Институт географии РАН
Российский фонд фундаментальных исследований

В.В. Мацковский

Климатический сигнал в ширине годичных колец хвойных деревьев на севере и в центре Европейской территории России

Москва
ГЕОС
2013

УДК 552.5: 550.8
ББК 26.323
М 48

Мацковский В.В. Климатический сигнал в ширине годичных колец хвойных деревьев на севере и в центре Европейской территории России. – М.: ГЕОС, 2013. – 148 с.
ISBN 8-978-5-89118-615-6

В монографии рассматриваются пространственные и временные закономерности изменения климатического сигнала в ширине годичных колец основных хвойных пород на севере и в центре Европейской территории России. Приводятся и обобщаются результаты анализа влияния различных климатических факторов на радиальный прирост сосны (Pinus sylvestris), ели (Picea abies, Picea obovata) и лиственницы (Larix sibirica). Используются несколько архивов измеренных и расчетных климатических данных, в которых представлены основные метеорологические параметры, а также значения агроклиматических характеристик, индекса сухости PDSI, влажности почвы, циркуляционных индексов.

Для специалистов в области дендрохронологии, лесоведения и экологии, а также для студентов высших учебных заведений, аспирантов.

Рецензенты:
член-корреспондент РАН, доктор географических наук *А.Б. Шмакин*
доктор биологических наук *Р.М. Хантемиров*

Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 12-05-07126-д

Издание РФФИ не подлежит продаже

Matskovsky V.V. Climatic signal in tree ring width of conifers in the north and center of European Russia. M.: GEOS, 2013. – 148 p.

In the monograph we examine spatial and temporal patterns of climatic signal changes in ring width of main conifer species in the Northern and Central parts of European Russia. Results of analysis of different climatic factors that influence radial growth of pine (Pinus sylvestris), spruce (Picea abies, Picea obovata) and larch (Larix sibirica) are described and summarized. Several archives of measured and calculated climatic data are used, including basic meteorological and agroclimatic parameters, Palmer drought severity index, soil moisture and teleconnection indexes.

The book is addressed to specialists in dendrochronology, forest science and ecology as well as to graduate and Ph.D. students.

Reviewers:
Corresponding member of RAS, D.Sc. *A.B. Shmakin*
D.Sc. *R.M. Khantemirov*

ISBN 8-978-5-89118-615-6

© В.В. Мацковский, 2013
© ИГ РАН, 2013
© ГЕОС, 2013

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим этапом дендроклиматического анализа является выявление климатического отклика той или иной породы деревьев в исследуемом регионе. Настоящая монография призвана решить эту проблему для севера и центра Европейской территории России (далее – ЕТР). Впервые проведен обобщенный анализ климатического отклика ширины годичных колец хвойных деревьев для всего этого региона. Проанализированы 49 древесно-кольцевых хронологий (далее – ДКХ) сосны (*Pinus sylvestris* L.), ели (*Picea abies*, *Picea obovata*) и лиственницы (*Larix sibirica*). Также были привлечены несколько архивов измеренных и расчетных климатических данных, в которых представлены все основные метеорологические параметры, значения агроклиматических характеристик, индекса сухости, влажности почвы и основных циркуляционных индексов. Общая методика анализа позволила проследить главные закономерности изменения климатического отклика наиболее распространенных на исследуемой территории хвойных пород деревьев. Помимо обобщающего материала, приведены таблицы значений корреляции каждой древесно-кольцевой хронологии со всеми исследованными климатическими параметрами. Одна из целей монографии – предоставить эти данные заинтересованным специалистам. Работа может служить справочным материалом для специалистов-дендрохронологов, а также для всех исследователей, применяющих метод дендрохронологии в пределах исследуемого региона – лесоводов, археологов, климатологов, экологов и ботаников.

Климатический отклик деревьев в северной и центральной частях ЕТР рассматривался 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, 2002 (in 2 Parts)], Ф. Швайнгрубера [Schweingruber et al., 1996], Д.Е. Румянцева [2010] и др. Дендроклиматологами лучше изучена наиболее северная часть ЕТР, но здесь исследователи концентрировали внимание в основном на хронологиях максимальной плотности древесины, более перспективных с точки зрения палеоклиматических реконструкций. Ограниченный интерес дендроклиматологов к климатическому сигналу в ширине колец на ЕТР объясняется относительно короткой продолжительностью жизни деревьев и их слабой чувствительностью к климатическим изменениям, особенно это относится к центральной части территории. До сих пор не существует работ, где проблема климатического сигнала в ширине годичных колец хвойных рассматривалась бы для всей указанной территории и решалась комплексно, на основе общей методики и с учетом достижений современной климатологии. Длинные непрерывные хронологии, пригодные для современных количественных палеоклиматических реконструкций, также отсутствуют. Северная и центральная части ЕТР гораздо менее обеспечены дендрохронологическими данными в пространстве и времени, чем соседние регионы: Восточная Европа, Скандинавия, Урал – древесно-кольцевых хронологий здесь меньше, они расположены дальше друг от друга и значительно уступают по продолжительности ДКХ соседних регионов. Археологические дендрошкалы на ЕТР 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.

Основной целью нашего исследования было проведение дендроклиматического анализа для северной и центральной частей ЕТР на основе всех доступных дендрохронологических и метеорологических данных, включая данные реанализа, и выявление тех климатических факторов, влияние которых на рост деревьев является наиболее

общим и выраженным для всей исследуемой территории. Изучение климатического отклика деревьев помогает в интерпретации дендрохронологических рядов, имеющих годичное разрешение и поэтому являющихся уникальными источниками информации о климате прошлого.

Для достижения этих целей необходимо было решить следующие взаимосвязанные задачи:

– сбор имеющейся дендрохронологической информации для данного региона для трех самых распространенных на ней пород хвойных деревьев: сосны, ели и лиственницы, и дополнение ее новыми данными для более полного покрытия территории;

– статистический анализ климатического отклика всех древесно-кольцевых хронологий на основе общей методики и с использованием максимального числа климатических параметров, включая данные современных сеточных архивов;

– анализ пространственно-временной сопряженности динамики приростов деревьев и построение карт на основе полученных данных.

Все полученные результаты отражены в таблицах, позволяющих оценить отклик каждой конкретной древесно-кольцевой хронологии на все рассмотренные климатические параметры.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю и вдохновителю О.Н. Соломиной, сотрудникам отдела гляциологии Института географии РАН и всем, помогавшим в сборе и обработке дендрохронологического материала и консультировавшим автора: В.Н. Михаленко, Е.А. Долговой, Л.И. Лазуковой, И.И. Лаврентьеву, И.С. Бушуевой, С.С. Кутузову, А.А. Чепурной, М.Н. Иванову, И.О. Павловой, Т.М. Кудериной, Д.Е. Румянцеву, Н.А. Кренке, Р.С. Жукову, В.В. Грязновой, Ю.З. Мацковской, А.В. Кудикову, О.Е. Максимовой и др.; А.Б. Шмакину за предоставление архивов метеоданных, сотруднику Института археологии РАН А.А. Карпухину за предоставленный архив измерений исторической древесины; сотрудникам музеев и заповедников, содействовавшим в сборе материала: И.В. Папину, Л.В. Кузнецовой, Н.О. Киршиной, Т.А. Пантелеевой; Н.А. Ломакину, помогшему значительно улучшить текст рукописи.

