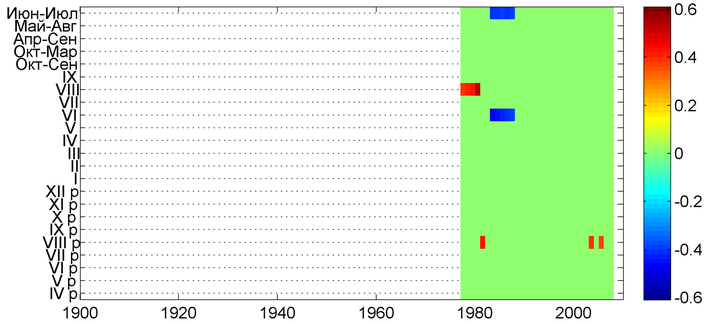


PDSI

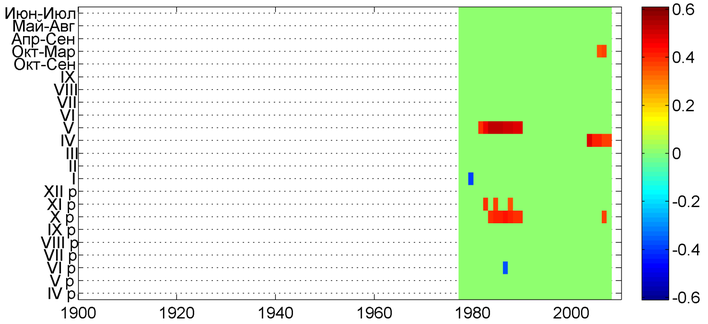


DUBK

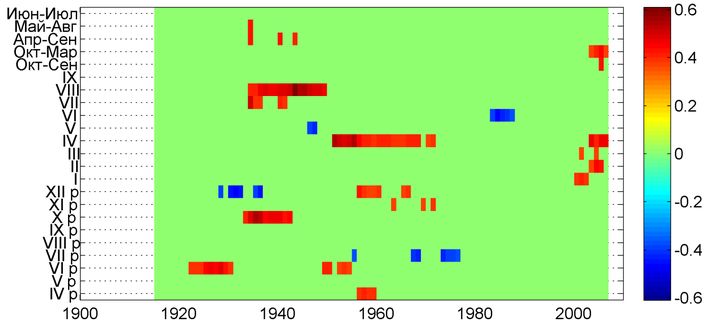
Т мин



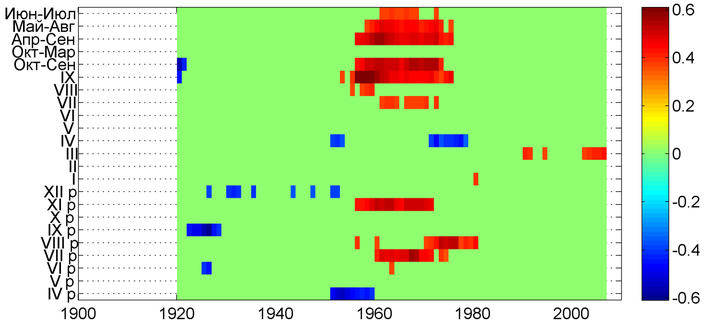
Т макс



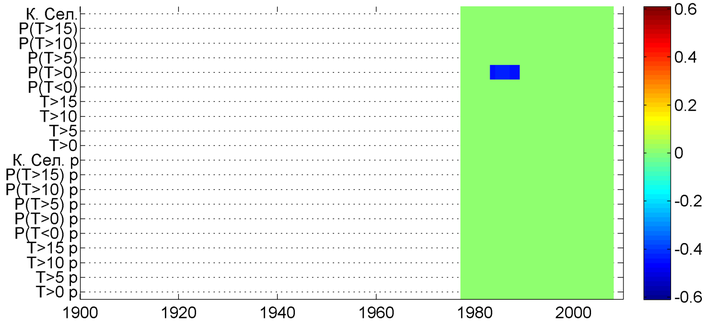
Т средн



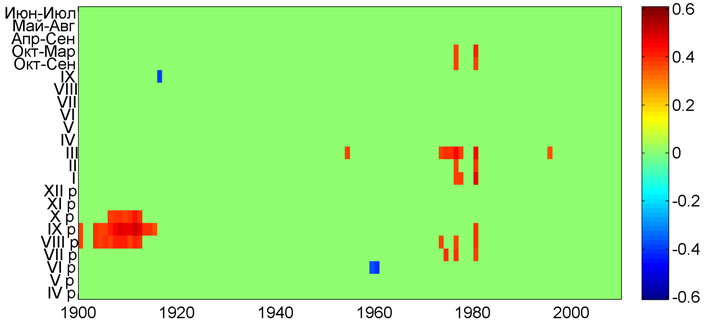
Осадки



Агро

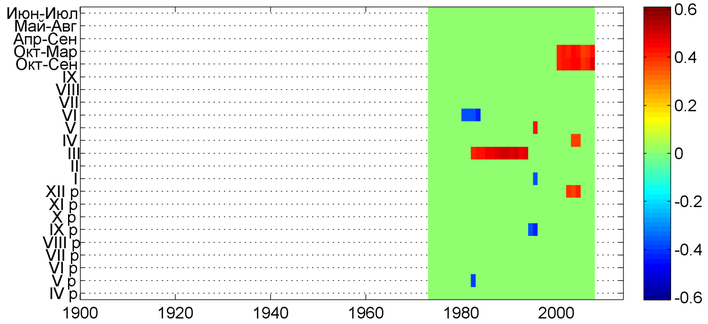


PDSI

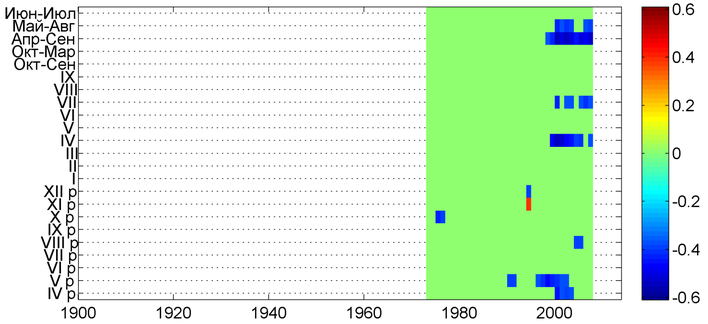


F04S

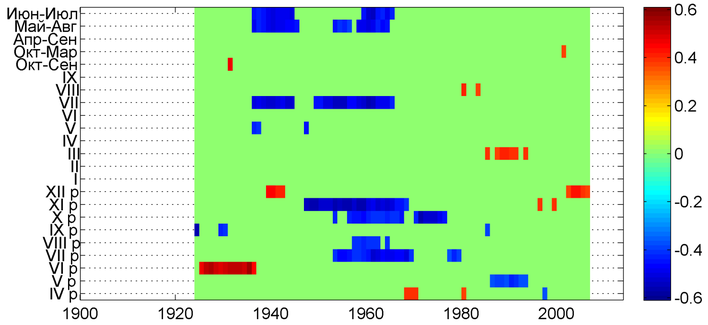
Т мин



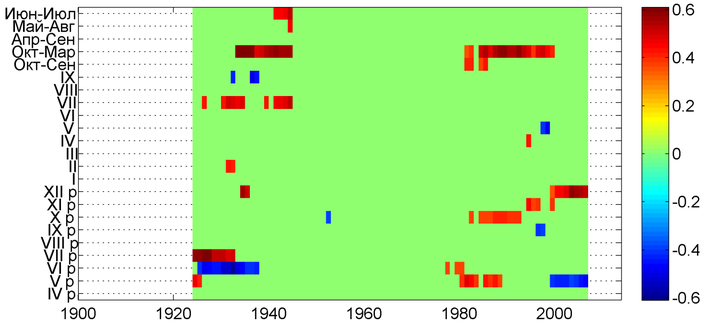
Т макс



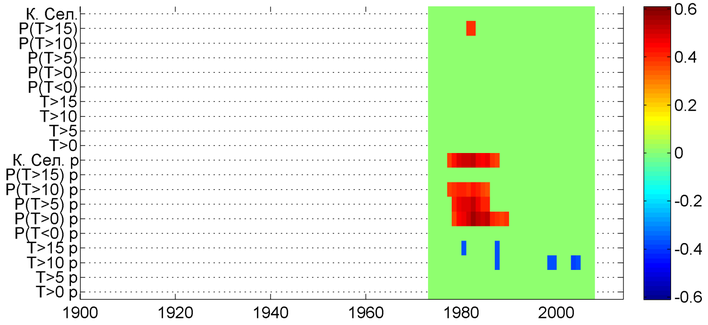
Т средн



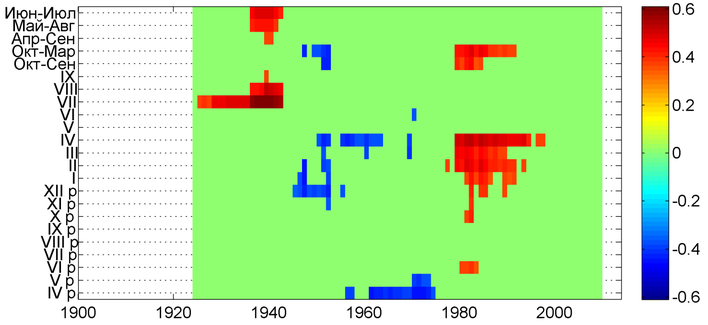
Осадки



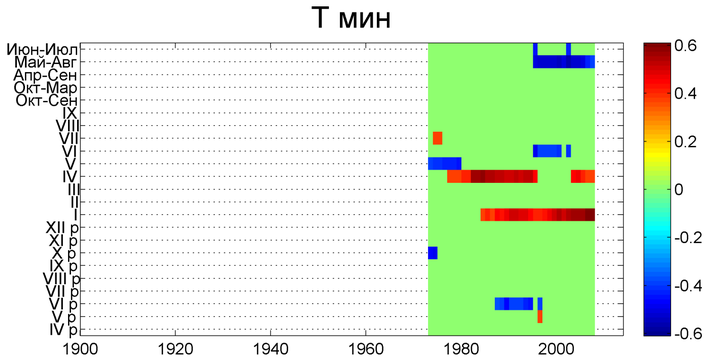
Агро

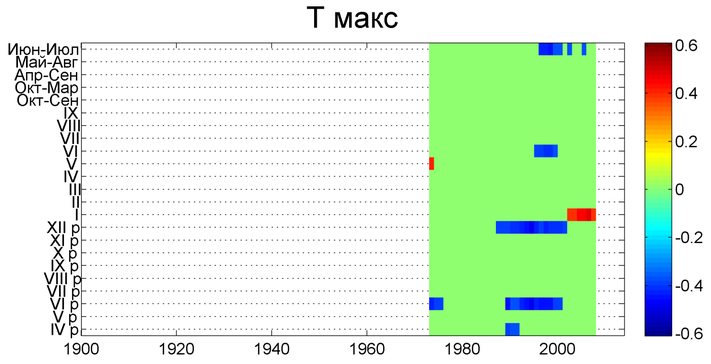


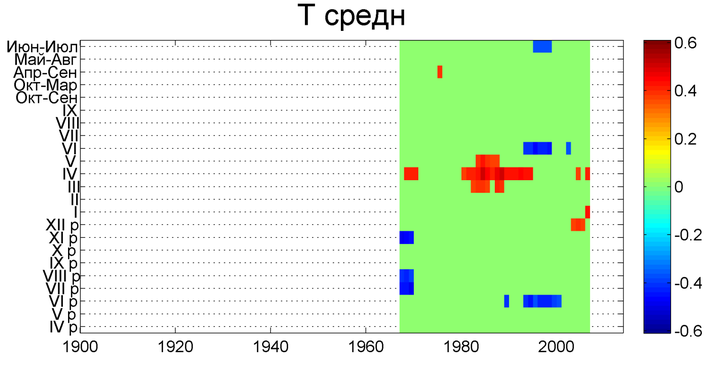
PDSI

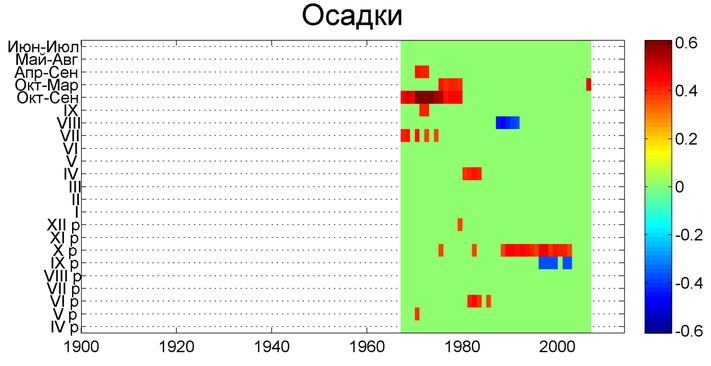


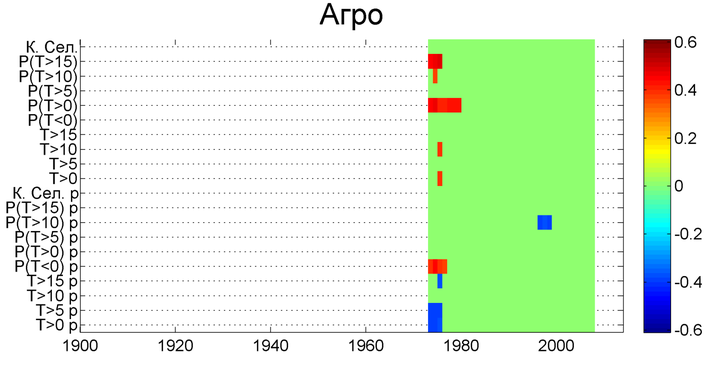
F06E

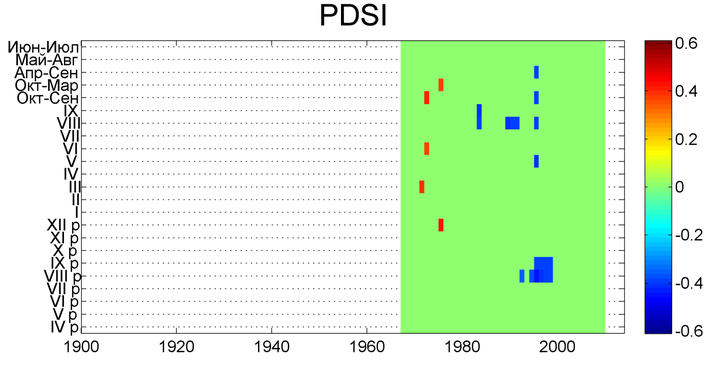

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

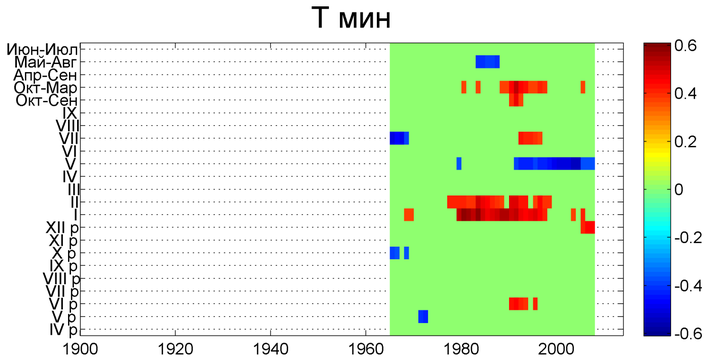

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

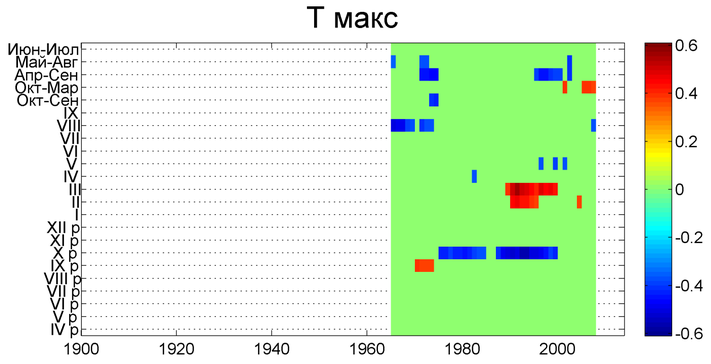

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

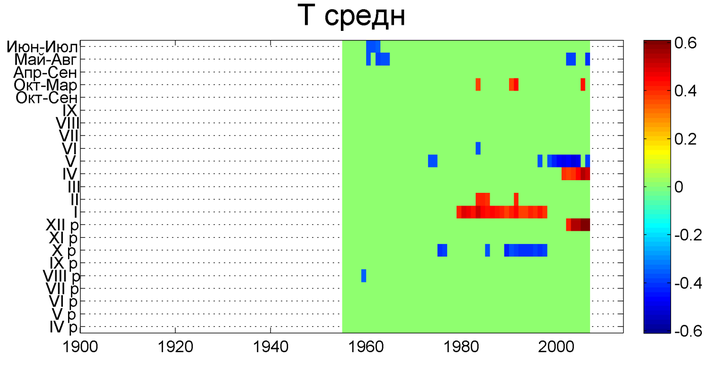

Агро
К. Сел.
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К. Сел. p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

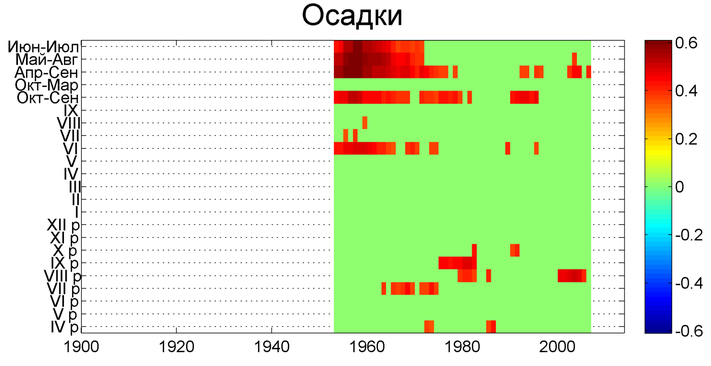

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

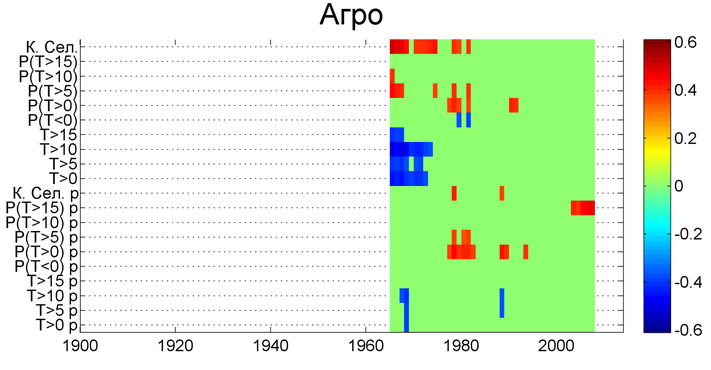
H12E

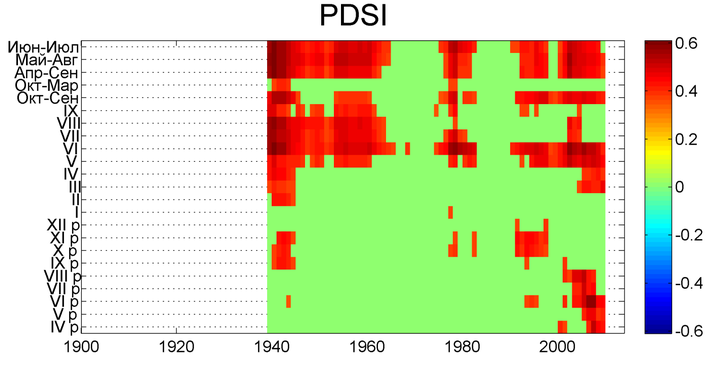

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

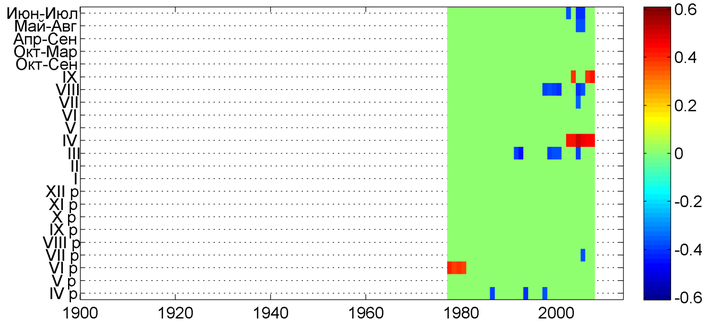

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Агро
К. Сел.
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К. Сел. p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

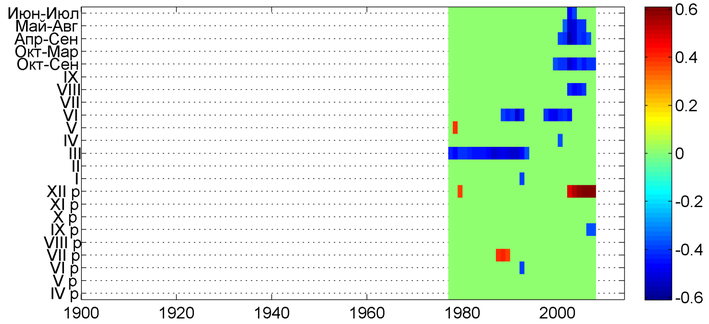

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

H12S

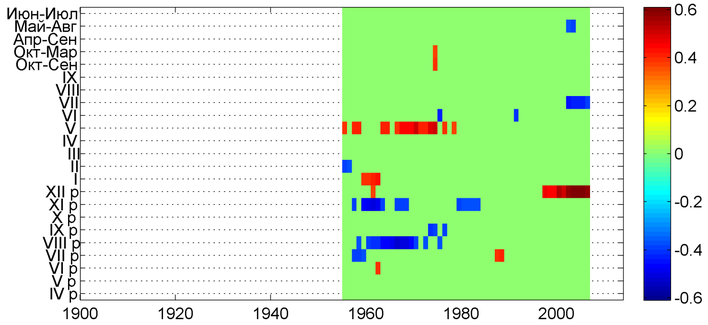
Т мин



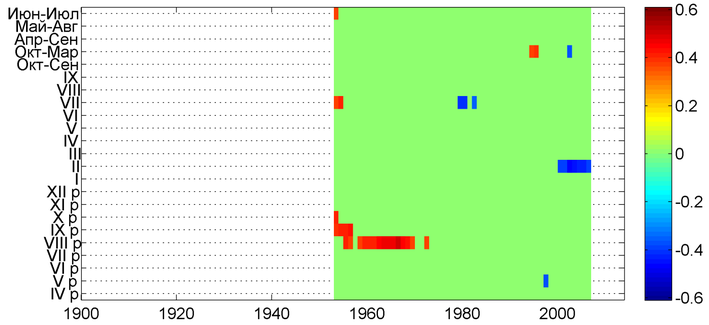
Т макс



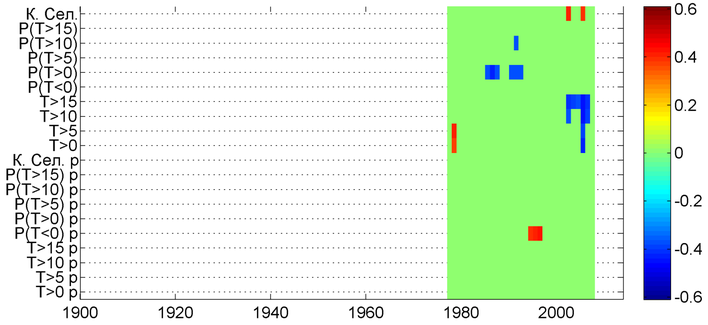
Т средн



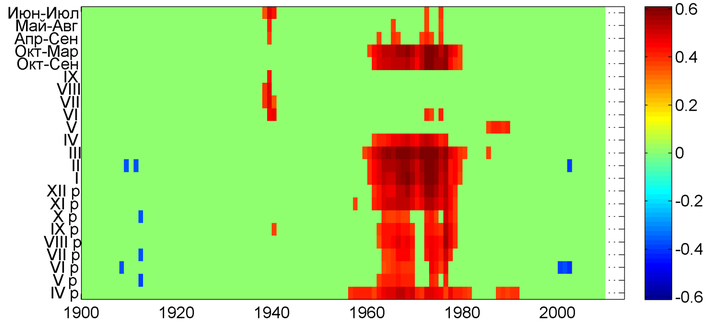
Осадки



Агро

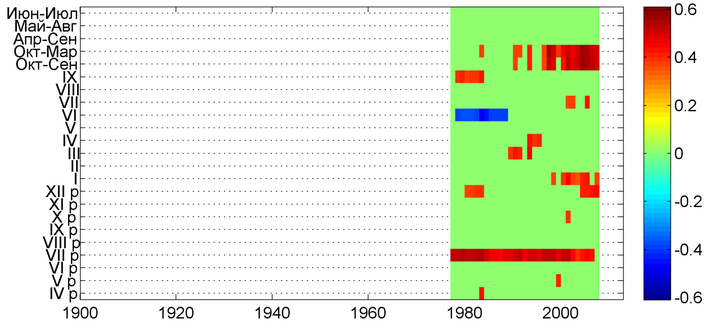


PDSI

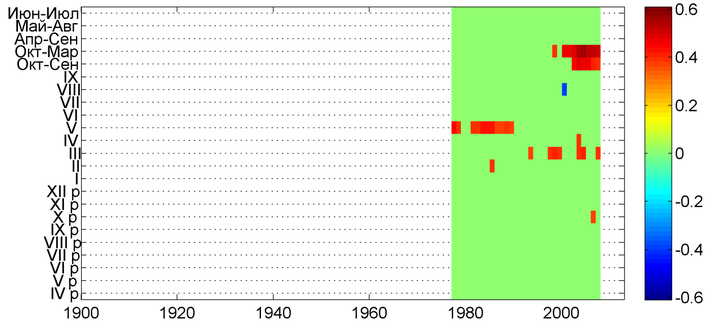


H256S

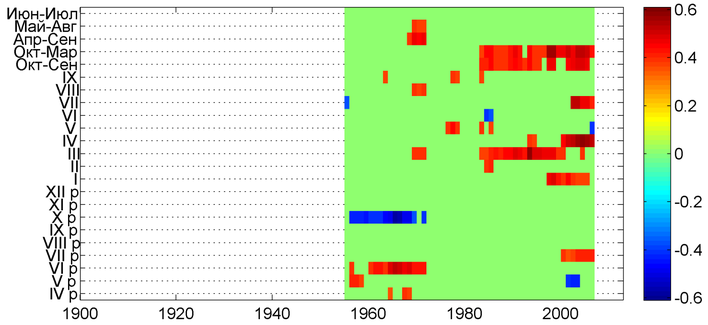
T мин



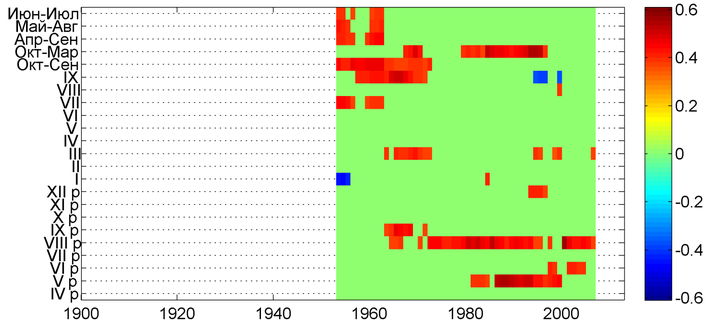
T макс



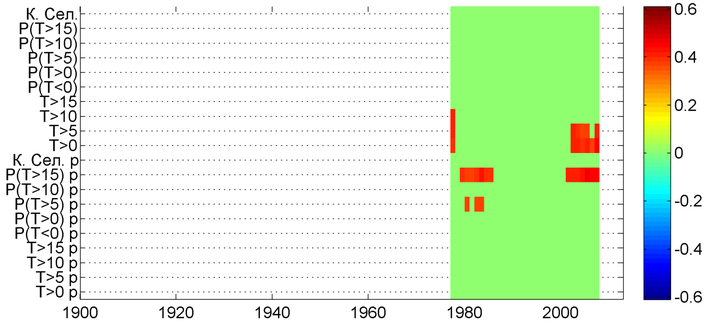
T средн



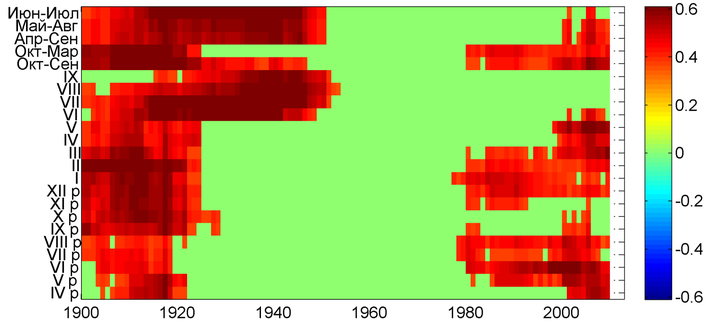
Осадки



Агро

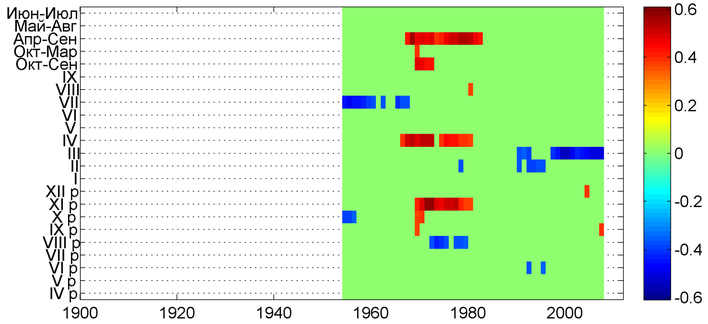


PDSI

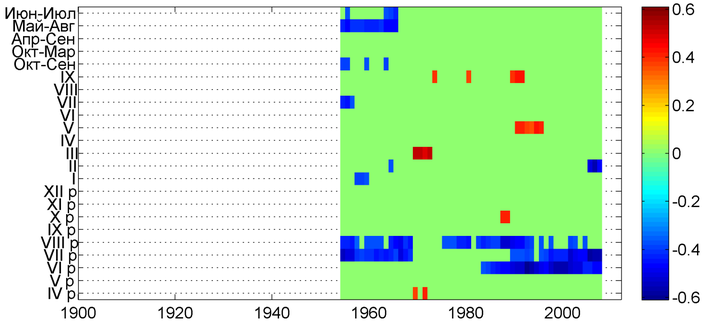


K04-05

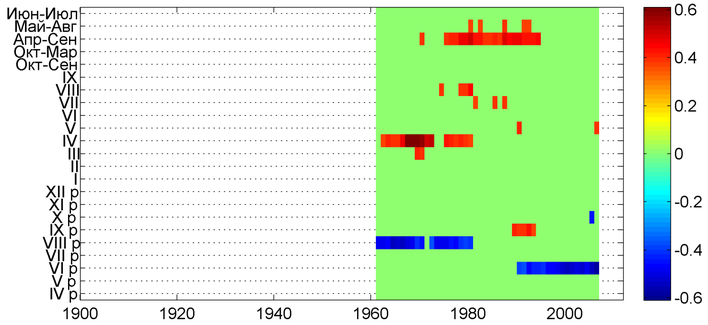
Т мин



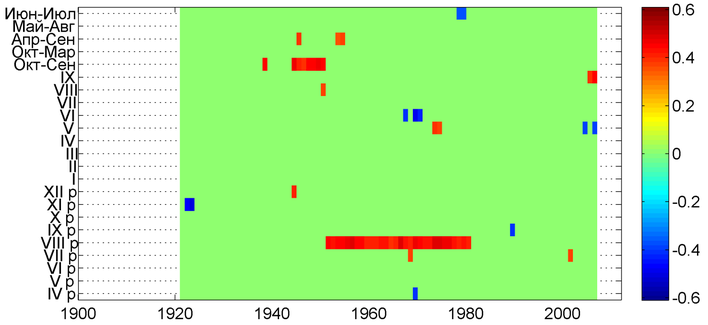
Т макс



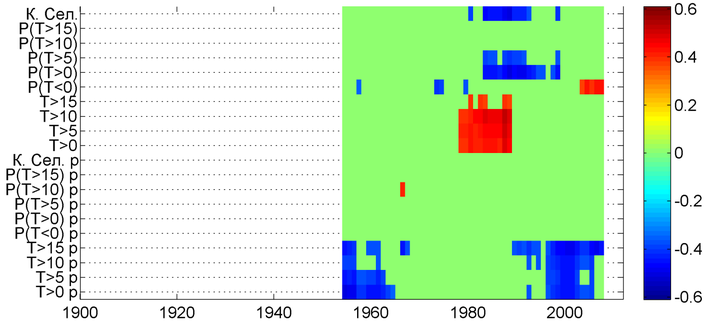
Т средн



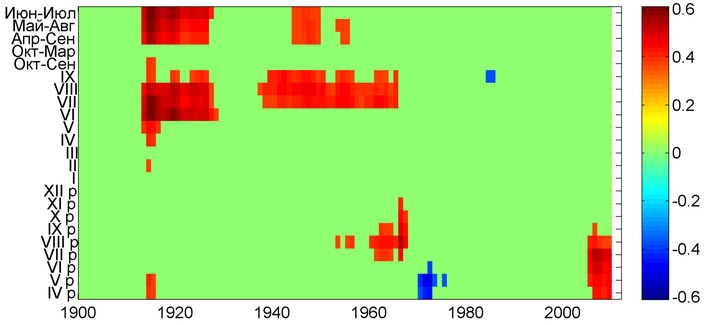
Осадки



Агро

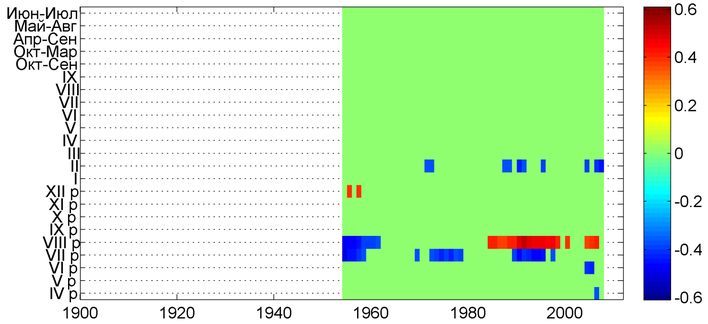


PDSI

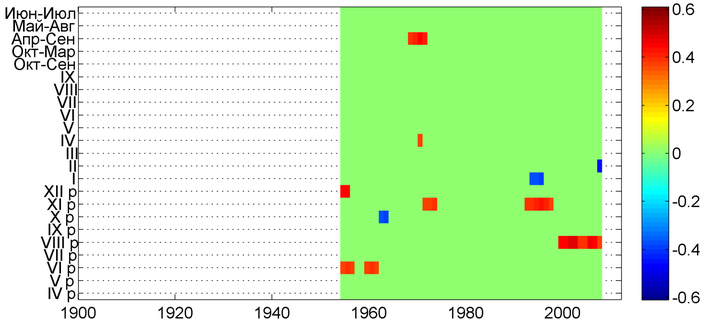


K05S

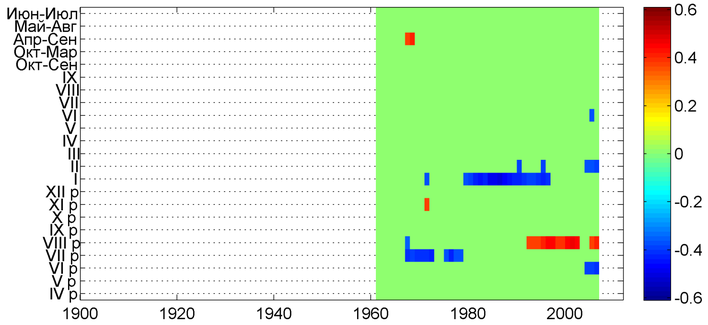
T мин



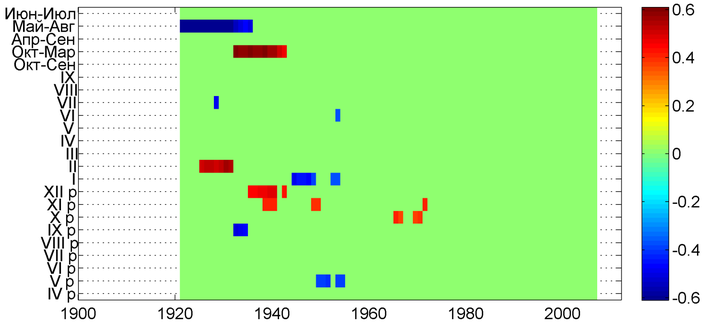
T макс



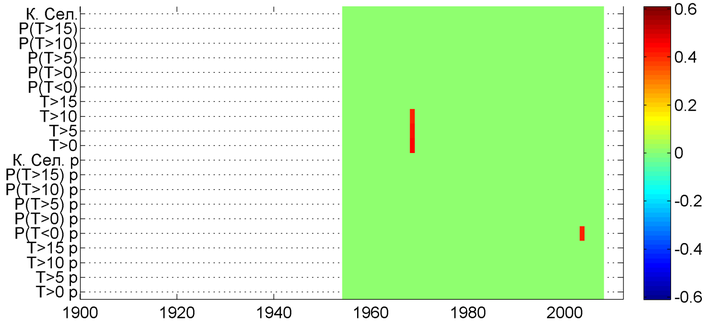
T средн



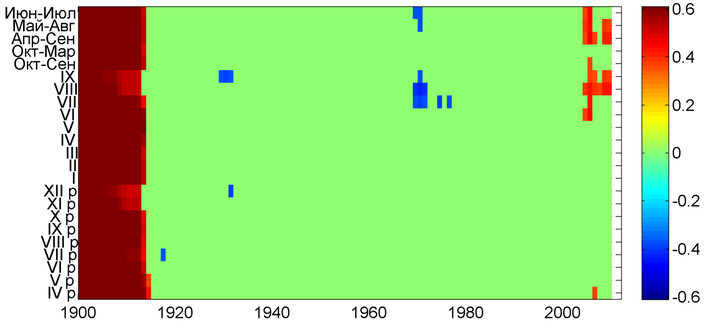
Осадки



Агро

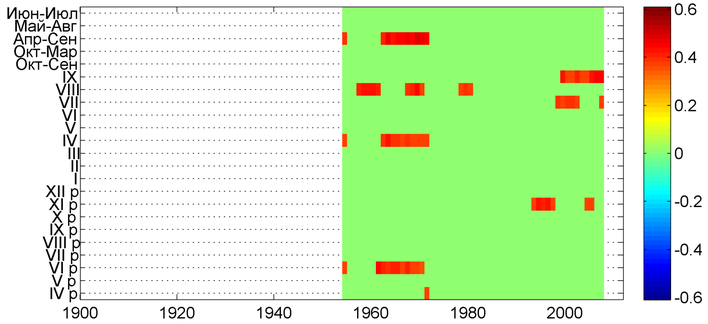


PDSI

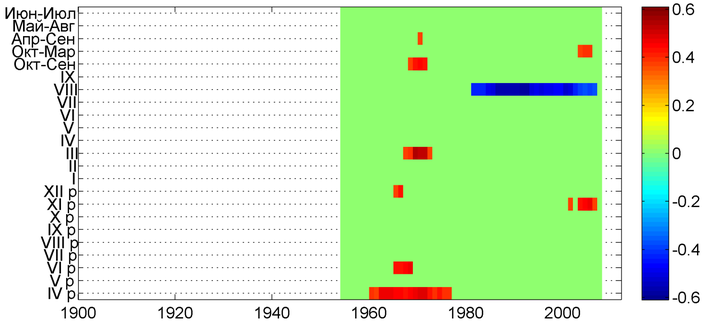


K06S

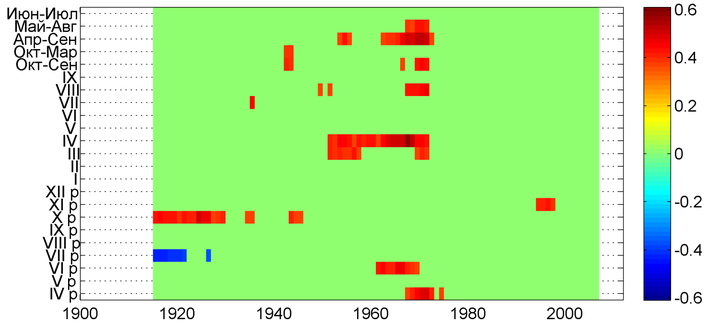
Т мин



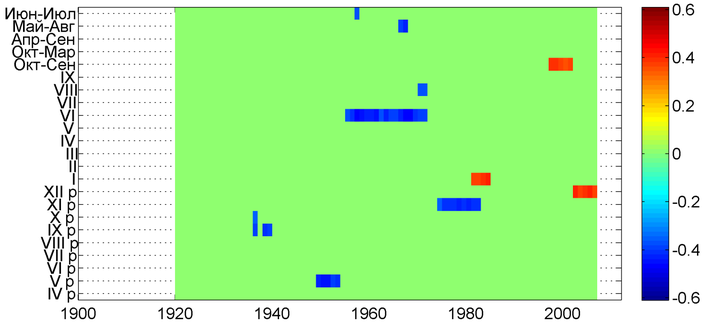
Т макс



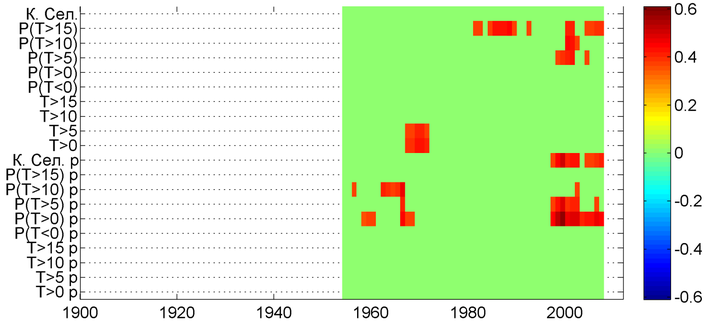
Т средн



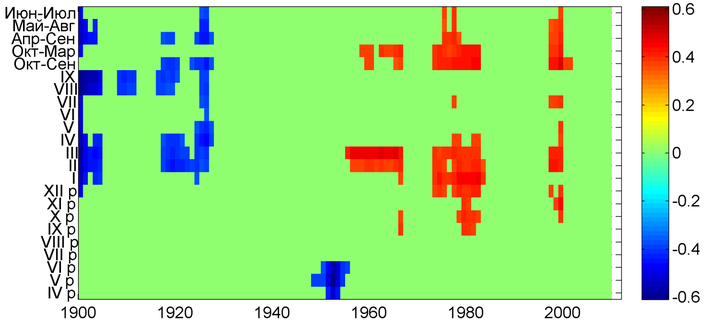
Осадки



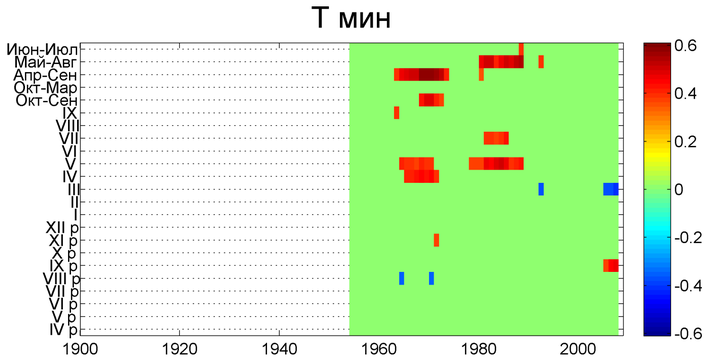
Агро

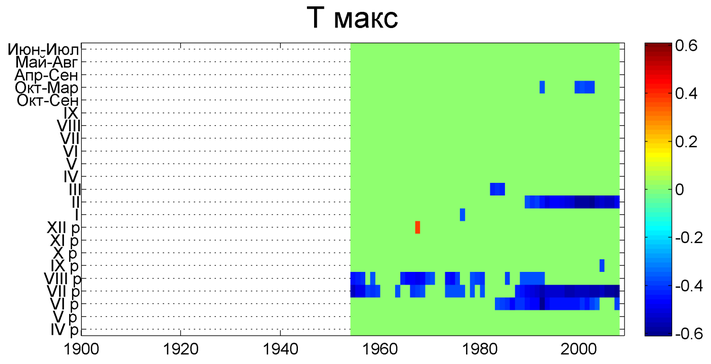


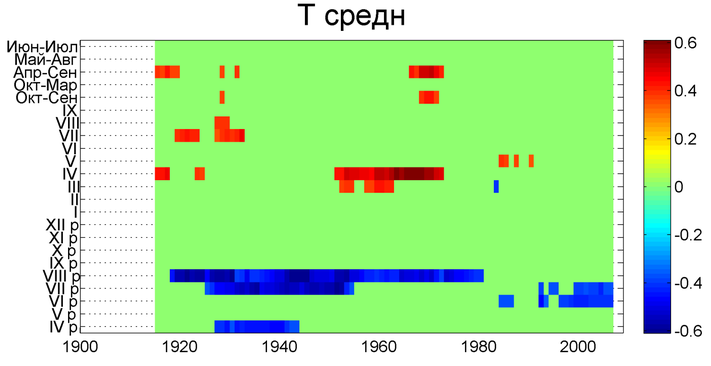
PDSI

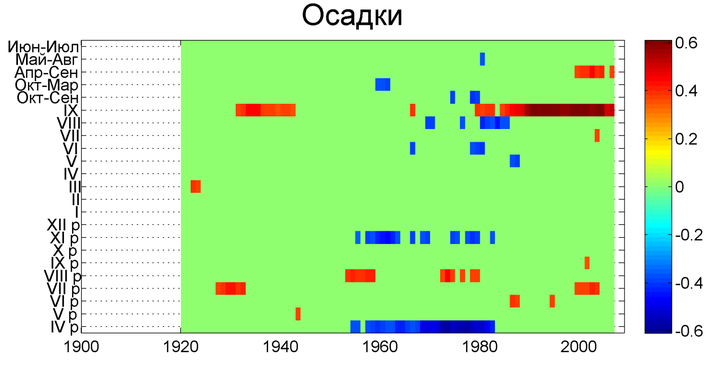


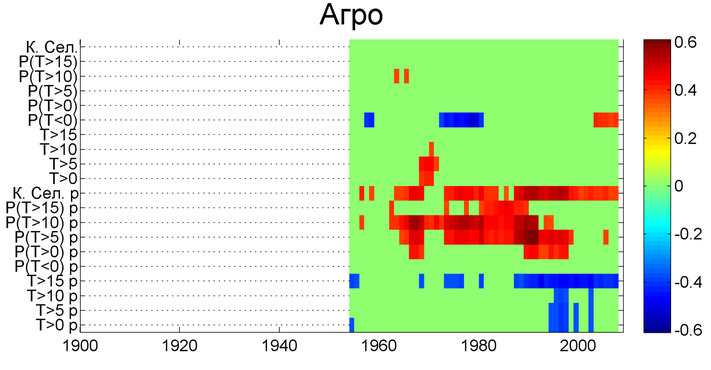
KL

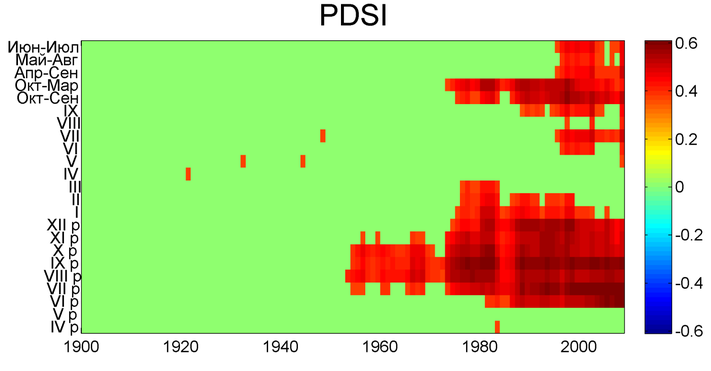

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

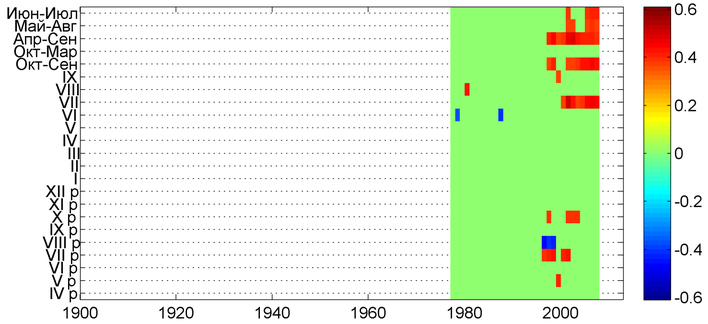

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Агро
К. Сел.
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К. Сел. p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