Исследование частично поддержано грантами РФФИ 09-05-00982-а, 11-05-10074-к, Программой Президиума РАН №4 и грантом Президента РФ МК-7354.2013.5.

Глава 1
ИЗУЧЕННОСТЬ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ОТНОШЕНИИ ДЕНДРОКЛИМАТОЛОГИИ

1.1. Район исследования

Районом исследования является территория, расположенная между 25° и 60° в.д., 50° и 70° с.ш. В основном это север европейской части России, но территория расширена на юг и на запад, чтобы включить несколько древесно-кольцевых хронологий Московской и Калужской областей и Финляндии. Использование этих хронологий необходимо для более полного пространственного и сравнительного анализа (рис. 1).

Район исследования целиком расположен на Восточно-Европейской равнине и занимает ее северо-восточную часть. Это одна из крупнейших равнин Земного шара, расположенная в восточной части Европы. На севере омывается водами Белого, Баренцева и Балтийского, а на юге – Черного, Азовско-го и Каспийского морей. На северо-западе ограничена Скандинавскими горами, на западе и юго-западе – горами Центральной Европы (Судеты и др.) и Карпатами, на юго-востоке – Кавказом, на востоке – Уралом и Мугоджарами. На Восточно-Европейской равнине выделяется девять природных зон – ледяная, тундра, лесотундра, тайга, смешанные леса, лесостепь, степь, полупустыня, пустыня. Район нашего исследования ограничивается тремя из них: лесотундрой, тайгой и смешанными лесами. Характер расположения этих зон определяется тремя типами зональности. Наиболее ярко выражена широтная зональность, обусловленная умеренно континентальным климатом и равнинным рельефом. Высотная поясность вызвана существованием возвышенностей и низменностей. Эффекты высотной зональности, в отличие от широтной, имеют внутризональный характер. Например, в смешанных лесах на заболоченных низменностях преобладают хвойные леса, а возвышенности покрыты смешанными и широколиственными лесами. Но подобные нарушения не выходят за пределы природной зоны. Существуют также меридиональные различия климата и ландшафтов на Восточно-Европейской равнине в направлении с запада на восток. Природные зоны востока Восточно-Европейской равнины смещены на север: на широте украинской лесостепи в Заволжье расположены полупустыни и пустыни. Отличен и характер зон: на западе Восточно-Европейской равнины отсутствуют полупустыни и пустыни, а на востоке нет зоны смешанных лесов.

1.2. Состояние изученности севера ЕТР в отношении дендроклиматологии

Ниже мы рассмотрим три круга вопросов, имеющих отношение к теме исследования: отражение климатического сигнала в древесно-кольцевых хронологиях севера ЕТР, проблема дивергенции (ослабление климатического сигнала в последние годы) и дендроклиматические реконструкции наших предшественников в этом районе.

1.2.1. Климатический сигнал

Подробный обзор литературы о влиянии климатических факторов на прирост ели европейской в разных частях ареала дается В.А. Липаткиным и Д.Е. Румянцевым в разд. 3.2 монографии [Дендро-хронологическая информация…, 2007]. Там, в частности, упоминается исследование А.А. Молчанова [1976], анализировавшего влияние климатических факторов на рост хвойных пород в Мурманской, Архангельской, Ленинградской областях, Карелии, Вологодской, Ярославской, Ивановской, Новгородской, Смоленской, Московской, Рязанской, Тульской

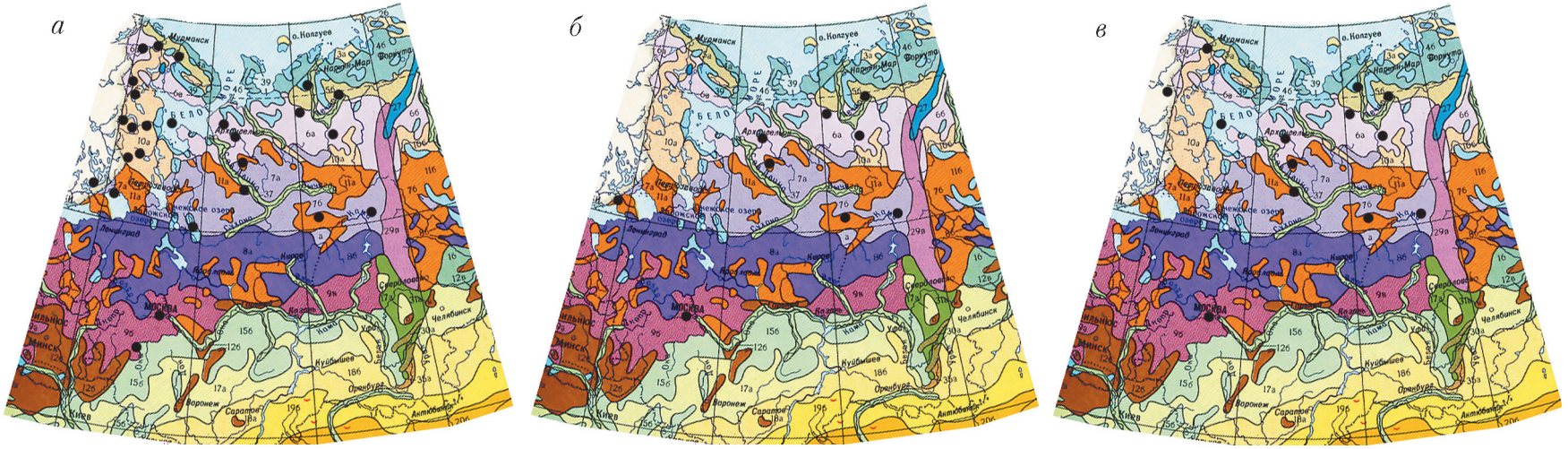


Рис. 1. Район исследования и расположение древесно-кольцевых хронологий (черные круги) на фоне карты растительности: *а* – хронологии сосны; *б* – хронологии лиственни-цы; *в* – хронологии ели

областях и др. Результаты исследования позволили сделать вывод, что изменения прироста тесно связаны с термическими условиями и количеством осадков, а также с постепенно ослабевающим влиянием температуры и усиливающимся влиянием осадков от севера к югу. Исследования в Ярославской области [Механизмы взаимодействия растений…, 1969] показали, что ширина годичного кольца у ели ограничивается главным образом влажностью почвы. В итоге В.А. Липаткин и Д.Е. Румянцев замечают, что характер связи прироста древесины с климатическими факторами может быть крайне разнообразен и должен отдельно устанавливаться применительно к каждому конкретному географическому региону. В разд. 3.3 той же монографии приводятся коэффициенты корреляции хронологий сосны и ели из Московской области с ежемесячными осадками и температурами (1944–1997 гг.) [Дендрохронологическая информация…, 2007]. Хронологии имеют значимую положительную связь с осадками марта и отрицательную – с температурами июня. Для ели также значимы корреляции с осадками июля и температурами августа (отрицательная) прошлого года.

В книге Т.Т. Битвинскаса [1974] в основном рассматривается климатический отклик сосны на территории современной Литвы, а также имеются данные о Новгородской области и Карелии. Установлена связь радиального прироста с гидротермическим показателем, коэффициентом запаса влаги и с солнечной активностью.

А.Б. Колчин и Н.Б. Черных [1977] упоминают несколько исследований о географической сопряженности годичного прироста сосновых и еловых лесов подзоны южной тайги. Г.Б. Гортинский и А.И. Тарасов [1969] исследовали динамику прироста еловых древостоев в Ленинградской, Ярославской и Калининской (Тверской) областях. Они пришли к выводу, что однотипная динамика годичного прироста еловых лесов прослеживается на значительных расстояниях и поэтому ее можно считать общегеографическим признаком, типичным для всей подзоны южной тайги. Авторы считают, что черты сопряженности годичного прироста были связаны с неустойчивостью водного режима древостоев в период максимального прироста в июне и июле.

Е.В. Дмитриева [1975] исследовала динамику прироста сосны и ели из районов северо-запада Карельского перешейка и Южной Карелии. Сопряжение колебаний годичного прироста и данных по температуре и осадкам прослежено на протяжении 120 лет. Исследование показало, что основное значение для прироста дерева имеет тот фактор, который в данный момент оказывается в относительном минимуме. Таким фактором для зимнего периода является тепло, а в период вегетации – влага. Сопряженность в динамике годичного прироста проявляется тогда, когда климатический фактор достигает крайнего напряжения. Такими годами на всех местообитаниях в Южной Карелии и на Карельском перешейке (расстояние между ДКХ до 400 км) были 1853, 1858, 1868, 1889, 1896, 1933, 1951, 1964 и 1972 гг., когда исключительно низкое количество осадков в период вегетации вызвало везде единую реакцию минимального прироста. Угнетения, связанные с рекордной продолжительностью холодов, отмечены в 1856, 1917, 1940, 1942, 1956 гг.

Для Новгородской области М.М. Чернавской и соавт. [Chernavskaya et al., 1996] были получены положительные корреляции радиального прироста с элементарными циркуляционными механизмами (далее – ЭЦМ, см. [Дзердзеевский, 1975; Кононова, 2009]) теплой (ЭЦМ 2б, 2в, 7ал) и холодной (ЭЦМ 5г, 5в, 7бз, 11г, 11в) половины года, коэффициенты корреляции до 0,56.

А.В. Пушин с соавт. [Изменчивость климата Европы…, 1995] заметили одинаково отрицательную реакцию сосны на температуру июня в северной и центральной частях ЕТР (Новгородская и Ленинградская области), однако этот вывод основан на анализе коротких (1943–1978 гг., 36 лет) рядов метеоданных, использованных для построения функции отклика древесно-кольцевых хронологий.

В монографии Д.Е. Румянцева [2010] описывается климатический отклик интродуцентов (лиственницы сибирской и сосны кедровой сибирской) в Московской области.

Одним из самых значительных исследований климатического отклика хронологий по ширине и плотности годичных колец хвойных деревьев в Северном полушарии является работа К. Бриффы и соавт. [Briffa et al., 2002]. В ней на основе большого массива древесно-кольцевых данных построены несколько обобщенных хронологий по ширине и максимальной плотности годичных колец для разных районов Северного полушария. Для каждой индивидуальной хронологии ширины годичных колец, а также для обобщенных хронологий рассчитаны корреляции с температурами и осадками за 1881–1984 гг. Одной из этих обоб-

щенных хронологий является хронология для северной Европы (код хронологии NEUR). В работе показано, что корреляции обобщенной хронологии по северной Европе (NEUR) с температурами выше, чем средняя корреляция индивидуальных хронологий.

Все использованные в работе К. Бриффы и соавт. [Briffa et al., 2002] хронологии доступны через Международный банк древесно-кольцевых данных (International Tree-Ring Data Bank, далее – ITRDB; см. http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html; [Contributors…, 2012]). Те из них, что находятся в северной части ЕТР, более полно исследуются в настоящей работе.

Е.В. Лопатин и соавт. [Лопатин, 2010; Lopatin et al., 2007] изучали отклик хронологий сосны и ели в Республике Коми на среднемесячные температуры и осадки. Доля дисперсии радиального прироста сосны и ели здесь, объясняемая среднемесячной температурой, варьирует от 22 до 41 %, осадками – от 19 до 38 %. Доля дисперсии радиального прироста, объясняемая одновременным сочетанием температуры и осадков, варьирует от 43 до 70 %. Наиболее чувствительны к изменениям климата древостои в подзоне средней тайги, менее чувствительны – в подзоне южной тайги. Выявленные статистические связи климатических параметров по среднемесячным температурам и суммам осадков, влияющие на радиальный прирост сосны и ели в Республике Коми, нестабильны во времени.

Н.В. Ловелиус и А.Н. Соболев [2010] исследовали изменение годичного прироста сосны и ели на Соловецком архипелаге в связи с климатом. В работе используется не анализ климатической функции отклика, а метод климаграмм [Ловелиус, 2000], в соответствии с которым сравниваются климатические параметры в годы с аномальными положительными и отрицательными приростами деревьев. Он позволяет сделать качественные, но не количественные выводы о связи прироста деревьев с климатическими параметрами.

В целом можно констатировать, что климатический отклик хвойных деревьев на исследуемой территории и в особенности в аспекте дендрохронологии изучен недостаточно. Большинство исследований относятся к дендроархеологии или лесоведению, а задачи этих дисциплин в значительной степени отличаются от задач дендроклиматологии, хотя иногда и пересекаются. С одной стороны, это объясняется спецификой района: большой антропогенной нагрузкой и произрастанием деревьев в условиях, близких к оптимальным. Оба этих фактора усложняют построение длинных хронологий и извлечение из них климатического сигнала (см. разд. 2.1). С другой стороны, поиск общего климатического отклика на всей территории исследования с применением одной методики поможет отсеять случайные факторы, влияющие на прирост деревьев в отдельных районах. Это будет полезно как дендроклиматологам, так и лесоведам, экологам и ботаникам. Использование общей методики также поможет проследить изменение климатического отклика в пространстве и времени.

1.2.2. Дивергенция и тренды древесно-кольцевых хронологий

Один из последних обзоров по «проблеме дивергенции» (в англоязычной литературе Divergence problem) [D'Arrigo et al., 2008] определяет ее как ослабление среднего отклика на температуру в хронологиях ширины и максимальной плотности годичных колец деревьев в последние десятилетия на некоторых северных пробных площадях, на которых ранее прирост был лимитирован температурой. Дивергенция выражается в потере климатической чувствительности и/или в расхождении трендов. Эти изменения начинают проявляться в 1960–1970-е годы. Пока нет исчерпывающего объяснения причин этого эффекта, однако было предложено несколько возможных факторов и механизмов: повышение уровня CO_2 в атмосфере, увеличение поступления азота из почвы, рост уровня UV-B радиации [Briffa et al. Reduced Sensitivity of Recent Tree Growth…, 1998], положительный тренд зимних осадков в субарктике [Vaganov et al., 1999], увеличение стресса при засухе из-за растущих температур [Barber et al., 2000].