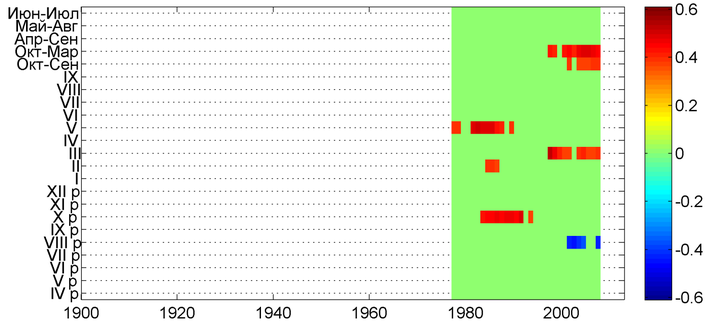

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

L03S

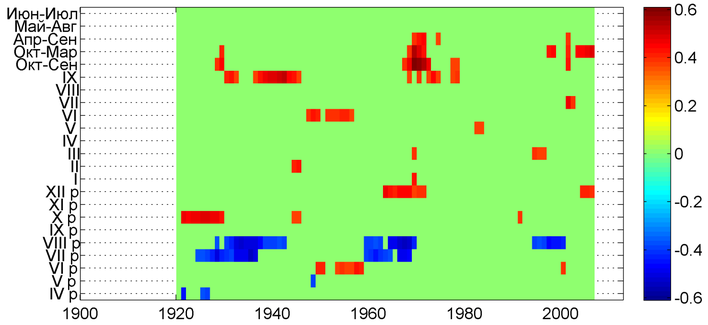
T мин



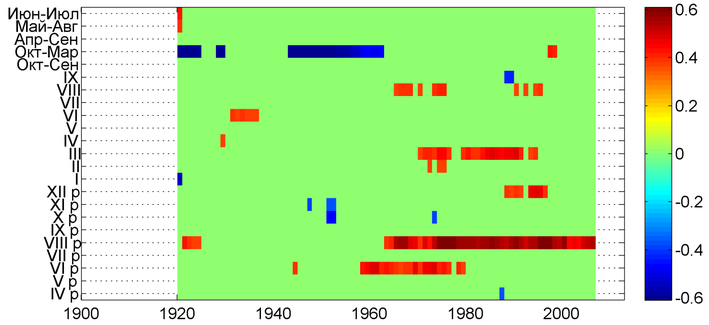
T макс



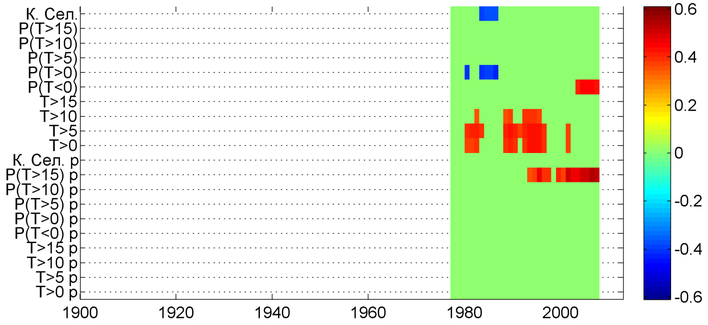
T средн



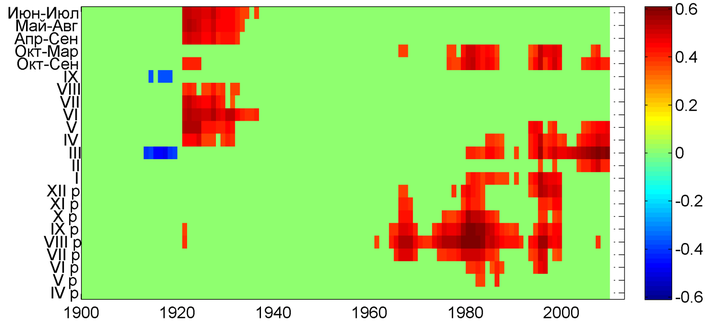
Осадки



Агро

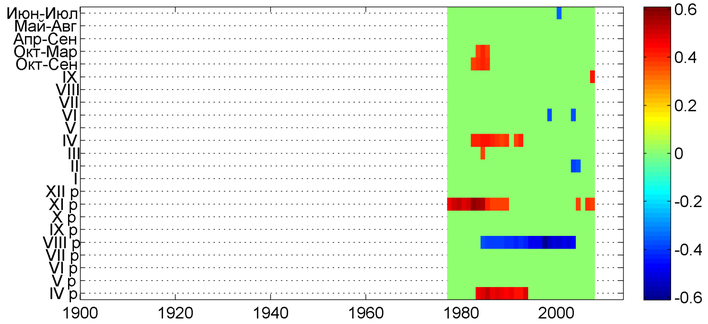


PDSI

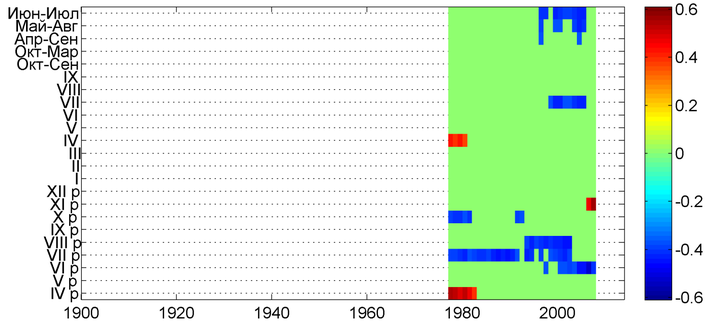


L10S

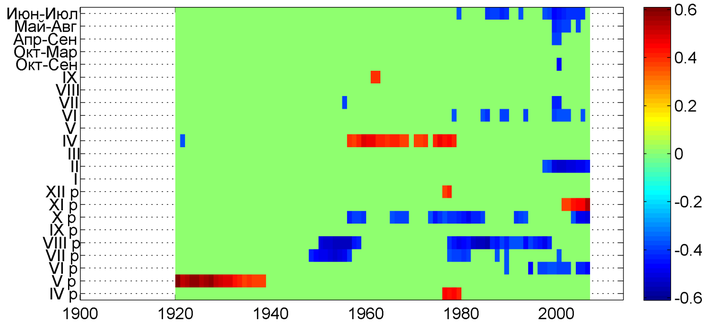
Т мин



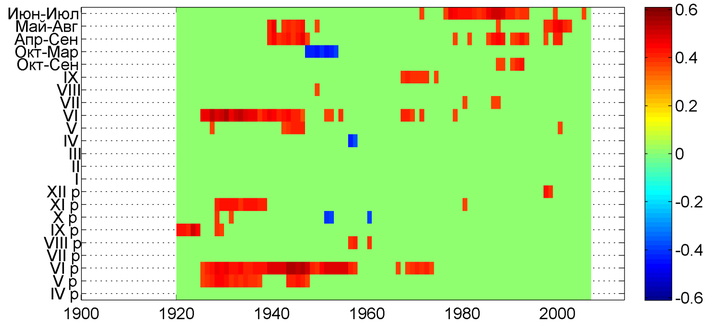
Т макс



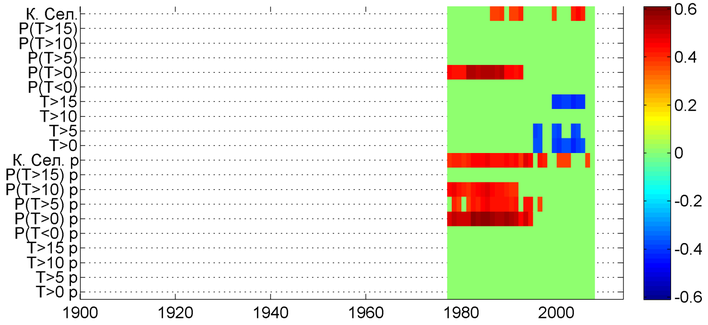
Т средн



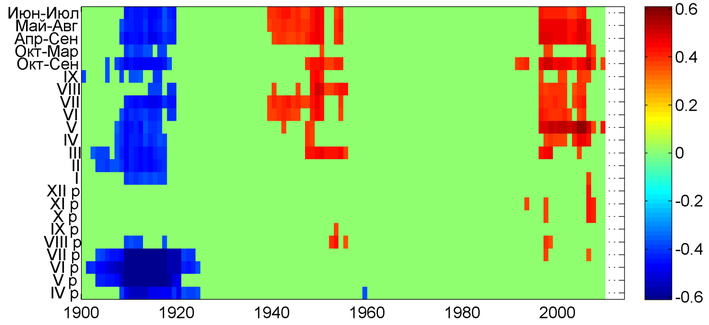
Осадки



Агро

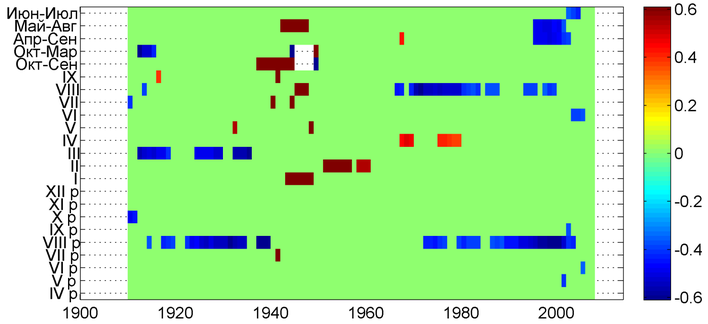


PDSI

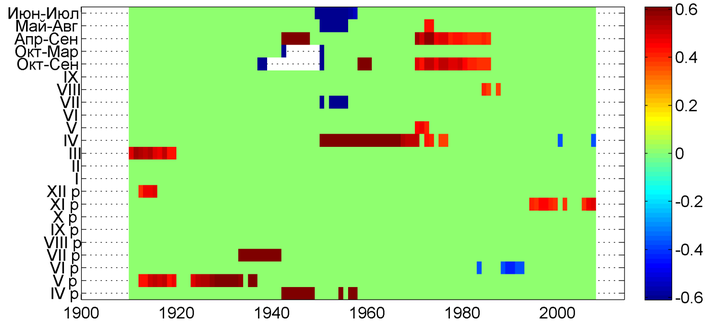


L11E

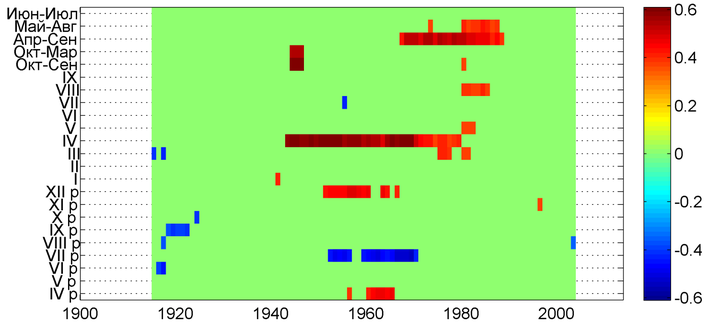
Т мин



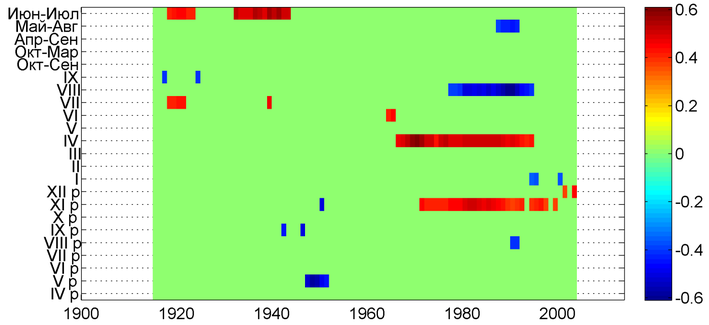
Т макс



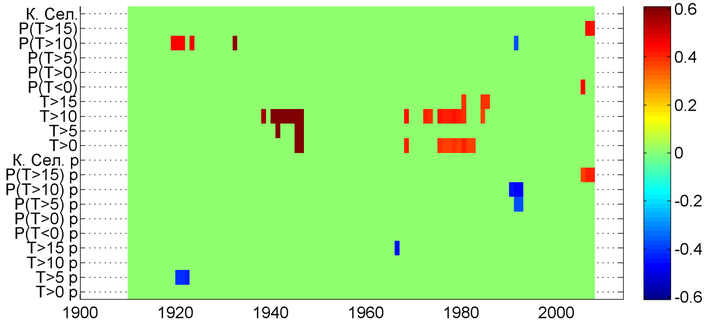
Т средн



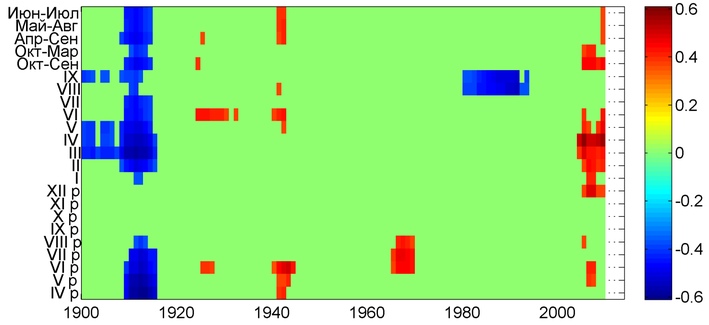
Осадки



Агро

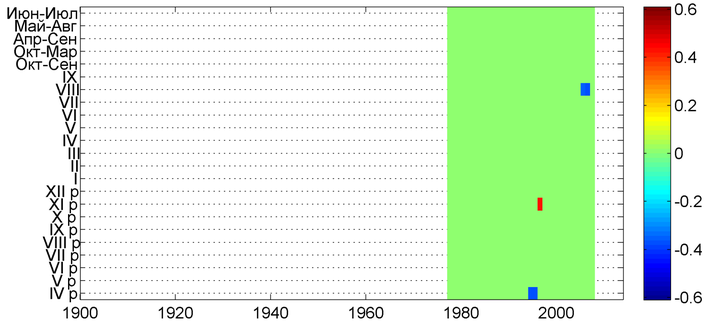


PDSI

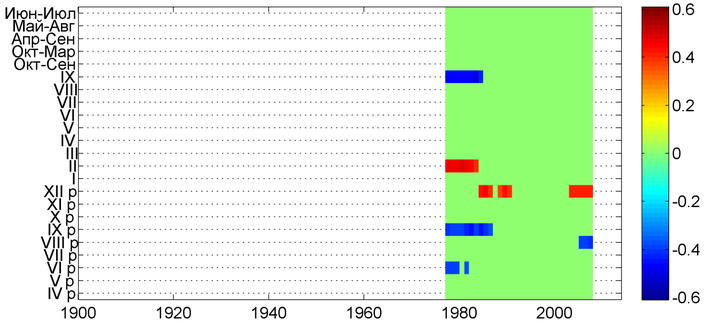


M10D

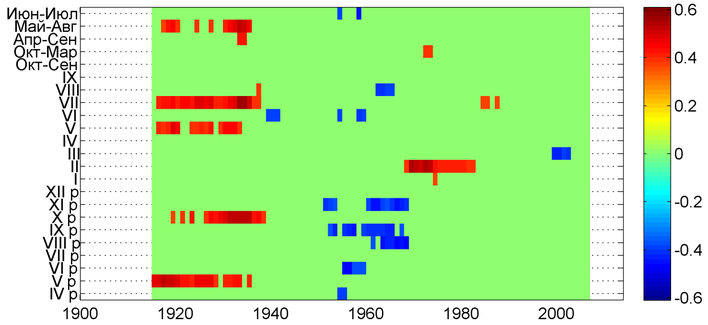
Т мин



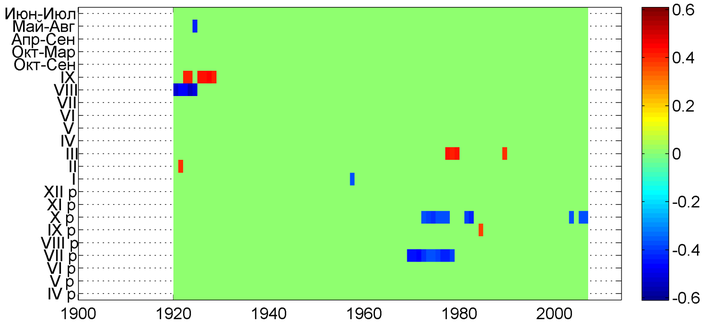
Т макс



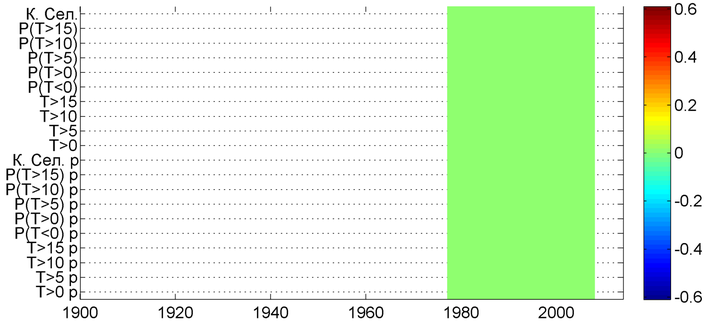
Т средн



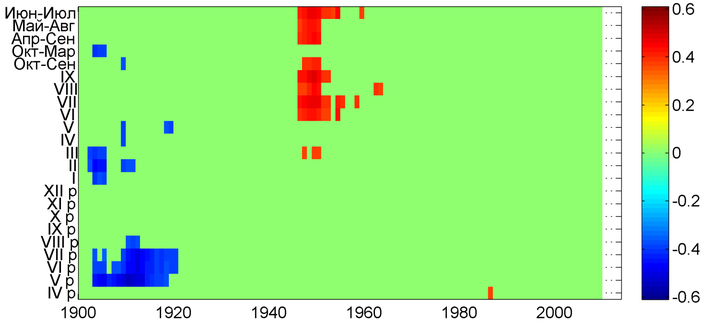
Осадки



Агро

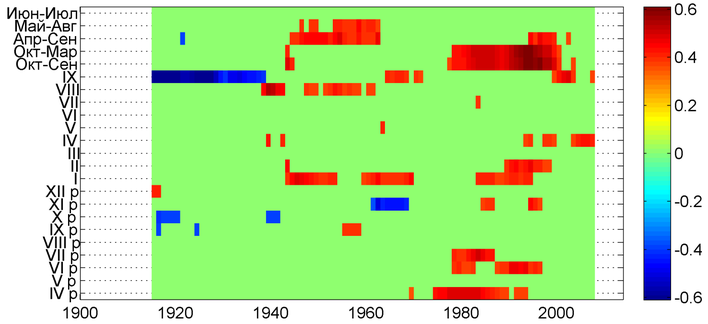


PDSI

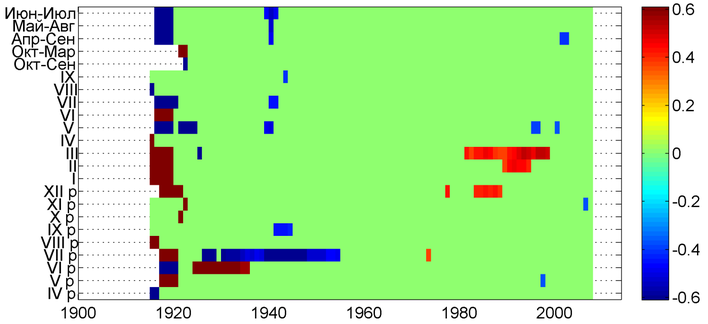


M10S

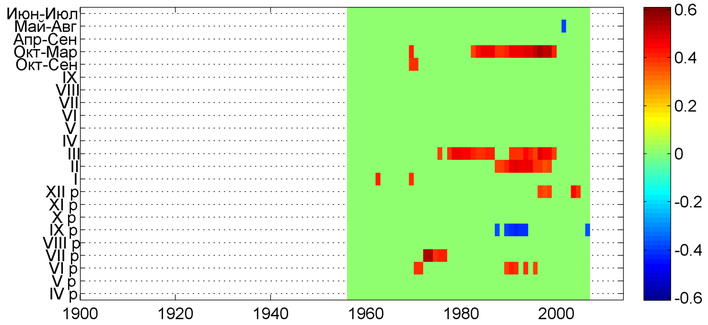
Т мин



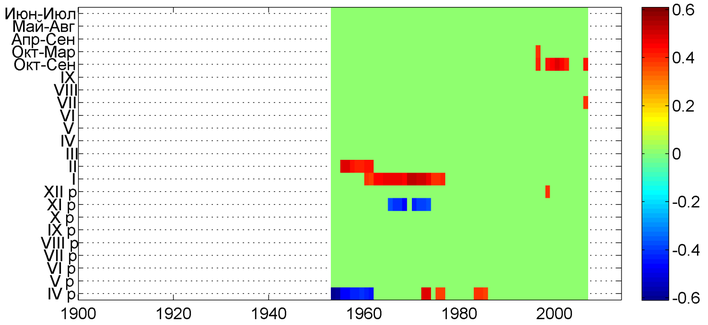
Т макс



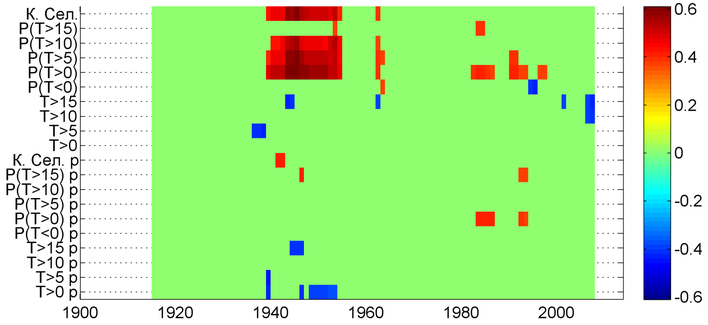
Т средн



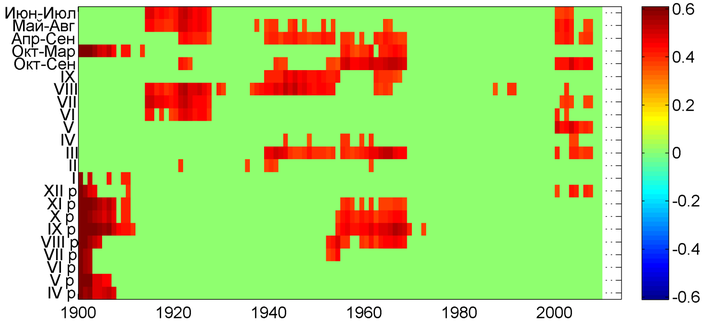
Осадки



Агро

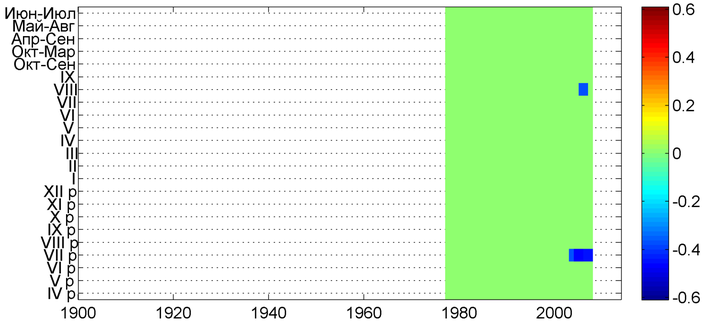


PDSI

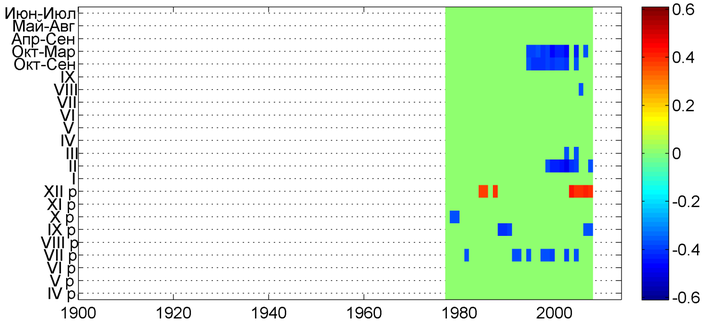


M11D

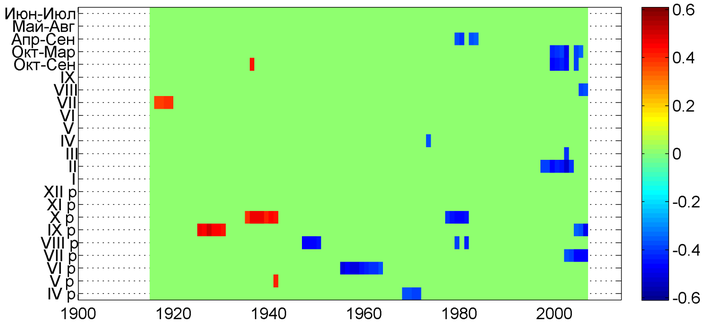
Т мин



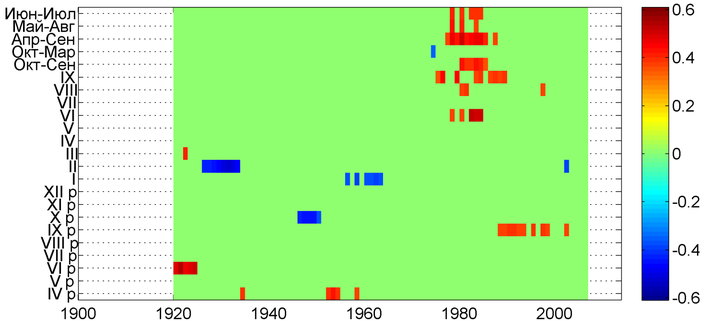
Т макс



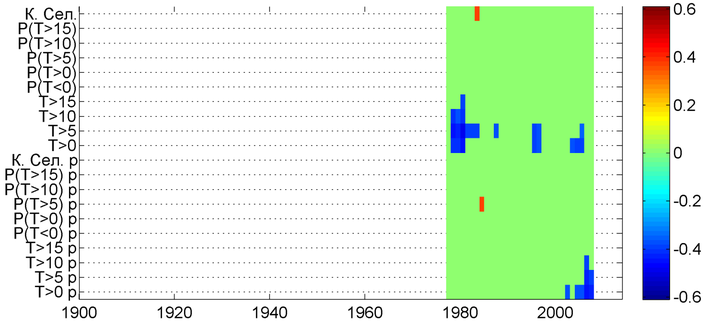
Т средн



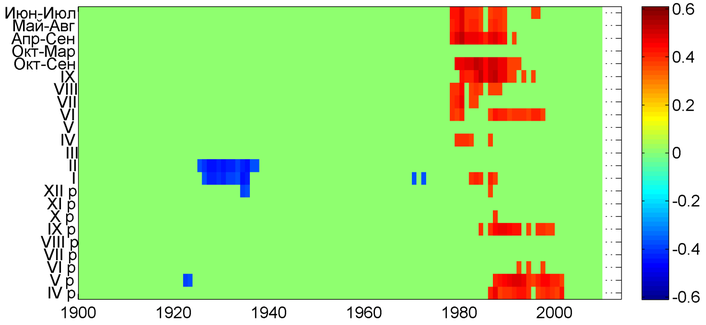
Осадки



Агро

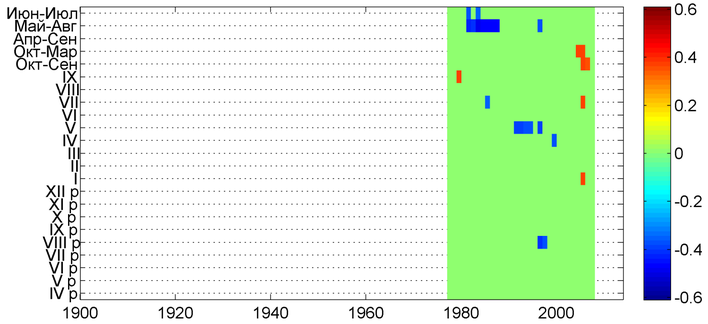


PDSI

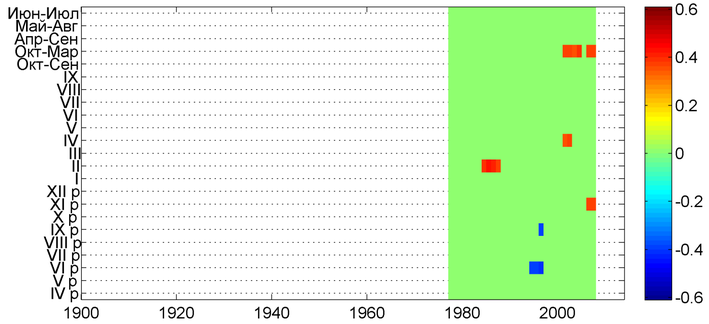


M13S

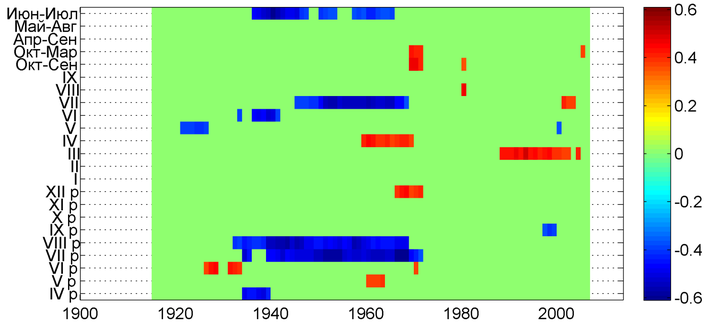
Т мин



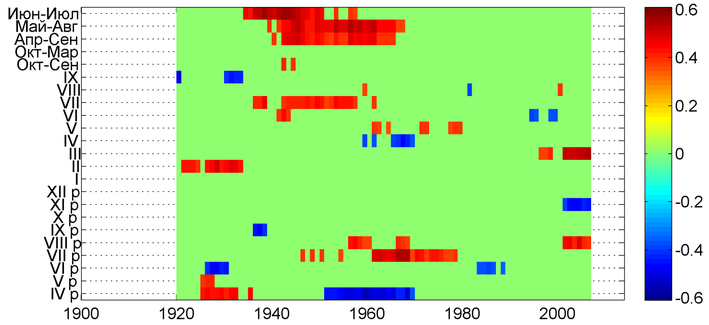
Т макс



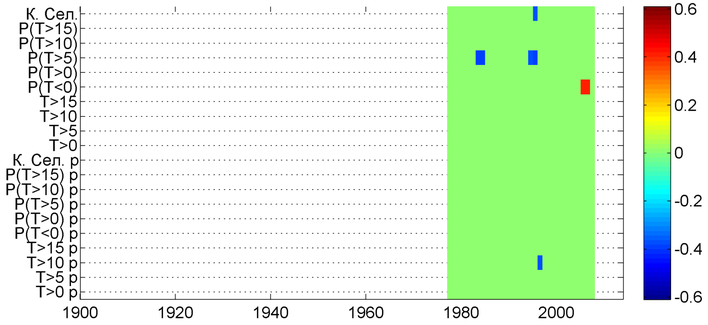
Т средн



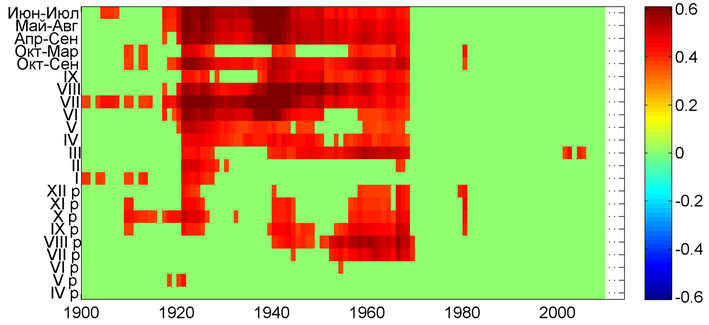
Осадки



Агро

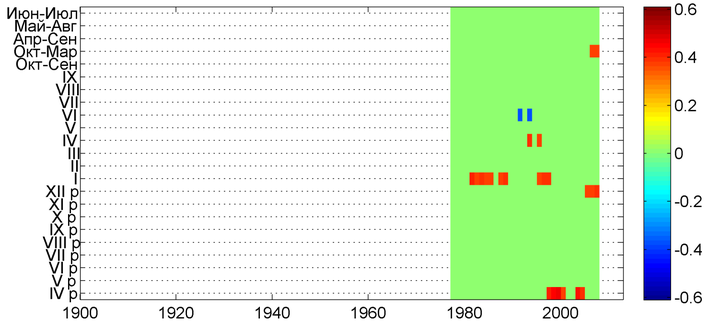


PDSI

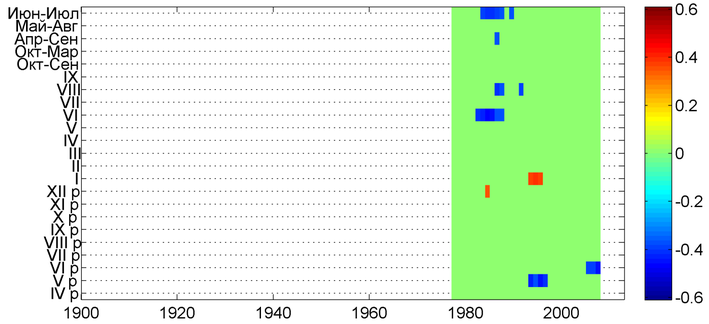


M18E

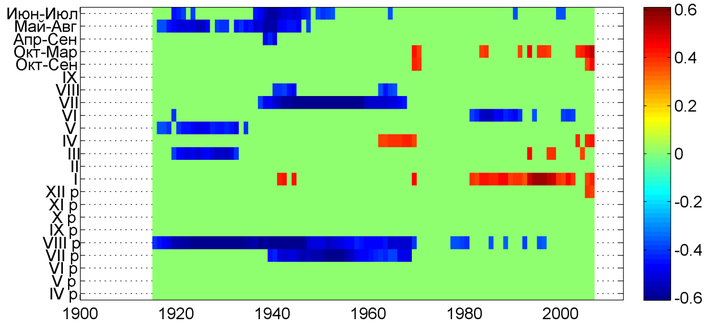
Т мин



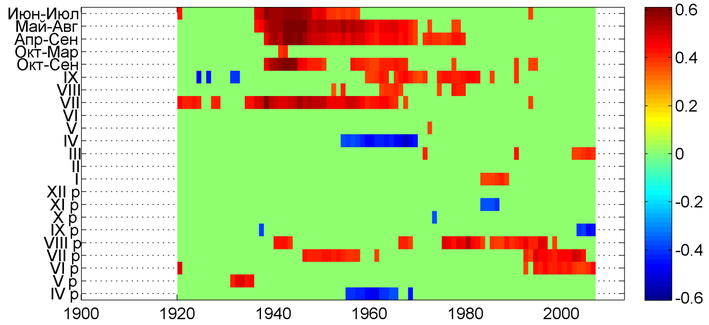
Т макс



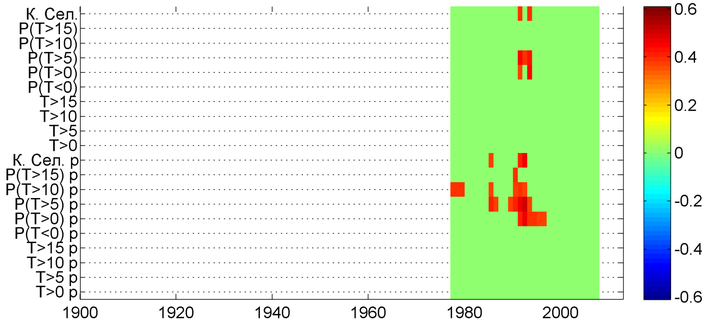
Т средн



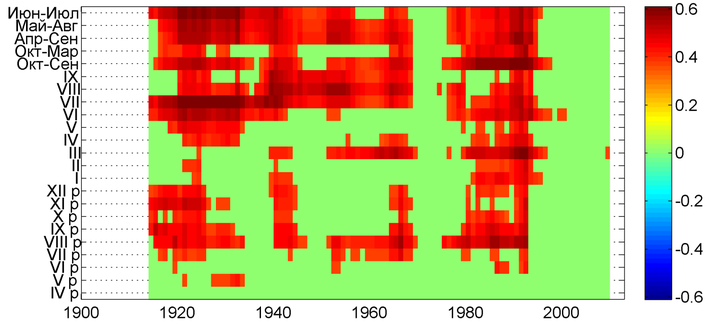
Осадки



Агро

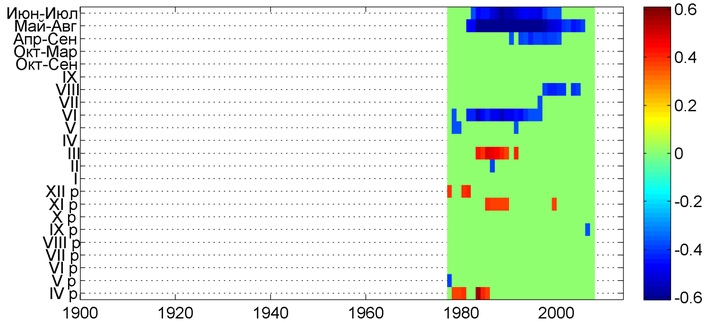


PDSI

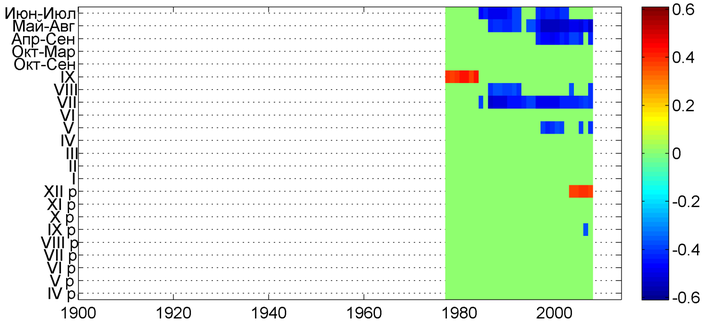


M19S

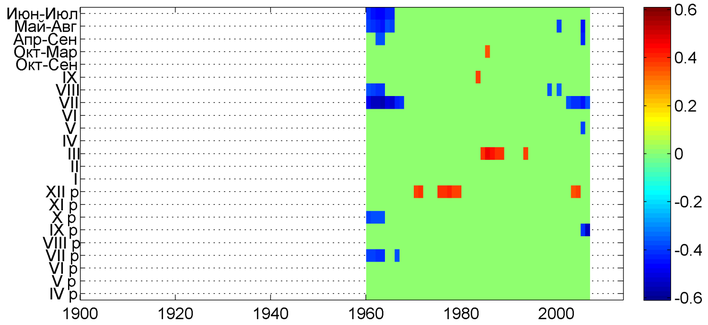
Т мин



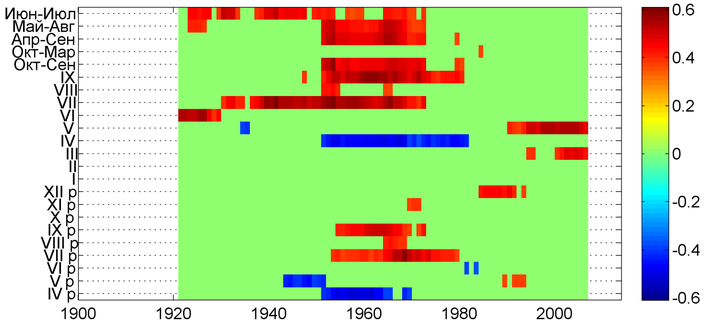
Т макс



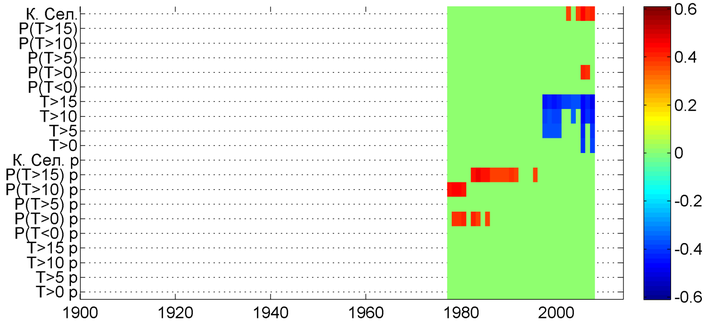
Т средн



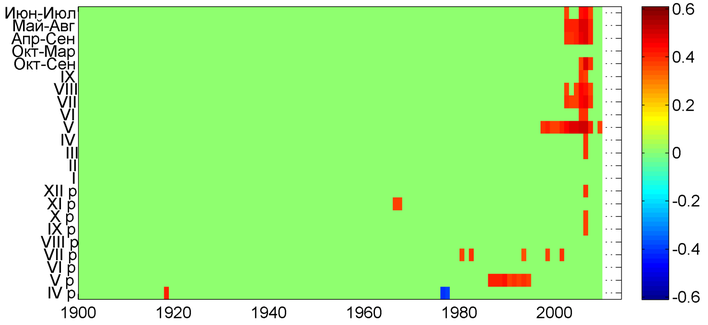
Осадки



Агро

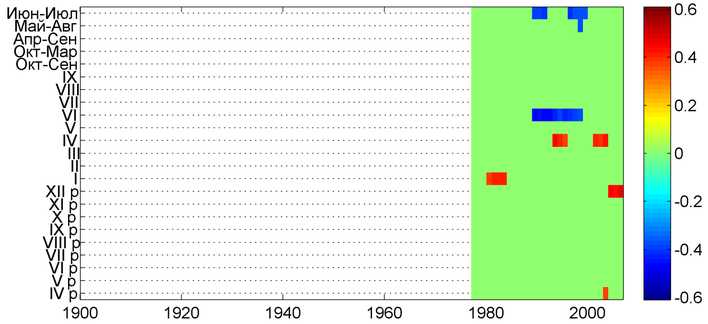


PDSI

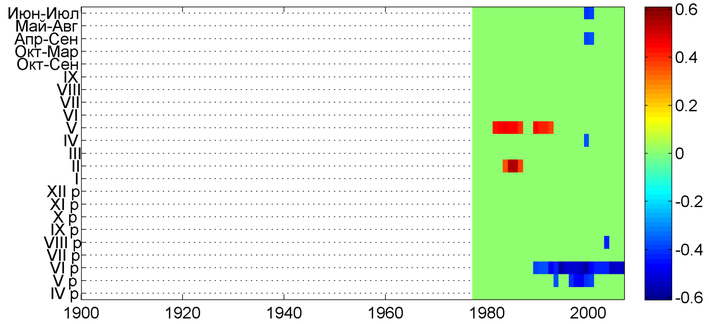