Относительно эффекта дивергенции на исследуемой территории К. Бриффа и соавт. [Briffa et al. Trees Tell of Past Climates…, 1998; Briffa et al., 2002 (Part 1)] указывают на снижение корреляции хронологий как ширины, так и плотности с температурами за период 1935–1984 по сравнению с периодом 1901–1950 гг., причем для максимальной плотности годичных колец этот эффект выражен сильнее.

Однако Я. Эспер и Д. Франк [Esper, Frank, 2009] замечают, что эффект дивергенции может быть обнаружен ошибочно или завышен при некоторых методах стандартизации и регрессионного анализа, а также при калибровке на ранней части

инструментального периода. В качестве примеров такой ошибочной интерпретации они приводят, в частности, работы К. Бриффы и соавт. [Briffa et al. Reduced Sensitivity of Recent Tree Growth…, 1998; Briffa et al., 2001]. Х. Линдерхольм с соавт. [Linderholm et al., 2010] в связи с эффектом дивергенции упоминает возможные краевые смещения при использовании стандартизации региональной кривой (Regional Curve Standardization, RCS). Подробнее об этих смещениях говорится в разд. 2.4.1.

В.В. Шишов и А.Б. Ивановский [2005] использовали моделирование прироста деревьев на территории северной Евразии для оценки лимитирующих прирост факторов. Данные моделирования показали, что основную роль в 1966–1996 гг. в лимитировании прироста древесных растений играет температура. Но даже в «температурно-чувствительных» регионах (Восточная часть Таймыра) реакция растительности на изменения температуры не столь ярко выражена, как, например, на интервале с 1935 по 1965 гг. Влияние атмосферных осадков на прирост древесных растений в 1966–1996 гг. значительно уменьшается. Авторы делают вывод, что гипотеза об уменьшении чувствительности древесной растительности к изменчивости ведущих климатических факторов в последние 40 лет XX в. по сравнению с предыдущим интервалом с 1935 по 1965 г. подтверждается.

В работах Е.В. Лопатина и соавт. [Лопатин, Алексеев, 2009; Lopatin et al., 2008] исследуются тренды в радиальном приросте сосны и ели древостоев во всех подзонах тайги Республики Коми от лесо-тундры до южной тайги.

Сопоставление хода роста по диаметру ели с региональными таблицами хода роста показало увеличение прироста по диаметру во всех подзонах тайги. При этом максимальным оно было в лесотундре и составило 154%. Увеличение прироста по диаметру вызвало рост запаса древесины на 90% в средней тайге. Сопоставление хода роста по диаметру сосны с данными региональных таблиц хода роста также показало увеличение этого параметра во всех подзонах тайги. Максимальное увеличение прироста по диаметру было отмечено в подзоне южной тайги и составило 136%. Это вызвало увеличение запаса до 67% в северной тайге. Авторами также исследуются тренды радиального прироста для севера ЕТР и Скандинавии – всего 14 районов. Все данные, кроме данных для Республики Коми, взяты из работы Г. Шпикера [Spiecker, 1999]. Единственный зафиксированный отрицательный тренд для Кольского полуострова объясняется авторами соседством древостоя с Мончегорским медно-никелевым комбинатом [Лопатин, 2010].

Е.В. Лопатин и соавторы также отмечают, что в разных районах северной части ЕТР наблюдается как возрастание вклада климатической составляющей в регулирование прироста деревьев, так и его уменьшение (сравниваются периоды 1954–1978 и 1979–2003 гг.). Увеличение прироста связывается, в первую очередь, с повышением температур, но корреляции прироста с метеопараметрами нестабильны во времени [Lopatin et al., 2007].

Проблема дивергенции и стабильности климатического отклика во времени представляет большой интерес для дендроклиматологии. Использование дендрохронологической информации в качестве косвенного источника данных о климате предполагает стабильность климатического отклика, в случае же ее нарушения необходимо принимать это в расчет. Проблемы стабильности климатического отклика на исследуемой территории рассмотрены нами в разд. 4.4.

1.2.3. Реконструкции

В исследованиях В.В. Клименко и соавт. [Клименко, Слепцов, 2003; Klimenko, Solomina, 2010] представлены реконструкции температур холодного и теплого сезонов, а также осадков для Центральной России за последние 2000 лет, основанные на комбинации исторических и палинологических данных. Реконструкции имеют декадное разрешение за последнюю тысячу лет. В этих же работах приведена свежая сводка по реконструкциям высокого разрешения на ЕТР. Здесь мы приводим эту сводку с некоторыми дополнениями.

Отмеченные выше особенности длинных дендрошкал на территории ЕТР несколько ограничивают возможности их использования для целей палеоклиматологии. Тем не менее палеоклиматические исследования с использованием данных дендрошкал проводились Н.Б. Черных [1996], А.В. Пушиным с соавт. [2000], а также некоторыми другими исследователями. Совпадение динамики прироста деревьев с историческими данными о климате говорит в пользу точности датировки использованных дендрошкал.

М.М. Чернавская [Изменчивость климата Европы…, 1995; Чернавская, 1985] по дендрохронологическим данным Н.В. Ловелиуса [1979]

построила реконструкцию отклонений среднегодовой температуры на севере Евразии начиная с XVI в. Реконструкция строится на основе корреляции сглаженных по три года данных на двух интервалах длиной около 30 лет (R = 0,83 и R = 0,65), а древесно-кольцевые ряды взяты без индексации, так что надежность данной реконструкции является предметом дискуссии.

В исследовании В.Н. Адаменко и Н.В. Ловелиуса [1976] по дендрохронологическим данным анализируется изменение барико-циркуляционных условий Европейского естественно-синоптического района за последнее тысячелетие.

В последние десятилетия появились новые высококачественные хронологии по ширине и максимальной плотности живых деревьев для Северного полушария, в том числе для севера ЕТР, а также реконструкции на их основе [Schweingruber, Briffa, 1996; Briffa et al., 2001, 2002]. Ф. Швайнгрубер и К. Бриффа [Schweingruber, Briffa, 1996] проанализировали когеренцию рядов ширины и плотности годичных колец и пришли к выводу о том, что хронологии ели и лиственницы одинаково реагируют на факторы окружающей среды по всей Субарктике. И ширина, и плотность годичных колец хорошо отражают флуктуации порядка нескольких десятилетий, но хронологии плотности лучше отражают высокочастотные изменения. Кроме того, хронологии по максимальной плотности гораздо лучше коррелируют с температурами теплого сезона. Существует явная когеренция между всеми хронологиями между 42° и 152° в.д. Такая когеренция хронологий позволила К. Бриффе и соавт. [Briffa et al., 2001] осреднить индивидуальные хронологии Северной Евразии по трем секторам: север Европы (код хронологии NEUR), север Сибири (код хронологии NSIB) и восток Сибири (код хронологии ESIB). Была посчитана корреляция этих региональных хронологий, построенных по максимальной плотности, с инструментальными данными (среднемесячные температуры за апрель–сентябрь, аномалии от климатического среднего за 1961–1990 гг.), полученными из сеточных аномалий приземных температур.

Корреляции дендрохронологических рядов с температурами весьма высокие (R = 0,76 для хронологии NEUR за период 1881–1960 гг.). В работе использовано два типа стандартизации: с помощью функции Хугерсхоффа, выделяющей высокочастотные колебания, и с помощью разложения по возрастному диапазону (Age Band Decomposition, ABD), сохраняющей долгопериодные колебания (см. разд. 2.4.1).

В другой работе К. Бриффы и соавт. [Briffa et al., 2002 (Part 1)] приведена реконструкция для той же территории, для которой построена хронология NEUR, но за более длительный период (начиная с 1400 г.), и только для хронологий, построенных при помощи стандартизации функцией Хугерсхоффа.

Карта пространственной корреляции реконструкции К. Бриффы температур апреля–сентября для Северной Европы и сеточных инструментальных данных за 1901–1970 гг. [Mitchell et al., 2004] приведена в работе Х. Линдерхольма и соавт. [Linderholm et al., 2010]. Несмотря на то что в региональную хронологию для Северной Европы вошло много хронологий из Скандинавии и даже с севера Великобритании, она достаточно хорошо коррелирует с температурами северо-запада и запада ЕТР (рис. 2).

В работе К. Бриффы и соавт. «Ширина и плотность древесных колец в северном полушарии...» [Briffa et al., 2002 (Part 2)] приводятся карты реконструированных аномалий температуры апреля–сентября для северного полушария за каждый год с 1600 до 1887 г. Стандартизация хронологий перед реконструкцией привела к уничтожению долгопериодных колебаний. К сожалению, разрешение этих карт недостаточно, чтобы адекватно описать температуру в северной части ЕТР.

Для Хибин Ю.М. Кононовым и соавт. построена хронология по ширине годичных колец сосны с 1600 г. и на ее основе сделана реконструкция средних температур июля–августа (R = 0,58, 1878–2004 гг.) [Kononov et al., 2009]. Авторы обнаружили связь сглаженных ДКХ из Хибин с солнечной активностью. Для этого района имеются многочисленные находки древней древесины выше современной границы леса, что свидетельствует о более высоком положении верхней границы леса, в частности, в период средневекового оптимума [Boettger et al., 2003; Hiller et al., 2001; Kremenetski et al., 2004]. Реконструкции длиной более тысячи лет на основе хронологий ширины и плотности колец, а также стабильных изотопов готовятся к публикации (см. сообщение в [Boettger et al., 2004]).

Помимо Хибин, хронологии тысячелетней продолжительности и более, привязанные к современности, и реконструкции на их основе существуют только для территорий к западу и востоку от района исследования: в Северной Фенноскандии (см. об-

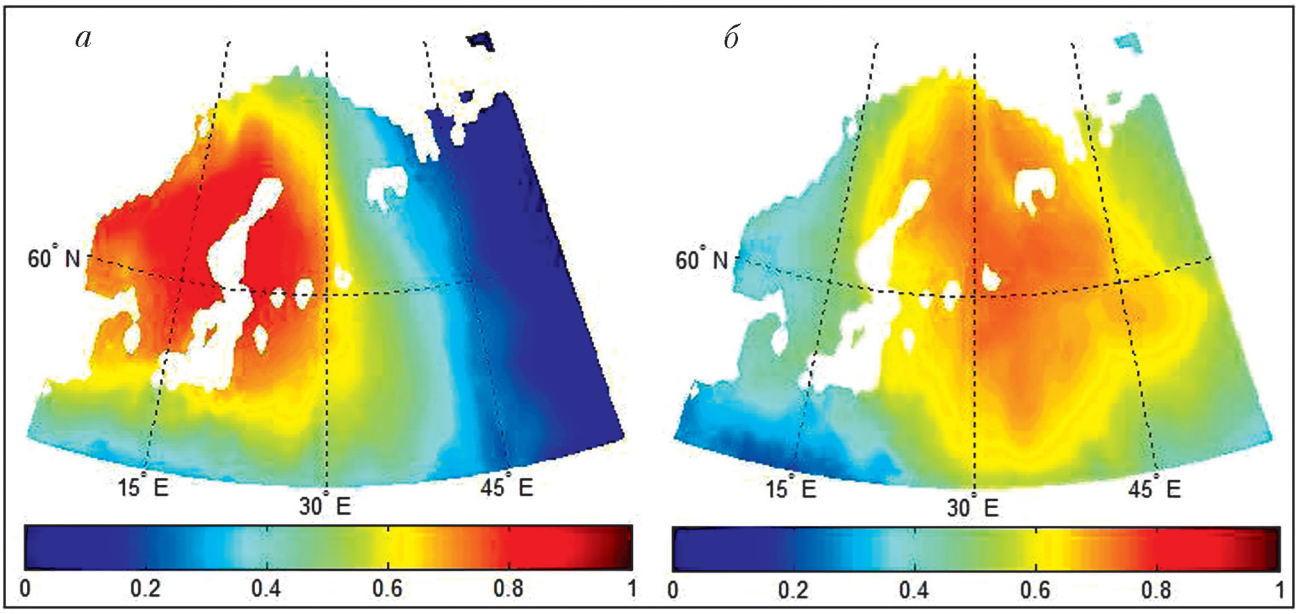


Рис. 2. Пространственная корреляция между инструментальными температурами апреля – сентября в узлах сетки за период 1901–1970 гг. и (*а*) реконструированными температурами июня – августа в Фенноскандии [Gouirand et al., 2008] и (*б*) реконструированными температурами апреля – сентября в северной Европе [Briffa et al., 2001] (рис. из [Linderholm et al., 2010])

зор в [Linderholm et al., 2010]) и на Полярном Урале [Hantemirov, Shiyatov, 2002; Briffa et al., 1995)].

Д. Макдональд с соавт. [MacDonald et al., 2007] реконструировал сток Северной Двины и Печоры, а также четырех главных сибирских рек на основе хронологий по ширине годичных колец, построенных для территории Северной Евразии. Корреляция реконструкций и инструментальных данных составляет 0,64 для Печоры и 0,66 для Северной Двины за общий период 1938–1990 гг. Однако из 17 хронологий, использованных для реконструкции стока Северной Двины, на ЕТР находятся только 3 (остальные в Сибири); для Печоры – соответственно 6 из 16 хронологий.

Древесно-кольцевая хронология, построенная на основе живых деревьев и строений из музея-заповедника «Кижи», использовалась для реконструкции уровня Онежского озера [Kozlov, Kisternaya, 2004].

Хронологии по ширине колец сосны из Карелии и Скандинавии использовались для реконструкции зимней фазы северо-атлантического колебания (North Atlantic Oscillation, NAO), R = 0,5, 1893–1981 гг. [Lindholm et al., 2001].

Подводя промежуточные итоги, в отношении степени разработанности изучаемой проблемы можно выделить следующие основные моменты:

– По сравнению с соседними регионами (Скандинавия, Полярный Урал) север ЕТР гораздо беднее косвенными данными о климате прошлого. В частности, это касается и реконструкций высокого разрешения.

– Специфика района исследования (высокая антропогенная нагрузка, произрастание деревьев в условиях, близких к оптимальным) объясняет его относительно малую исследованность в отношении дендроклиматологии. Большинство исследований относятся к дендроархеологии или лесоведению, а задачи этих дисциплин в значительной степени отличаются от задач дендроклиматологии.