OLIS

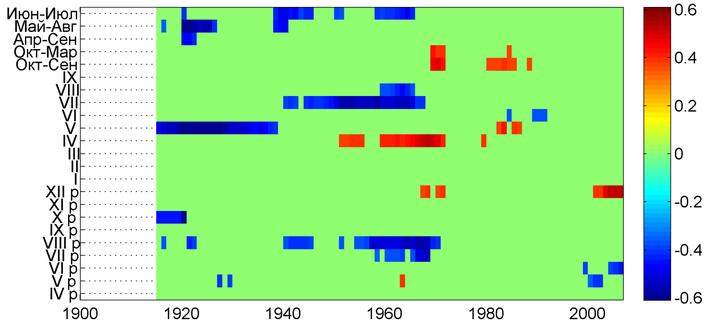
Т мин



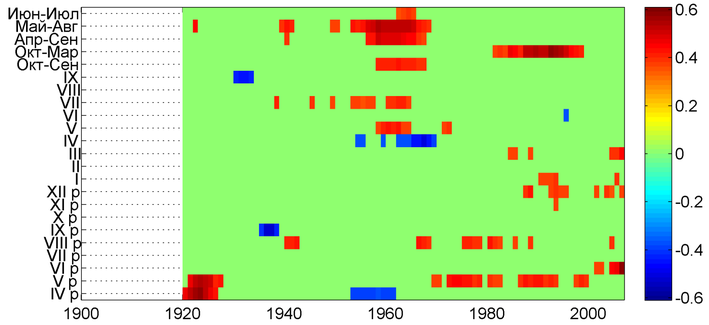
Т макс



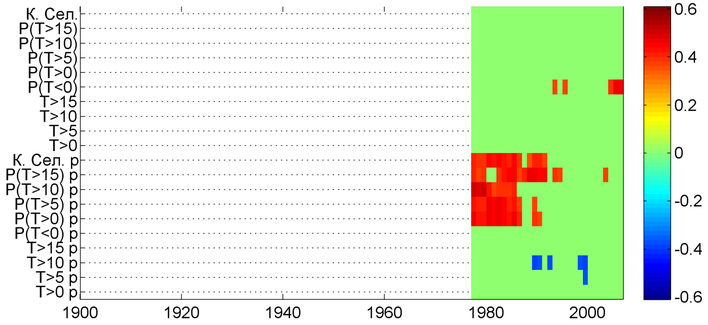
Т средн



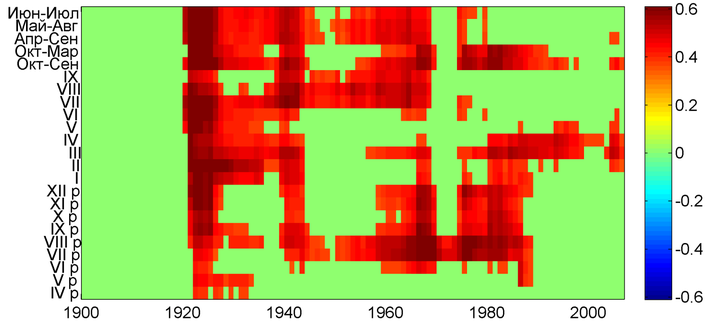
Осадки



Агро

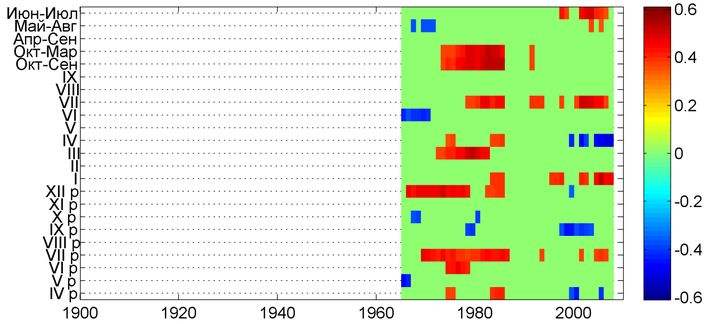


PDSI

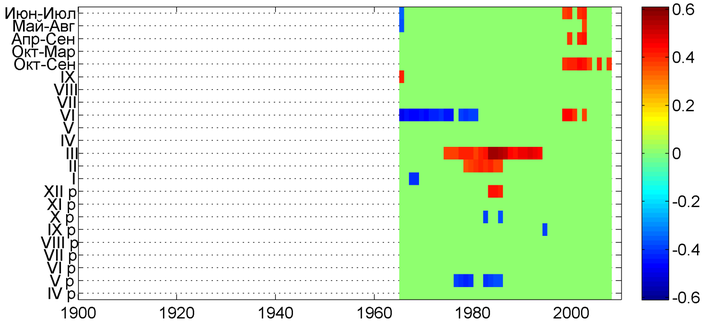


OPP

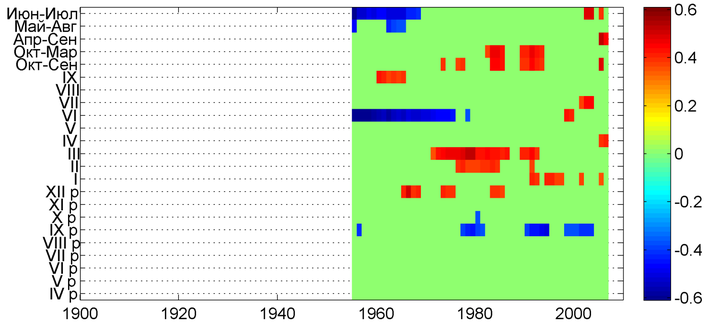
Т мин



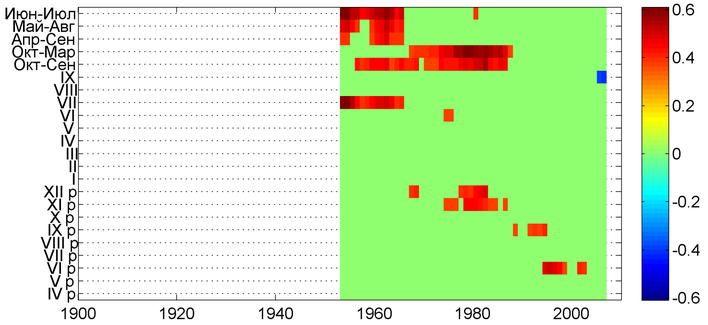
Т макс



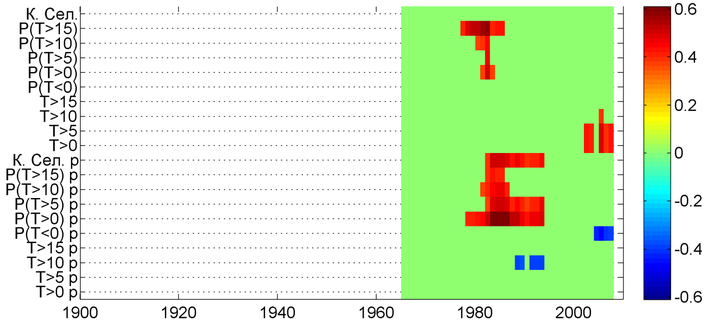
Т средн



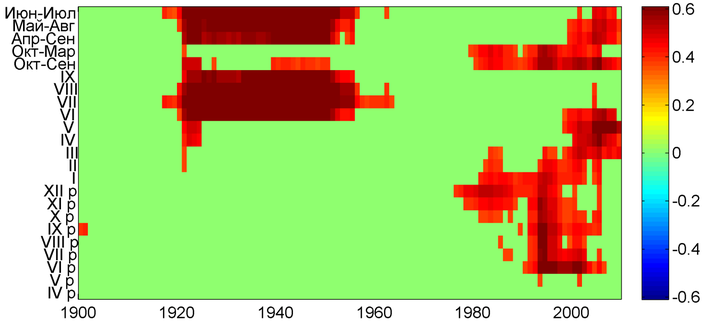
Осадки



Агро

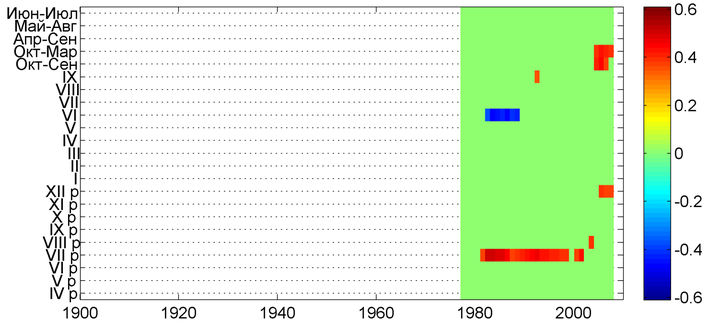


PDSI

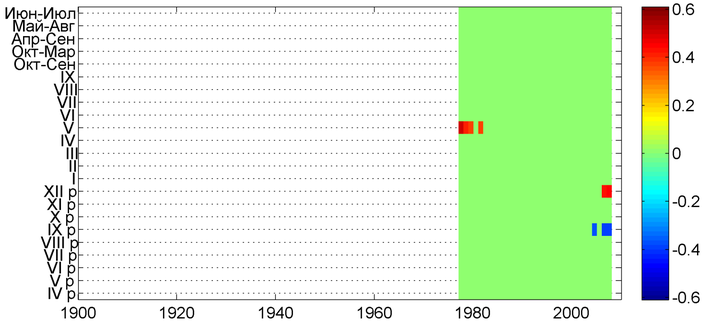


OZER

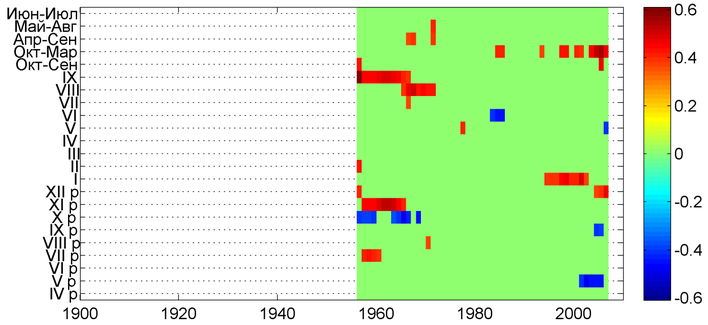
T мин



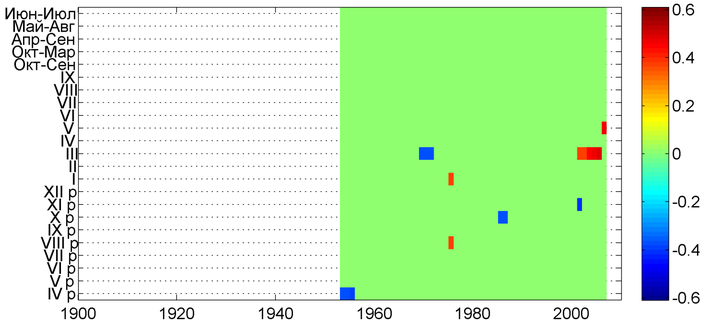
T макс



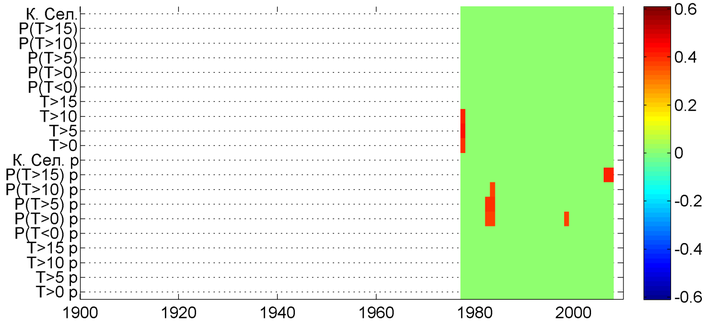
T средн



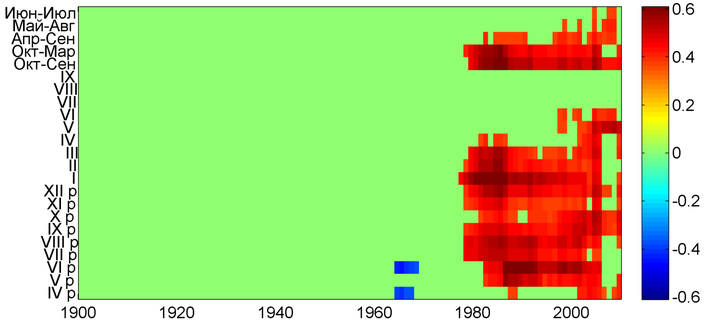
Осадки



Агро

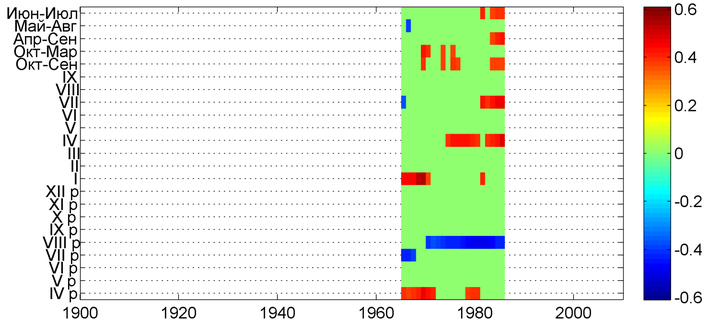


PDSI

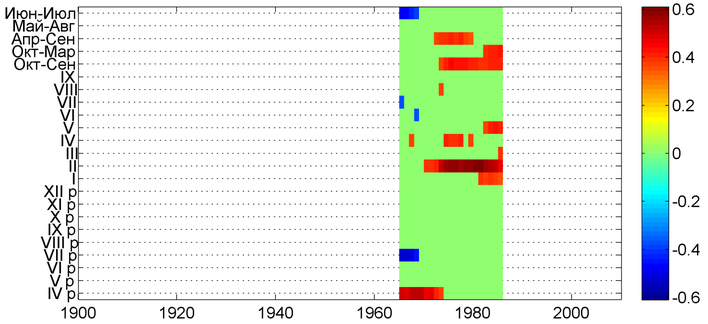


PACH

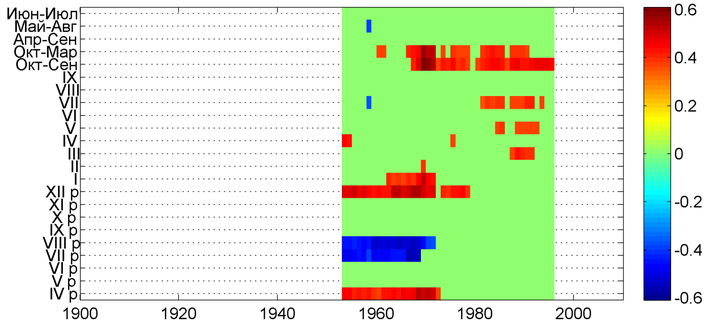
Т мин



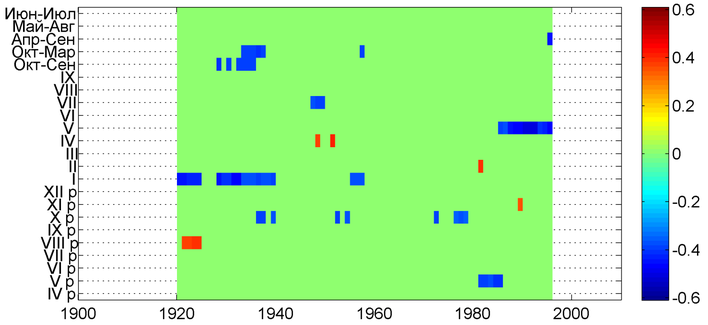
Т макс



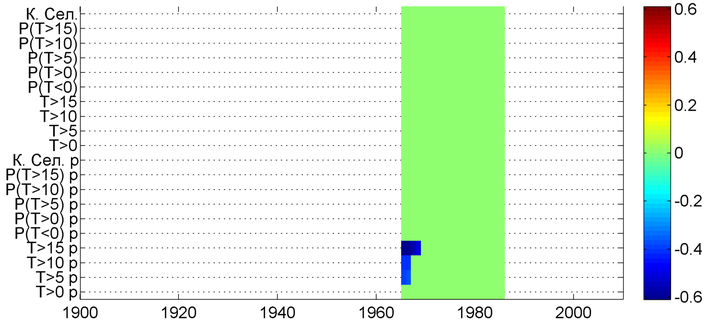
Т средн



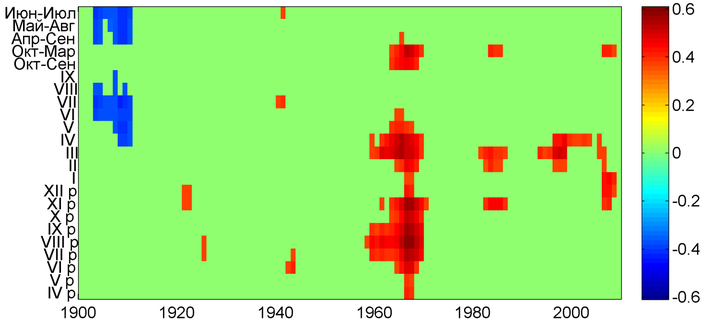
Осадки



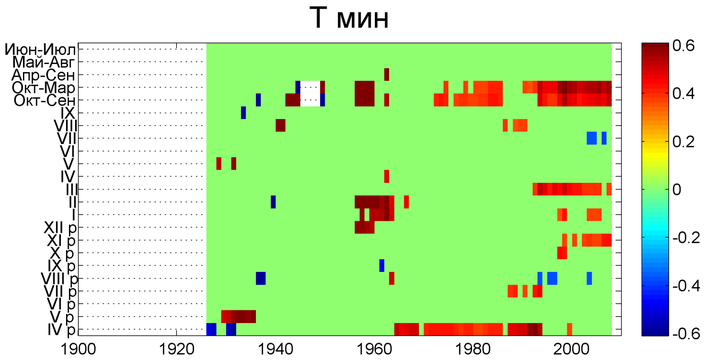
Агро

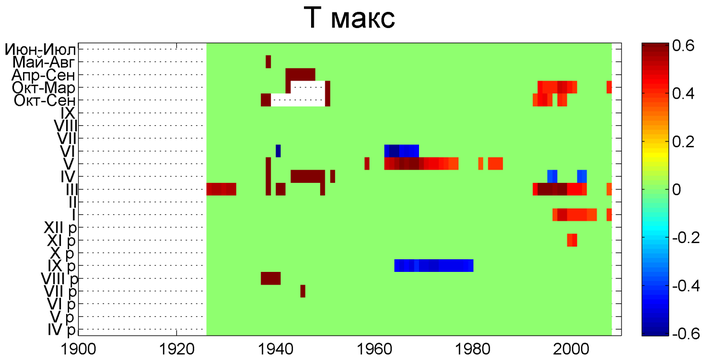


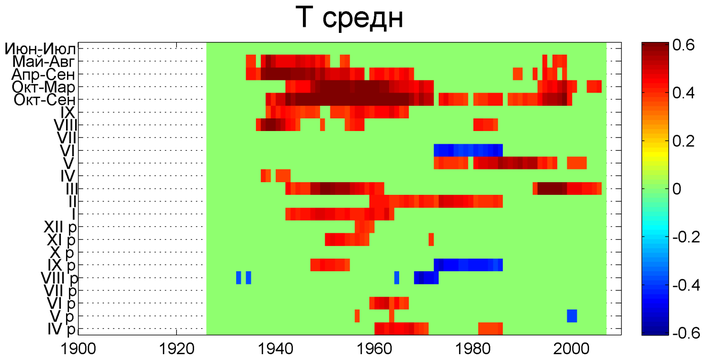
PDSI

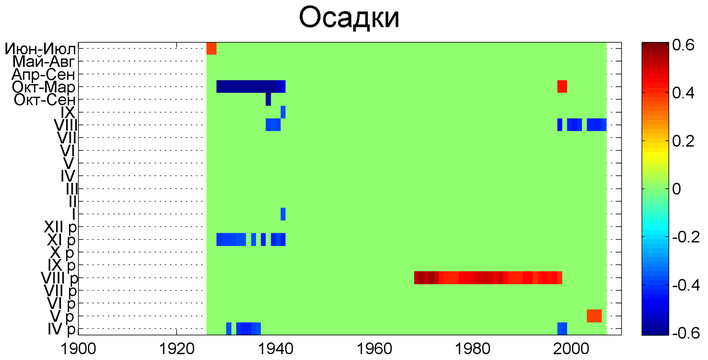


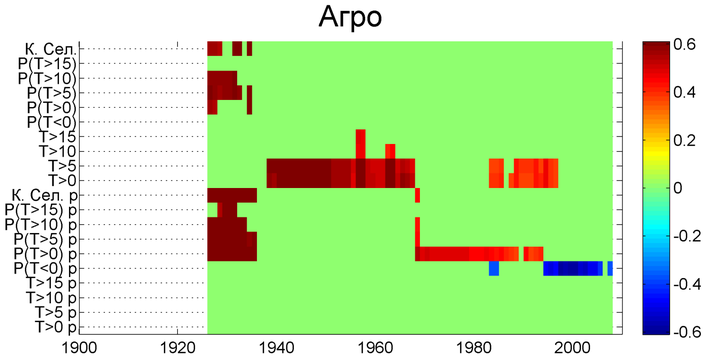
PANS

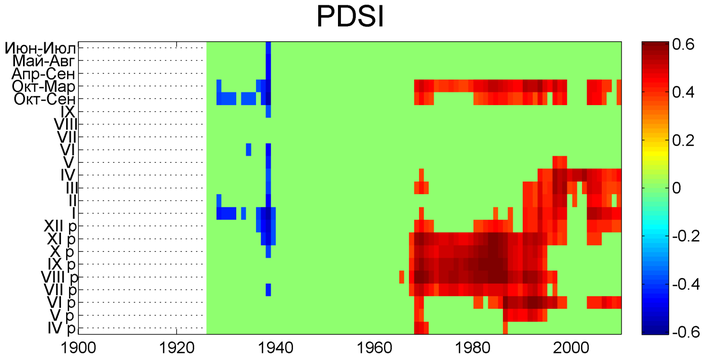

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

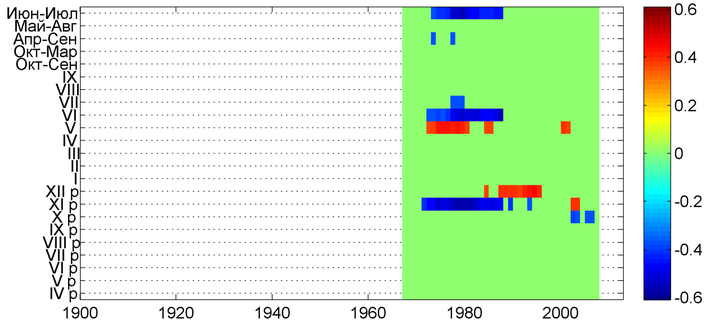

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Агро
К. Сел.
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К. Сел. p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

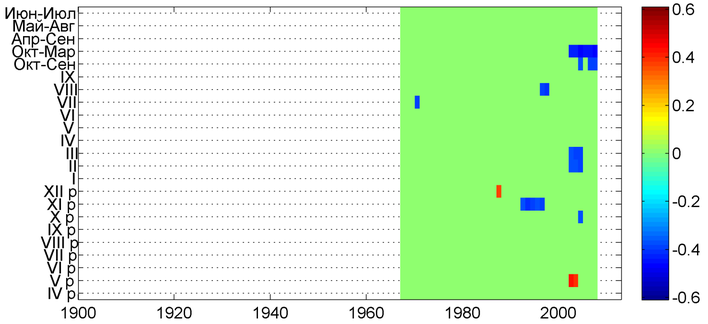

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

R03D

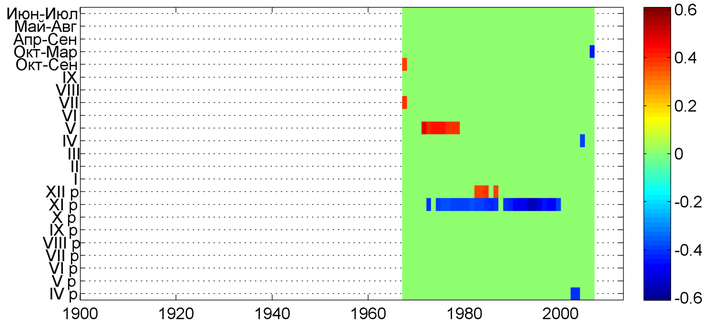
T мин



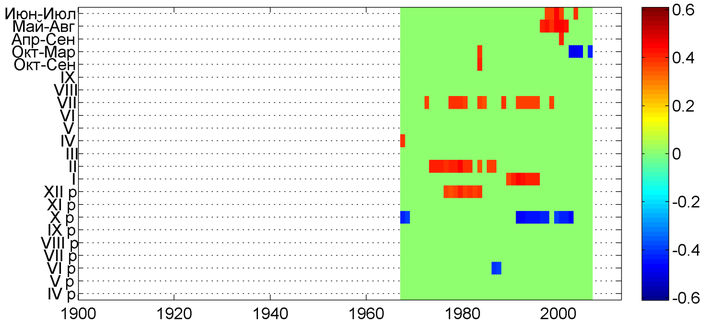
T макс



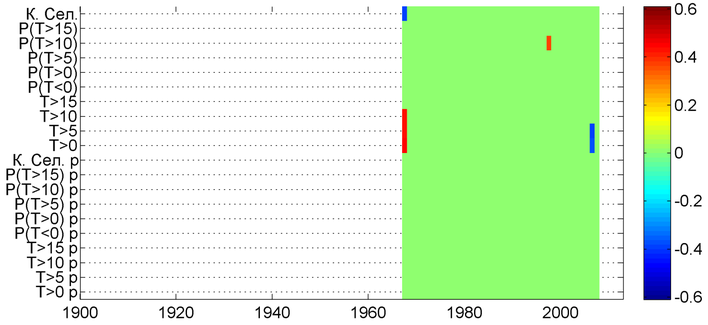
T средн



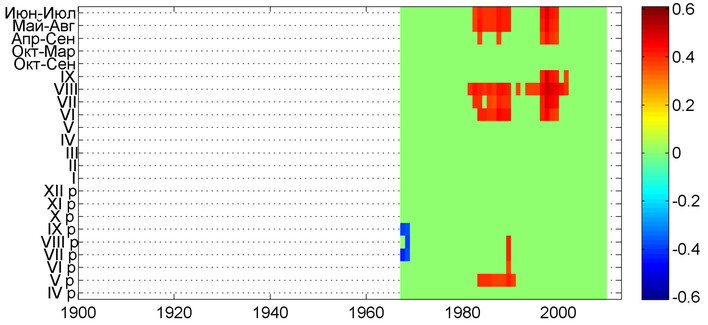
Осадки



Агро

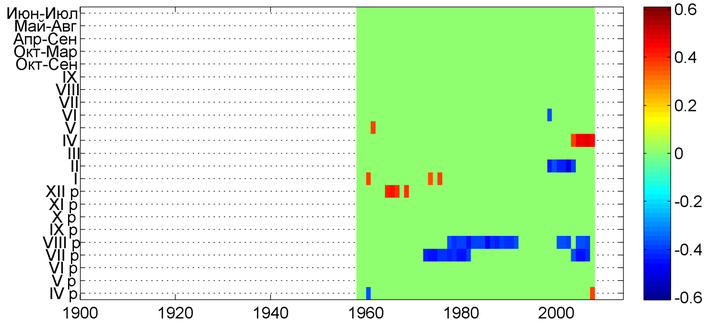


PDSI

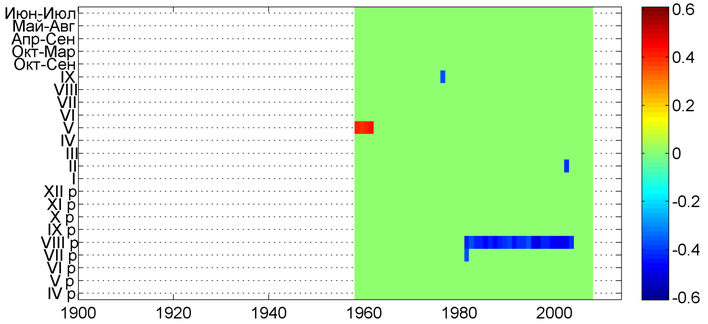


R10D

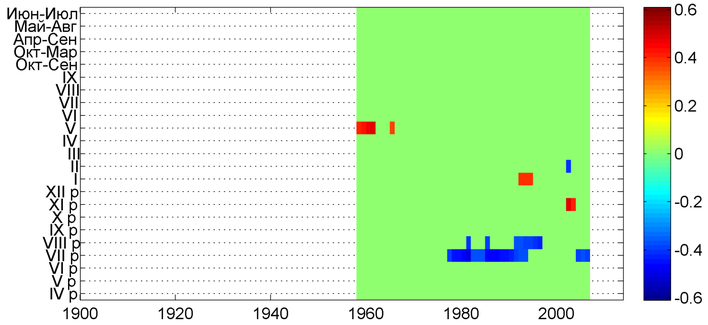
Т мин



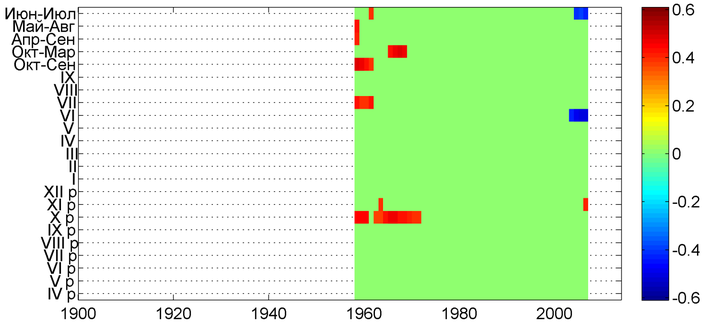
Т макс



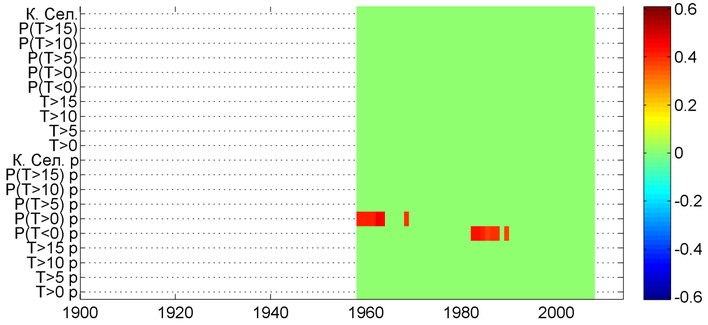
Т средн



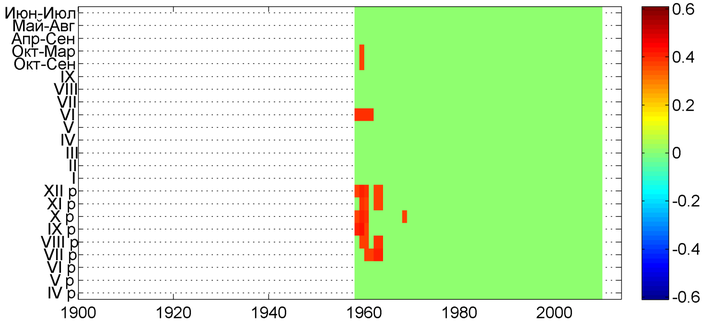
Осадки



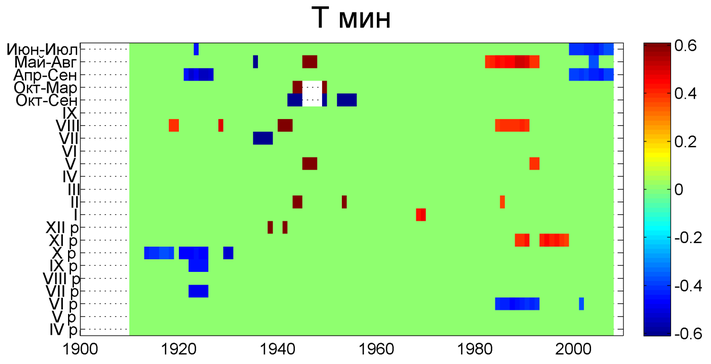
Агро

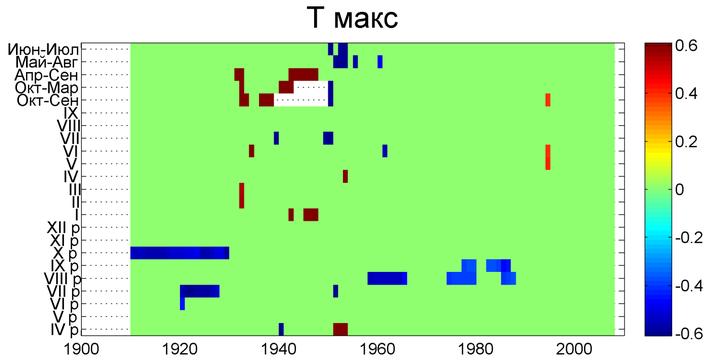


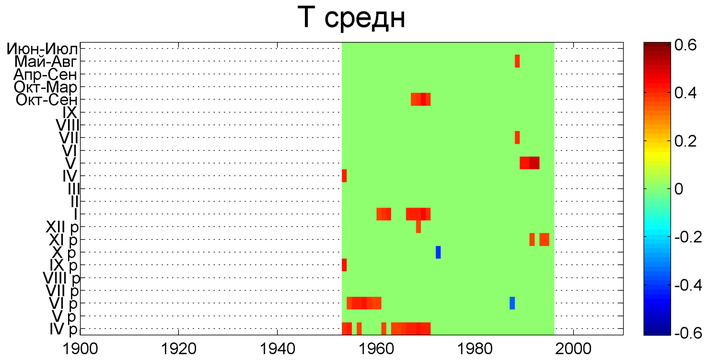
PDSI

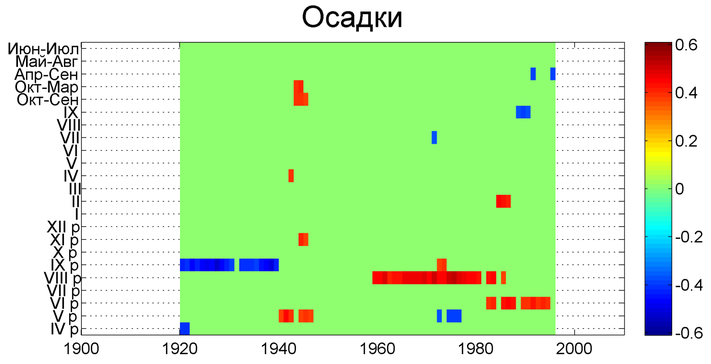


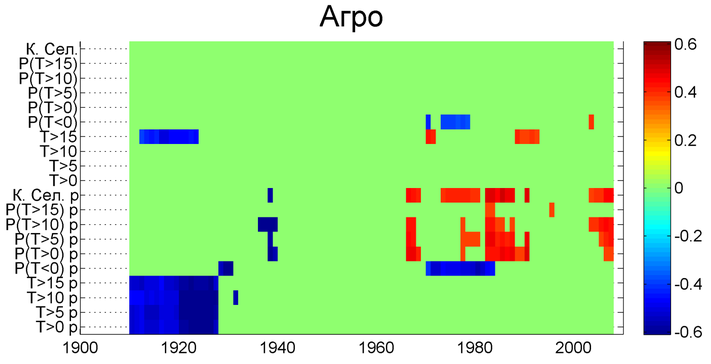
SHIR

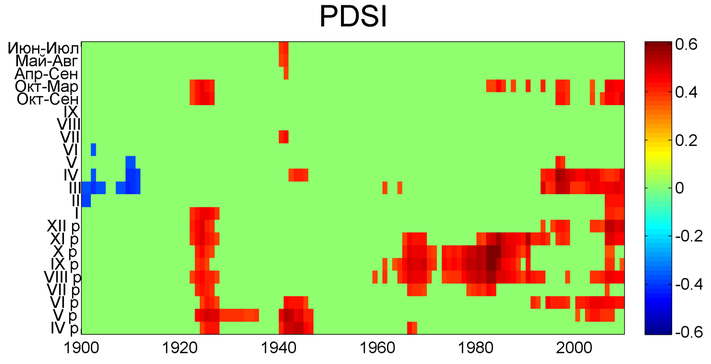

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

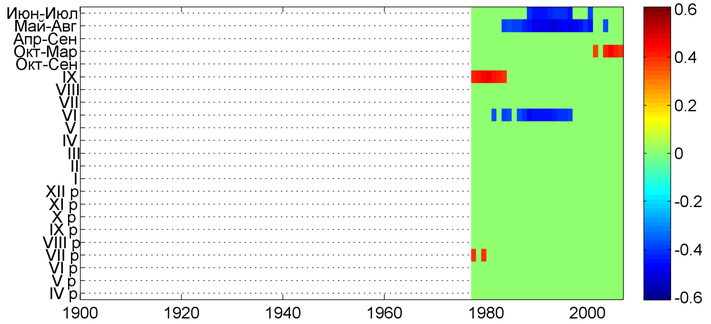

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Агро
К. Сел.
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К. Сел. p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

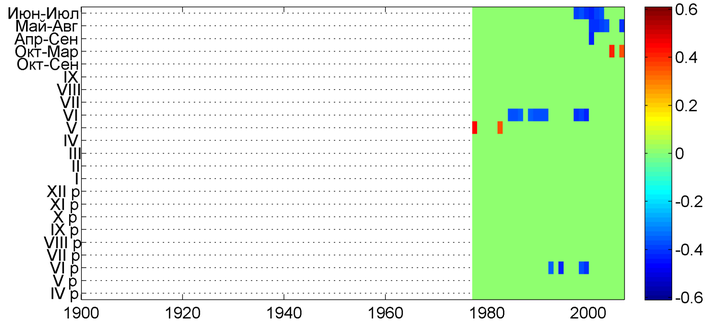

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

SOS

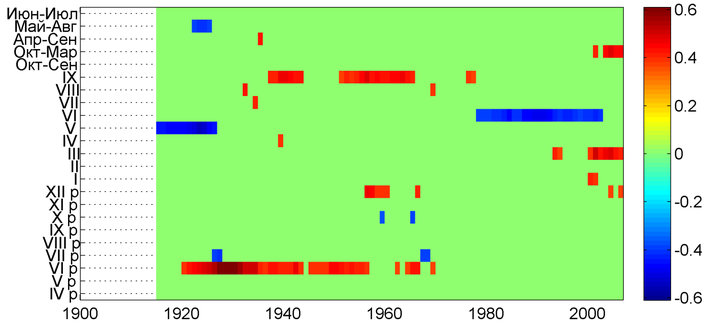
Т мин



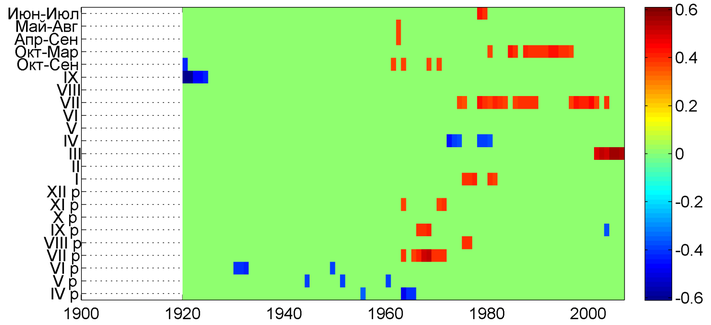
Т макс



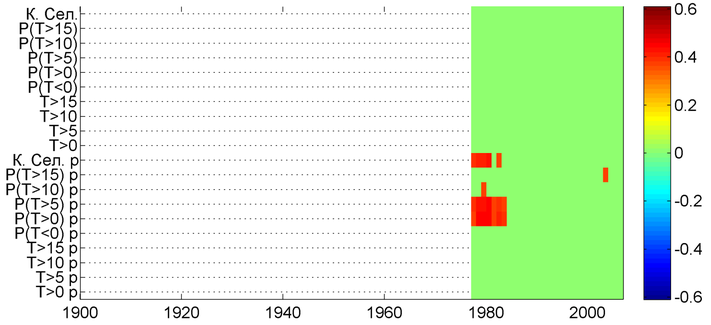
Т средн



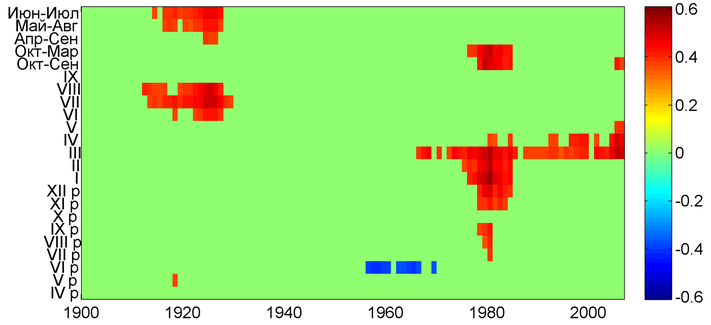
Осадки



Агро

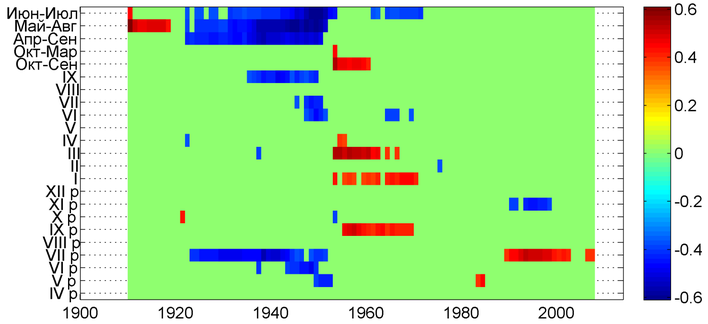


PDSI

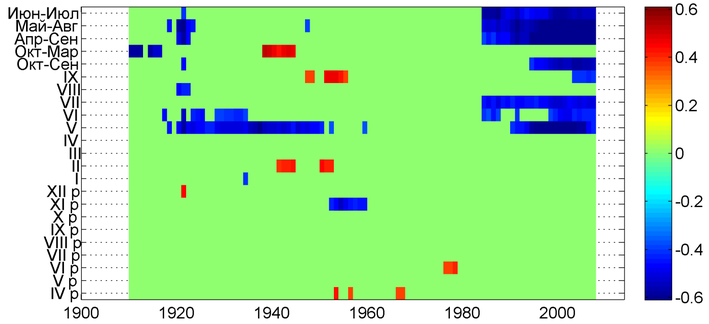


T01S

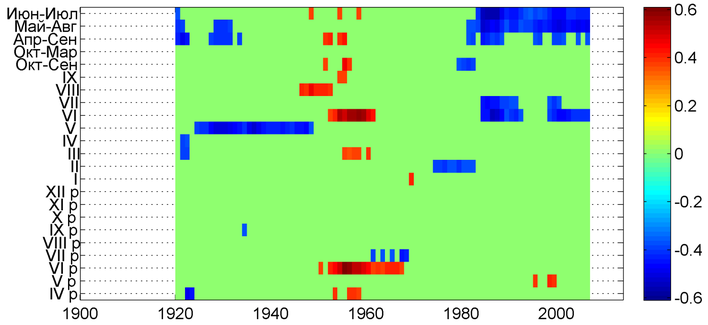
T мин



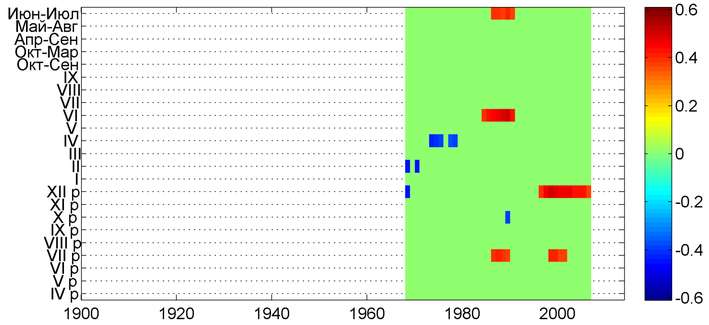
T макс



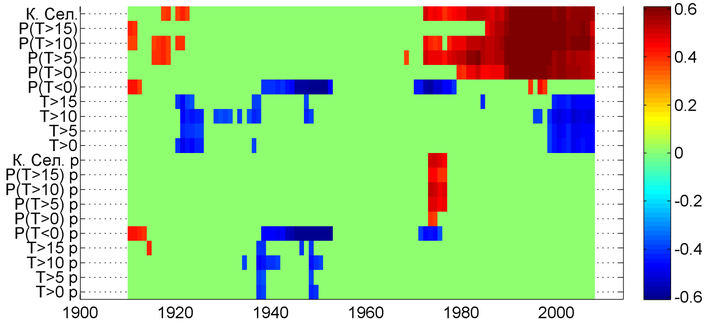
T средн



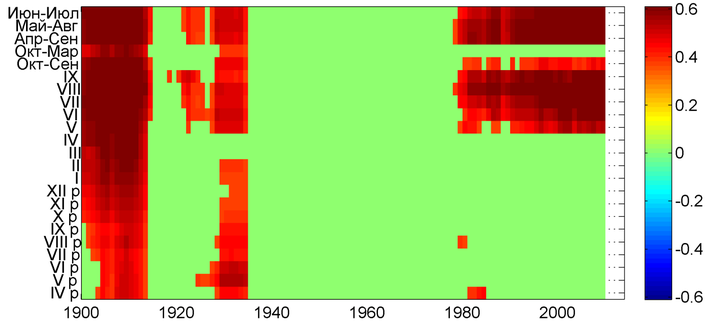
Осадки



Агро

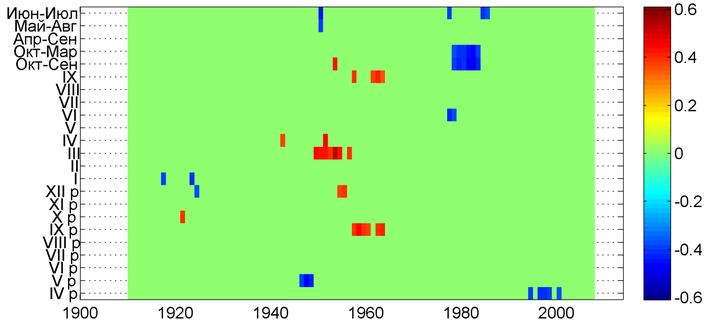


PDSI

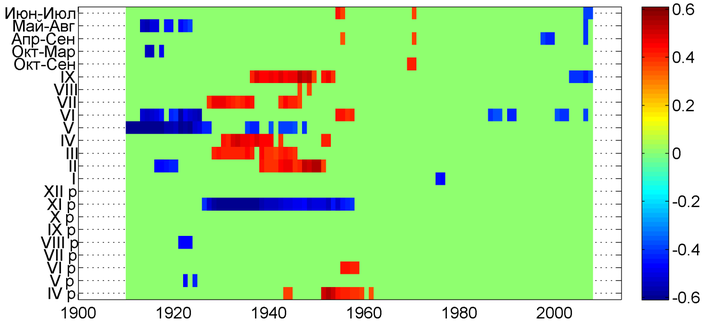


T02S

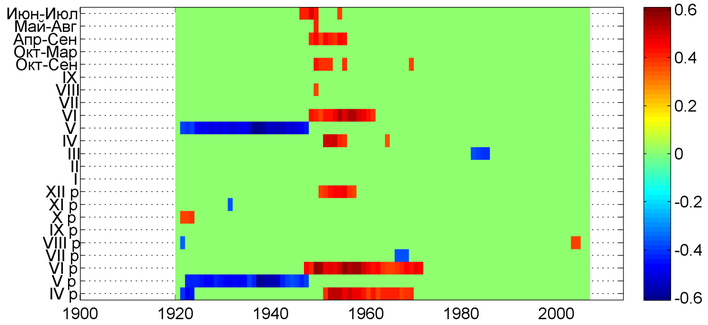
Т мин



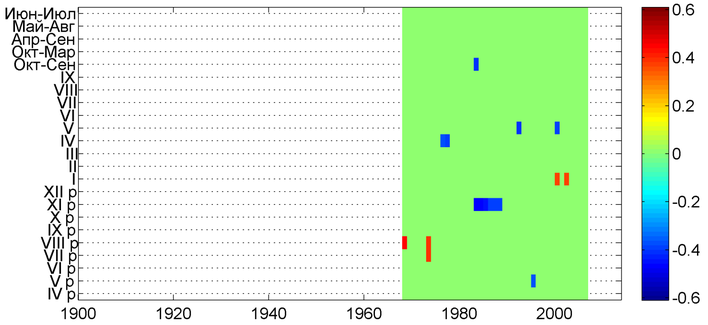
Т макс



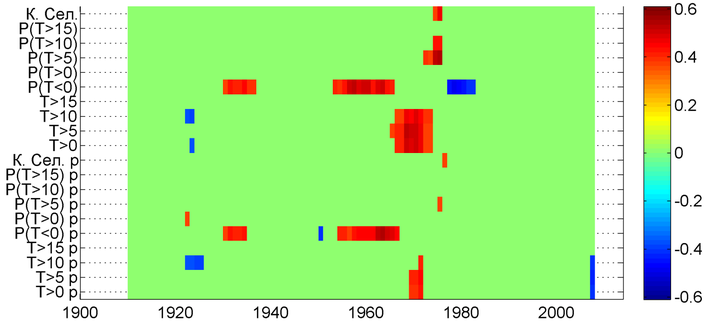
Т средн



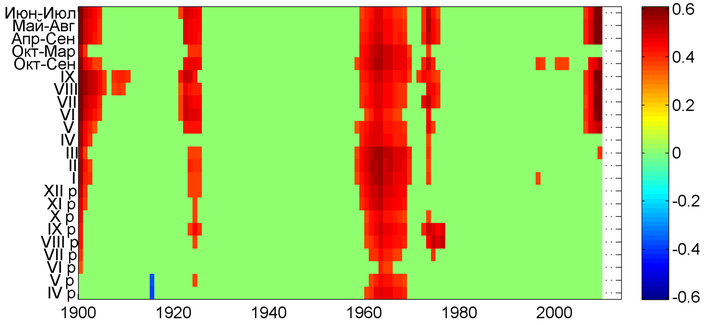
Осадки



Агро

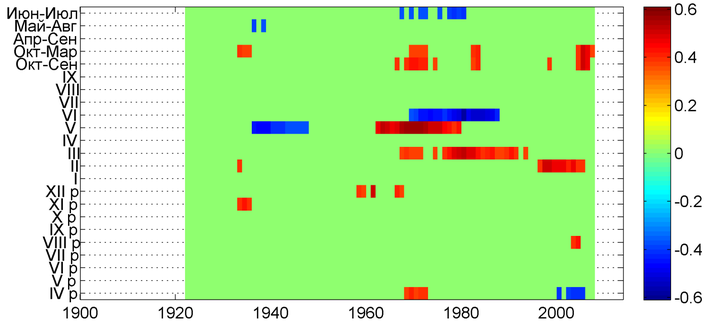


PDSI

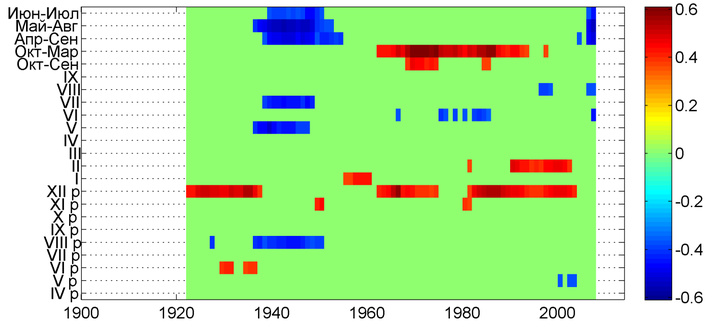


T03S

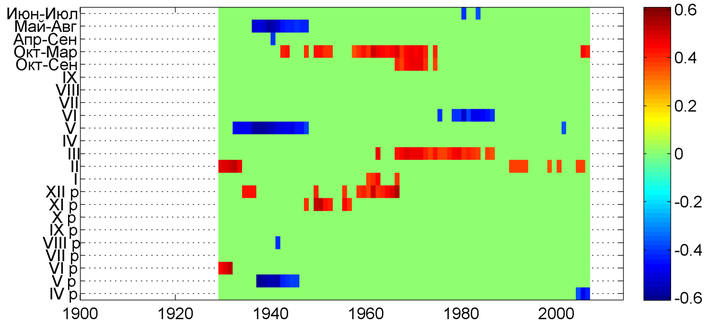
Т мин



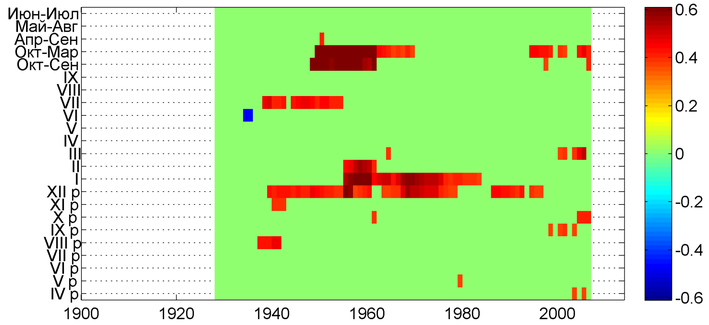
Т макс



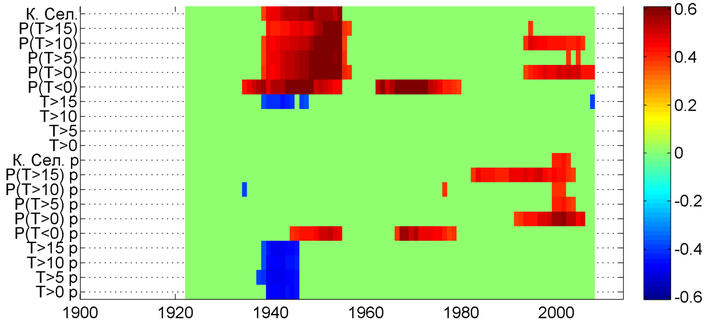
Т средн



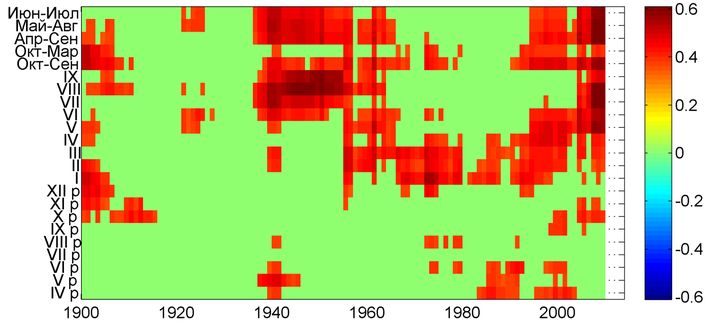
Осадки



Агро

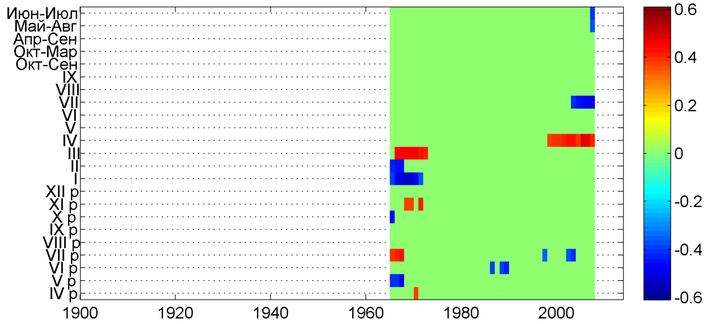


PDSI

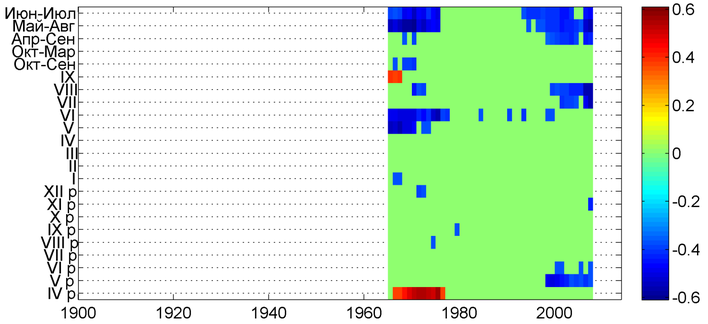


T04S

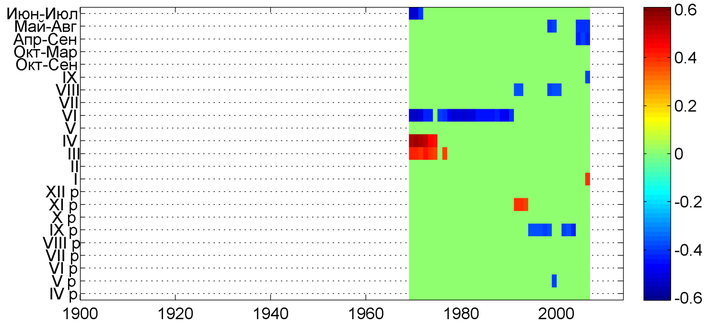
T мин



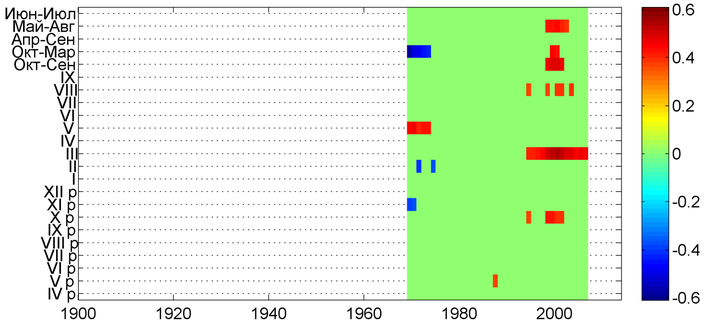
T макс



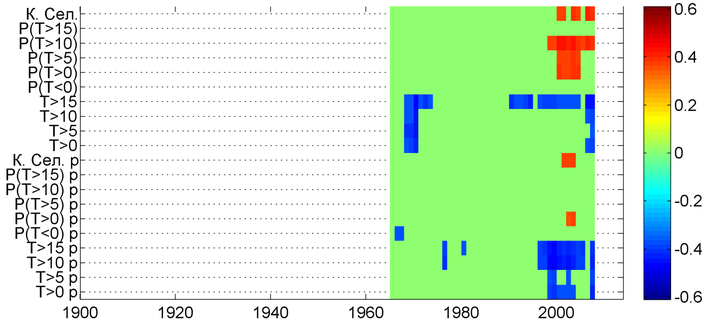
T средн



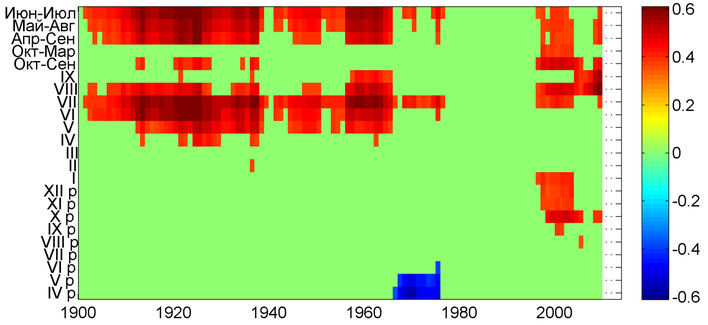
Осадки



Агро

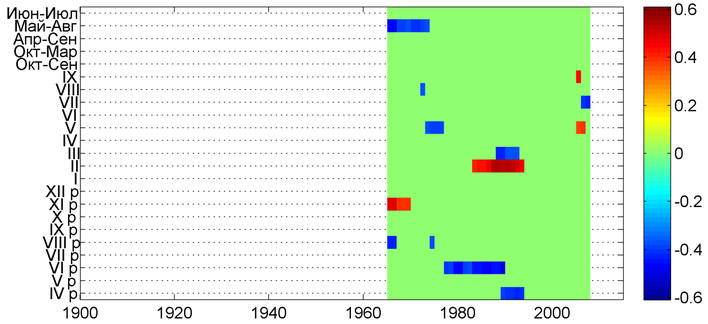


PDSI

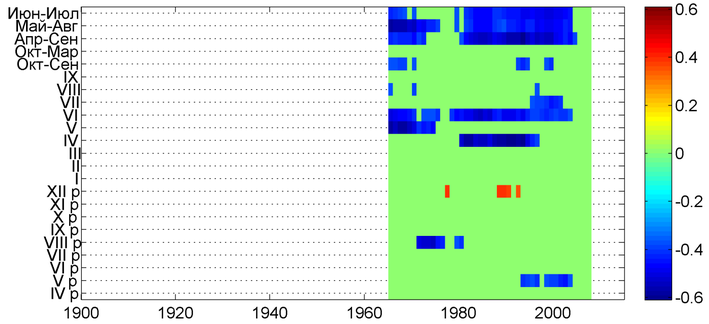


T05S

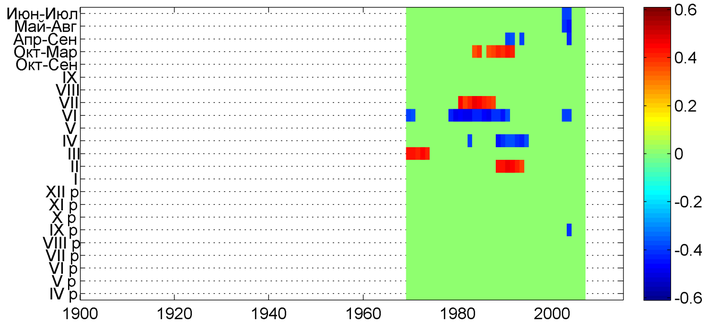
T мин



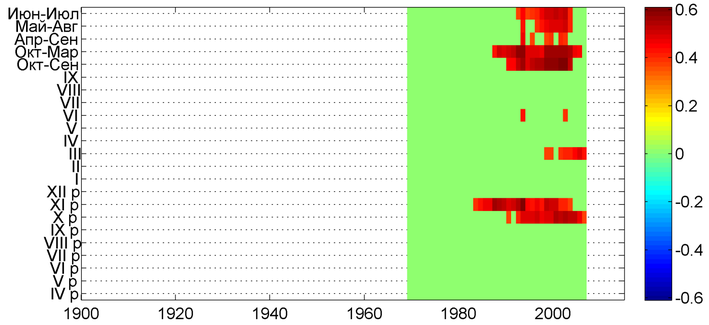
T макс



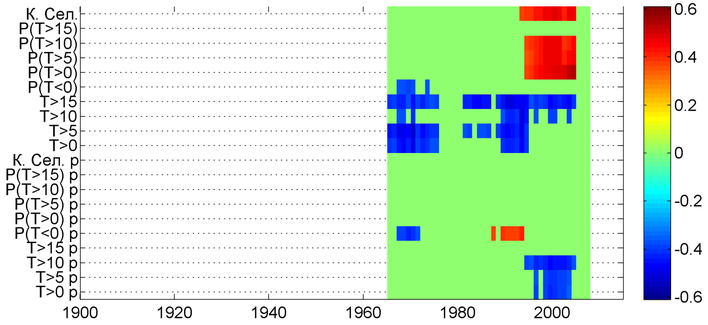
T средн



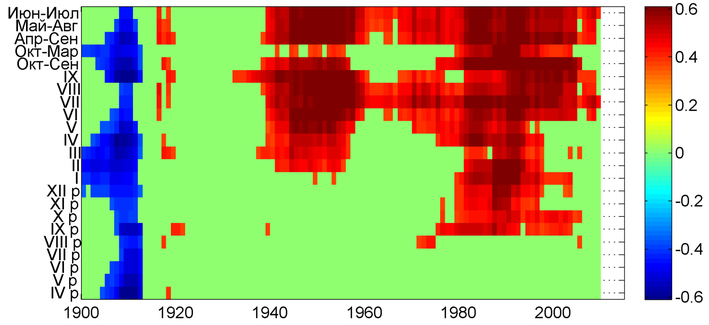
Осадки



Агро

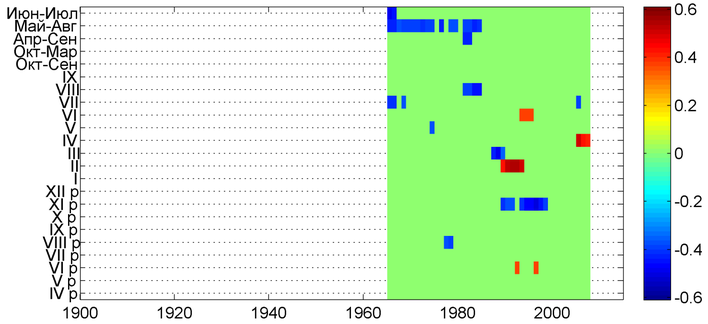


PDSI

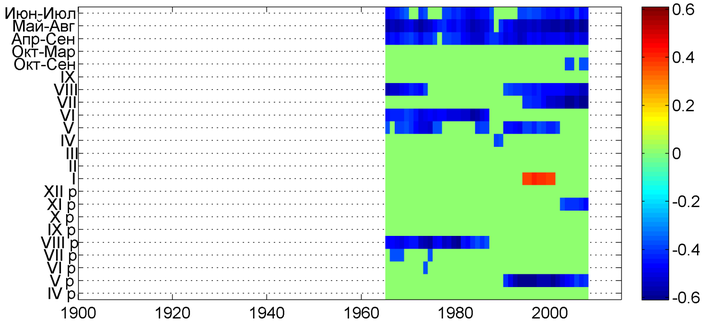


T06S

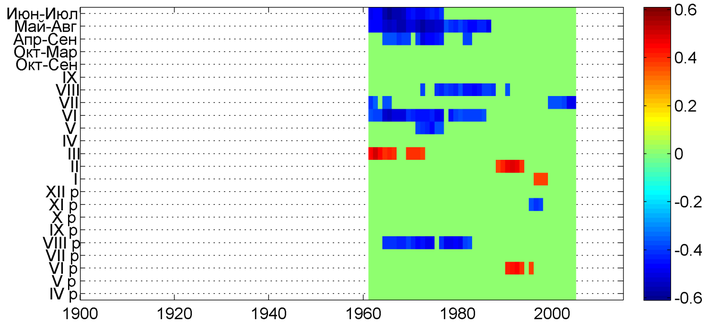
T мин



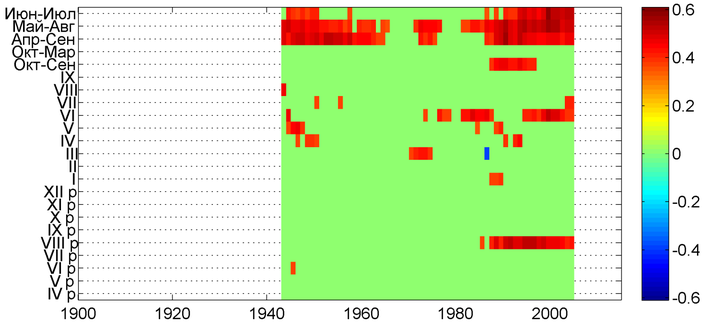
T макс



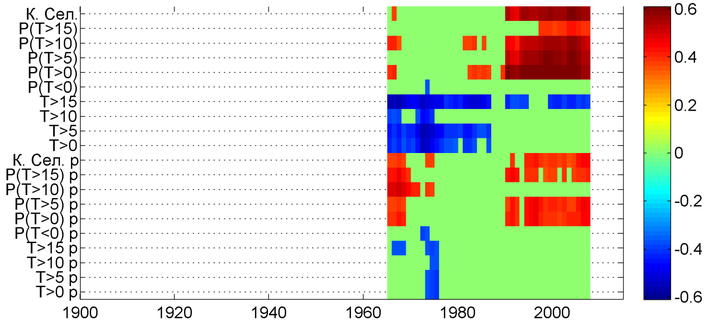
T средн



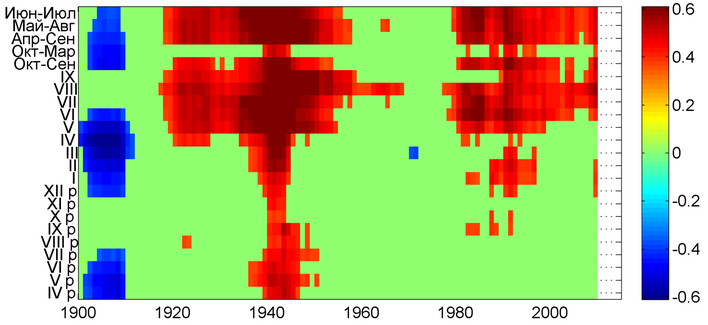
Осадки



Агро

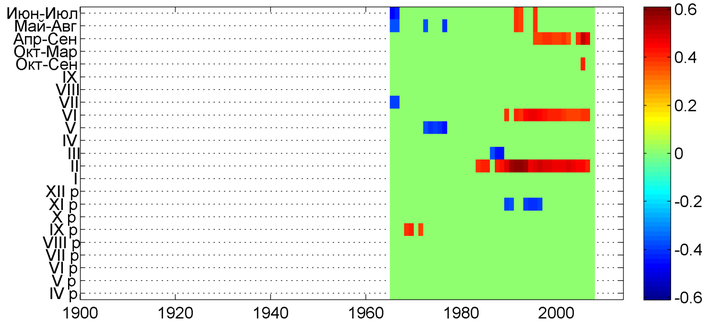


PDSI

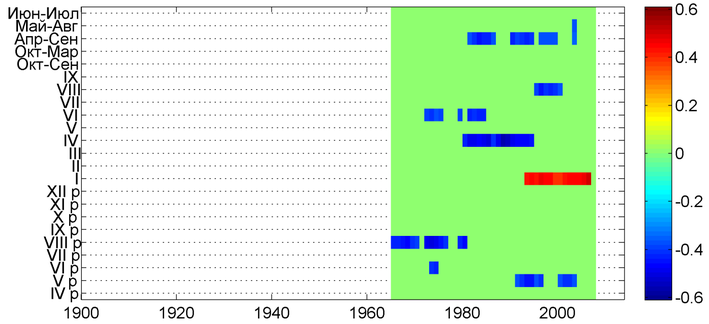


T07S

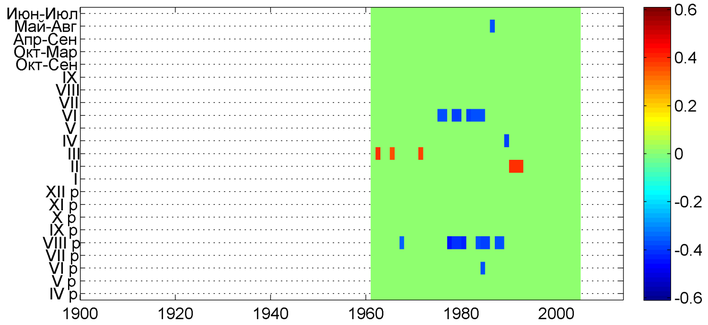
T мин



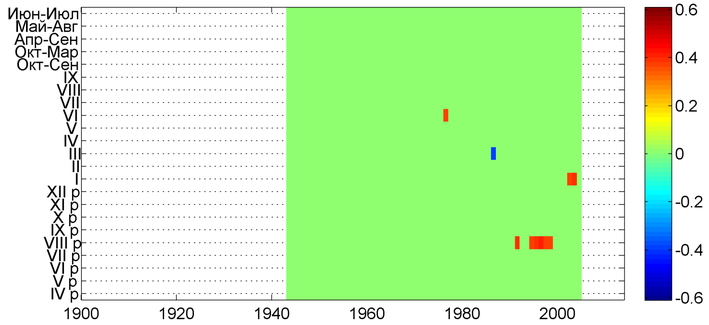
T макс



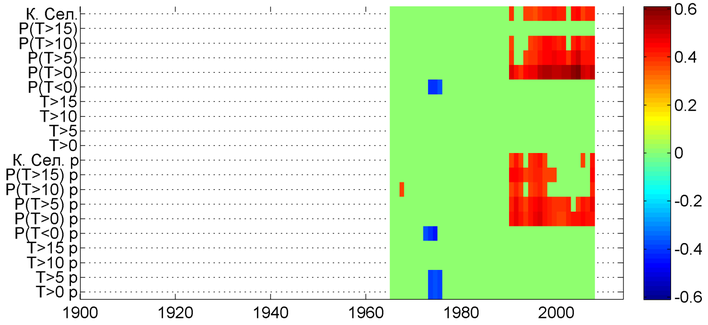
T средн



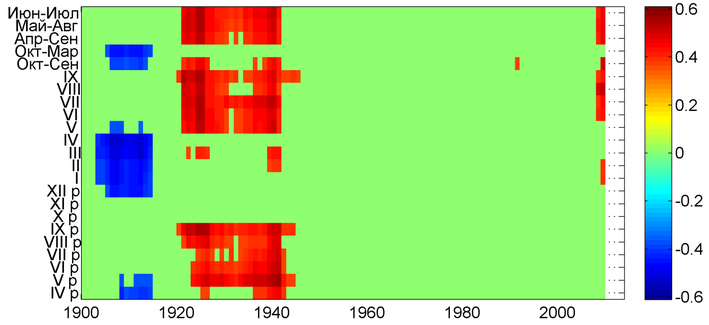
Осадки



Агро

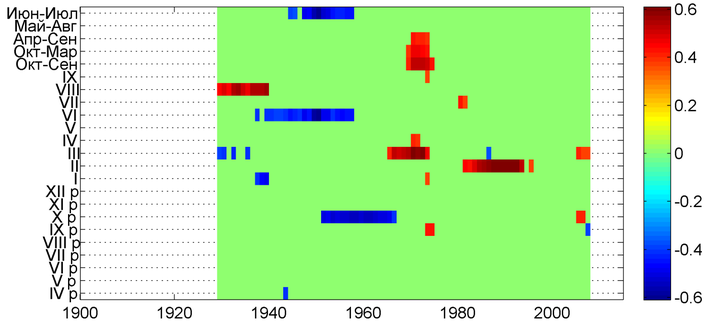


PDSI

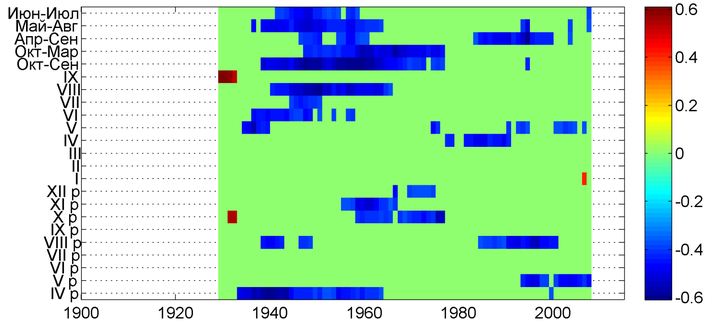


T08S

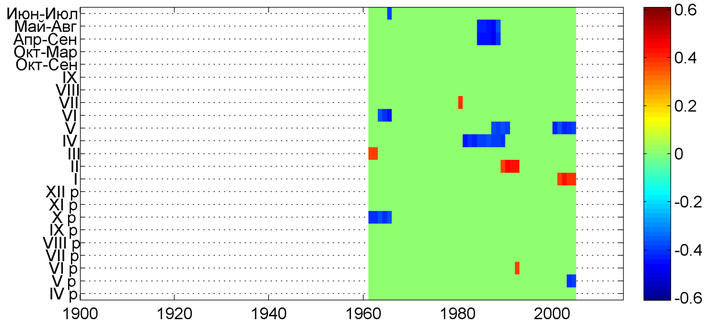
Т мин



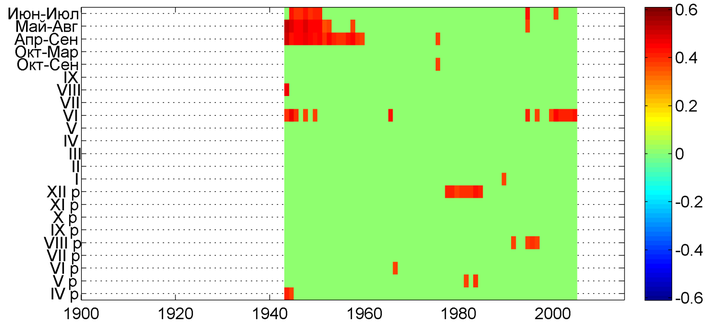
Т макс



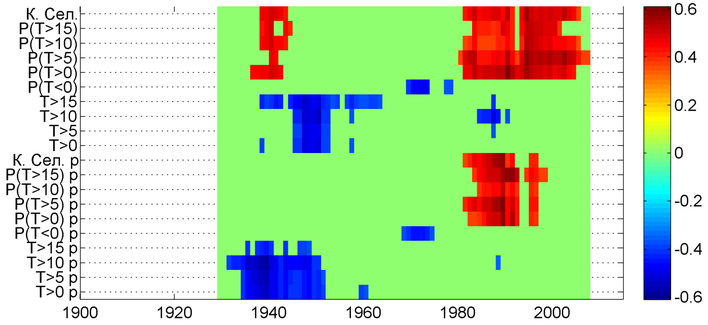
Т средн



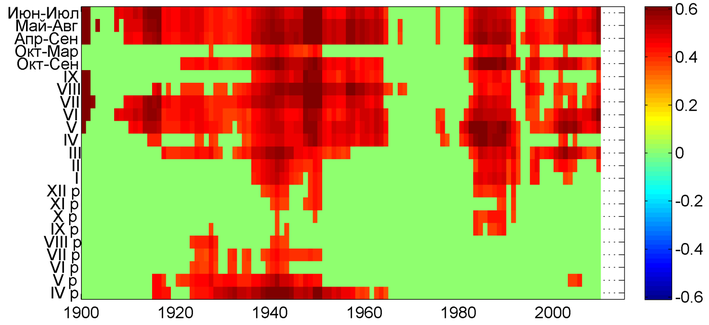
Осадки



Агро

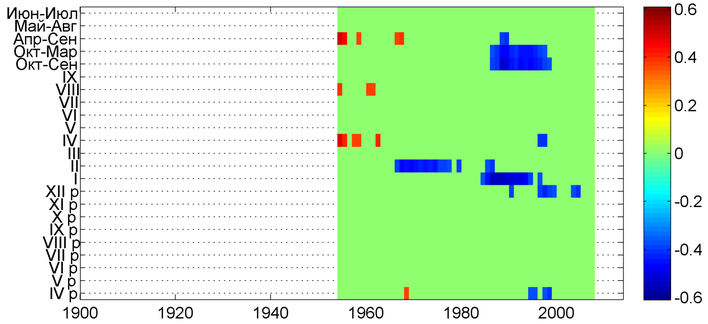


PDSI

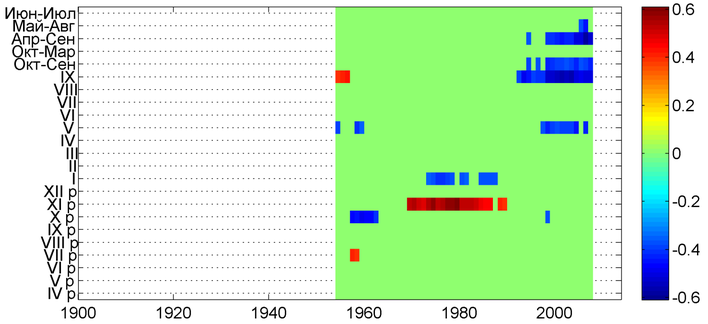


T09S

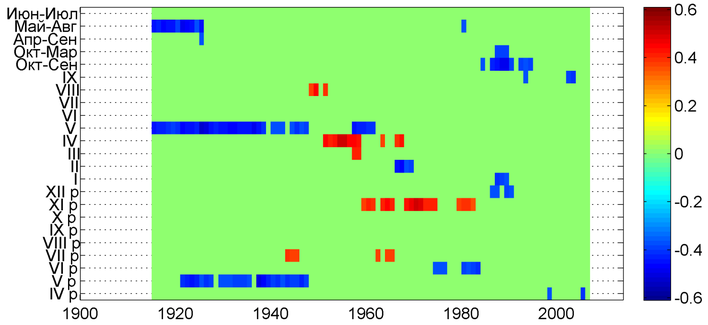
Т мин



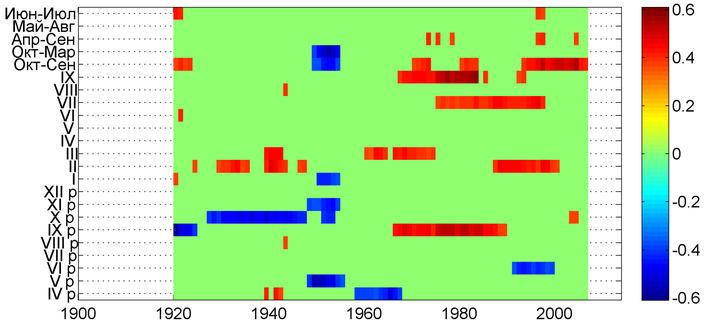
Т макс



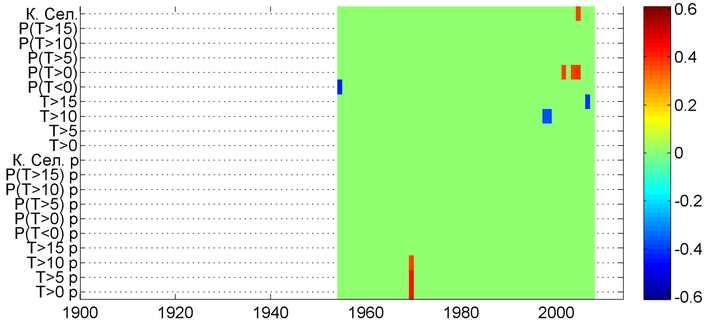
Т средн



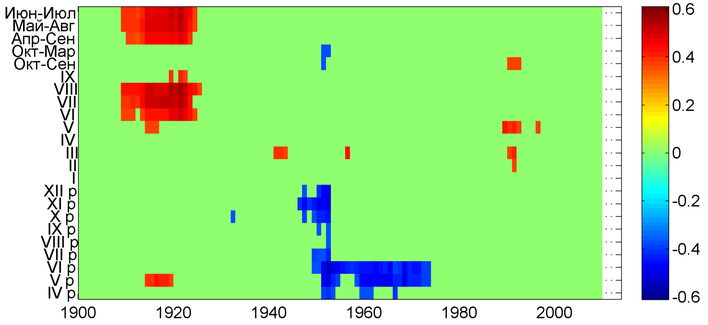
Осадки



Агро

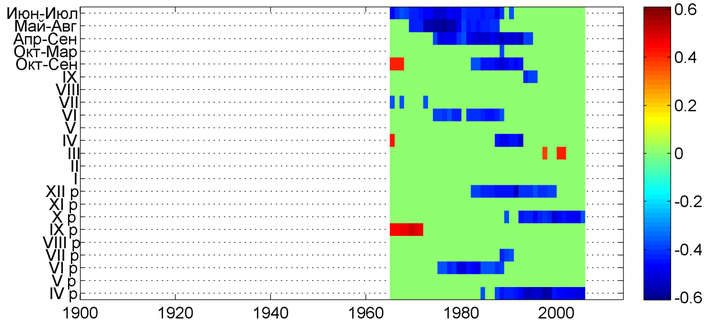


PDSI

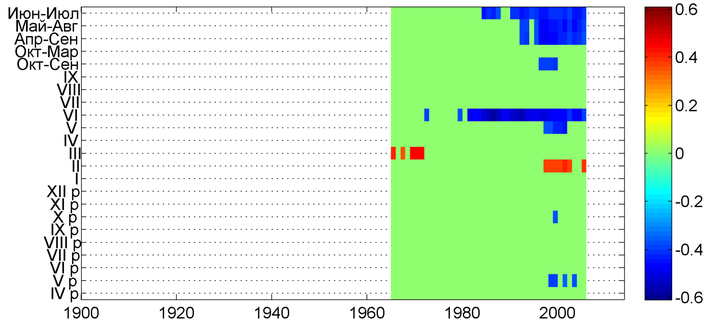


T10S

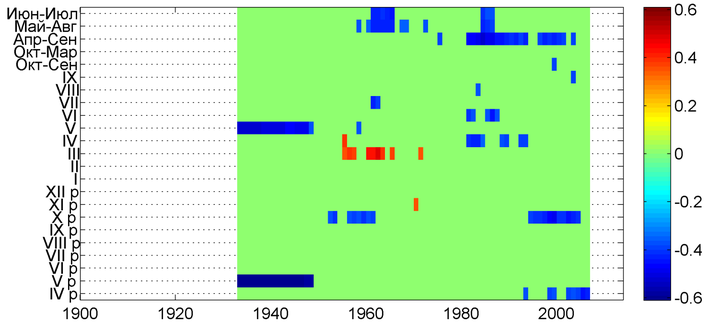
T мин



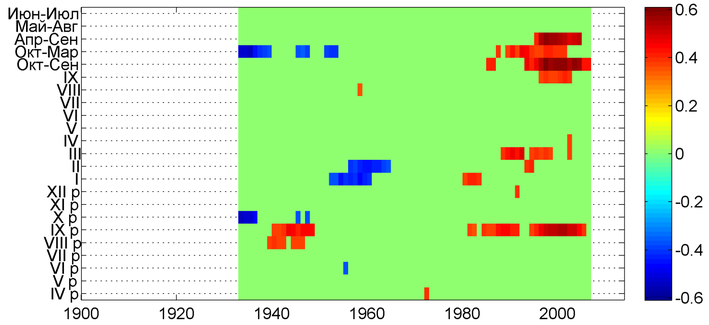
T макс



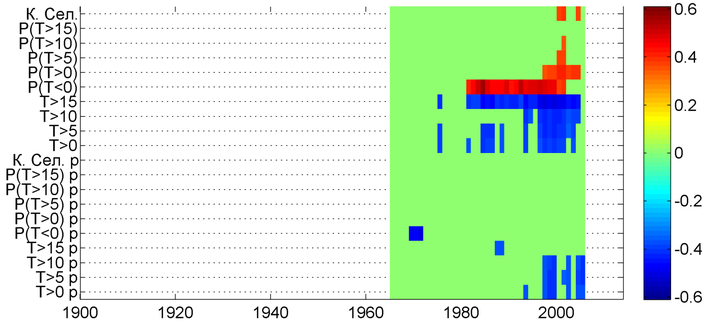
T средн



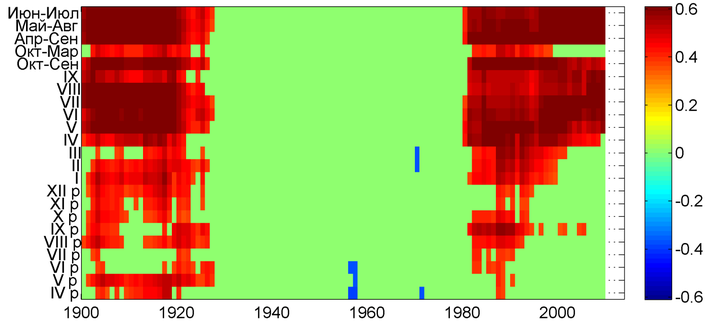
Осадки



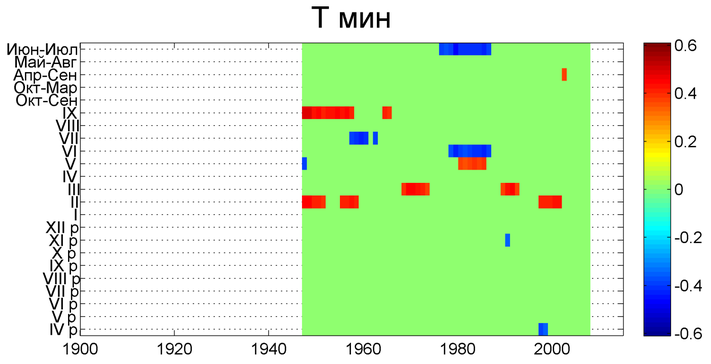
Агро

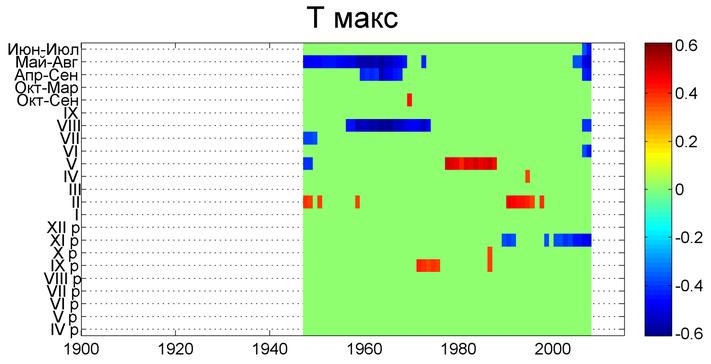


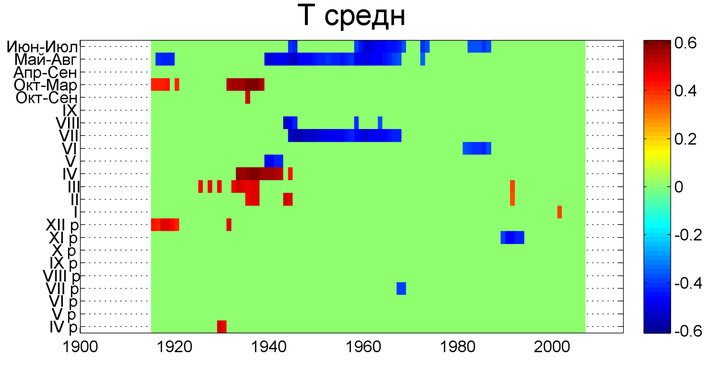
PDSI

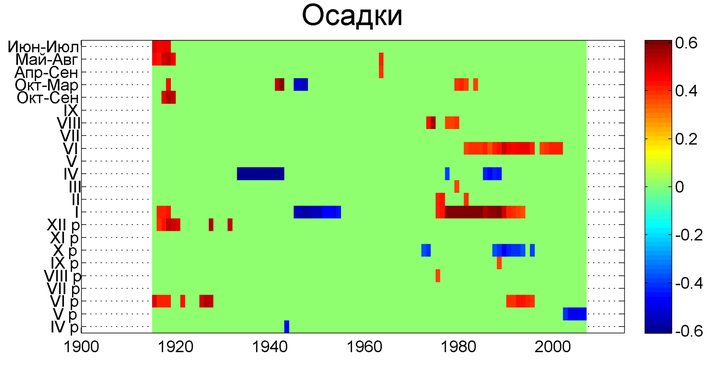


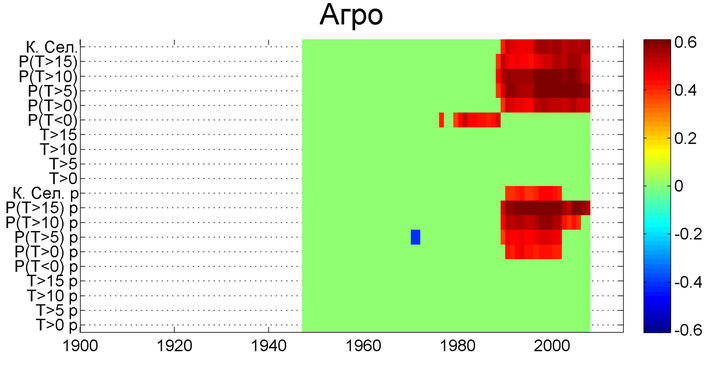
T11S

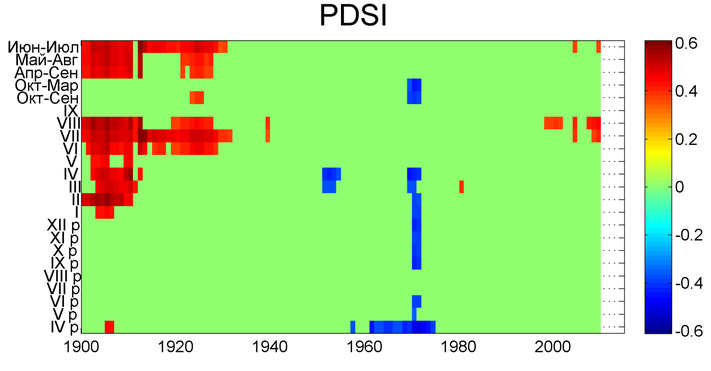

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

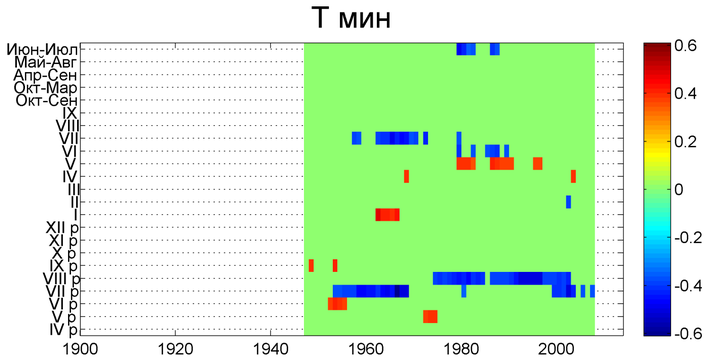

Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

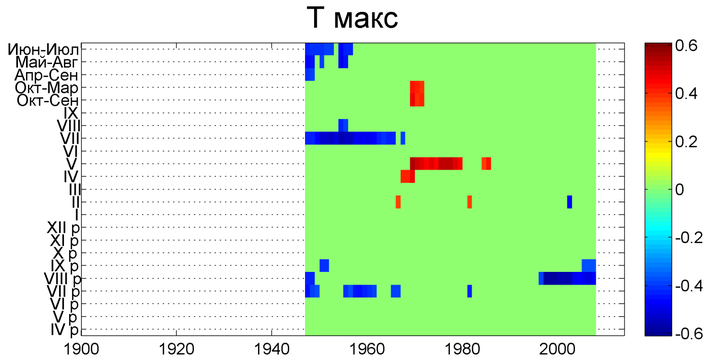

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

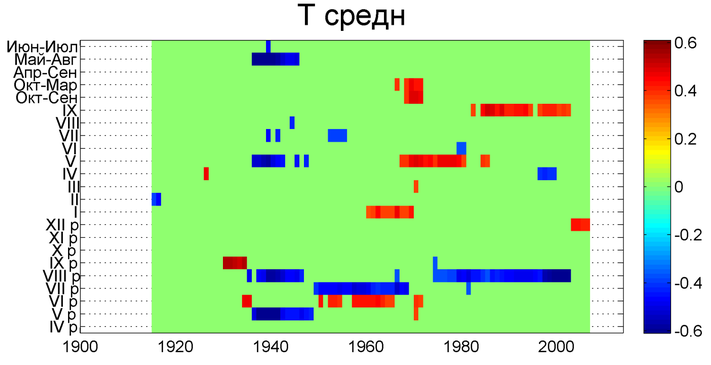

Агро
К. Сел.
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К. Сел. p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

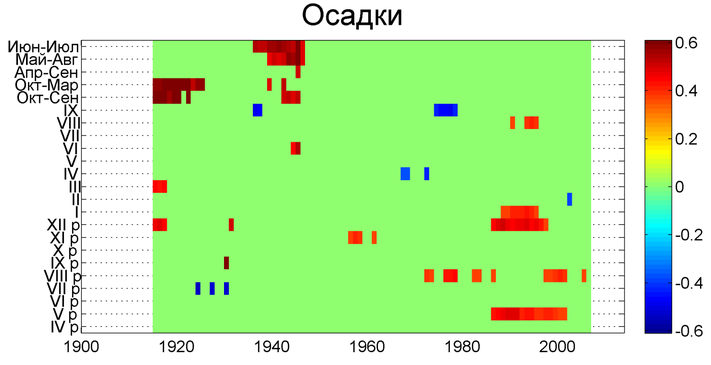

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

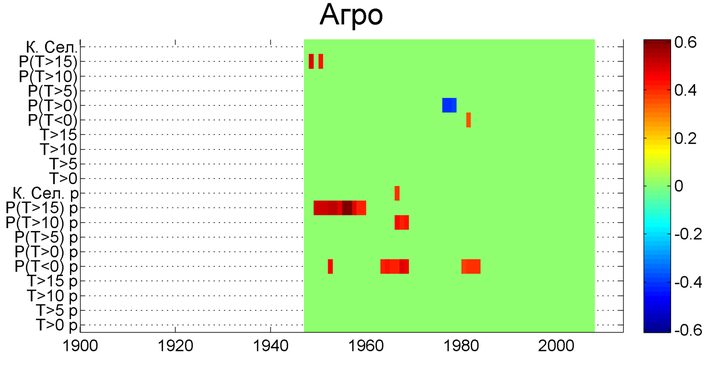
T12D

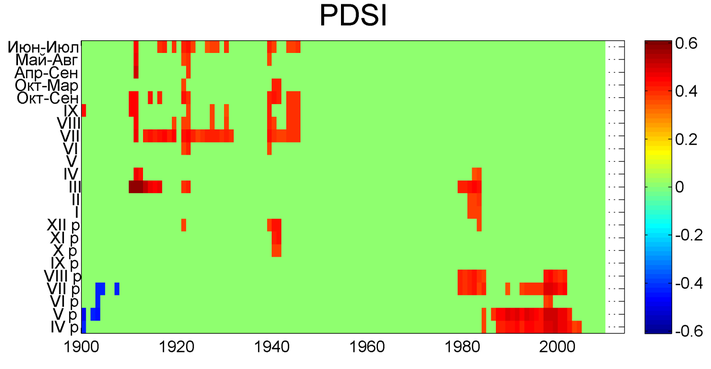

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

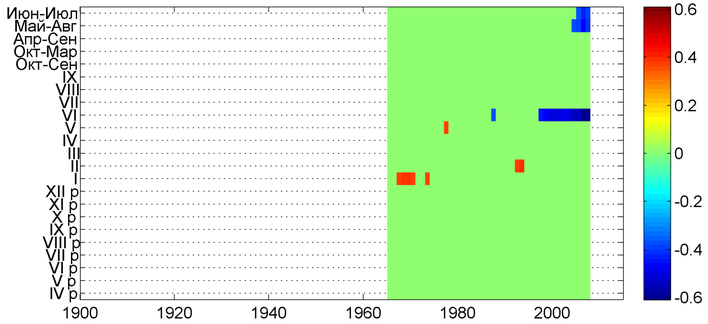

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Агро
К. Сел.
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К. Сел. p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