– Дендроклиматологами в лучшей степени изучена северная часть ЕТР, но и здесь исследователи больше концентрировались на хронологиях максимальной плотности и реконструкциях по ним температур теплого сезона. Климатический сигнал в хронологиях по ширине колец менее изучен, а обобщающие исследования по северной и центральной частям ЕТР отсутствуют.

– Проблемы дивергенции и стабильности климатического отклика во времени представляет большой интерес для дендроклиматологии. Ранее они затрагивались и для изучаемого нами района, но обобщающее исследование стабильности

климатического отклика хронологий по ширине годичных колец хвойных деревьев для данной территории отсутствует.

Таким образом, можно сформулировать основные задачи данного исследования:

– провести обобщающий анализ климатического отклика хронологий по ширине колец хвойных деревьев на территории исследования и

– оценить стабильность климатического отклика в пространстве и времени, в случае отсутствия стабильности попытаться выделить закономерности изменений.

Глава 2
ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Основные принципы дендрохронологии

Основными принципами дендрохронологии являются: закон лимитирующих факторов, принцип отбора районов и местообитаний, принцип чувствительности, использование перекрестной датировки, принципы повторности и униформизма [Шиятов, 1973]. В этой главе рассмотрим их с дополнениями, касающимися выбранного района исследования.

Закон лимитирующих факторов заключается в том, что биологические процессы (в частности, рост древесных растений) не могут протекать быстрее, чем это позволяется внешним или внутренним фактором, находящимся в минимуме. Если этот фактор в силу каких-либо причин переходит в разряд оптимальных, скорость биологического процесса будет увеличиваться до тех пор, пока другой фактор (или факторы) не станет лимитирующим. Согласно этому закону, для дендрохронологического анализа наиболее пригодны те деревья, на прирост которых на протяжении длительного времени оказывает влияние один и тот же фактор. На территории исследуемого региона, за исключением самых северных районов, большинство деревьев растут в близких к оптимальным условиях (далеко от границ ареалов). В этих условиях лимитирующие факторы могут меняться, и зачастую бывает сложно выделить фактор, являющийся лимитирующим в конкретный момент времени.

Принцип отбора районов и местообитаний. В соответствии с этим принципом при проведении дендрохронологических исследований образцы древесины следует брать у деревьев, которые произрастают в неблагоприятных и экстремальных климатических условиях, где наиболее полно проявляется действие лимитирующих факторов. В нашем исследовании принцип отбора районов сводился к максимальному покрытию исследуемой территории древесно-кольцевыми данными, а принцип отбора местообитаний зачастую сводился к поиску наиболее старых деревьев для конкретного района. Особенно это относится к центральному региону, где задача поиска древесно-кольцевых данных осложняется длительным и сильным антропогенным воздействием.

Принцип чувствительности используется при анализе древесно-кольцевых хронологий. В благоприятных для роста деревьев районах и местообитаниях формируются широкие годичные кольца. При этом у таких деревьев хорошо выражены изменения прироста с возрастом, а величина прироста между соседними годами колеблется незначительно. В неблагоприятных для произрастания деревьев условиях кольца узкие, их ширина значительно колеблется год от года, возрастная кривая роста выражена слабо. Часто наблюдается выпадение колец. Такие серии колец называются «чувствительными». Они свидетельствуют о том, что на рост деревьев большое влияние оказывают факторы внешней среды. Чем сильнее погодичная изменчивость прироста деревьев, тем более надежным индикатором изменения условий среды она является. Однако достаточно часто встречается ситуация, когда из двух радиусов, взятых из одного дерева, один оказывается «чувствительнее» другого. То же относится и к двум разным деревьям с одной пробной площади. Тем не менее обычно берутся все радиусы и деревья с пробной площади для получения лучших характеристик итоговой хронологии. Таким образом, и этот принцип используется с оговорками.

Принцип перекрестного датирования является важнейшим в дендрохронологии, разработан с целью абсолютной и относительной датировки времени формирования колец с точностью до года.

Древесные растения, произрастающие в пределах однородного в климатическом отношении района, величиной прироста сходно реагируют на изменения лимитирующих климатических факторов. В благоприятные по климатическим условиям годы у большей части деревьев формируются широкие кольца, а в неблагоприятные — узкие. В связи с этим у деревьев, произрастающих в одинаковых климатических условиях, наблюдается синхронная изменчивость прироста во времени. Особенно показательны узкие кольца, которые формируются в то время, когда прирост в наибольшей степени лимитируется тем или иным климатическим фактором. Чередование узких, средних по величине и широких колец неповторимо во времени. Поэтому максимально возможная синхронность в приросте разных деревьев наблюдается лишь в том случае, если графики изменения прироста будут совмещены строго хронологически. Метод перекрестного датирования позволяет выявлять местонахождение ложных и выпавших колец и производить абсолютную и относительную датировку каждого кольца с точностью до года у сравниваемых индивидуальных древесно-кольцевых хронологий, а также продлевать хронологии далеко в глубь веков на основе использования древесины давно отмерших деревьев.

Принцип повторности заключается в использовании информации не с одного, а с определенного числа модельных деревьев и является непременным условием точной датировки годичных колец, построения надежных древесно-кольцевых хронологий и более точной реконструкции условий окружающей среды в прошлом.

Принцип униформизма (актуализма) применительно к дендрохронологии подтверждает, что физические и биологические процессы, обусловливающие изменения в росте дерева под воздействием факторов окружающей среды в настоящее время, вызывали подобные изменения в прошлом. Применение этого принципа делает возможным широкое использование древесно-кольцевых хронологий для реконструкции условий окружающей среды в прошлом. При этом учитывается, что деревья – долгоживущие организмы, а экстраполяция обычно осуществляется на короткие геологические интервалы времени (сотни и тысячи лет) [Шиятов и др., 2000]. Неустойчивость климатического отклика деревьев даже на протяжении инструментального периода затрудняет использование древесно-кольцевых хронологий для количественных реконструкций климата прошлого.

Таким образом, из-за специфики выбранного района исследования четыре из шести принципов дендрохронологии вынужденно нарушаются или используются с оговорками. Это также отчасти объясняет малую изученность района в отношении дендроклиматологии. Только принципы перекрестной датировки и повторности безоговорочно принимаются в рамках данной работы.

2.2. Климатические данные

2.2.1. Данные метеонаблюдений

Архивы данных с метеостанций. В данной работе мы использовали несколько архивов метеоданных ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», опубликованных на сайте http://meteo.ru/. Архив по 223 метеостанциям на территории бывшего СССР (далее – «архив 223», для описания см. [Razuvayev et al., 1993]; 66 станций для исследуемой территории, рис. 3) с суточными данными по минимальным, максимальным, средним температурам и осадкам был предварительно проверен на ошибки. В архиве содержатся данные до 2008 г. включительно. По исправленным суточным данным были посчитаны ежемесячные значения минимальной, максимальной, средней температуры и осадков, а также агроклиматические характеристики: годовые суммы температур выше 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 выше 0 °C P (T > 0), 5 °C P (T > 5), 10 °C P (T > 10) и 15 °C P(T > 15). Был рассчитан гидротермический коэффициент Селянинова, который определяется по формуле: сумма осадков за период с температурой воздуха выше +5 °C, деленная на сумму суточных температур за этот же период, уменьшенную в 10 раз [Селянинов, 1937].