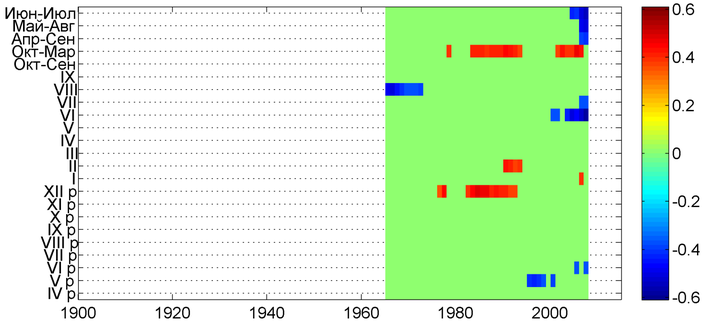

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

T13S

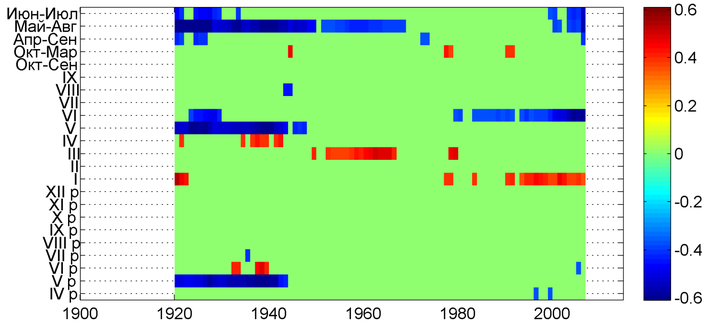
T мин



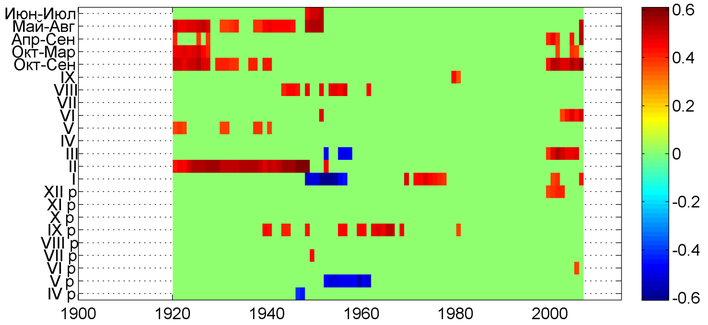
T макс



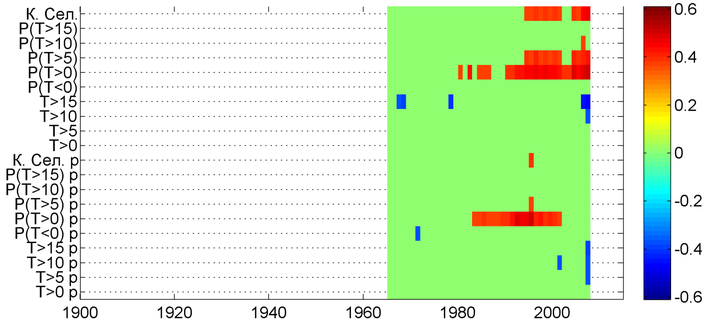
T средн



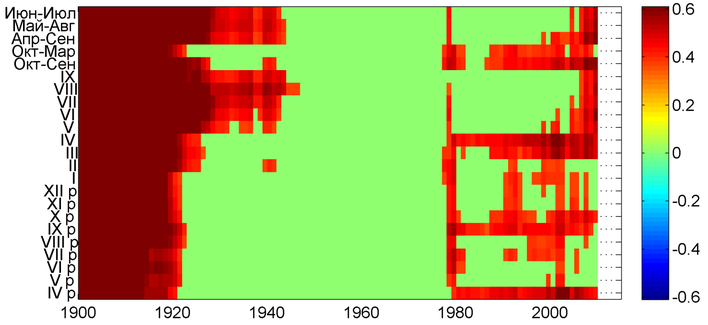
Осадки



Агро

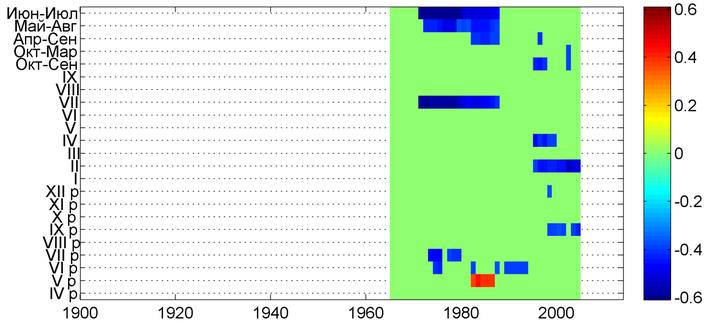


PDSI

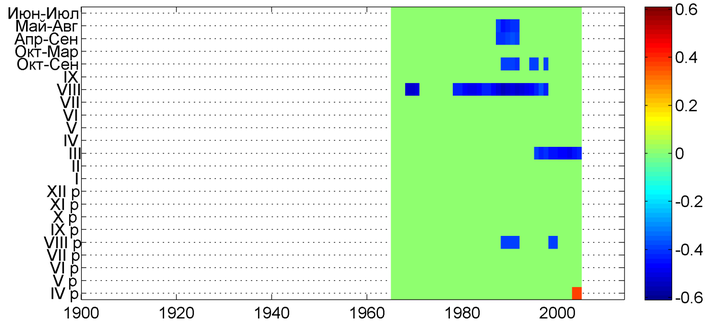


V01D

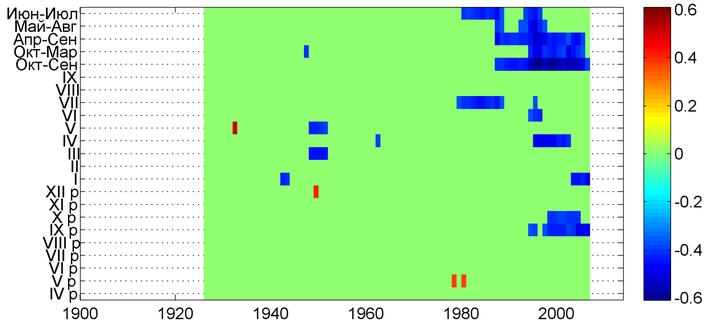
T мин



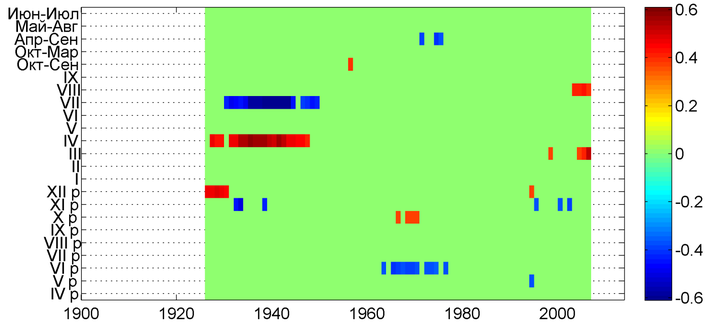
T макс



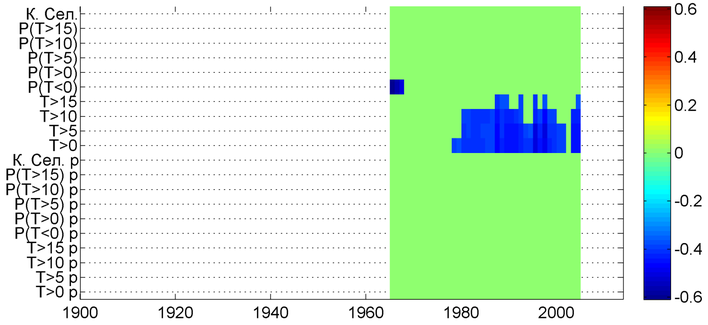
T средн



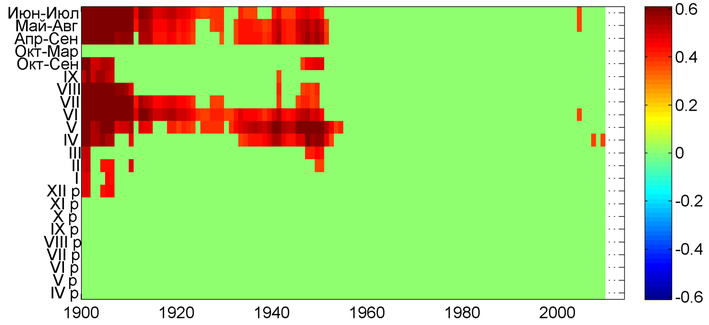
Осадки



Агро

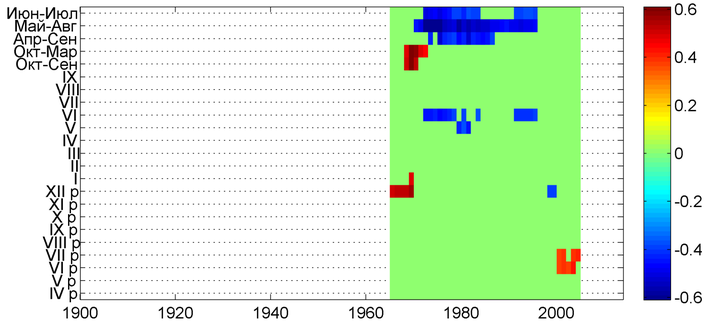


PDSI

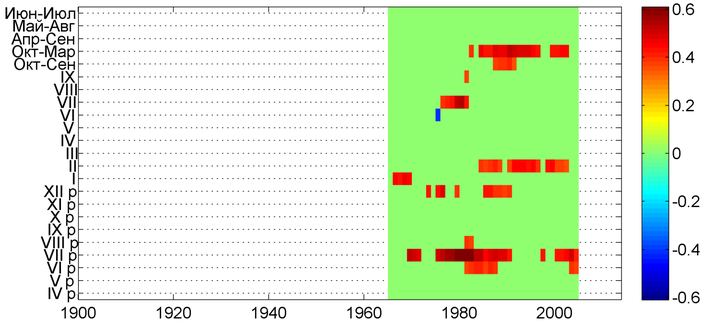


V02S

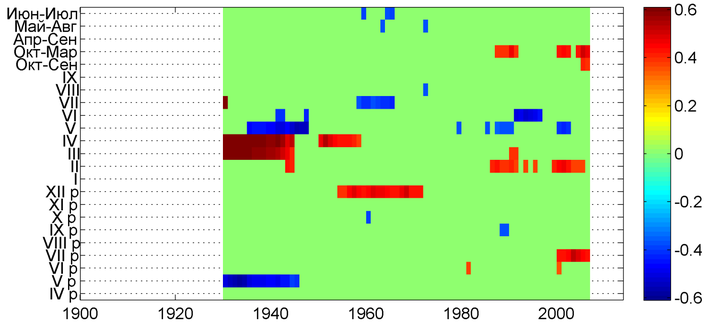
T мин



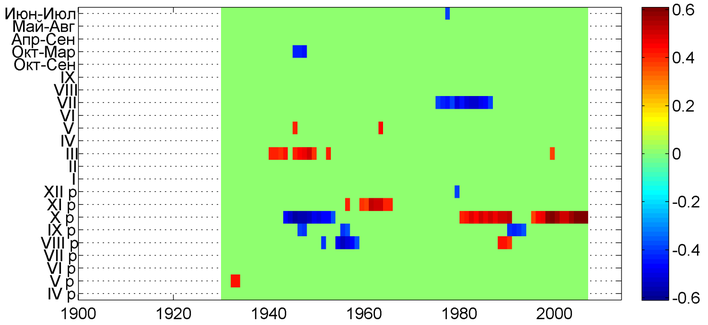
T макс



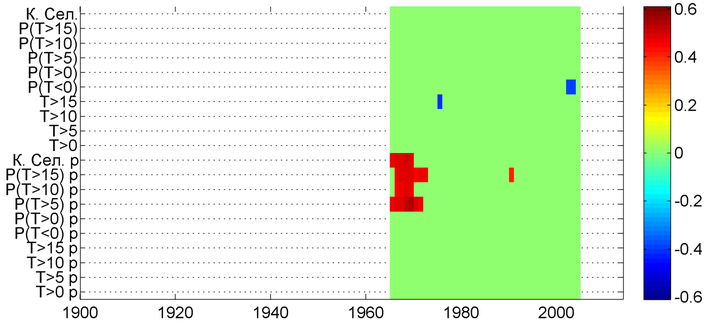
T средн



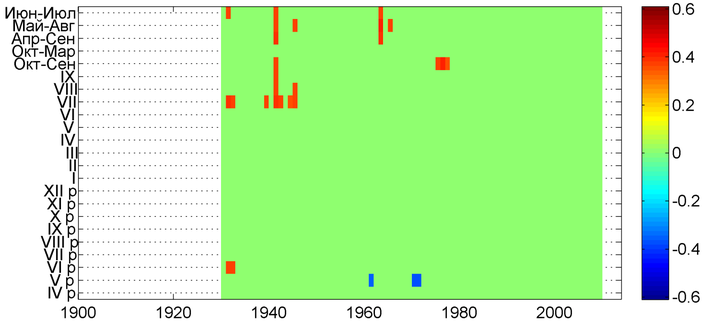
Осадки



Агро

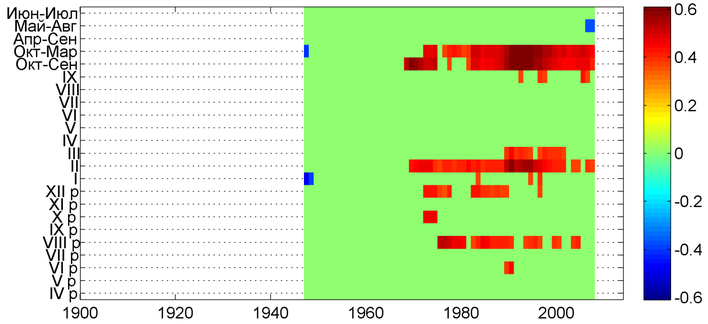


PDSI

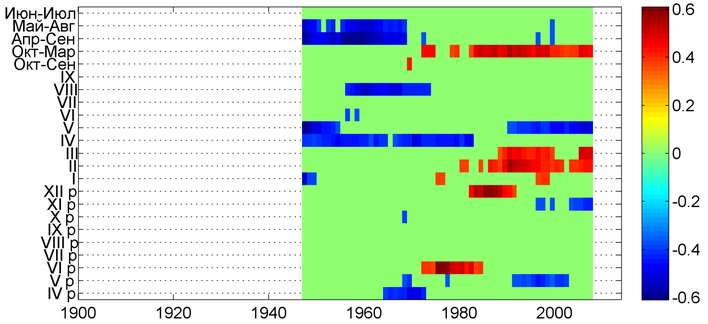


V03S

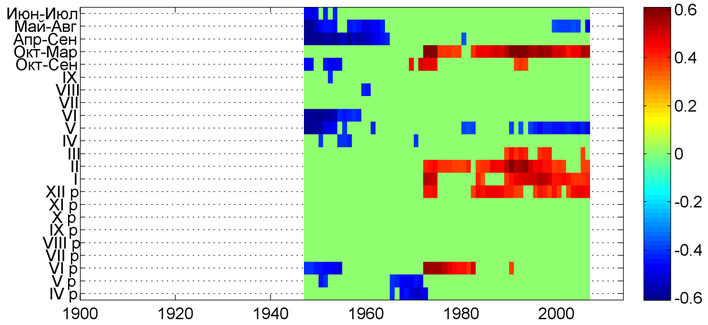
Т мин



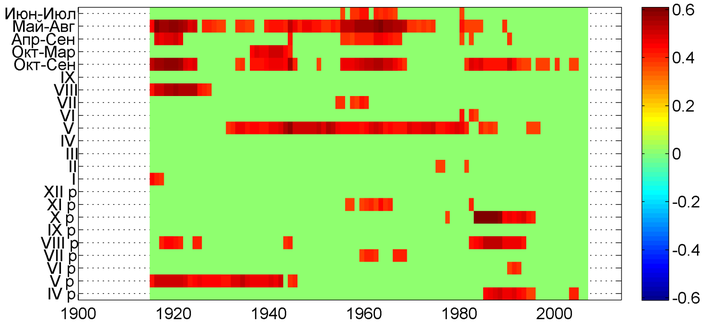
Т макс



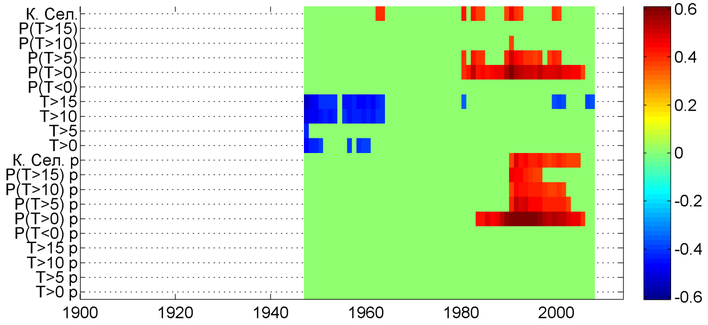
Т средн



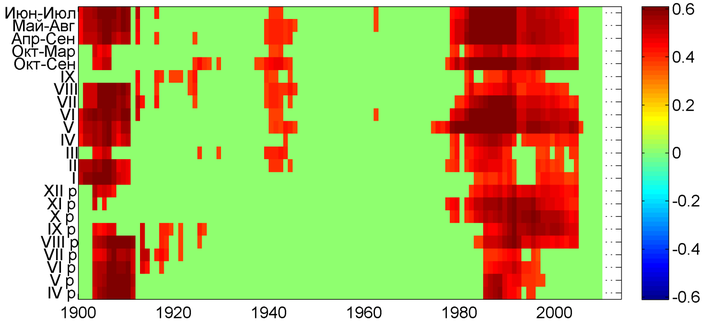
Осадки



Агро

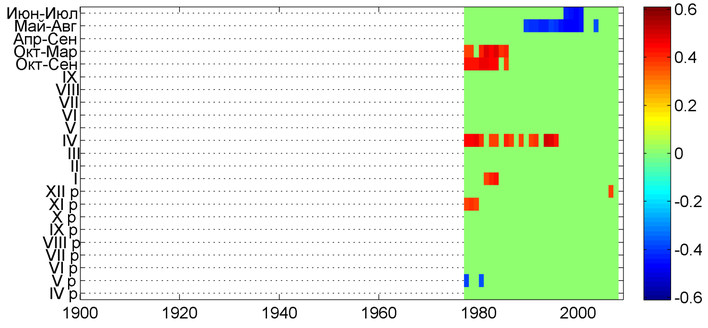


PDSI

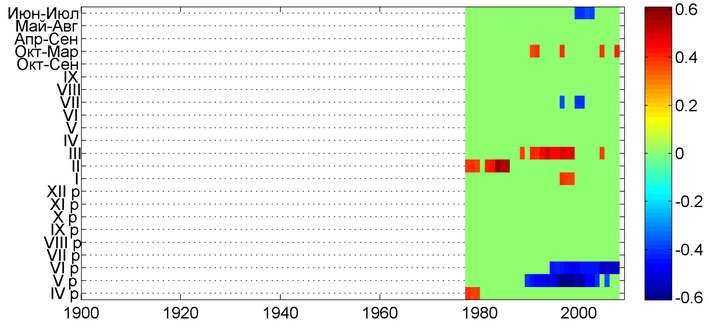


VYAZ

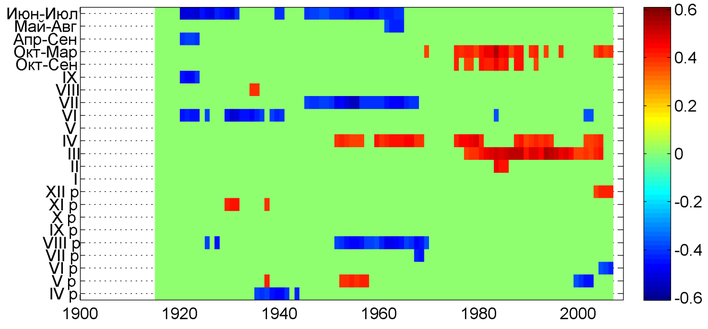
Т мин



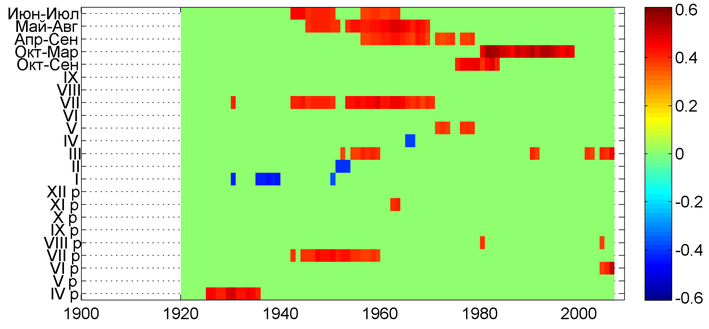
Т макс



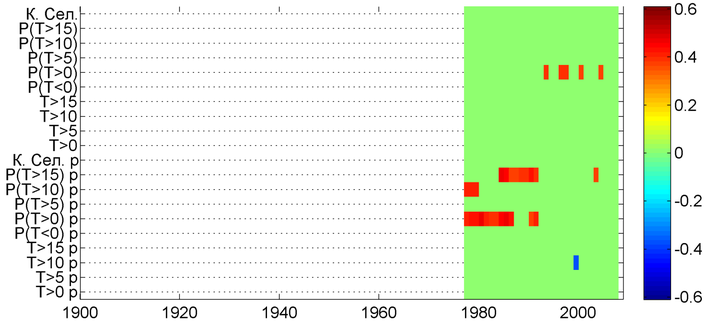
Т средн



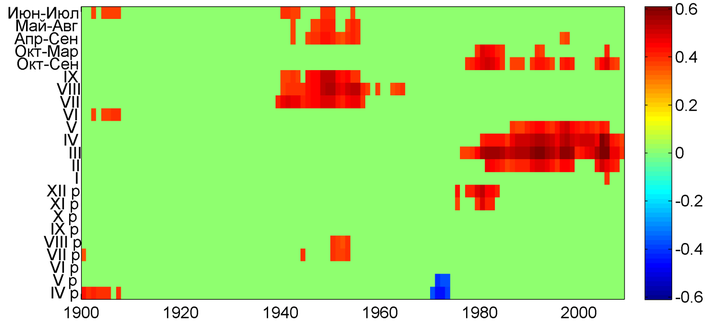
Осадки



Агро

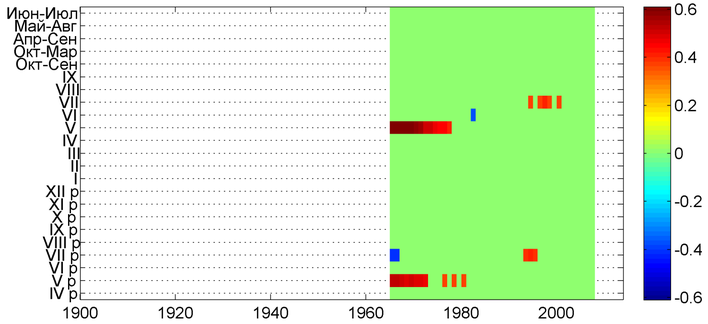


PDSI

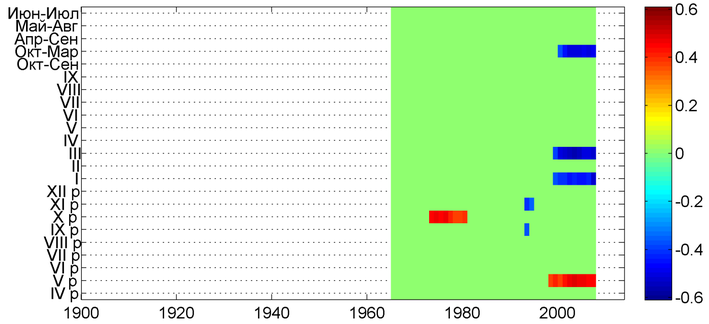


W01D

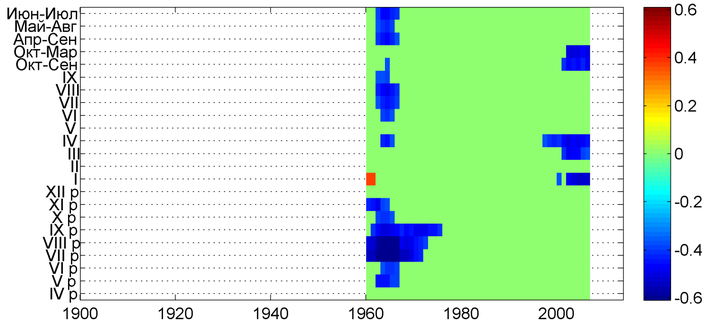
T мин



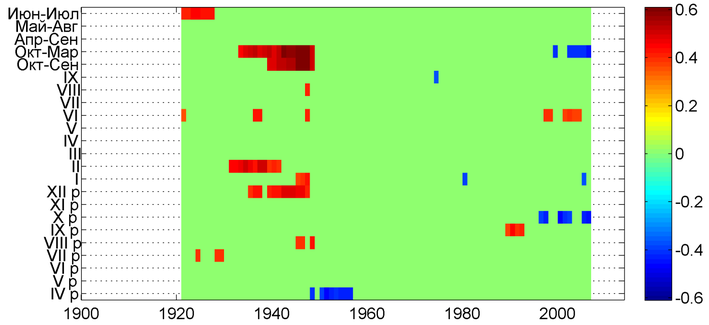
T макс



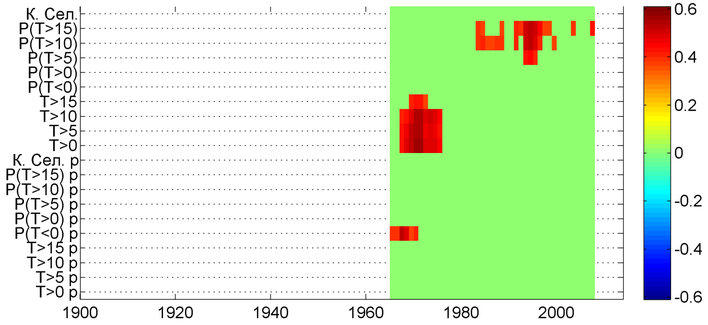
T средн



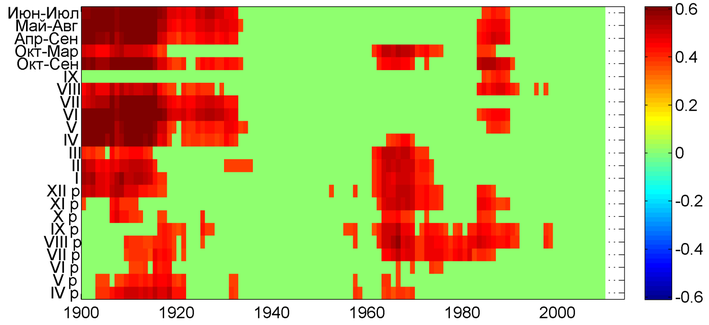
Осадки



Агро

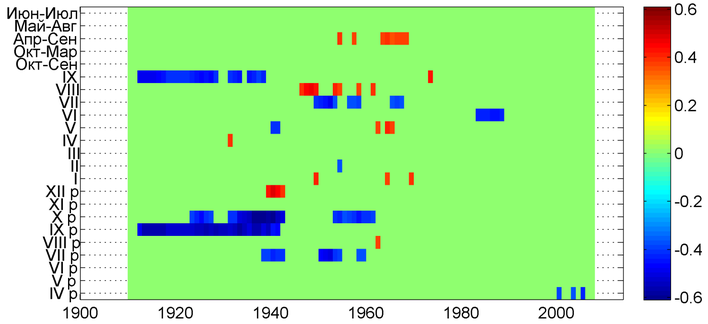


PDSI

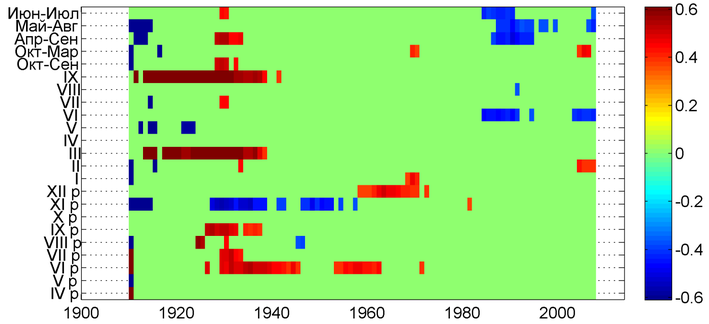


X01S

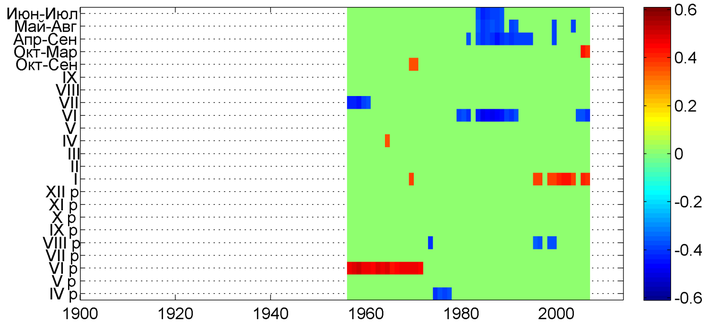
Т мин



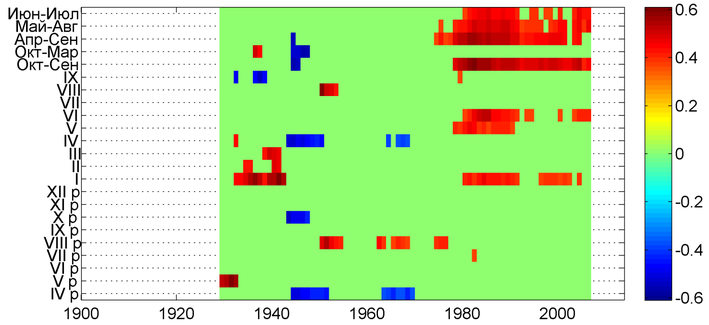
Т макс



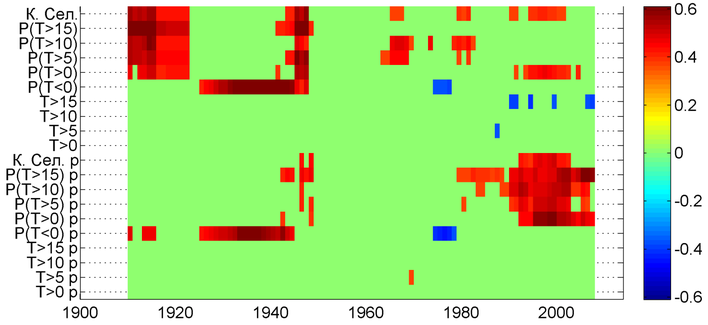
Т средн



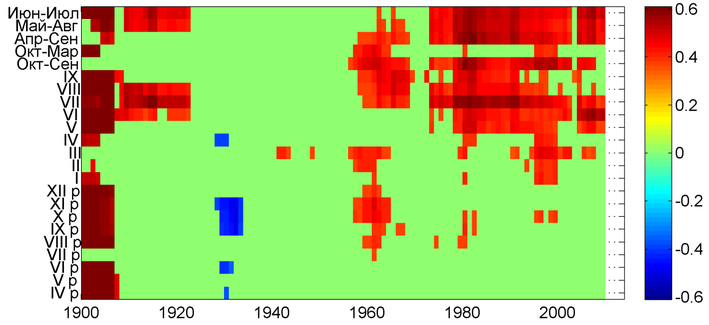
Осадки



Агро

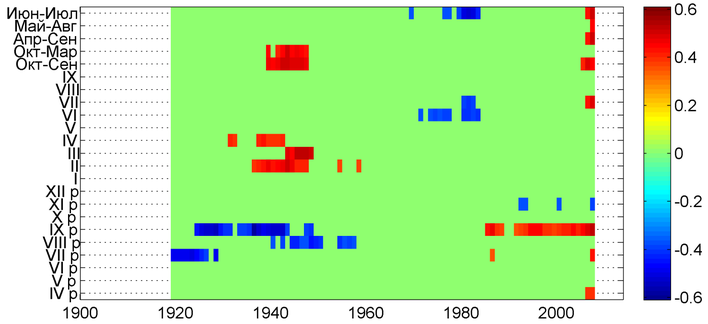


PDSI

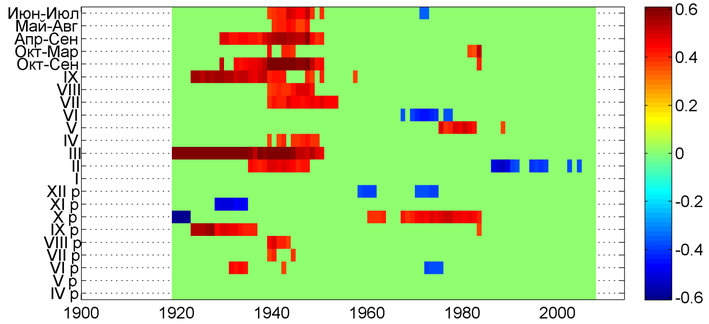


X02S

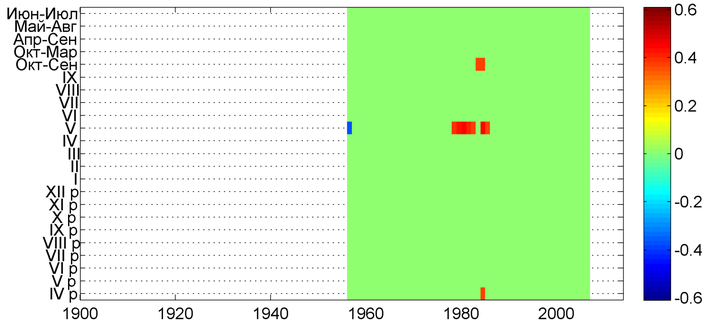
Т мин



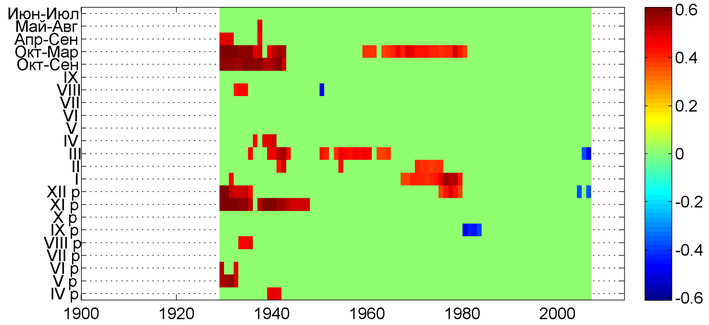
Т макс



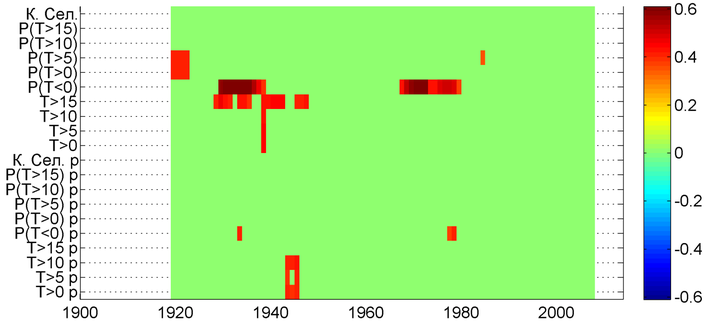
Т средн



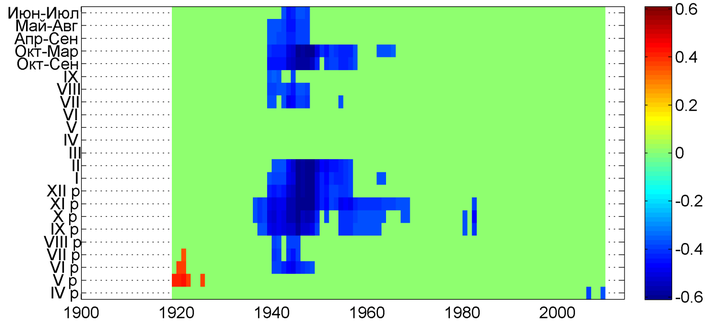
Осадки



Агро

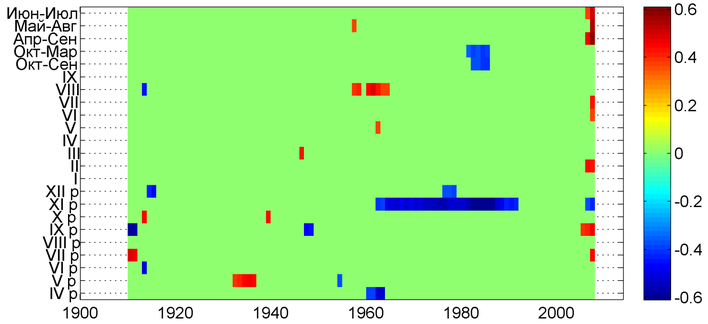


PDSI

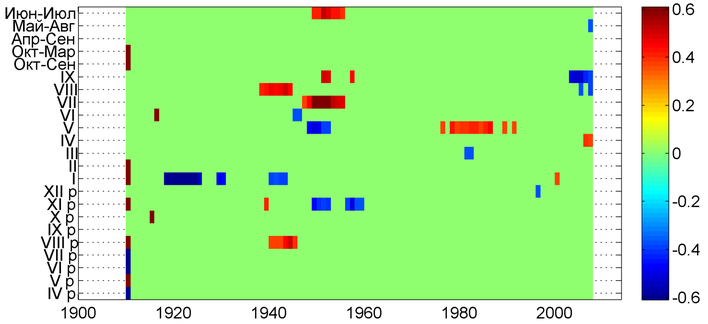


X03S

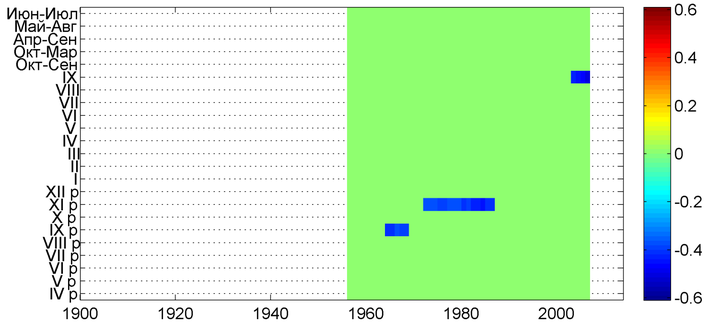
Т мин



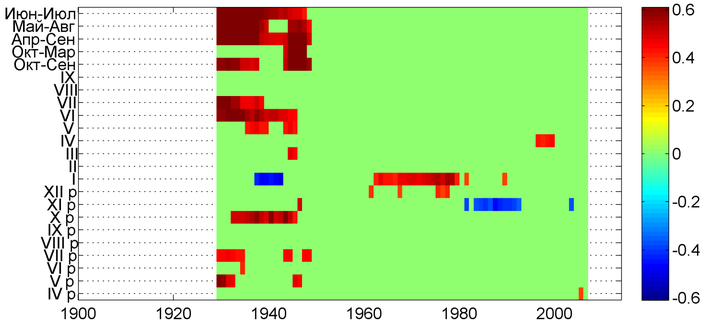
Т макс



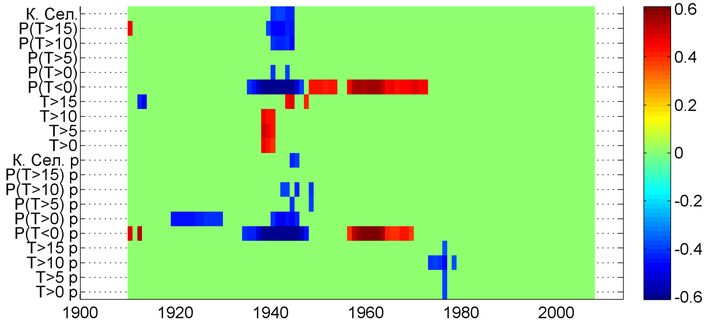
Т средн



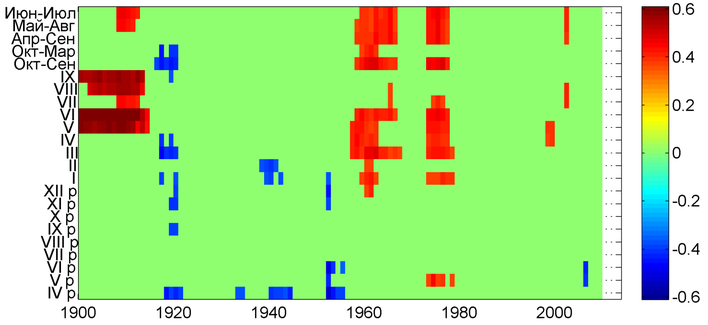
Осадки



Агро

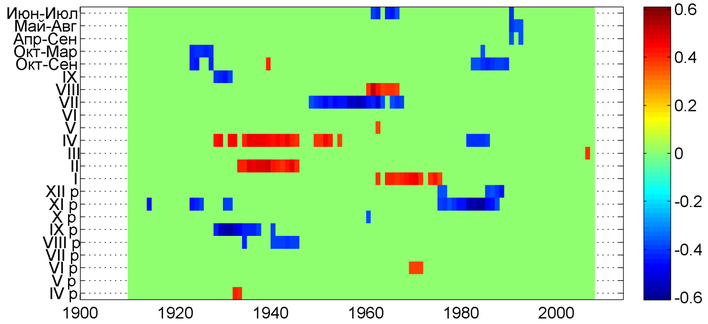


PDSI

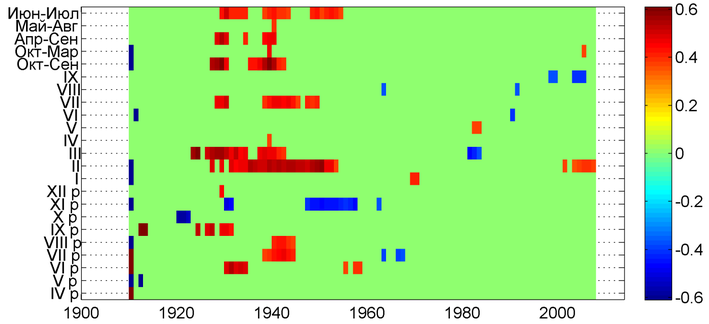


X04S

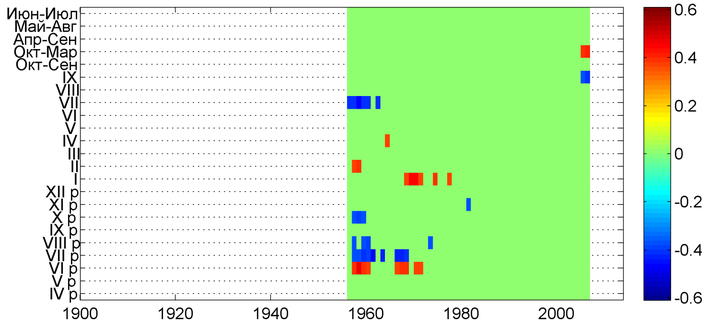
Т мин



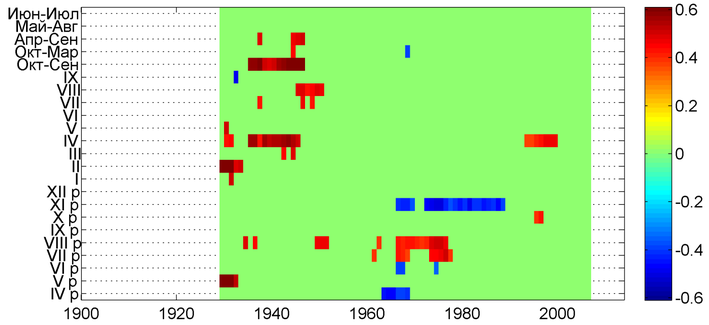
Т макс



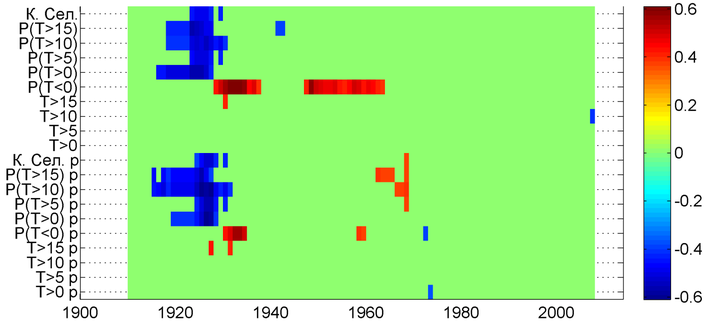
Т средн



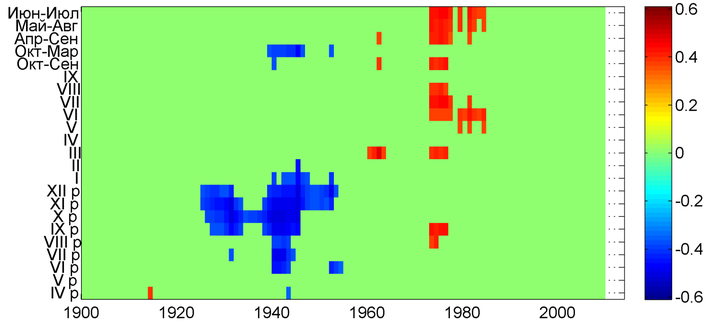
Осадки



Агро

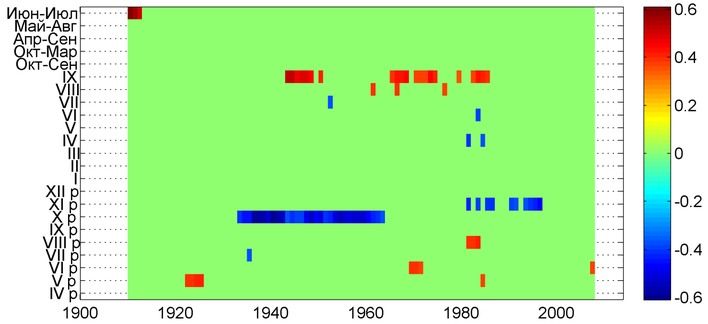


PDSI

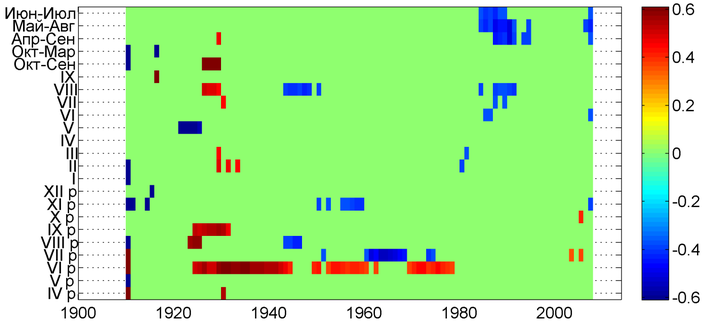


X05S

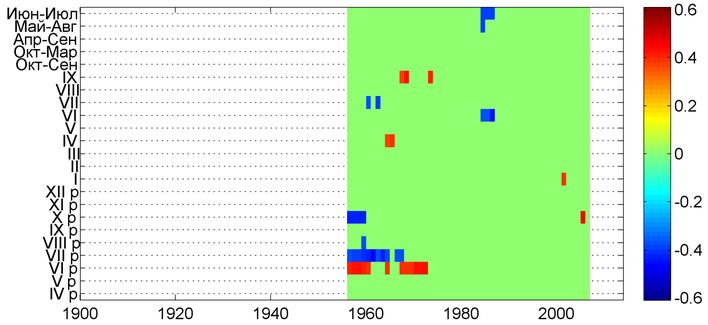
Т мин



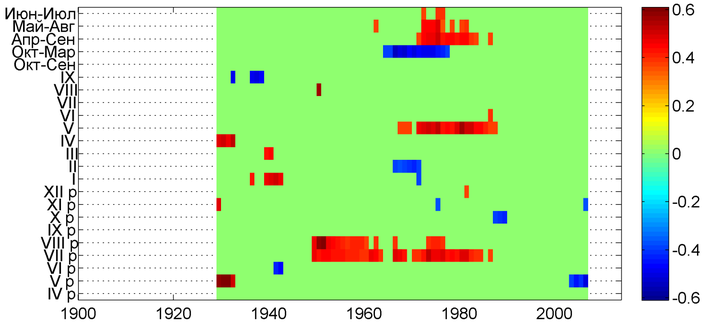
Т макс



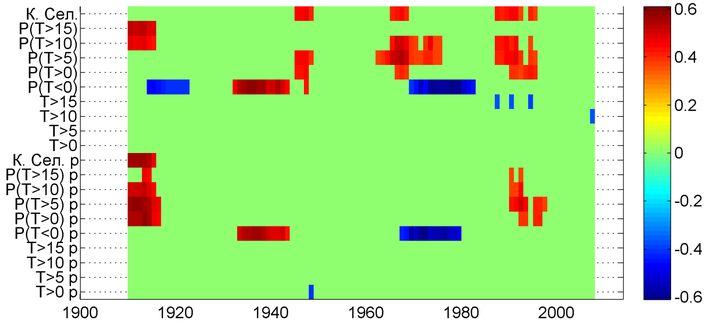
Т средн



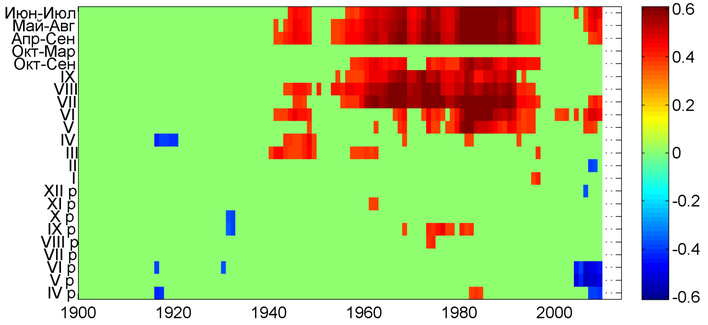
Осадки



Агро

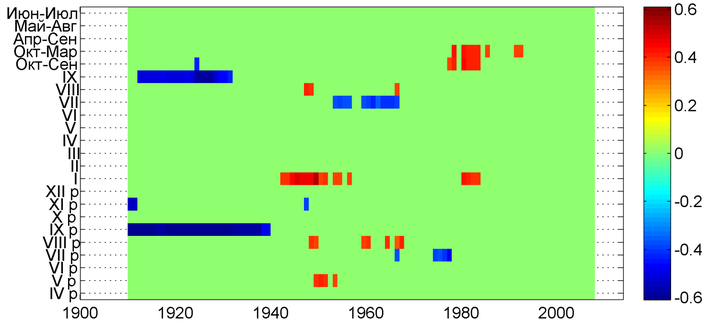


PDSI

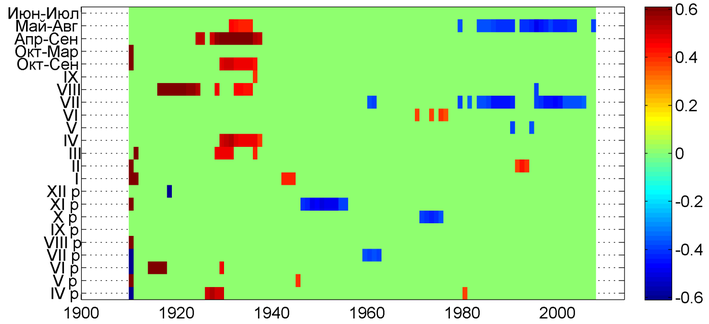


X06S

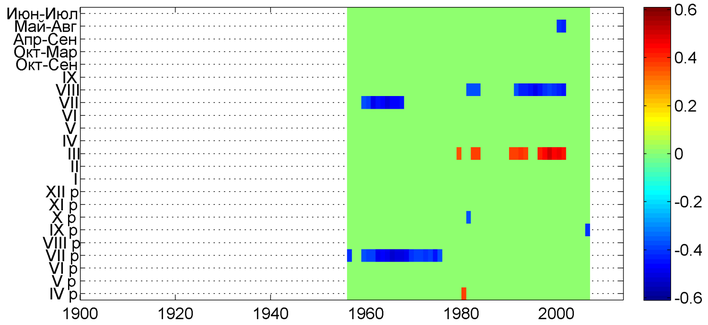
Т мин



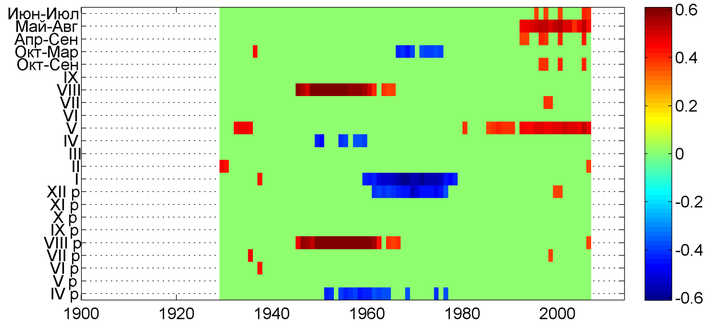
Т макс



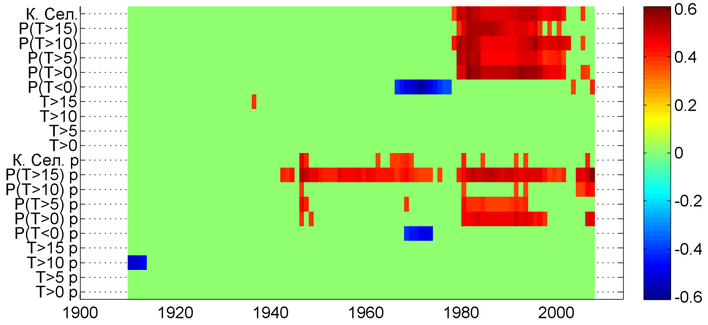
Т средн



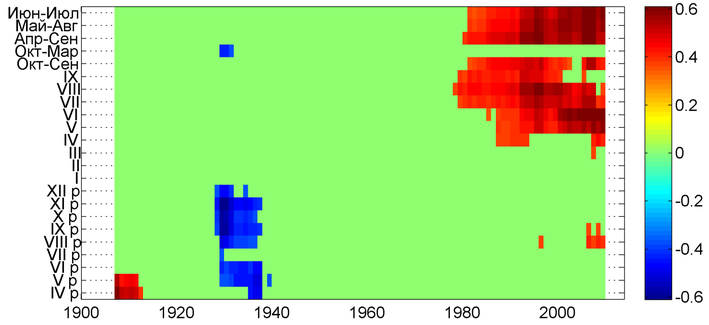
Осадки



Агро

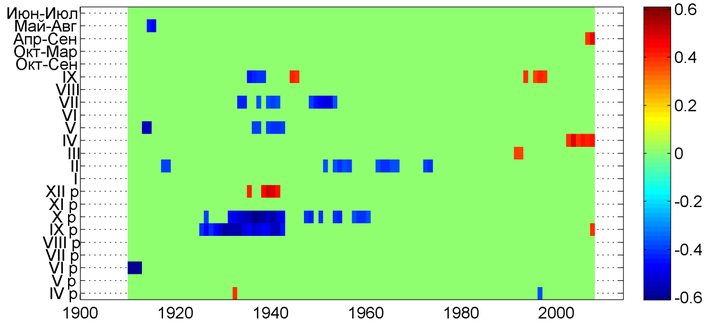


PDSI

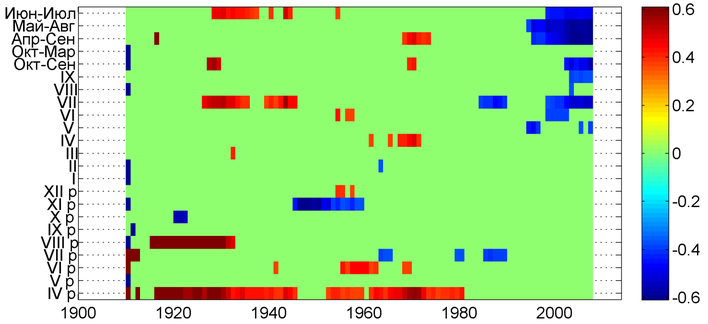


X07S

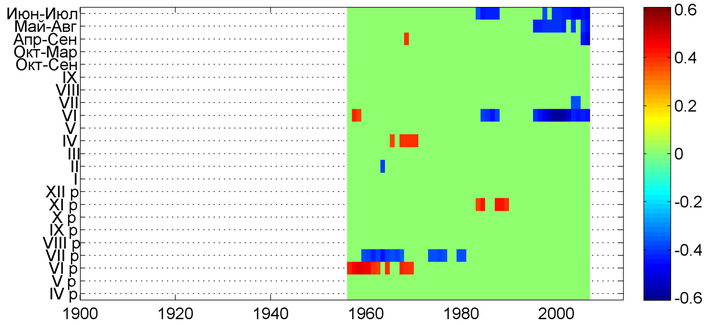
Т мин



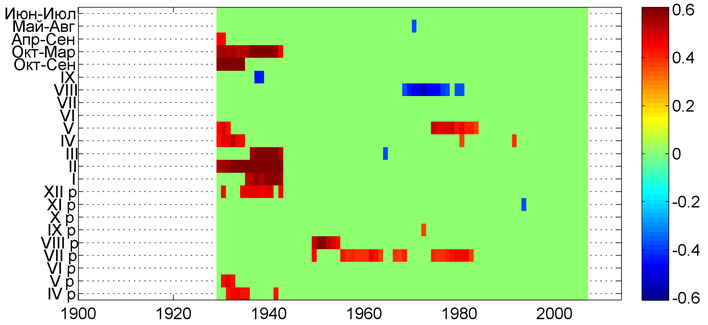
Т макс



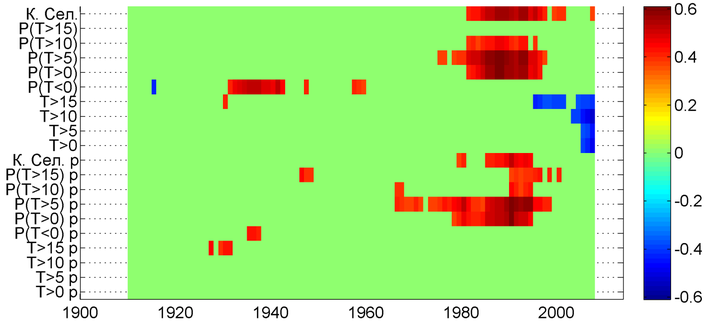
Т средн



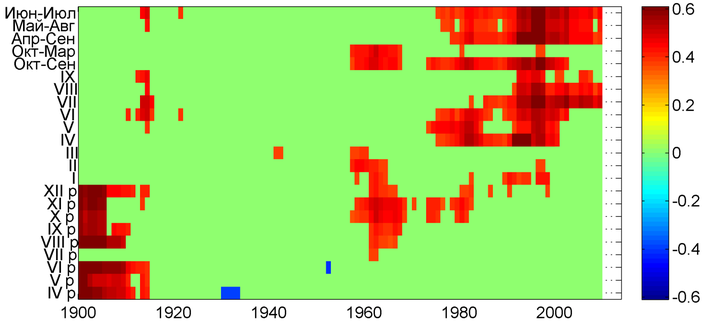
Осадки



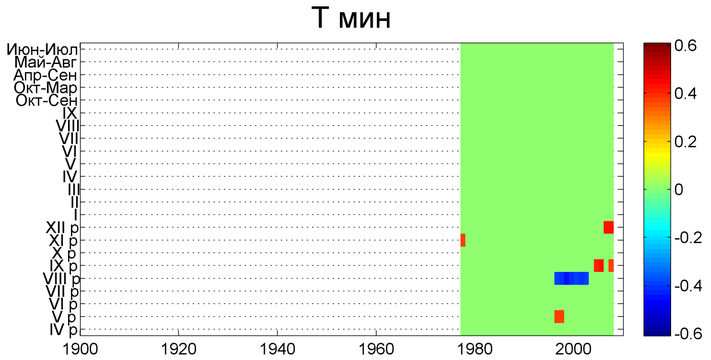
Агро

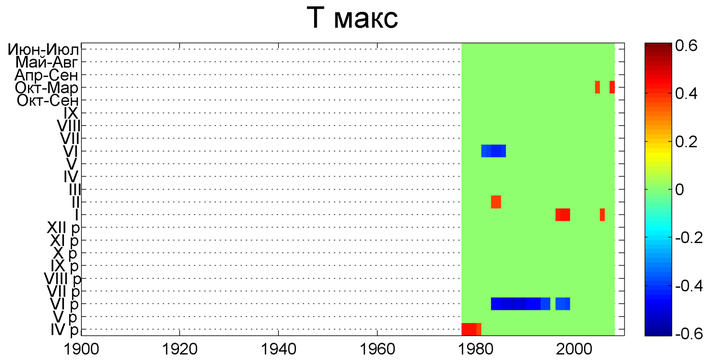


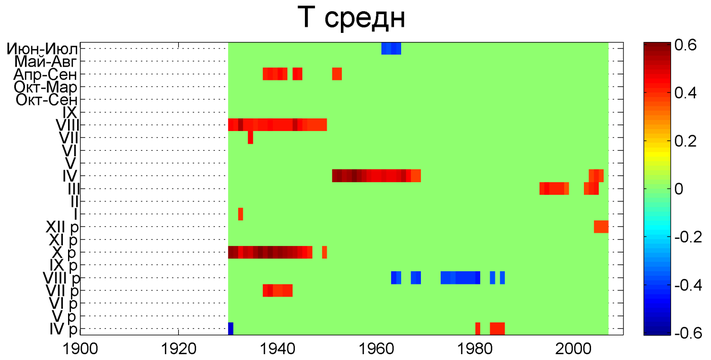
PDSI

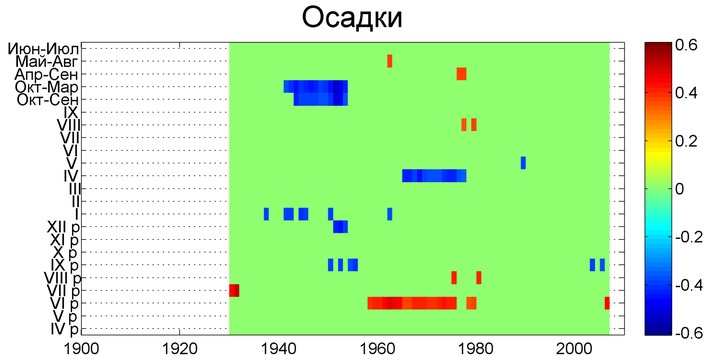


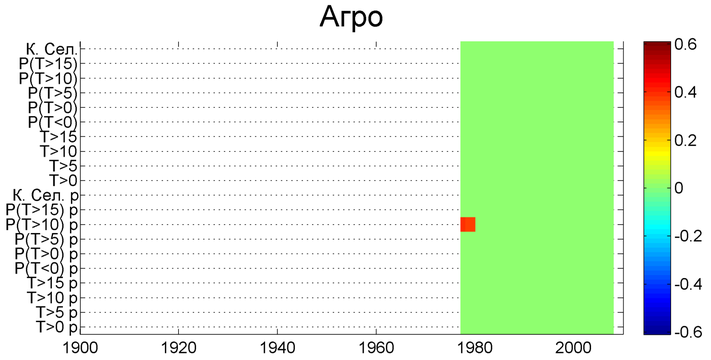
XOL

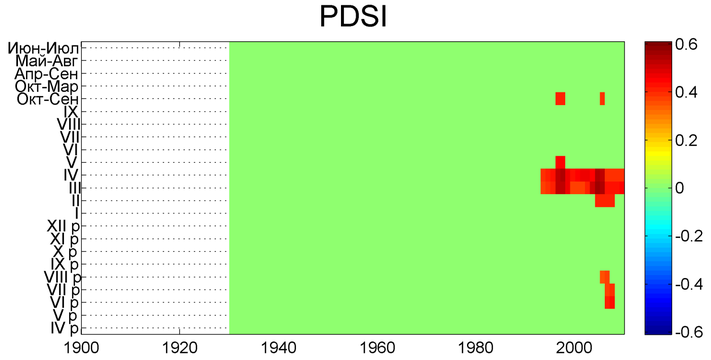

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

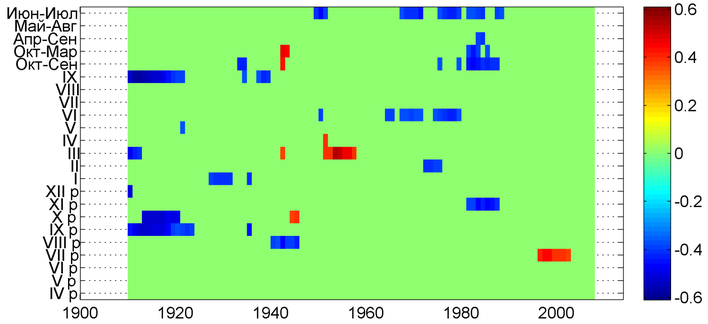

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Агро
К. Сел.
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К. Сел. p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

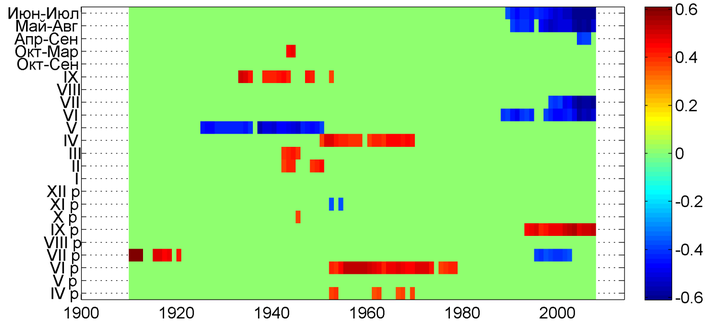

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

Y01S

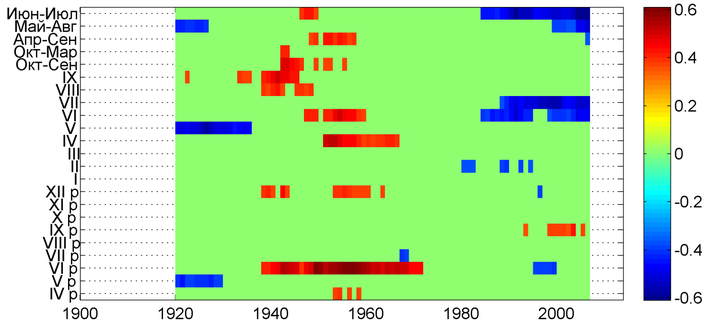
Т мин



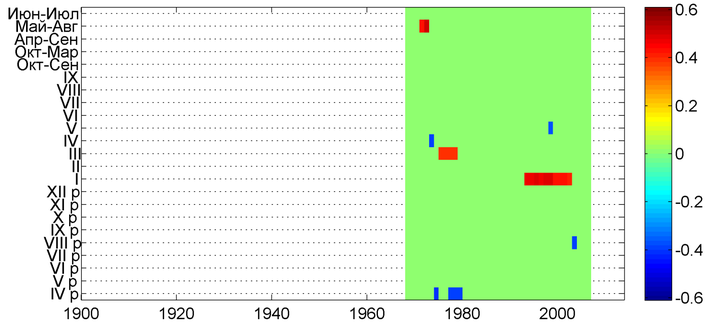
Т макс



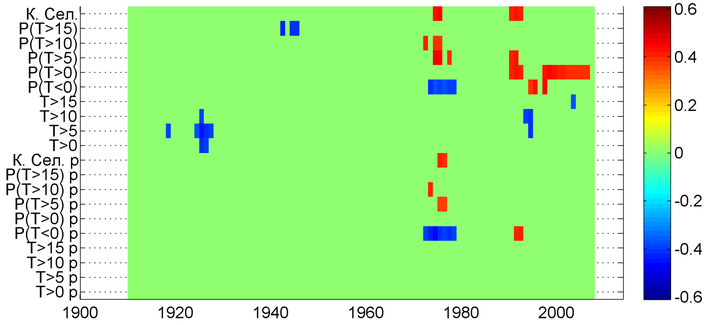
Т средн



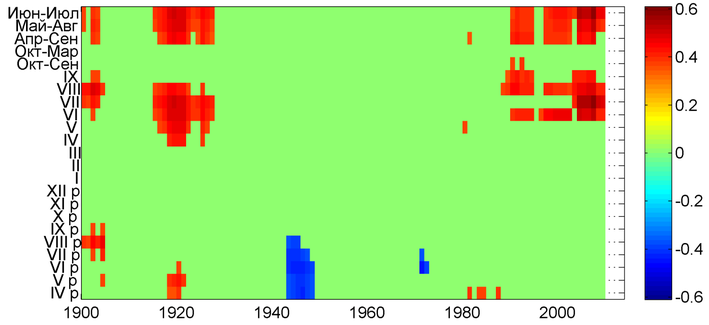
Осадки



Агро

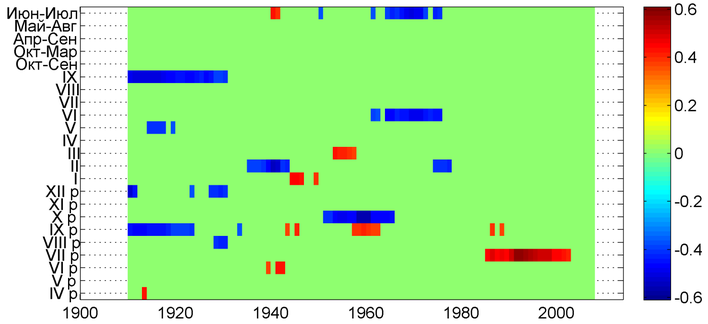


PDSI

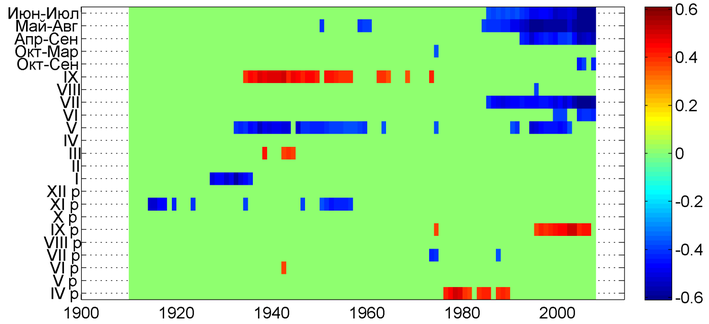


Y02S

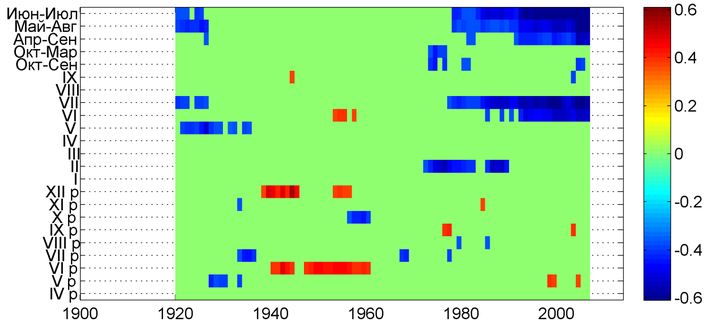
Т мин



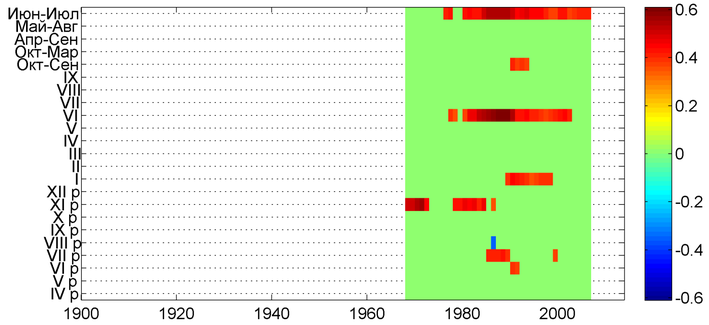
Т макс



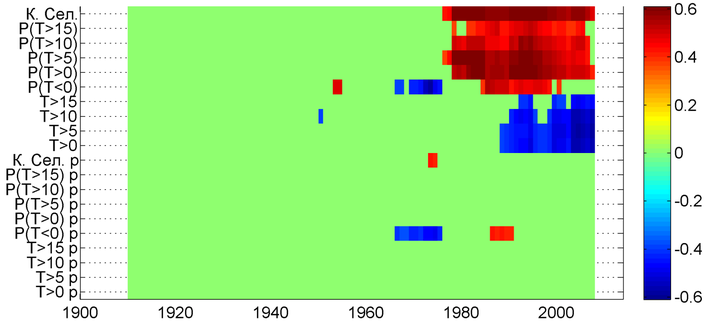
Т средн



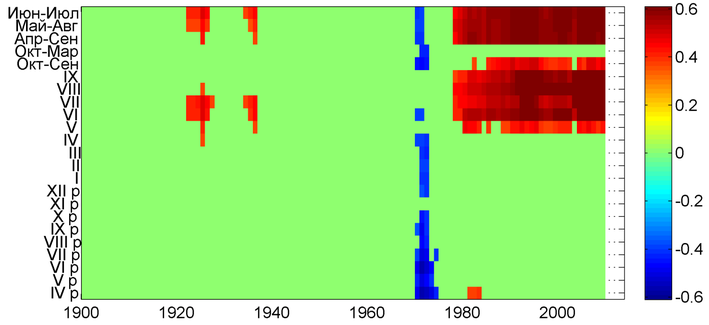
Осадки



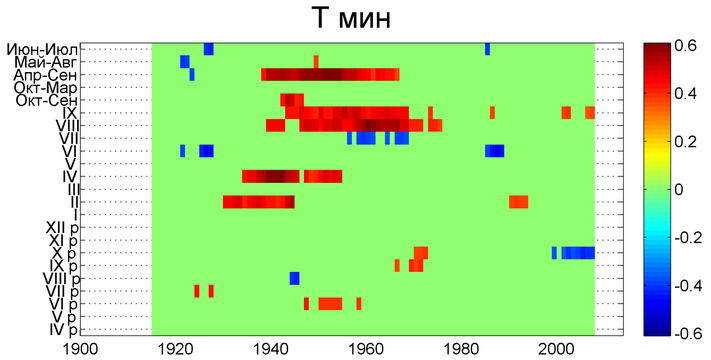
Агро

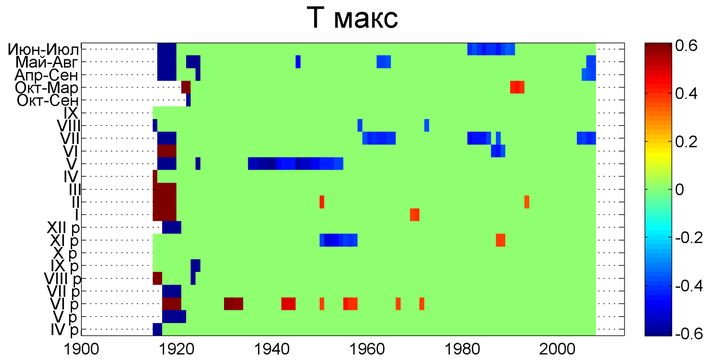


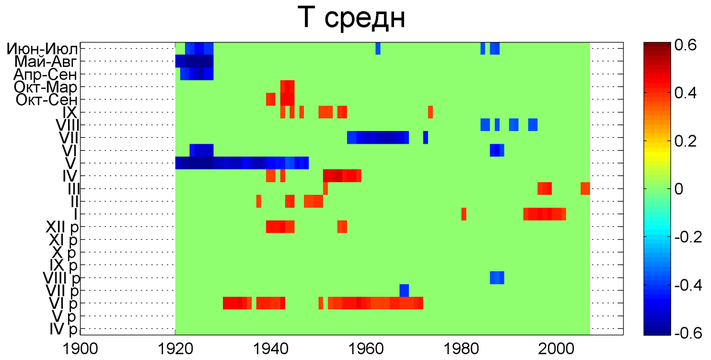
PDSI

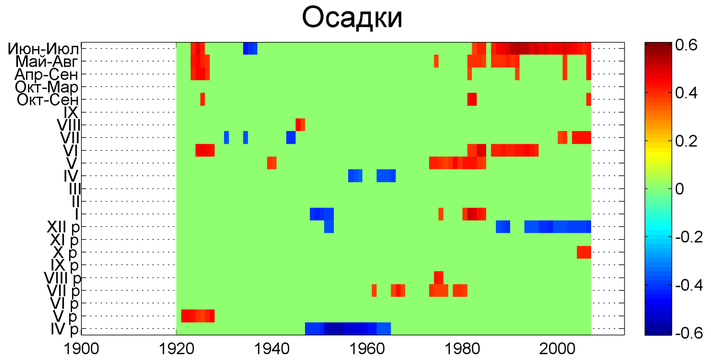


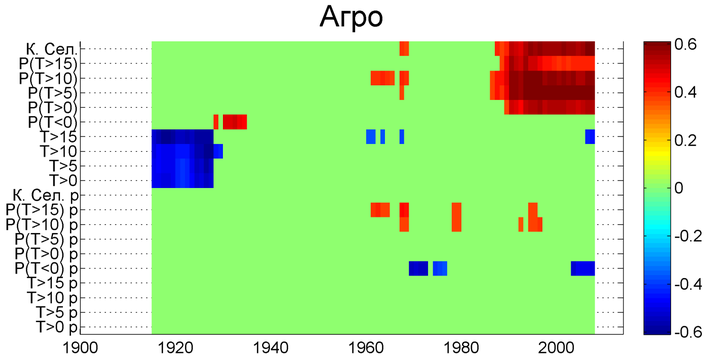
Z01S

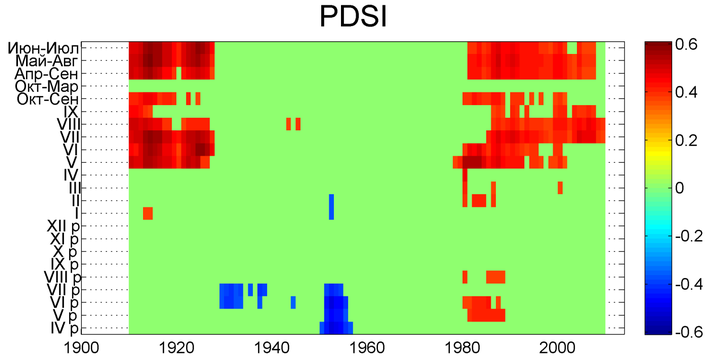

Т мин
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т макс
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Т средн
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