Также в нашем распоряжении имелся архив метеоданных 455 метеостанций (далее – «архив 455») на территории бывшего СССР (117 станций для исследуемой территории) с ежемесячными данными по температурам и осадкам до 2007 г. включительно (http://meteo.ru/).

Дополнительно использовался архив ежемесячных температур по 476 метеостанциям на территории России (далее – «архив 476»; см. http://meteo.ru/climate/descrip2.htm; 149 станций для исследуемой территории), который содержит данные до 2006 г. включительно.

Сеточные метеоданные. В работе использовались сеточные метеоданные Центра исследо-

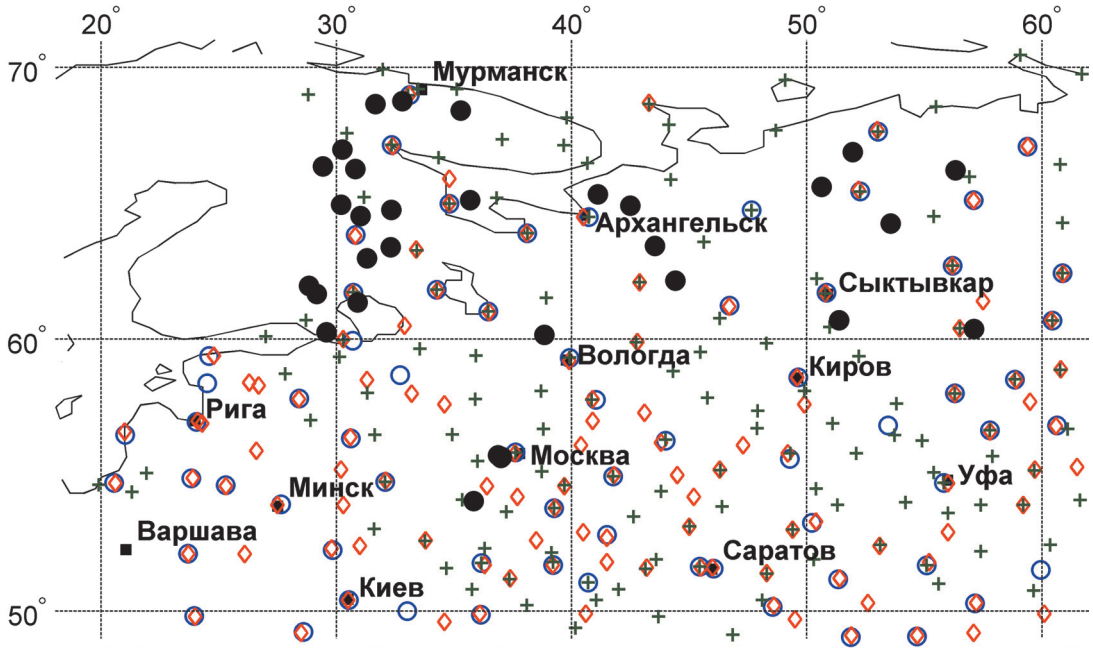


Рис. 3. Расположение использованных метеостанций. Черные квадраты – города; черные круги – древесно-кольцевые хронологии; синие круги – архив 223 станций (66 для данной территории); красые ромбы – архив 455 станций (117 для данной территории); зеленые крестики – архив 476 станций (149 для данной территории)

ваний климата Университета Восточной Англии CRU TS 3.0 (Climate Research Unit, http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/) с ежемесячными значениями за период 1901–2005 гг. и с разрешением 0,5° по широте и долготе. Сеточные данные получены интерполяцией измерений на метеостанциях [Mitchell et al., 2004; Mitchell, Jones, 2005]. В них содержатся следующие параметры: минимальные, максимальные и средние температуры, осадки, облачность (в процентах), амплитуда суточных температур, частота морозных дней, частота дней с осадками и давление водяного пара.

Нами была проведена проверка согласованности сеточных метеоданных с данными по метеостанциям для территории исследования. На рис. 4 и 5 графически показана корреляция между данными каждой метеостанции из «архива 223» и данными из ближайшего к ней узла сетки архива CRU TS 3.0 (рис. 4 – температура, рис. 5 – осадки). Средняя корреляция сеточных данных с «архивом 223» для указанной территории по средней годовой температуре составляет 0,979, минимальная корреляция – 0,789 (метеостанция Курск); по сумме осадков за год средняя корреляция 0,822, минимальная – 0,458 (метеостанция Кемь). Также относительно низкие корреляции отмечены по метеостанциям Минск (0,507), Сыктывкар (0,537) и Кострома (0,545).

Средняя корреляция сеточных данных с «архивом 476» для указанной территории по средней годовой температуре составляет 0,965 (рис. 6), минимальная корреляция – 0,697 (метеостанция Готня). В этом районе корреляции сеточного архива и метеостанций вообще ниже, чем средняя корреляция по исследуемой территории, что говорит о меньшей точности здесь сеточных данных. Возможно, это связано с тем, что интерполяция данных плохо работает на Среднерусской возвышенности из-за более расчлененного рельефа (древесно-кольцевых хронологий для этого района нет).

Средняя корреляция сеточных данных с «архивом 455» для указанной территории по средней годовой температуре составляет 0,970 (рис. 7), минимальная корреляция – 0,635 (метеостанция Рязань). В районе Среднерусской возвышенности для данного архива также наблюдается снижение тесноты связей. По сумме осадков за год средняя корреляция 0,789 (рис. 8), минимальная – 0,434 (метеостанция Чебоксары). Так же как для «архива 223», относительно низкие корреляции наблюдаются с метеостанциями Кемь (0,479) и Сыктывкар (0,435).