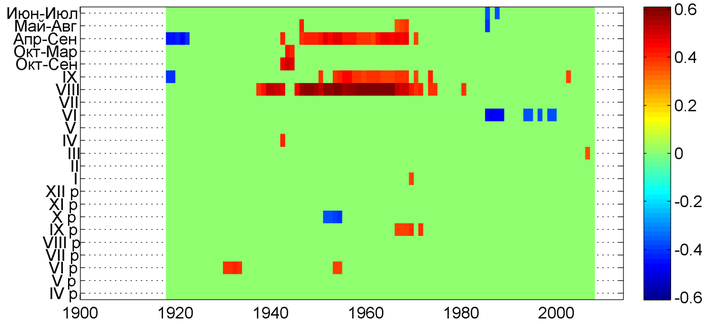

Осадки
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6


Агро
К. Сел.
P(T>15)
P(T>10)
P(T>5)
P(T>0)
P(T<0)
T>15
T>10
T>5
T>0
К. Сел. p
P(T>15) p
P(T>10) p
P(T>5) p
P(T>0) p
P(T<0) p
T>15 p
T>10 p
T>5 p
T>0 p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

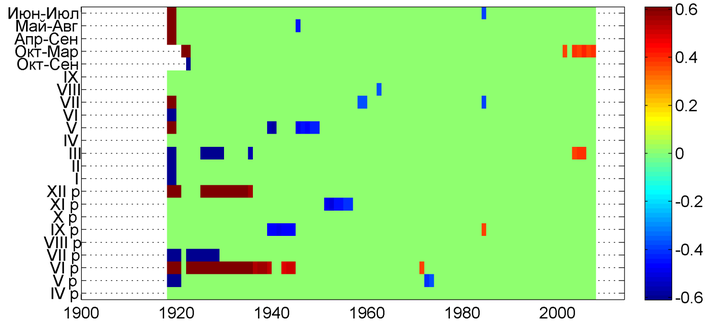

PDSI
Июн-Июл
Май-Авг
Апр-Сен
Окт-Мар
Окт-Сен
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II
I
XII p
XI p
X p
IX p
VIII p
VII p
VI p
V p
IV p
1900
1920
1940
1960
1980
2000
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

Z02S

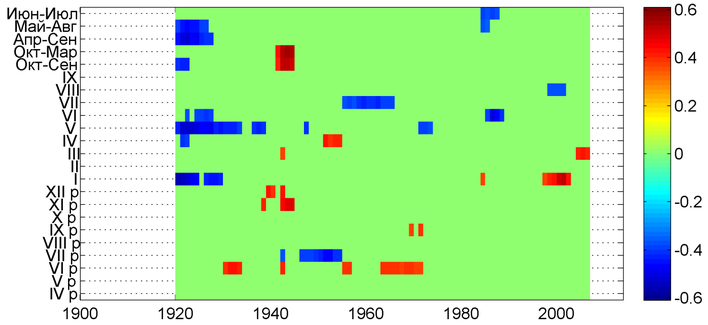
Т мин



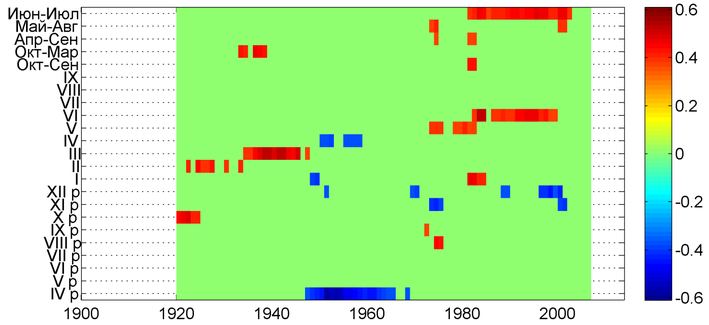
Т макс



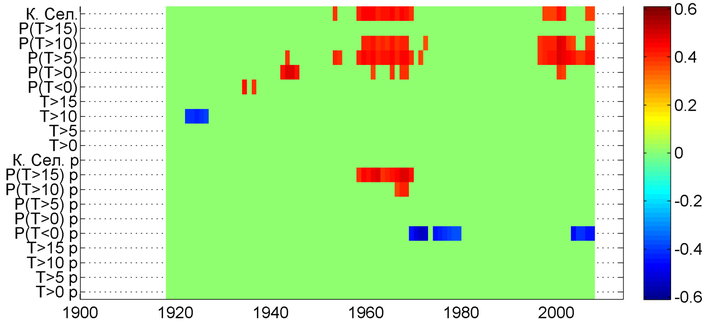
Т средн



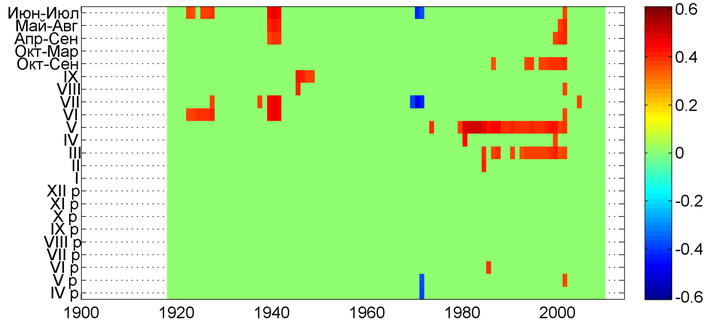
Осадки



Агро

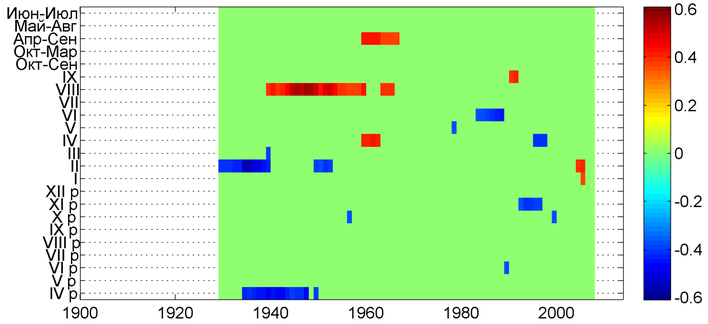


PDSI

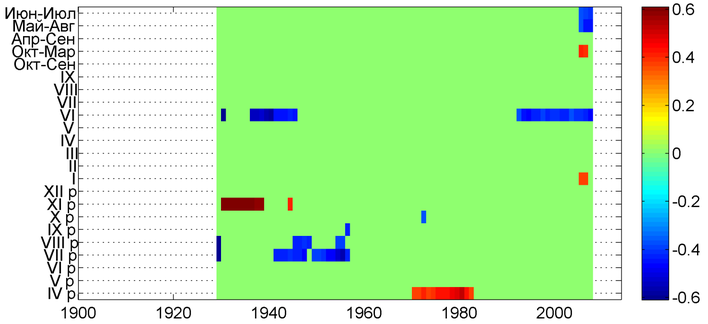


Z03E

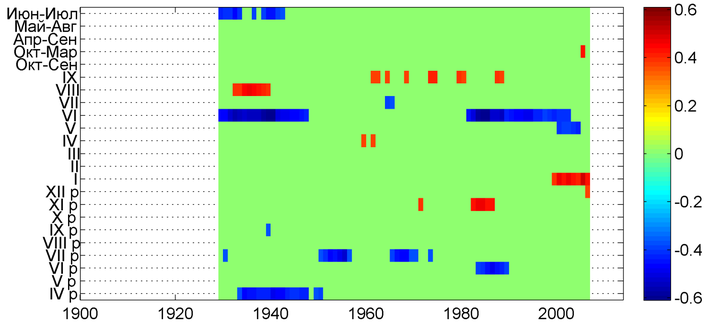
Т мин



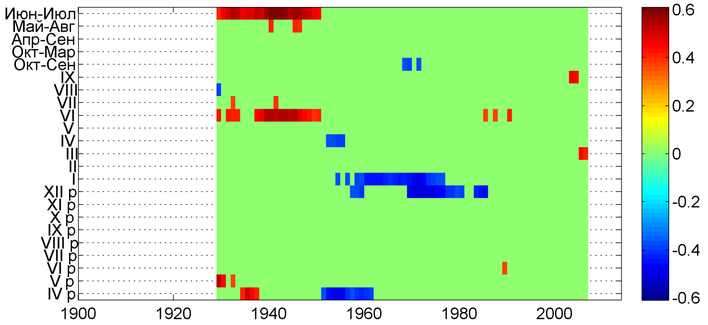
Т макс



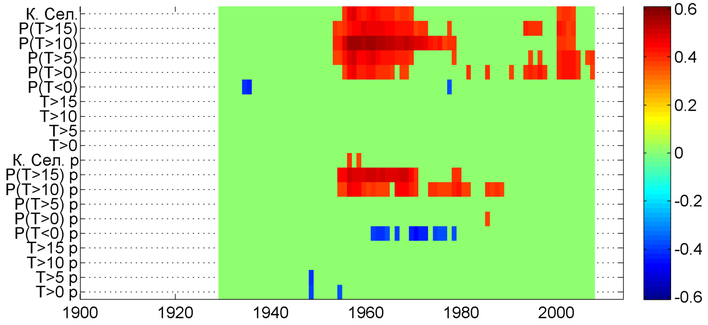
Т средн



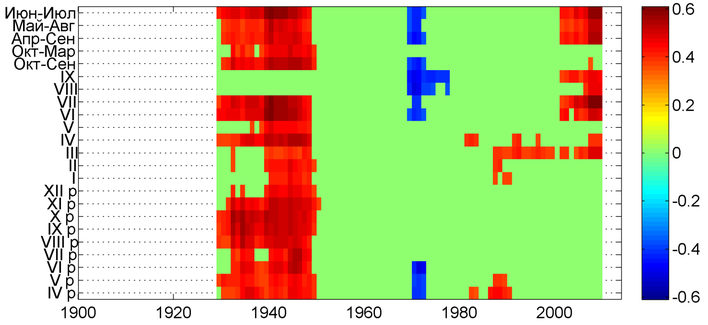
Осадки



Агро



PDSI



Приложение 4

Таблица 1. Число годичных колец, ширина которых ниже порогового значения выделения реперного года. Данные приведены для тех лет, в которые наблюдались летние засухи, поздневесенние заморозки, вспышки численности листогрызущих насекомых или сочетание этих факторов. Детали выделения реперных лет см. в разделе «Материалы и методы»

Table 1. Number of tree rings with width lower than threshold of pointer year identification. Data calculated for years with one of the events under consideration (summer droughts, late spring frosts and insect's outbreaks or their combination). Details of pointer year identification methods see in "Materials and Methods" section

Годы	Метод Беккера			Метод Кроппера			Метод Швайнгрубера		
	Число колец ниже порога	Общее число колец	%	Число колец ниже порога	Общее число колец	%	Число колец ниже порога	Общее число колец	%
1904	22	30	73,33	11	30	36,67	10	30	33,33
1908	8	36	22,22	8	33	24,24	2	31	6,45
1909	22	38	57,89	9	36	25,00	4	31	12,90
1911	25	39	64,10	22	39	56,41	17	36	47,22
1913	12	42	28,57	1	40	2,50	9	39	23,08
1914	40	45	88,89	4	42	9,52	24	39	61,54
1916	32	45	71,11	41	45	91,11	37	42	88,10
1917	2	46	4,35	4	45	8,89	4	45	8,89
1919	18	48	37,50	6	47	12,77	6	45	13,33
1927	28	57	49,12	21	56	37,50	23	52	44,23
1928	35	58	60,34	25	57	43,86	31	54	57,41
1930	50	58	86,21	23	58	39,66	38	57	66,67
1936	17	59	28,81	9	58	15,52	21	59	35,59
1937	31	59	52,54	15	58	25,86	20	59	33,90
1939	46	58	79,31	30	58	51,72	39	58	67,24
1940	38	58	65,52	48	58	82,76	45	58	77,59
1941	3	59	5,08	3	58	5,17	8	58	13,79
1942	33	59	55,93	13	59	22,03	20	58	34,48
1947	38	55	69,09	30	55	54,55	22	55	40,00
1950	52	56	92,86	35	55	63,64	49	55	89,09
1952	29	59	49,15	21	57	36,84	33	55	60,00
1953	33	59	55,93	24	59	40,68	35	56	62,50
1959	25	60	41,67	22	60	36,67	18	60	30,00

1960	22	60	36,67	17	60	28,33	15	60	25,00
1962	49	61	80,33	28	61	45,90	35	60	58,33
1964	36	61	59,02	23	61	37,70	47	61	77,05
1969	38	61	62,30	42	61	68,85	48	61	78,69
1971	5	61	8,20	13	61	21,31	15	61	24,59
1972	12	61	19,67	10	61	16,39	3	61	4,92
1974	39	61	63,93	27	61	44,26	28	61	45,90
1978	6	61	9,84	16	61	26,23	9	61	14,75
1979	28	61	45,90	24	61	39,34	10	61	16,39
1981	26	61	42,62	0	61	0,00	1	61	1,64
1982	39	61	63,93	7	61	11,48	15	61	24,59
1983	58	61	95,08	48	61	78,69	59	61	96,72
1985	37	61	60,66	35	61	57,38	39	61	63,93
1989	41	60	68,33	30	60	50,00	37	60	61,67
1990	38	60	63,33	46	58	79,31	49	60	81,67
1991	5	60	8,33	6	58	10,34	27	60	45,00
1992	11	59	18,64	2	58	3,45	9	58	15,52
1993	52	59	88,14	46	59	77,97	44	58	75,86
1995	15	59	25,42	13	59	22,03	18	59	30,51
1997	50	59	84,75	31	59	52,54	16	59	27,12

Таблица 2. Число годичных колец, ширина которых ниже порогового значения выделения реперного года. Данные приведены для тех лет, в которые летние засухи, поздневесенние заморозки, вспышки численности листогрызущих насекомых или сочетание этих факторов не наблюдались. Детали выделения реперных лет см. в разделе «Материалы и методы»

Table 2. Number of tree rings with width lower than threshold of pointer year identification. Data calculated for years without one of the events under consideration (summer droughts, late spring frosts and insect's outbreaks or their combination). Details of pointer year identification methods see in "Materials and Methods" section

	Метод Беккера			Метод Кроппера			Метод Швайнгрубера		
Годы	Число колец ниже порога	Общее число колец	%	Число колец ниже порога	Общее число колец	%	Число колец ниже порога	Общее число колец	%
1902	0	30	0,00	2	30	6,67	2	30	6,67
1903	9	30	30,00	0	30	0,00	4	30	13,33
1905	26	31	83,87	26	30	86,67	23	30	76,67
1906	0	31	0,00	0	31	0,00	2	30	6,67

1907	22	33	66,67	11	31	35,48	13	30	43,33
1910	20	39	51,28	12	38	31,58	14	33	42,42
1912	3	40	7,50	4	39	10,26	7	38	18,42
1915	29	45	64,44	20	45	44,44	34	40	85,00
1918	16	47	34,04	3	46	6,52	4	45	8,89
1920	31	50	62,00	16	48	33,33	18	46	39,13
1921	34	50	68,00	35	50	70,00	30	47	63,83
1922	10	51	19,61	11	50	22,00	16	48	33,33
1923	25	51	49,02	23	51	45,10	19	50	38,00
1924	2	52	3,85	2	51	3,92	4	50	8,00
1925	19	54	35,19	11	52	21,15	9	51	17,65
1926	37	56	66,07	18	54	33,33	24	51	47,06
1929	15	58	25,86	0	58	0,00	18	56	32,14
1931	33	59	55,93	20	58	34,48	43	58	74,14
1932	31	59	52,54	12	59	20,34	31	58	53,45
1933	37	59	62,71	17	59	28,81	37	58	63,79
1934	31	59	52,54	28	59	47,46	33	59	55,93
1935	22	59	37,29	14	59	23,73	25	59	42,37
1938	16	58	27,59	7	58	12,07	18	58	31,03
1943	26	59	44,07	32	59	54,24	19	58	32,76
1944	19	59	32,20	21	59	35,59	12	59	20,34
1945	10	59	16,95	9	55	16,36	10	59	16,95
1946	8	59	13,56	5	55	9,09	4	59	6,78
1948	20	55	36,36	13	55	23,64	17	55	30,91
1949	17	55	30,91	1	55	1,82	17	55	30,91
1951	18	57	31,58	21	56	37,50	41	55	74,55
1954	19	59	32,20	11	59	18,64	12	57	21,05
1955	31	61	50,82	23	59	38,98	28	59	47,46
1956	24	61	39,34	26	61	42,62	18	59	30,51
1957	21	61	34,43	24	60	40,00	20	59	33,90
1958	25	61	40,98	20	60	33,33	19	61	31,15
1961	12	61	19,67	1	60	1,67	4	60	6,67
1963	20	61	32,79	16	61	26,23	30	60	50,00
1965	36	61	59,02	42	61	68,85	49	61	80,33
1966	8	61	13,11	13	61	21,31	17	61	27,87
1967	11	61	18,03	2	61	3,28	4	61	6,56
1968	60	61	98,36	26	61	42,62	49	61	80,33

1970	26	61	42,62	36	61	59,02	47	61	77,05
1973	12	61	19,67	6	61	9,84	2	61	3,28
1975	36	61	59,02	34	61	55,74	35	61	57,38
1976	7	61	11,48	7	61	11,48	17	61	27,87
1977	46	61	75,41	38	61	62,30	37	61	60,66
1980	2	61	3,28	1	61	1,64	0	61	0,00
1984	10	61	16,39	18	61	29,51	34	61	55,74
1986	19	61	31,15	26	61	42,62	18	61	29,51
1987	2	61	3,28	0	60	0,00	0	61	0,00
1988	40	61	65,57	4	60	6,67	15	61	24,59
1994	14	59	23,73	22	59	37,29	17	58	29,31
1996	3	59	5,08	0	59	0,00	0	59	0,00
1998	10	59	16,95	21	59	35,59	12	59	20,34

Год	Дата	Цитата	Источник
1703		В центральной России суровая зима. В южных регионах, наоборот, мягкая.	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 348
1704		Резкие холода в Мае. Отмечаетв дневнике И. А. Желябужского	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 348-349
1708		Морозы в декабре (Полтава) и чрезвычайно засушливое лето на Украине. Отмечает Бучинский.	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 350
1709		Европейского масштаба холодная и жестокая зима	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 350
1710		Засуха на Украине	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 351
1715		Засуха в Нижнем Новгороде	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 352
1718		На Украине заморозки в конце лета	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 352-53
1721		Недород в России. Причины не указаны	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 353
1722		Недород в России. Засуха в Нижнем Новгороде	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 353
1723		Недород в России. Причины не указаны	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 353
1724		Недород в России. Причины не указаны	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 353
1726		Общеевропейская холодная зима	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 355
1729		Холодная зима в Юго-Западной России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 355
1733		Засуха в России и в Европе	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 357

1740		Необычайно холодная зима в Европе и в России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 359
1743		Засушливое лето на Украине	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 360
1747		Засуха на Украине и в Юго-Западной России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 361
1748		Засуха на Украине и в Юго-Западной России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 361
1749		Засуха на Украине и в Юго-Западной России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 361
1750		Засуха на Украине и в Юго-Западной России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 361
1751		Суровая зима по всему миру	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 362
1754		Холодная зима и засушливое летов в России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 363
1756		Засуха в России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 363
1757		Засуха в России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 363
1759		Засуха в южной России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 364
1760		Снежная и холодная зима в Европе	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 364
1762		Оппоков отмечает суровую и малоснежную зиму, сменившуюся жарким летом в России и в Европе	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 365
1763		Оппоков отмечает жаркое и засушливое лето и осень	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 365
1765			

1766		Засуха по всей России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 365
1767		Засуха по всей России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 365
1768		Холодная зима по всей Европе	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 366
1769		Холодная и бесснежная зима в России.	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 366
1772		Холодная зима по всей Европе	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 367
1773		Большой пожар, причины и дата не сообщается	Веселовский, 1886. с. 116
1775		Холодная зима по всей Европе	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 368
1780		На основании многочисленных источников Борисенков и Пасецкий регистрируют засуху и неурожайный год (в 16 губерниях)	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 369
1781		Тяжелый недород по всей России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 368
1783		Дождливый год в Саратовской губернии	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 370
1786		Чрезвычайно холодная и затяжная зима в Центральной России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 372
1788		Суровая зима в Южной России. Снег поломал много деревьев. Лес вымерз	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 373
1789		[построенный в 1786 году] мост весь разнесен полою водою	Веселовский, 1886. с. 126
1791		Сильная засуха по всему миру	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 374
1792			

1792		Червычайно засушливый год в России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 374
1793			
1793		Червычайно засушливый год в России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 374
1794		Червычайно засушливый год в России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 374
1795		Червычайно засушливый год в России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 374
1802		Засуха по всей России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 378
1805		Во всей России голодный год. При этом причины неурожая разнятся от губернии к губернии	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 380
1808		Холодная зима и засуха. Последняя специально отмечена для Белоруссии	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 381
1809		Голодный год в Воронежской губернии	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 381
1811		Засушливое лето в России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 382
1813		Холодная зима	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 382-383
1815		Недород в Воронежской губернии. Причины не указаны	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 384
1821		Голодный год в России. Причины зависят от региона.	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 387
1826		Бесснежная зима	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 390
1828		Сильная и продолжительная жара в России	Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988. С. 391
1830			

1831		Описана бесснежная зима — в конце ноября до сих пор нет снега, что делает и без того сильный холод (до 12 градусов) более ощутимым и плохо сказывается на растениях. Такая же зима стояла, по описаниям старожилов, в 1831 году, когда снег не выпадала до конца декабря	ВГВ. №48. 30.11.1857. Неофициальная часть. С. 374.Местная хроника
1831			
1832			
1833			
1834		Весь номер посвящен обозрению урожая в Россиии. Воронежская область - отличные показатели. Сводная таблица в фото	Земледельческая газета. №36. 2.11.1834.
1834			
1835			
1836			
1837			
1838		Сообщается о чрезвычайном недороде корма для скота за лето 1838 года в Белоруссии. Причина не указана	Земледельческая газета. №39. 16.05.1839. С. 306-307
1838			
1839		Отчёт о зиме, которая по всей России была снежной и холодной. В Тамбове до конца марта стояли сильные морозы. НАдежда на благоприятное лето	Земледельческая газета. №37. 9.05.1839. С. 296
1839		Сообщается о затянувшейся зиме в Тамбове. В апреле продолжался холод и снего сошёл недавно.	Земледельческая газета. №42. 26.05.1839. С. 344
1839		Сообщается о засухах в Орле и Тамбове (фото)	Земледельческая газета. №48. 16.06.1839. С. 383

1839		Сообщается о сильных засухах в Тамбове (фото)	Земледельческая газета. №51. 27.06.1839. С. 407-408
1839		Сообщается о плохом урожае в Саратове	Земледельческая газета. №52. 30.06.1839. С. 416
1839		ЗАсуха в Курске и Туле (фото)	Земледельческая газета. №55. 11.07.1839. С. 439
1839		Засуха в Уфе. В Тамбове и Пензе в июне начались дожди	Земледельческая газета. №57. 18.07.1839. С. 455
1839		В Орле плохие озимые, но хорошие яровые. Несколько недель продолжается засуха. В Тамбове плохие озимые и посредственные яровые.	Земледельческая газета. №63. 8.08.1839. С. 503-504
1839		Новости от июля - в Саратове из-за засухи плохой урожай озимых. В Тамбове июль был ясный и жаркий, гроза случилась лишь дважды за месяц. В тени 29, на солнце - 42	Земледельческая газета. №70. 1.09.1839. С. 559-560
1839		Новости от августа. В Тамбове продолжается засуха	Земледельческая газета. №72. 8.09.1839. С. 575
1839		Большая сводка в основном августовских новостей со всей России. В регионах вокруг Воронежа всё та же засуха (Фото)	Земледельческая газета. №80. 6.10.1839. С. 638-640
1839		Новости сентябрьские. В Тамбове урожай по причине чрезвычайной летней жары очень мал. То же по Курску	Земледельческая газета. №81. 10.10.1839. С. 647
1839		Новости сентября. Впервые упомянут Воронеж. Из-за засухи урожай небольшой, в тех местах, где бывали дожди, он хороший.	Земледельческая газета. №84. 20.10.1839. С. 670-671
1839		Новости октября. О плохом урожае в Воронеже и росте цен на зерно (фото)	Земледельческая газета. №89. 7.11.1839. С. 712
1839		Новости октября. Скудный урожай в Тамбове	Земледельческая газета. №90. 10.11.1839. С. 720
1839		Весь номер посвящен обозрению урожая в России. В конце приводится сводная таблица	Земледельческая газета. №92. 17.11.1839.

		с характеристикой погодных условий и всходов по губерниям (фото)	
1839			
1840	24-31 дек	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №1. с.6
1840		Рассказывается о необычайно сильном дожде в Костромской губернии Юрьевецком уезде 30 мая того же года. С. 184. На ровном месте высота столба воды - 1,5 аршина, на протоке более 3 аршин	ВГВ. 1840. Приложение к №34 от 24 августа.
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 21 по 27 августа.	ВГВ. 1840. Приложение к №35. 31 августа. С.192
1840		Рассказ о снеге, неожиданно выпавшем в г. Сарапула Вятской губернии 3 мая. Температура возжуха упала до 3 градусов. Снег пролежал два дня	ВГВ. Приложение к №36 от 7 сентября. С. 193.
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 28.08 по 2.09. С. 199	ВГВ. Приложение к №36. 7.09. С. 199
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 03.09 по 9.09. С. 207	ВГВ. Приложение к №37. 14.09. С. 207
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 10.09 по 16.09.	ВГВ. Приложение к №38. 21.09. С. 216
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 17.09 по 23.09.	ВГВ. Приложение к №39. 28.09. С. 221
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 24.09 по 30.09. С. 226	ВГВ. Приложение к №40. 5.10.С. 226

1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 1.10 по 7.10.	ВГВ. Приложение к №41. 12.10. С. 234
1840		Рассказ о необычайной силы бури, разразившейся над Калугой с 4 на 5 сентября 1840 г.	ВГВ. Приложение к №42. 19.10. С. 238.
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 8.10 по 14.10.	ВГВ. Приложение к №42. 19.10. С. 239.
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 15.10 по 21.10.	ВГВ. Приложение к №43. 26.10. С. 243
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 22.10 по 28.10.	ВГВ. Приложение к №44. 02.11. С. 246
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 29.10 по 4.11. С. 249	ВГВ. Приложение к №45. 09.11. С. 249.
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 12.11 по 18.11.	ВГВ. Приложение к №47. 23.11. С. 254
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 19.11 по 25.11.	ВГВ. Приложение к №48. 30.11.1840. С. 257
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 26.11 по 02.12.	ВГВ. Приложение к №49. 7.12.1840 С. 261
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 3.12 по 9.12.	ВГВ. Приложение к №50. 14.12.1840. С. 269

1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 10.12 по 16.12.	ВГВ. Приложение к №51. 21.12.1840. С. 275
1840		Метеорологические наблюдения Воронежской губернской гимназии с 17.12 по 25.12.	ВГВ. Приложение к №52. 28.12.1840. С. 278.
1840		Общее обозрение урожая хлеба. В целом засушливая весна и дождливые лето и осень. Воронеж отмечен плохой весной, но хорошим летом. Сводная таблица в фото	Земледельческая газета. №99. 10.12.1840
1840			
1841	1-7 янв	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №2. с.10
1841	8-14 января	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №3. с.18
1841	15-21 янв	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №4. с.23
1841	22-28 янв	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №5. с.26
1841	29 янв - 4 фев	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №6. с.34
1841	6-12 фев	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №8. с.41
1841	19-25 фев	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №9. с.49
1841	26 фев - 4 мар	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №10. с.54
1841	5 - 11 мар	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №11. с.64
1841	12 - 18 мар	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №12. с.72

1841	19-23 мар	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №13. с.75
1841	26 мар - 15 апр	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №16. с.84
1841	16-22 апр	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №19. с.88
1841	7 -13 мая	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №20. с.104
1841	14-20 мая	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №21. с. 107
1841	21-27 мая	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №22. с. 112
1841	28 мая - 4 июн	Метеорологические наблюдения, деланныя при Воронежской Губернской Гимназии	Прибавление к ВГВ. №23. с. 116
1841			
1842			
1843			
1844			
1845			
1846			
1847			
1848	февр	Сообщается о малоснежной зиме в Курске	Приложение к №11-му КГВ. С. 81
1848	март	Сообщается о постоянных сильных морозах и ветрах, о бесснежной зиме, промерзании земли и воды, о которых не помнят никто из старожилов Курска	Приложение к №18-му КГВ. С. 126
1849			
1850			
1851			

1852		Этого нет в библиотеке, нашлось только по ссылке из раздела опечатки одного из номеров 1853	ВГВ. №37. 1852. С. 245. Свод меорологических наблюдений и народных пример
1852			
1853		Сообщается о том, что с первого дня Великого поста выпал снег и пришли морозы. Этому предшествовало длительное потепление. «Но непродолжительны были наши надежды на возобновившуюся зиму... Начавшиеся снова с 10 числа оттепели вместе с дождями свидетельствуют нам об истощении последних сил зимы в борьбе с весною за несомненную победу... Говоря вообще, можно сказать, что последний зимний сезон у нас в Воронеже не был продолжителеен и пстоянен, как в прошедшие года: собственно, один только январь месяц мы должны назвать прочною и хорошею зимою, остальные же зимние месяцы, Декабрь и Февраль, по причине частых перемен температуры и бывших в то время оттепелей, более похожи на начало весны»	ВГВ. №11. 14.03.1853. Неофициальная часть. С. 54. Местная хроника
1853		Сообщается о бездождии мая и не самом благоприятном июне — дожди выпадали лишь несколько раз, иногда сопропождались холодами	ВГВ. №25. 20.06.1853. Неофициальная часть. С. 122. Местная хроника
1853		Над селом Смердячая девица пролились дождём две тучи. Одна двигалась с Востока на Север, другая — с Запада к Югу. И выпал огромный град	ВГВ. №33. 15.08.1853. Часть неофициальная. С. 181. Местная хроника

1853		2 августа через Новохоперский уезд из земель Войска Донского проследовали полчища саранчи	ВГВ. №33. 15.08.1853. Часть неофициальная. С. 181. Местная хроника
1853		Буря в городе Задонск	ВГВ. №34. 22.08.1853. Часть неофициальная.С. 189. Местная хроника
1853		Градобитие в Павловском уезде	ВГВ. №34. 22.08.1853. Часть неофициальная. С. 189. Местная хроника
1853		Саранча в Новохоперском уезде	ВГВ. №34. 22.08.1853. Часть неофициальная. С. 189. Местная хроника
1853		Ураган в селе Хреновом 14 августа.	ВГВ. №35. 29.08.1853. Часть неофициальная. С. 197. Местная хроника
1853		15.10 Буря в Бобровском и Бирюченском уездах	ВГВ. №40. 3.10.1853. Часть неофициальная. С. 234. Местная хроника
1853		Градобитие в с. Тростянки Острогожского уезда	ВГВ. №40. 3.10.1853. Часть неофициальная. С. 234. Местная хроника
1853		31.07 - Саранча в Богучарском уезде	ВГВ. №40. 3.10.1853. Часть неофициальная. С. 234. Местная хроника
1853			
1854			
1855		16.06.1855-6.07.1855 — жаркая, засушливая погода. После 28 июля погода холодная и суровая. Это всё из рассуждений о медоносности пчёл с краткими экскурсами в климатические особенности	ВГВ. №33. 17.08.1857. Неофициальная часть. С. 247-249.
1855			
1856		28.05.1856-17.07.1856 — засуха; 17-29.07 — слабые дожди, которые не исправили положения; в начале августа морозы; в конце августа термометр Р показывал 6 градусов днём. Это из Рассуждения о медоносности пчёл с краткими экскурсами в климатические особенности	ВГВ. №33. 17.08.1857. Неофициальная часть. С. 247-249.
1856			
1857		Сообщается об очень сильном дожде в Задонске	ВГВ. №27. 06.07.1857. Неофициальная часть. С. 198.

1857		Сообщается о жаре, достигающей 30 градусов по Реомюру.	ВГВ. №32. 10.08.1857. Неофициальная часть. С. 238.
1857		Период засухи и соверешнного бездорожья, при сильных, удушливых жарах, продолжавшийся более четырёх недель, с первых чисел июля сменили почти ежедневные обильные дожди, которые, будучи сопровождаемы часто значительными грзами, оказали благотворное и полезное влияние на растиитлеьность всякого рода; наконец, наступившая вследа за тем первая четверть Августа была повторением первого периода, отличаясь особенно жаркими днями, небывалыми в продолжении всего летнего времени: температура жара, усиливаясь постепенно с каждым днём, 9-го числа была уже до 35 градусов по териоиетру Реомюра.После полузнойного полудождливого 10 числа погода переменилась, так что на другой день у нас совершенная осень: мелкий дождь с ветром моросил землю, тепло заменили холод и сырость в воздухе от обидльно выпавшего дождя, причинившего грязь на улицах. Последовавшее затем время было продолжением наступившего ненастья. знаменуя его и в настоященее время холодною, сырою погодою и меликм осенним дождем вредь до благоприятной летней поры и ясных, теплых дней	ВГВ. №33. 17.08.1857. Неофициальная часть. С. 246.
1857		сообщается о том, что сентябрь и октябрь стоит отличная тёплая погода	ВГВ. №43. 26.10.1857. Неофициальная часть. С. 326.Местная хроника

1857		Описана безснежная зима — в конце ноября до сих пор нет снега, что делает и без того сильный холод (до 12 градусов) более ощутимым и плохо сказывается на растениях. Такая же зима стояла, по описаниям старожилов, в 1831 году. Впрочем, в некоторых областях снег уже выпал.	ВГВ. №48. 30.11.1857. Неофициальная часть. С. 374.Местная хроника
1857			
1858		Метеорологические наблюдения, производимые при Воронежской губернской гимназии с 5.04 по 12.04.	ВГВ. №16. 19.04.1858. Неофициальная часть. С. 150.
1858		Метеорологические наблюдения, производимые при Воронежской губернской гимназии с 12.04 по 19.04.	ВГВ. №17. 26.04.1858. Неофициальная часть. С. 160.
1858		Метеорологические наблюдения, производимые при Воронежской губернской гимназии с 19.04 по 26.04.	ВГВ. №18. 03.05.1858. Неофициальная часть. С. 168.
1858			
1859			
1860			
1861		Метеорологические наблюдения Михайловского кадетского корпуса, март	Прибавление к ВГВ. 1861. №14.
1861			
1862	декабрь	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе (за декабрь)	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №№3, 5. февраль 1863 года, с. 30, с.48
1862			
1863	июль-август	Истекший месяц ознаменовался большими повсеместными пожарами. Всех пожарных случаев по губернии было 57...	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №39. с. 291

1863	11-17 августа	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе (за август)	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №33. с. 282
1863	18-24 августа	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №36. с. 290
1863	1-7 сентября	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №38. с. 298
1863	15-28 сентября	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №40. с. 306
1863	29 сент - 6 окт	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №41. с. 311
1863	7 окт - 13 окт	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №42. с. 315
1863	14окт - 1 ноя	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №43. с. 318
1863	2 - 8 ноя	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №44. с. 322
1863	9 - 15 ноя	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №45. с. 326
1863	16-22 ноя	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №46. с. 331

1863	23-29 ноя	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №47. с. 335
1863	30 ноя - 6 дек	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №48. с. 339
1863	7 - 13 дек	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №49. с. 343
1863	14 - 20 дек	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №50. с. 346
1863	21 - 27 дек	Метеорологические наблюдения, производимые при Михайловском воронежском кадетском корпусе	Воронежские губернские ведомости (неофиц. часть). №51. с. 350
1863			
1864		Содержит письмо из Гайворона с рассуждениями о текущем урожае. Отмечается особенная урожайность 1863 года и удачный 1864 год	Земледелие, садоводство и огородничество. №25. 22.08.1864. С. 199-200
1864		Огромный урожай в Липецке привёл к обвалу цен на хлеб, что становится большой экономической проблемой	Земледелие, садоводство и огородничество. №29. 19.09.1864. С. 231-232
1864		По погодным условиям в Ельце ожидался высокий урожай, но по ряду причин сбор затруднён.	Земледелие, садоводство и огородничество. №26. 29.08.1864. Письмо из Ельца. С. 207
1864			
1865		Из-за прошлой бесснежной зимы озимые пропали. Урожай "хуже посредственного". Есть Фото.	Земледелие, садоводство и огородничество. №29. 18.09.1865. Письмо из Воронежской, Тамбовской и Орловской губерний. С 263.

1865		Письмо, подписанное 20 мая сообщает о ""ужаснейшей засухе и страшных ветрах". Есть фото.	Земледелие, садоводство и огородничество. №13. 29.05.1865. Письмо из Ельца. С 128
1865		После майской засухи в июне погода стоит дождливая, но холодная. Фото	Земледелие, садоводство и огородничество. №16. 19.06.1865. Письмо из Ельца. С 151
1865			
1866			
1867			
1868			
1869			
1870		Метеорологические наблюдения, производимые при Воронежском помологическом рассаднике	ВГВ. №48 от 1.07.1870
1870			
1871			
1872			
1872	апр	Сообщается, что в начале весны уже было несколько жарких дей, до 27 на солце по Р. (21 по Цельсию)	ВГВ. №29. 12.4.1872. С. 5
1872	16 апр	На первый день пасхи погода изменилась совеершенно, после 27 тепла по Р. сделалось очень холодно и при сильном северном ветре небо было пасмурно и шел перемежающийся дождь, с 20го числа снова потеплело, хотя иногда дул довольно резкий ветер и перепадал дождь.	ВГВ. №30. 26.4.1872. С. 3
1872	20.4-12.5	Весна заканчивается сильными жарами (более 35 гр по Р. на солнце), но несмотря на это, 4, 5, 6 и 12 мая прошел довольно сильный дождь и обновил растительность	ВГВ. №35. 13.5.1872. С. 3

1872	16,5	Прошел сильный дождь, весь вечер и ночь на 17 число была сильная гроза	ВГВ. №36. 17.5.1872. С. 3
1872	июнь	После непрерывных жаров, уже несколько дней продолжается стоять относительно холодное время. Реомюр показывает только 9	ВГВ. №42. 7.6.1872. С. 3
1872	июнь	Об урожае нынешнего года: в начале весны все взошло благодаря ясной погоде, но с 1го мая жаркая погода и бездождие <...> В Нижнедивицком уезде много цвету сбито ветром, а в Богучарсокм -- бывшими в начале апреля морозами	ВГВ. №48. 28.6.1872. С. 3
1872	декабрь	10.12 установился зимний путь по льду на Дону	ВГВ. №96. 13.12.72. С. 4
1873			
1874			
1875		29.03 вскрылся Дон в Задонском уезде	ВГВ. №27. 5.4.75. С. 3
1875		26.05 произошло градобитие в Бирюченском уезде	ВГВ. №43. 11.6.75. С. 3
1875		27.05 произошло градобитие в Новохоперском уезде	ВГВ. №45. 18.6.75. С. 3
1875		произошло градобитие в Павловском уезде	ВГВ. №52. 12.7.75. С. 3
1875		5 случае градобития в первой половине июля	ВГВ. №62. 16.8.75. С. 3
1875		Краткий отчёт о сборе хлеба. Урожаи хорошие, выше среднего.	ВГВ. №65. 27.8.75. С. 3
1875		3.08 произошло градобитие в Новохоперском уезде	ВГВ. №65. 27.8.75. С. 3
1876			
1877			
1878			

1879		Вероятно, небольшой урожай. Сведения ретроспективны. Неурожаи "последних лет" упоминаются довольно часто	Дон. №. 51. 13.05.80. С. 1
1880		Зима задерживается повсюду - в Острогожском уезде, Воронежском, Боброве	Дон. №38. 6.04.80. С. 2.
1880		Наконец приходит весна. Из некоторых уездов поступают радостные письма.	Дон. №40. 10.04.80. С. 2.
1880		Письмо корреспондента из Хренового. 1 апреля, а снег не сходит. Зерно дорожает.	Дон. №41. 13.04.80. С. 2.
1880		О тяжелой зиме и прекрасной весне в С. Пески Бобровского уезда: «Зима же, действительно, далась им, долго будут помнить наши сельчане эту зиму... в конце зимы жошло до того, что собирали крышу с сараев и кормили скот, сами же пробивались кой чем... Весна за то радует: всходы прекрасные, дожди перепадают». Из г. Задонска: «Посев яровых хлебов пости повсеместно окончен в Заоднском уезде. Погода стоит превосходная: доходило до 21 шрадуса на солнце. 30 апреля был небольшой дождик. Всход озимого отличный...»	Дон. №49. 8.05.80. С. 2.
1880		Всходы в Новохростанской волости "настолько хороши, что не оставляют желать лучшего". В Острогожске на хорошие всходы повлиял туман и похолодание, часть их погибла. В Валуйском уезде сложная ситуация - неурожайность предыдуших лет поставила крестьянство в сложное положение	Дон. №50. 11.05.80. С. 1-2
1880		04.05 в Новодевицком уезде случилась мощная гроза, затопило дома и скот.	Дон. №51. 13.05.80. С. 2.

1880		9.05 в Тамбове уже вторую неделю идут дожди. Температура невысокая. Зима задержалась	Дон. №54. 20.05.80. С. 3.
1880		26.05 в Воронее большой ливень	Дон. №58. 29.05.80. С. 1.
1880		На Задонских степях ожидается отличный урожай.	Дон. №60. 3.06.80. С. 3.
1880		В окрестностях Таганрога засуха	Дон. №60. 3.06.80. С. 3.
1880		В Бирюче в мае дождь был всего два раза. Мощная гроза случилась 4 июня, врезультате побито много ржи	Дон. №63. 12.06.80. С.2- 3.
1880		О состоянии хлебов и трав по Воронежской губернии за май месяц 1880 года (фото). Урожай в целом хороший	Дон. №66. 19.06.80. С.3.
1880		4.06 в Воронеже смерч	Дон. №73. 6.07.80. С.2.
1880		С 1.07 в Острогожском уезде стоит невыносимая жара. Много хлебов попортилось	Дон. №73. 10.07.80. С.3.
1880		О состоянии хлебов и трав по Воронежской губернии за июнь месяц 1880 года (фото). Урожай варьируется от региона к региону. В некоторых отмечена засуха	Дон. №78. 17.07.80. С.3.
1880		Ужасная жара более недели в Валуйском уезде. Температура до 38-39 градусов по Р	Дон. №87. 10.08.80. С.2.
1880		О состоянии хлебов и трав по Воронежской губернии за июль месяц 1880 года (фото). Урожай в основном собран. Посредственный и удовлетворительный	Дон. №93. 24.08.80. С.2.
1880		Засуха мая в Валуйском уезде. Урожай не очень хорош, но всё же положение не катастрофическое	Дон. №96. 31.08.80. С.3.

1880		О состоянии хлебов и трав по Воронежской губернии за август месяц 1880 года (фото). Отмечаются постоянные дожди в августе	Дон. №101. 14.09.80. С.3.
1880		О состоянии хлебов и трав по Воронежской губернии за август месяц 1880 года (фото). Отмечаются постоянные дожди в августе	Дон. №103. 18.09.80. С.2.
1881			
1882			
1883			
1884			
1885			
1886			
1887			
1888			
1889		Сообщается о сильной грозе 16 марта в 21-00 в Воронеже	ВГВ. №21. С. 3
1889		Рассказ о суровой и холодной зиме в этом году. В первой половине Апреля погода стояла сырая и холодная, что не благоприятствовало посадкам (фото)	ВГВ. №30. С. 3
1889		СВедения о произрастании хлебов во второй половине апреля неутешительные: погода стояла сухая, лишь 29 апреля впервые пошёл дождь (фото)	ВГВ. №37. С. 3
1889		Погода в мае стоит засушливая, отчего урожай находится под угрозой (фото)	ВГВ. №38. С. 3
1889		До 23 мая погода стояла сухая и жаркая, с 23 по 27 мая холодная с перепадающими дождями и морозами по утрам, а с 28 мая вновь установилась сухая (фото)	ВГВ. №41. 7.06.89. С. 3

1889		Вчера прошёл дождь, обильно смочивший землю. Если бы был такой в мае, то урожай бы удался.	ВГВ. №44. 17.06.89. С. 3
1889		Общий обзор земледелия. Погода в первой половине июня - жаркая, местами с дождями. Во второй половине - преимущественно сухая. Есть подробности по числам. (Фото)	ВГВ. №49. 5.07.89. С. 3
1889		Отчёт об уборке урожая. Прошла хорошо, но урожай плох. Больше (но ниже среднего) только там, где были дожди.	ВГВ. №56. 29.07.89. С. 3
1889		Большая подборка статей на тему погоды. Новости: урожай плохой вследствие поздней весны, бездождия с морозами; 18 июля по Воронежской губернии пронёсся ураган, ушедший в Херсонскую губерния. Много подробностей про урожай (фото)	ВГВ. №58. 5.08.89. С. 3
1889		Обзор градобитий по Воронежской губернии. Фото	ВГВ. №72. 27.09.89. С. 3
1889		Статистика по урожайности в разных уездах губернии. При нормальном урожае в сам 6, средний в районе 2 (фото)	ВГВ. №80. 25.10.89. С. 3
1890			
1891		Рамонская станция. 4.01 (нет фото)	ВТ. 6.01.1891. №3. С. 3.
1891		Статья Виды на урожай в воронежском уезде за вторую половину мая. С. 2. Отмечается сильнейшая засуха в мае, что отрицательно скажется на урожае.В других местах также засушливо, но с дождями (С. Ольховатка). 2 Фото	Дон. №61. 2.06.1891. С. 2, 3
1891		Неудовлетворительное состояние урожая вследствие засухи. Фото	Дон. №66. 16.06.1891. С. 3
1891			

1892			
1893			
1894			
1895			
1896			
1897			
1898			
1899			
1900			

Приложение 6. Описание архитектурных и археологических объектов, использованных для отбора образцов на дендрохронологический анализ (О. Н. Соломина, В. В. Мацковский, В. Н. Михаленко, Л. И. Лазукова)

Москва и Московская область

Дача П. С. Полуденского, Москва, Кузьминки

Деревянный двухэтажный господский дом и флигель в 1832–1834 гг. построил архитектор А. О. Жилярди. После 1917 года дача сохранилась благодаря тому, что, как считалось (как оказалось безосновательно), в этом доме летом 1894 г. у М.Т. и А. И. Елизаровых жил В. И. Ленин (Коробко, 2001). Усадьба была отреставрирована в 1964–1968 гг. 24 января 1999 г. она сгорела. 1 ноября 2009 г. из бруса деревянного фундамента и отдельно сложенных бревен со следами пожара было отобрано 4 керна и 9 спилов. Составлена плавающая хронология хвойных, содержащая 125 годичных колец.

Рис. 1. Фундамент дачи П. С. Полуденского в парке Кузьминки (а) и отбор образцов (б). Фото В. Н. Михаленко.

«Школа современной пьесы» (Москва, ул. Неглинная, д. 29/14)

Здание на Трубной площади, в котором располагался театр «Школа современной пьесы», было построено в 1864 году. До революции в нем находился трактир-ресторан «Эрмитаж», гостиница и бани. Здесь бывали Римский-Корсаков, Чайковский, Чехов, Горький, Шаляпин, артисты МХАТа, 12 января Татьянин день праздновали профессора Московского университета. После революции здесь находились разные учреждения, а в 1989 году был открыт московский театр «Школа современной пьесы» (http://ria.ru/spravka/20131103/974497127.html).

3 ноября 2013 г. здание театра «Школа современной пьесы» сильно пострадало из-за пожара. 21 февраля 2014 г. с разрешения художественного руководителя театра И. Л. Райхельгауза и при организационной поддержке его заместителя Е. Г. Кретовой в здании театра был проведен отбор образцов на дендрохронологический анализ. Первоначально мы надеялись попасть в подвал и отобрать образцы свай фундамента, которые должны относиться ко времени постройки здания. Когда мы прибыли на место, оказалось, что колодец, через который можно добраться до свай, забетонирован. Из других частей здания было отобрано 6 образцов: 1 образец

Рис. 2. Отбор образца M07A 2 в зале театра «Школа современной пьесы» (а); фото В. Н. Михаленко. Здание театра (б)

из балки в подвале, 2 образца в зале и 3 — на чердаке (склад декораций). При измерении образцов было установлено, что в 5 из них содержится менее 70 годичных колец, что недостаточно для надежного дендрохронологического датирования. В одном же из образцов (M07A 3, см. рис. 1) было измерено 145 годичных колец.

Больница детского приюта доктора Гааза, Москва, Малый Казенный пер. д. 5

Двухэтажный дом 5 по Малому Казенному переулку был построен в 1751–1783 гг. В середине 1780-х гг. он был перестроен в стиле классицизм, в это же время построены 3 флигеля и ограда усадьбы. В 1832 г. здание было передано Ортопедическому госпиталю, а в 1844 г. — Полицейской больнице (основатель — доктор Ф. П. Гааз). По-видимому, в этот промежуток времени дом перестраивается под нужды больницы. В последние годы здесь находится НИИ гигиены детей и подростков РАМН. С 2007 г. в доме идут ремонтные работы (http://moskva.kotoroy.net/). В марте 2010 г. из пристройки были отобраны образцы древесины (сосна

и лиственница) внутренних перекрытий и половых балок (9 спилов, 10 кернов). Все образцы перекрестно датированы друг относительно друга и составляют плавающую хронологию в 187 лет.

Рис. 3. Пристройка дома 5 в Малом Казенном переулке (а) и половые балки внутри помещений (б). Фото О. Е. Максимовой

Особняк Е. А. Свечиной — С. Ф. Циммерман — С. П. Моргунова, Москва, проспект Мира д. 25, стр. 1

Особняк построен в первой трети XIX века, перестроен в 1902 году архитектором А. С. Гребенщиковым. В советское время до 1996 г. здесь были частные квартиры, после и по настоящее вре-

Рис. 4. Москва, проспект Мира д. 25, стр.1 (а) и отбор образцов на чердаке дома (б). Фото О. Е. Максимовой

мя располагается Хор Турецкого. На чердаке дома в марте 2010 г. было отобрано 13 образов потолочных балок, плавающая хронология имеет продолжительность 127 лет.

Носовское подворье, Москва, Старопанский пер. д. 3, стр. 1, 4

Рис. 5. Носовское подворье http://www.etoretro.ru/pic98438.htm?position=46&sort=DESC&sort_field=image_date&y1=1964&y2=1985 1970-е гг.

Торговое здание (стр. 1) построено в 1863–1864 гг. архитектором Н. В. Никитиным, в 1891 г. перестраивалось архитектором Б. Г. Залесским. В 1866 г. архитектором Н. В. Никитиным построено конторское здание (стр. 4). Достраивались и перестраивались в 1877 и в 1891 гг. Образцы древесины, отобранные на чердаке (10 штук), уверенно датируются относительно друг друга и составляют плавающую хронологию продолжительностью 142 года.

Военный Университет с домовой церковью Александра Невского, Москва, Б. Садовая ул., д. 14, стр. 6

Бывшее Комиссаровское техническое училище с домовой церковью Александра Невского построено архитекторами Кампиони и Гелленером в 1860 г. Церковь освящена в 1871 г., а в 1891 г. по Садовому кольцу вырос целый комплекс новых зданий училища. В советское время здесь располагалась военно-политическая академия, а домовая церковь использовалась как столовая. В марте 2010 г. в церкви были отобраны образцы балок из перекрытий и половых лаг (13 образцов), которые составили хронологию продолжительностью в 220 лет. Хронология надежно датирована относительно Вологодской шкалы (рис. 7 настоящего Приложения). Датировка для дома на Большой Садовой хорошо соотносится с вышеупомянутыми сведениями о строительстве комплекса зданий училища в 1891 г.

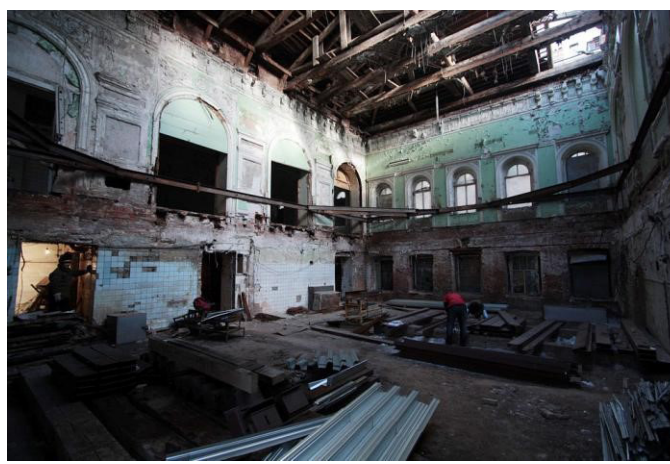


Рис. 6. Отбор дендрохронологических образцов в здании на Б. Садовой ул., д. 14, стр. 6 в Москве (а); фото:??? и домовая церковь Александра Невского (б); фото: www.sobory.ruwww.sobory.ru

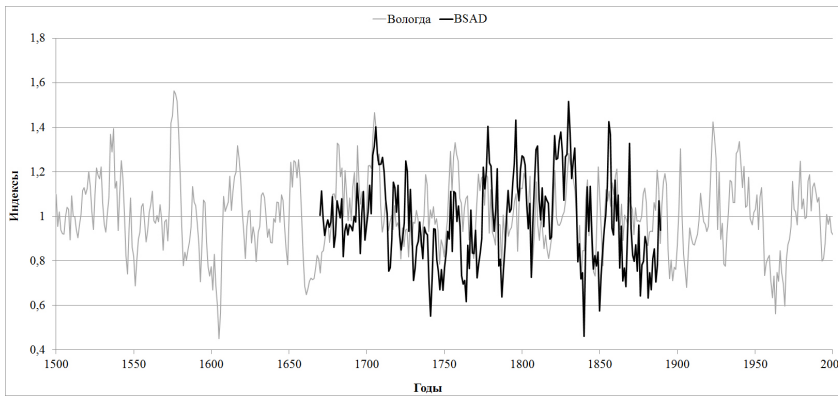


Рис. 7. Перекрестное датирование локальной хронологии здания на Большой Садовой ул., д. 14 относительно Вологодской хронологии

Храм Живоначальной Троицы в Останкино, Москва, 1-я Останкинская ул., д. 7

Храм построен в 1767 г., реконструирован в 1830-е гг. при князе Дм. Н. Шереметеве. Повторно ремонтировался в 1856 г., 1875 г.

и в 70-е гг. XX в. В марте 2010 г. отобраны образцы стропил лагов крыши (10 шт.). Плавающая хронология в 102 года, к сожалению, не получила пока абсолютной датировки.

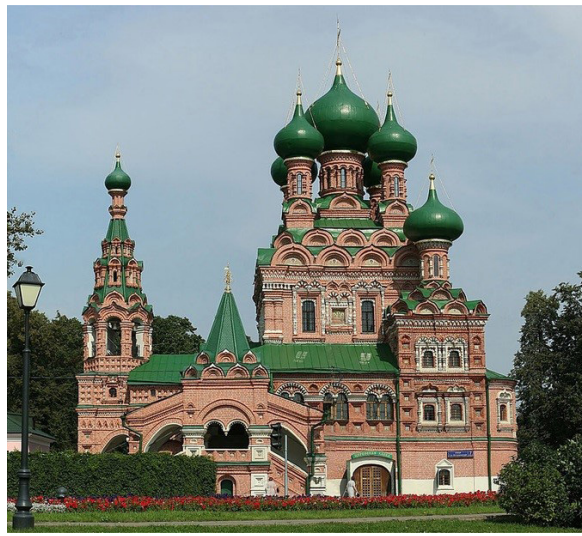


Рис. 8. Храм Живоначальной Троицы в Останкино, Москва, 1-я Останкинская ул. д. 7 http://mos-churches.ru/wp-content/uploads/2012/10/39476325_1234279441_arh_rus_hram_v_ostankino.jpg

Загородный дом императрицы Елизаветы Петровны, Москва, ул. Гастелло д. 44, стр. 1

Загородный дом Елизаветы Петровны, в котором находится Государственный научно-исследовательский институт реставрации Министерства культуры РФ, был построен в 1730-х-1740-х гг. архитектором Б. Ф. Растрелли. Перестраивался в 1760 г. и в XIX в. В 1872 г. дом перешел во владение Покровской общины сестер милосердия. Образцы (11 кернов) отобраны из балок на чердаке правого деревянного флигеля после пожара. Три дополнительных образца были отобраны из бруса, привезенного из Музея декоративно-прикладного искусства. Плавающая хронология составляет 133 года. Датируется интервалом 1764–1876 гг., то есть соотносится со временем перестройки в 1872 году (архитектор П. П. Скоморошенко).

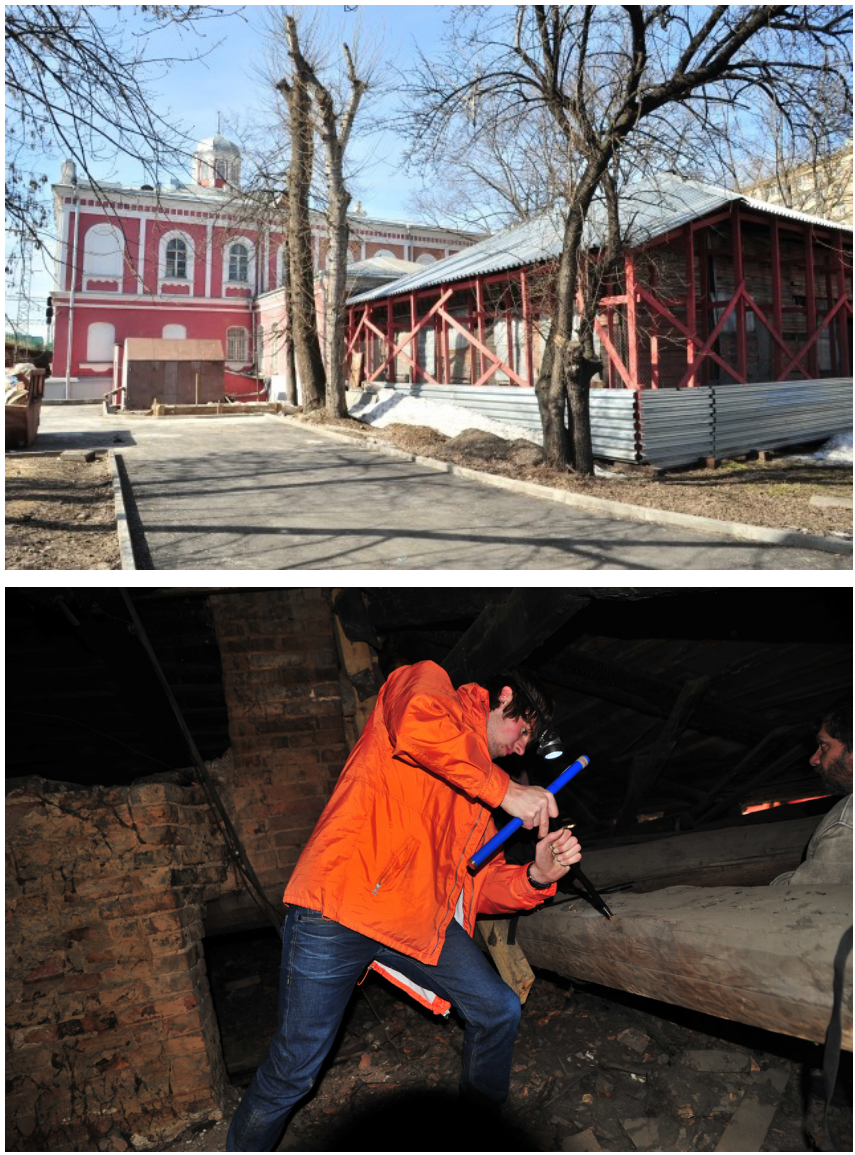


Рис. 9 Загородный дом Елизаветы Петровны (а) и отбор образцов на чердаке здания (б). Фото В. Н. Михаленко

Успенский собор, Звенигород, Московская область

Успенский собор на Городке — белокаменный четырехстолпный одноглавый храм, построенный на рубеже XIV и XV вв. Внутри собора сохранились росписи начала XV в., приписываемые Андрею Рублеву и Даниилу Черному. Образцы на дендрохронологический анализ были отобраны из четырех дубовых балок, первоначально служивших для укрепления стен собора. Сейчас для этой цели служат металлические конструкции, а дубовые балки не несут конструктивной нагрузки. Один образец был отобран из дубовой обитой металлом двери с южной стороны собора.

Рис. 10. Отбор образца USPD1a (табл. 4.4.5) из дубовой балки в Успенском соборе (а). Звонница Успенского собора (б). Фото В. Н. Михаленко

Все 7 образцов (USPD) удалось перекрестно датировать друг относительно друга. Несмотря на то, что и балки, и дверь, предположительно вытесанная из целой колоды, обтесаны, внешние кольца четырех из пяти стволов попадают в интервал всего 7 лет (рис. 11, Таблица 1 настоящего Приложения). Это позволяет говорить о том, что все эти элементы, вероятно, были сделаны из древесины, заго-

товленной одновременно. Образцы были объединены в плавающую хронологию длиной 172 года, которая в будущем (после календарной привязки) сможет быть использована для датирования деревянных объектов из дуба XIII–XIV вв. Из звонницы Успенского собора было отобрано 2 образца хвойных (USPZ), однако они содержали менее 50 колец, поэтому датировать их не удалось.

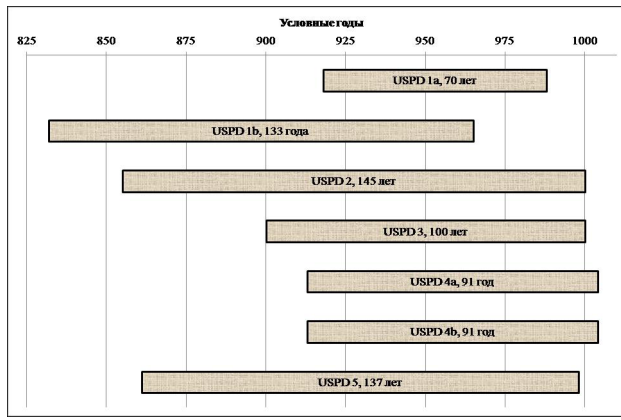


Рис. 11. Относительное положение во времени образцов, отобранных в Успенском соборе

Таблица 1. Относительная датировка образцов, отобранных в Успенском соборе

Номер образца	Описание образца	Количество годичных колец	Относительная датировка внешнего кольца
USPD1a	Центральный неф, алтарная часть, дубовая балка с южной стороны на высоте около 10 м от пола	70	984
USPD1b	–//–	133	961
USPD2	Южный неф, алтарная часть, дубовая балка с западной стороны на высоте около 10 м от пола	145	996

USPD3	Центральный неф, алтарная часть, дубовая балка с северной стороны на высоте около 10 м от пола	100	996
USPD4a	Центральный неф, алтарная часть, дубовая балка с западной стороны на высоте около 10 м от пола	91	1000
USPD4b	—//—	91	1000
USPD5	Дубовая дверь с юга	137	994

Усадьба Большие Вяземы, Московская область

Усадьба Вяземы была владельческим селом, загородной боярской, а затем царской резиденцией и дворянской усадьбой. Ныне это — территория Государственного историко-литературного музея-заповедника А. С. Пушкина.

Дворцовый комплекс Б. Ф. Годунова возник в конце XVI в. В годы Смуты (1606–1612 гг.) дворец был сожжен, но церковь и звонница сохранились до настоящего времени. В 1694 г. село Вяземы было пожаловано Б. А. Голицыну. В 1784 г. князь Николай Михайлович Голицын закончил строительство кирпичного двухэтажного господского дома с двумя флигелями. Предположительно в то же время строится кирпичный комплекс Конного двора — главное здание с пристройками и флигелями. В конце XIX — начале XX в. князь Дмитрий Борисович Голицын ведет обширные строительные работы на территории усадьбы. Видимо, в это время надстраиваются бревенчатым верхом несколько кирпичных хозяйственных построек.

Работы в усадьбе включали определение возраста деревьев в парке и в естественном лесном массиве, расположенном в непосредственной близости от усадьбы, датировки древесины в исторических строениях и в археологических раскопах Конного двора (археолог А. Н. Смирнов).

Образцы древесины для дендрохронологического анализа были отобраны из балок на чердаке главного здания (коллекция GOL), из перекрытий между первым и вторым этажами главного здания (VYAZD), на чердаке флигеля усадьбы (VYAZF), на чердаке флигеля конного двора (VFC) и из балок перекрытий Конного двора (VYAZK). Балки из перекрытий Конного двора (до реконструкции) были свалены во дворе, поэтому, возможно, там находился материал и из других

Рис. 12. Церковь в усадьбе Б. Вяземы (а). Образец древесины из раскопок Конного Двора (б) (фото А. Н. Смирнова)

Рис. 13. Деревянные элементы конструкций в шурфе под зданием Конного двора усадьбы Вяземы (а) (фото А. Н. Смирнова). Отбор дендрохронологических образцов на чердаке главного здания усадьбы Вяземы (б) (фото В. Н. Михаленко)

источников. Возраст главного здания усадьбы точно известен из исторических источников и указан на фронтоне («Мая 1-го дня 1784 г.»).

Анализ показал, что некоторые образцы из коллекций GOL, VYAZD и VYAZK датируются друг относительно друга и могут быть объединены в единую плавающую хронологию VZ длиной 333 года (рис. 14, табл. 2 настоящего Приложения). Разница в датировках внешних колец достигает 66 лет (образцы VYAZK7 и VYAZD1), но это не означает, что все образцы относятся к разному времени. Такой разброс вызван утратой внешних колец при обработке бревен. Учитывая тот факт, что ширина некоторых колец равняется всего лишь 0,08 мм, утрата даже небольшого слоя древесины при обработке может привести к потере большого числа годичных колец. Минимальная разница между датировками образцов из Конного двора (VYAZK) и из перекрытия между этажами главного здания усадьбы (VYAZD) составляет всего 3 года, а между образцами из перекрытия между этажами (VYAZD) и чердака главного здания (GOL) — 15 лет. С учетом возможных потерь внешних колец, а также установленного факта использования привозной древесины (см. ниже), можно предположить,

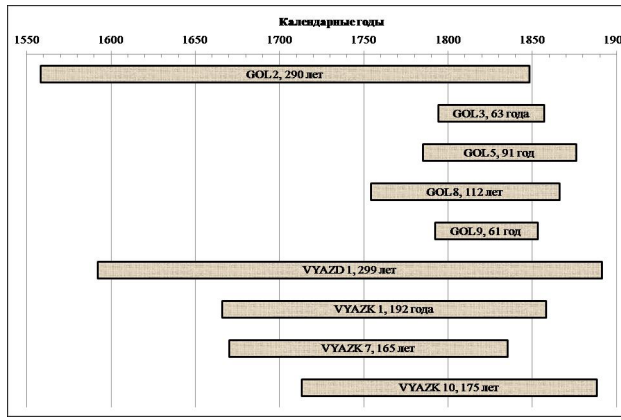


Рис. 14. Положение и протяженность во времени дендрохронологических образцов из архитектурных элементов усадьбы Вяземы, датированных по Вологодской дендрошкале

что все эти деревянные конструкции были заменены одновременно при проведении масштабного ремонта в усадьбе.

Попытки датировать эту хронологию относительно двух сводных хронологий московского региона, а также относительно большинства других объектов Москвы и Подмосковья, не увенчались

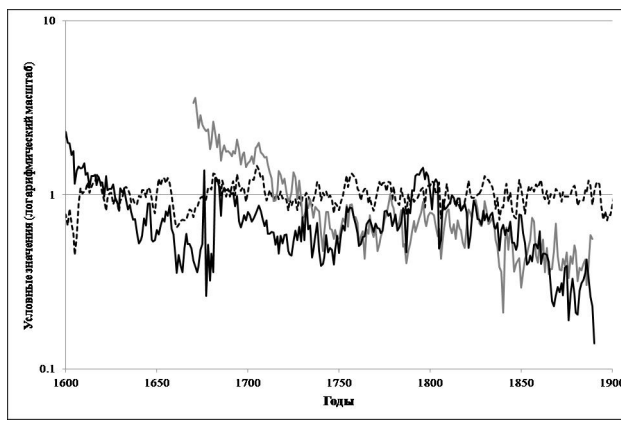


Рис. 15. Датировка сводных хронологий BSAD (серая сплошная линия) и VZ (черная сплошная линия) по Вологодской дендрошкале (черный пунктир)

успехом. Успешная датировка была проведена лишь по плавающей хронологии BSAD, построенной на основе образцов, отобранных из дома 14 стр. 6 на ул. Б. Садовая в Москве. Обе хронологии (BSAD и VZ) удалось надежно датировать по Вологодской дендрошкале (Соломина и др., 2011) (рис. 14). Это говорит о том, что древесина из усадьбы Вяземы, так же как из дома на Большой Садовой, была привозной, вероятнее всего из Вологодской губернии или сопредельных территорий. Интересно, что разница в датировках последнего кольца хронологий дома на Большой Садовой BSAD (1889 г.) и составной хронологии для Вязем VZ (1890 г.) составляет всего год. Образцы с чердака флигеля усадьбы (VYAZF) и с чердака флигеля Конного двора (VFC) датировать не удалось.

Таблица 2. Датировка архитектурных образцов из усадьбы Вяземы по Вологодской дендрошкале

Номер образца	Описание образца	Количество годичных колец	Датировка первого кольца	Датировка внешнего кольца
GOL 2	Главное здание усадьбы, чердак. Горизонтальное бревно снизу, деталь конструкции, поддерживающей крышу, есть клеймо	290	1558	1847
GOL 3	Главное здание усадьбы, чердак. Вертикальное бревно, поддерживающее крышу	63	1794	1856
GOL 5	Главное здание усадьбы, чердак. Вертикальное бревно, поддерживающее крышу, справа от бельведера	91	1785	1875

GOL 8	Главное здание усадьбы, чердак. Вертикальное бревно, поддерживающее крышу, центральное под бельведером	112	1754	1865
GOL 9	Главное здание усадьбы, чердак. Вертикальное бревно, поддерживающее крышу, слева от бельведера	61	1792	1852
VYAZD1	Главное здание усадьбы, деталь перекрытия между 1 и 2 этажами	299	1592	1890
VYAZK 1	Балки из перекрытий Конного двора до реконструкции. Бревна были свалены во дворе — возможно материал и из других источников	192	1666	1857
VYAZK 7	—//—	165	1670	1834
VYAZK 10	—//—	175	1713	1887

Археологические исследования последних лет позволили выявить остатки заглубленных деревянных конструкций на месте Годуновских хором. Они включают части внешних срубных стен, элементы дощатых настилов и внутренних перегородок, инженерные сооружения (деревянные дренажные трубы). Упомянутые остатки залегают под ныне существующим реконструированным главным зданием Конного двора. В результате проведенных работ совместно

с Институтом археологии РАН и сотрудниками музея-усадьбы Вяземы были отобраны дендрохронологические образцы из нескольких элементов деревянных конструкций (рис. 13 *б*). Исследование этих образцов показало, что они сделаны из лиственных и хвойных деревьев небольшого возраста и для дендрохронологического датирования непригодны.

В усадьбе Вяземы также было проведено определение возраста старых деревьев в приусадебном парке (табл. 3).

Силоамская купель, Новый Иерусалим, Московская область

Силоамская купель (надкладезная деревянная часовня) была построена, судя по архивным данным, в 1845 г. близ современного источника на берегу реки Истра под Иноплеменничьей башней крепостной стены Воскресенского Новоиерусалимского монастыря. Силоамская купель была построена из дерева на деревянных сваях-фундаментах. Надземная часть часовни с 1845 г. претерпела существенную перестройку после 1852 г. (И. Н. Ершов).

В советский период часовня ветшала и была разрушена в начале 1960-х гг. Раскопки 2011 г. вскрыли фундамент часовни, откуда было отобрано 24 спила (рис. 16 б). Образцы принадлежат к двум основным конструкциям: часть внешнего четырехугольного сруба (4 спила) и внутренний десятигранный сруб (10 спилов).

Почти все датированные образцы разбились на две основные группы: с порубочными датами 1844 г. и 1840 г. Поскольку в обеих группах присутствуют образцы из двух основных конструкций, можно предположить, что строительство обеих конструкций производилось одновременно, с использованием ранее заготовленной древесины, либо древесины повторного использования. К первой группе (1844 г.) также относится доска снаружи внутреннего сруба, а ко второй (1840 г.) две датированных сваи фундамента. Более ранние датировки отдельных образцов могут говорить о нехватке внешних колец.

Абсолютная датировка хронологии (1844 г.) дана по историческим свидетельствам — контракт 1845 г. монастырских властей на строительство часовни с артелью плотников Покровского уезда Владимирской губернии. При этом она довольно хорошо согласуется с датировками других объектов, к которым удалось привязать

Таблица 3. Оценка возраста деревьев в парке усадьбы Вяземы по дендрохронологическим данным

№	Код образца	Порода дерева	Номер по каталогу музея	Высота бурения (см)	Количество отобранных кернов	Дата первого измеренного кольца	Наличие сердцевины в кернах (+/-)	Оценка числа колец до центра	Поправка на высоту бурения (лет)	Оценка возраста дерева, лет	Оценка даты посадки
1	GOLL 1	Лиственница сибирская *(Larix sibirica)*	946	100	2	1876	-	6	5	141	1869
2	GOLL 2	Лиственница сибирская *(Larix sibirica)*	964	100	2	1854	-	невозможно*	5	161	1849
3	GOLL 3	Лиственница сибирская *(Larix sibirica)*	963	100	2	1843	-	4	5	178	1832
4	GOLL 4	Лиственница сибирская *(Larix sibirica)*	952	100	2	1857	-	11	5	169	1841
5	GOLL 5	Лиственница сибирская *(Larix sibirica)*	?	100	2	1941	-	Сердцевинная гниль	5	более 74	не позже 1936
6	GOLL 6	Лиственница сибирская *(Larix sibirica)*	939	100	2	1859	-	10	5	166	1844
7	GOLT 1	Липа мелколистная (*Tilia cordata*)	829	100	1	1840	-	11	3	184	1826

8	GOLT 2	Липа мелколистная (*Tilia cordata*)	826	70	1	1839	-	18	3	192	1818
9	GOLT 3	Липа мелколистная (*Tilia cordata*)	795	100	1	1830	-	невозможно*	3	более 183	не позже 1827
10	GOLT 4	Липа мелколистная (*Tilia cordata*)	791	100	1	1865	-	невозможно*	3	более 148	не позже 1862
11	GOLT 5	Липа мелколистная (*Tilia cordata*)	155	100	1	1897	-	невозможно*	3	более 116	не позже 1894
12	GOLU1	Вяз гладкий (*Ulmus laevis*)	875	100	1	1904	-	Сердце-винная гниль	3	более 106**	не позже 1901
13	GOLU2	Вяз гладкий (*Ulmus laevis*)	874	100	1	1909	-	Сердце-винная гниль	3	более 101**	не позже 1906
14	GOLU3	Вяз гладкий (*Ulmus laevis*)	989	120	2	1959	-	5	4	60	1950

* невозможно оценить число годичных колец до сердцевины из-за отсутствия в керне кривизны колец, по которой оценивается расстояние до сердцевины.

** по информации сотрудников музея, деревья погибли в 2006 году.

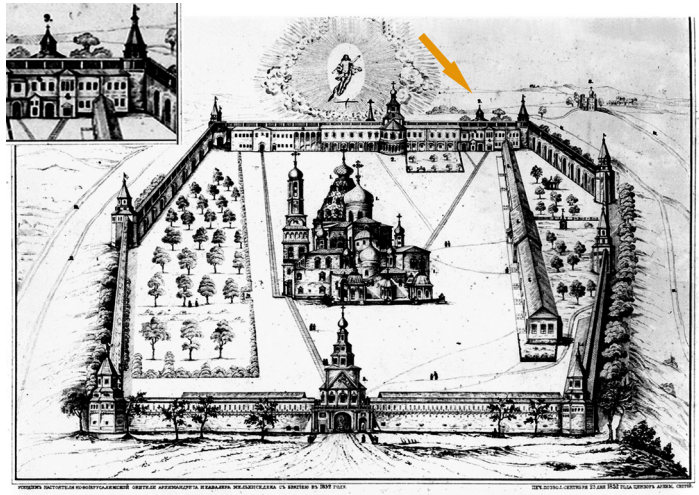


Рис. 16. Воспроизведение литографии 1852 г. с видом Новоиерусалимского монастыря с востока. В верхней части стрелкой показана верхняя часть Силоамской часовни за западной стеной монастыря. Фрагмент увеличен в левом верхнем углу рисунка (а). Рисунок любезно предоставлен И. Н. Ершовым; Б — Силоамская купель. Отбор спилов бревен сруба купели на дендрохронологический анализ. Раскоп XV. Вид с северо-запада. Новоиерусалимский монастырь, 2011 г. (б). Фото И. Н. Ершова

дендрошкалу Силоамской купели: водяной мельницы у реки Истры (рядом с Ново-Иерусалимским монастырем) и дачи сенатора Полуденского в Кузьминках (Москва). Три дендрошкалы датируются относительно друг друга (рис. 17). Дендрошкала дачи Полуденского получает датировку 1834 г. (по источникам — 1830-е гг.). Водяная мельница получает датировку 1801 г. (по источникам — 1805 г.). Эти датировки нельзя назвать абсолютными, так как они не привязаны к хронологиям, построенным по живым деревьям и имеющим известную дату образования последнего кольца. Тем не менее хорошая согласованность дендродат с историческими свидетельствами позволяет надеяться на точность этих датировок.

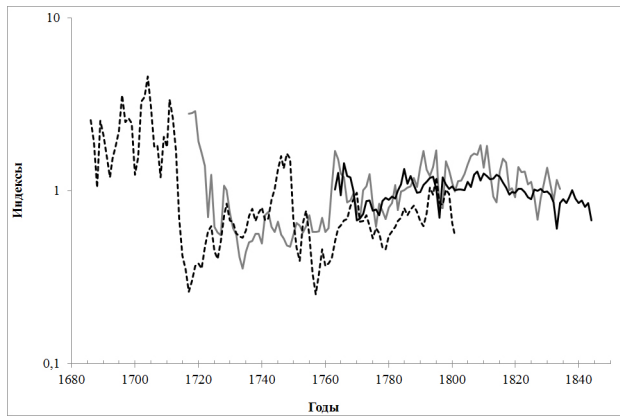


Рис. 17. Перекрестная датировка дендрошкал для Силоамской купели (черная сплошная линия), дачи сенатора Полуденского в Кузьминках (серая линия) и водяной мельницы рядом с Новоиерусалимским монастырем (черный пунктир).

Всехсвятская церковь, Село Сосновка, Озерской район, Московская область

Деревянный одноглавый храм с трапезной. Основан не позже XVI в., нынешнее здание построено в 1784 г. Первоначально Покровский, переосвящен во имя Всех Святых после постройки каменной церкви. Закрыт в 1930-х гг. В настоящее время разрушается (http://www.temples.ru/legend.php#02http://www.temples.ru/legend.php#02). Богатая коллекция древесины, отобранная нами

Рис. 18. Всехсвятская церковь в селе Сосновка (а) — фото А. В. Шатохина 13 июня 1976 г. (б) — фото В. Н. Михаленко 26 августа 2008 г.

в 2008 г., позволила построить хронологию, охватывающую 1739–1890 гг. Очевидно, в конце XIX в. церковь была отремонтирована с заменой большинства бревен.

Церковь Ильи Пророка в с. Петровское, Московская область

Деревянная Ильинская церковь в вотчине Беклемишевых. Год строительства — 1717 (по другим данным, 1777 г.), обновлена в XIX в., колокольня — XIX в. Сруб, обшитый тесом, четверик храма рублен из бревен «в обло», граненый брусяной алтарь — «в лапу» http://svozem.ru/svoya-zemlya/poselki/petrovskoe/obustroistvo/404-istoricheskaya-spravka-s-petrovskoe.html. Разрушается. Датировка

Рис. 19. Церковь Ильи Пророка 1777 г. в с. Петровское. А — фото Константина Тулупова 01.03.2003–15.03.2003 http://sobory.ru/photo/1296http://sobory.ru/photo/1296; Б — 26 октября 2006. Фото О. Н. Соломиной

для плавающей хронологии (21 образец) 1793–1912 гг. получена по живым деревьям (хвойные) Московского региона.

Калуга и Калужская область

Калужский областной краеведческий музей,
Калуга, ул. Пушкина, 14

Калужский областной краеведческий музей с 1922 г. размещается в бывшей городской усадьбе купца первой гильдии И. М. Золотарева, построенной в 1805–1808 гг. в стиле русского классицизма XVIII в. С 1922 г. в усадьбе расположен музей.

Рис. 20. Калужский областной краеведческий музей (а) и интерьеры музея (б)

Здесь на чердаке были отобраны образцы потолочных балок, всего 10 образцов, содержащих от 38 до 94 годичных колец. Внешние кольца 8 из 10 образцов легли в интервал трех лет, что подтверждает одновременность заготовки древесины. Все образцы перекрестно датированы между собой и на этой основе создана плавающая хронология длиной 95 лет (рис. 21 Приложения 6) Наиболее вероятная датировка этой серии 1806–1712 гг. (по совпадению графического рисунка хронологий по живым деревьям и хронологии H03S), однако проверка с помощью программы COFECHA ее статистически не подтверждает. Перекрытие рядов составляет период с 1806 по 1735 г. (т. е. 71 год). Это может быть слишком мало для достоверного датирования. Не исключено, что в этом случае

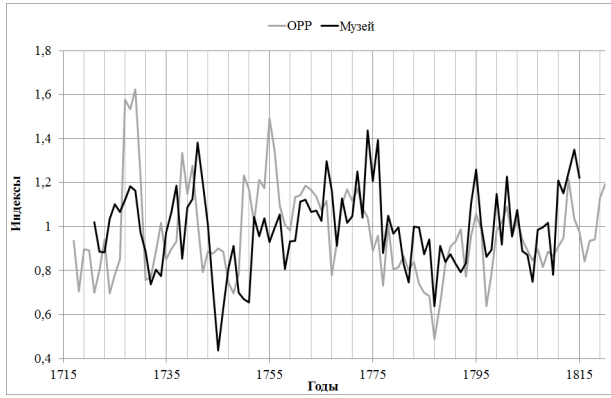


Рис. 21. Датировка образцов из Калужского областного краеведческого музея. А — относительная, Б — абсолютная по хронологии «Оптина пустынь».

мы имеем дело с использованием привозной, а не местной древесины при строительстве крыши здания.

Гостиный Двор, Калуга, пл. Старый торг, ул. Ленина, пер. Гостинорядский

Ансамбль Гостиного Двора создавался в период с 1784 по 1824 г. В нем сочетаются мотивы русской архитектуры допетровского времени и «готического стиля». Неоднократно перестраивался, сильно пострадал во время Великой Отечественной войны. Реставрировался в 1974–1975 гг. и в 2010-х гг. (http://gorod.kaluga.ru/img/famous/storg.htmlhttp://gorod.kaluga.ru/img/famous/storg.html).

В 2012 г. ходе археологических раскопок (археологи И. В. Болдин и Г. А. Массалитина) были отобраны спилы с 24 бревен и досок, относящихся к Гостиному Двору. Большинство образцов содержат менее 50 колец, поэтому их невозможно надежно датировать. Несмотря на небольшое число годичных колец, содержащихся в образцах (от 26 до 70), 17 из них удалось перекрестно датировать между собой и создать плавающую хронологию длиной 79 лет. На основе находок монет в заполнении и по стратиграфии можно предположить, что время постройки деревянного сооружения, найденного при этих раскопках, относится к середине XVIII в.

Рис. 22. Торговые ряды (а) — общий вид после реставрации; фото с сайта http://gorod.kaluga.ru/img/famous/storg.htmlhttp://gorod.kaluga.ru/img/famous/storg.html, (б) — раскоп: фото И. В. Болдина

Перекрестное датирование этой хронологии с хронологией по живым деревьям не дало приемлемых статистических результатов во временном интервале XVIII в. Это может быть связано с небольшим перекрытием этих хронологий. Если строение действительно относится к середине XVIII в., то перекрытие двух хронологий составит всего лишь около 30 лет, что недостаточно для уверенного дендрохронологического датирования.

Музей изобразительных искусств, Калуга, ул. Ленина, д. 104

Музей находится в здании городской усадьбы Билибиных-Чистоклетовых, построенном в начале XIX в., который отнесен к объектам культурного наследия федерального значения. К настоящему времени музей занимает почти весь комплекс городской усадьбы. С 1989 по 1997 г. здание реставрировалось.

В 2015 г. были отобраны образцы балок с чердака музея. Плавающая хронология датирована интервалом 1629–1816 гг. (188 лет) по Вологодской хронологии, что дает основание полагать, что зда-

Рис. 23. Фасад Музея изобразительных искусств, Калуга. Фото с сайта (http://static.panoramio.com/photos/original/13597926.jpghttp://static.panoramio.com/photos/original/13597926.jpg).

ние музея, вероятно, было построено из привезенной вологодской древесины (или древесины с сопредельных территорий) (рис. 4). Датировка согласуется с историческими данными о времени строительства здания.

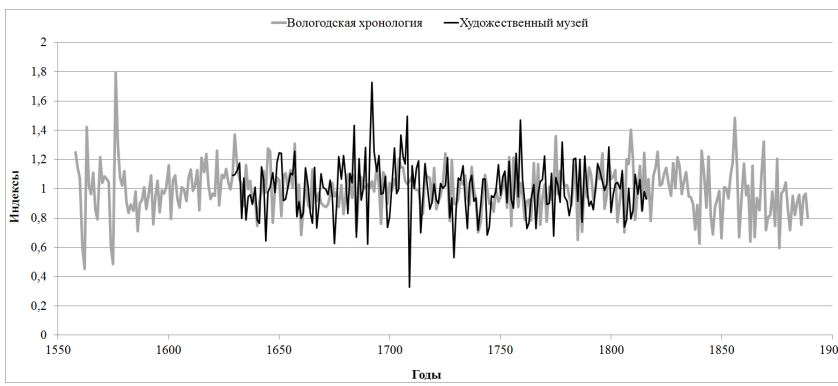


Рис. 24. Перекрестное датирование локальной хронологии здания Музея изобразительных искусств в г. Калуге относительно Вологодской хронологии.

Раскоп дома, Калуга, ул. Кирова

Вертикальные сваи из-под жилого дома на ул. Кирова отобраны в ходе археологических раскопок 2014 г. археологами И. В. Болдиным и Г. А. Массалитиной. Плавающая хронология насчитывает 194 год и датирована по хронологии по живым деревьям из Калужской области (1659–1852).

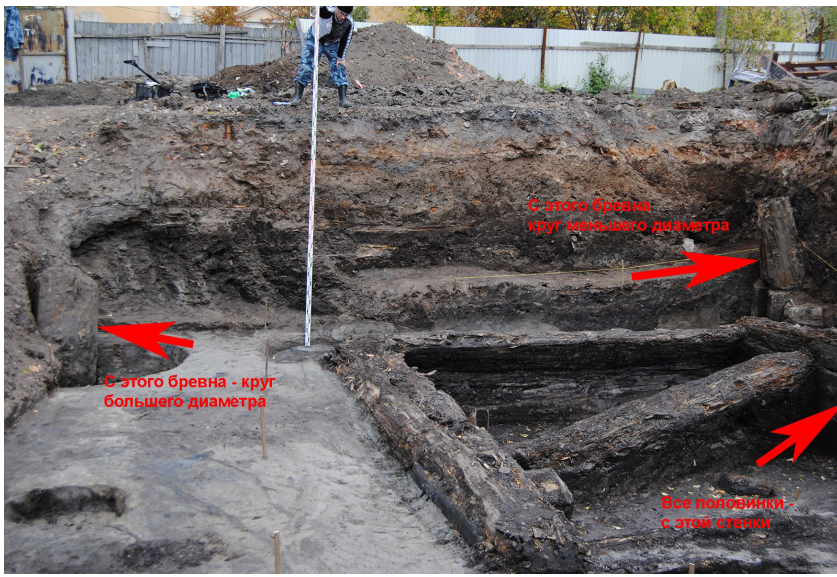


Рис. 25. Раскоп на ул. Кирова, Калуга. Фото И. В. Болдина

Тверская область

Деревня Ореховка, Осташковский район, Тверская область

Старинные кирпичные дома с резными фасадами в деревне Ореховка и их служебные строения. В мае 2011 г. отобрано 22 образца из разных частей строений. Плавающая хронология содержит 225 колец и датируется интервалом 1621–1844 гг. по хронологии ВОВ.

Рис. 26. Хозяйственные постройки в дер. Ореховка (а) и кирпичный дом с резным фасадом (б). Фото В. Н. Михаленко, 2011 г.

Костромская область

Церковь Николая Чудотворца, с. Андреевское, Сусанинского района, Костромская область

Деревянная церковь была построена в 1741 г., отремонтирована после пожара в 1868 г. Основной объем нынешней деревянной

Рис. 27. Церковь Николая Чудотворца в с. Андреевское, Костромская обл. (площадка К02А). Фото Т. М. Кудериной

церкви — двусветный четверик, завершавшийся четырехскатной кровлей с главкой. Апсида и трапезная также прямоугольные, с трех сторон здание охвачено закрытой галереей на консолях. Закрыта не позже 1930-х, в настоящее время здание в аварийном состоянии, большая часть перекрытий обрушилась. (http://temples.ru/card.php? ID=12655). Отобрано 30 образов. Датирована по дендрохронологии 1780 г. (1564–1780). Поскольку бревна обтесаны и внешние кольца потеряны, эта датировка согласуется с историческими данными.

Барский дом Комисаровых, Костромская область, с. Андреевское, Сусанинского района

Дом деревянный, на кирпичном фундаменте, разрушается. Отобрано 12 спилов из внешних стен и внутренних перекрытий. Плавающая хронология составила 187 лет и датирована по Вологодской шкале интервалом 1721–1907 гг.

Рис 28. Дом Комиссаровых в селе Андреевское. Фото Т. М. Кудериной.