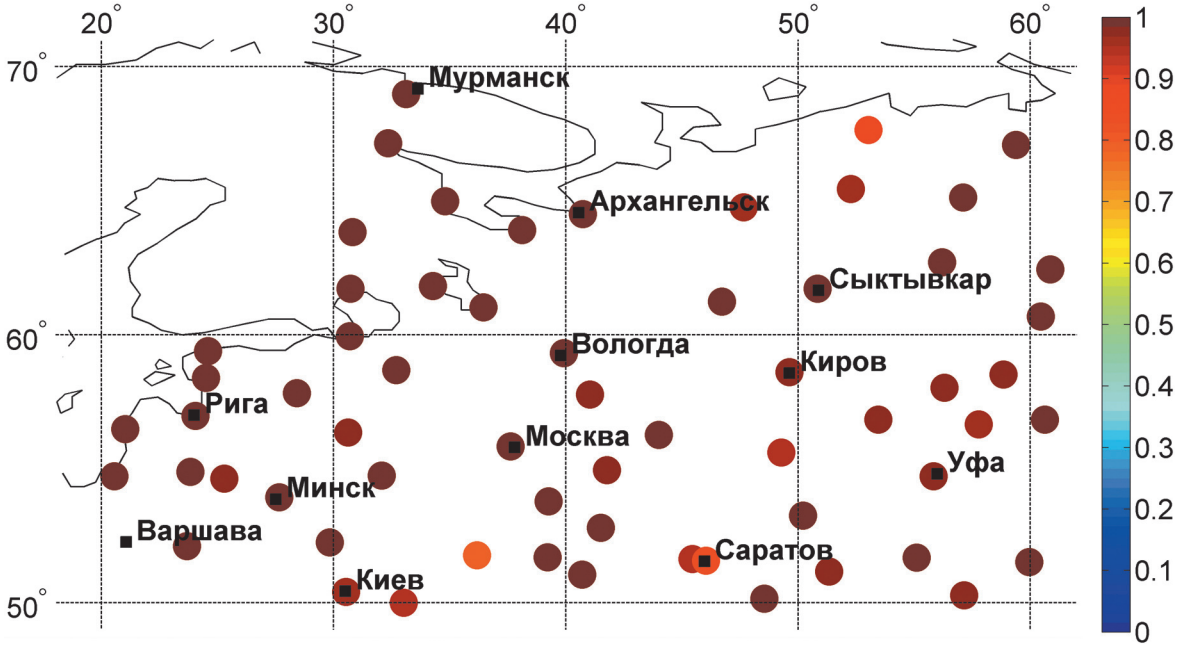


Рис. 4. Коэффициенты корреляции средних годовых температур на метеостанциях архива 223 и в ближайших к ним узлах сетки архива CRU TS 3.0

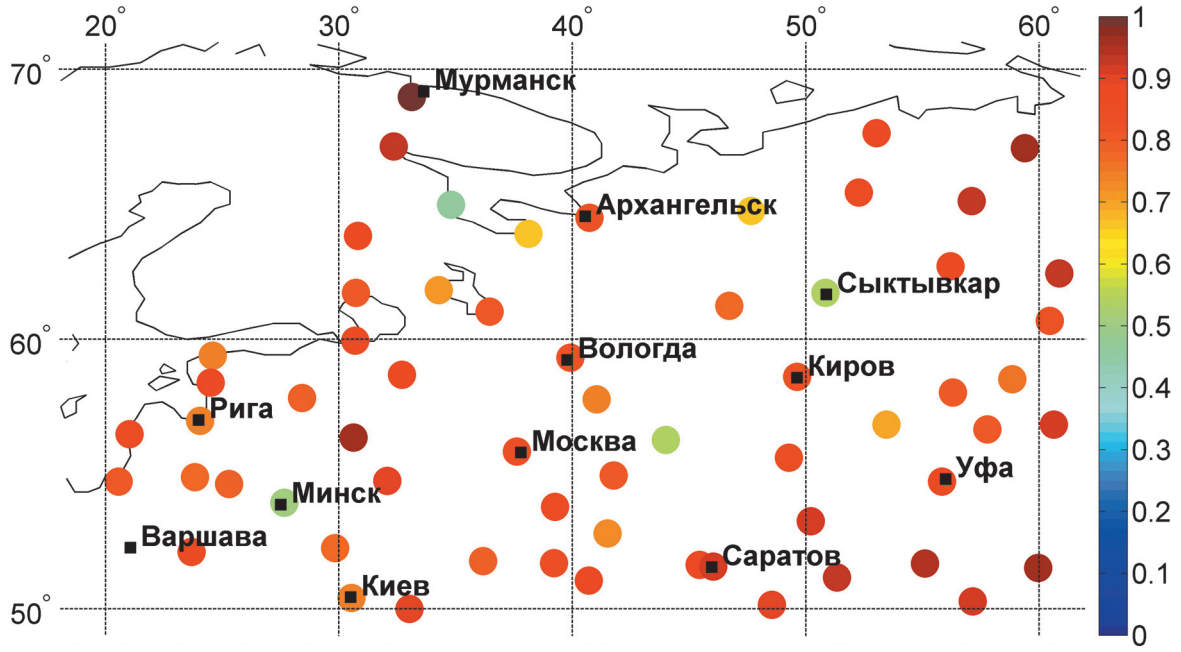


Рис. 5. Коэффициенты корреляции суммы осадков за год на метеостанциях архива 223 и в ближайших к ним узлах сетки архива CRU TS 3.0

В целом сеточный архив CRU TS 3.0 вполне удовлетворительно коррелирует с данными метеостанций по температуре и осадкам на исследуемой территории, что оправдывает его использование для решения задач работы. В статье Е.Л. Жильцовой и О.А. Анисимова [2009] отмечается, что данный сеточный архив несколько занижает температуру воздуха на территории России по сравнению с метеостанциями, однако при корреляционном анализе с древесно-кольцевыми хронологиями важнее наличие высоких корреляций сеточного данных с данными по метеостанциям.

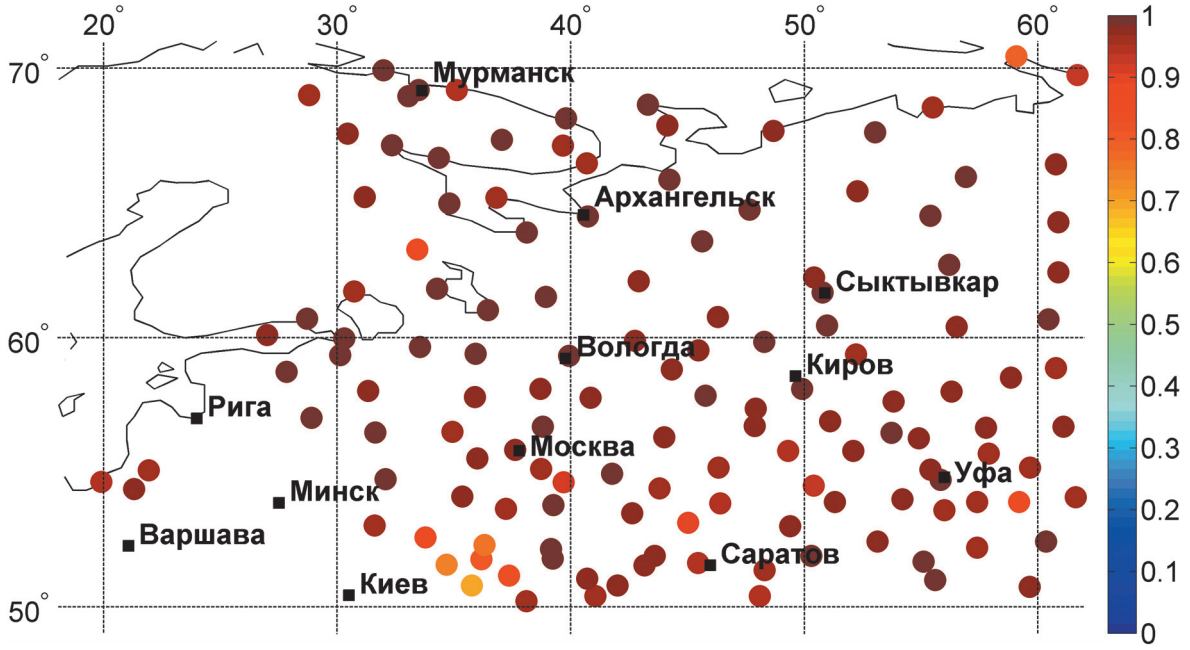


Рис. 6. Коэффициенты корреляции средних годовых температур на метеостанциях архива 476 и в ближайших к ним узлах сетки архива CRU TS 3.0

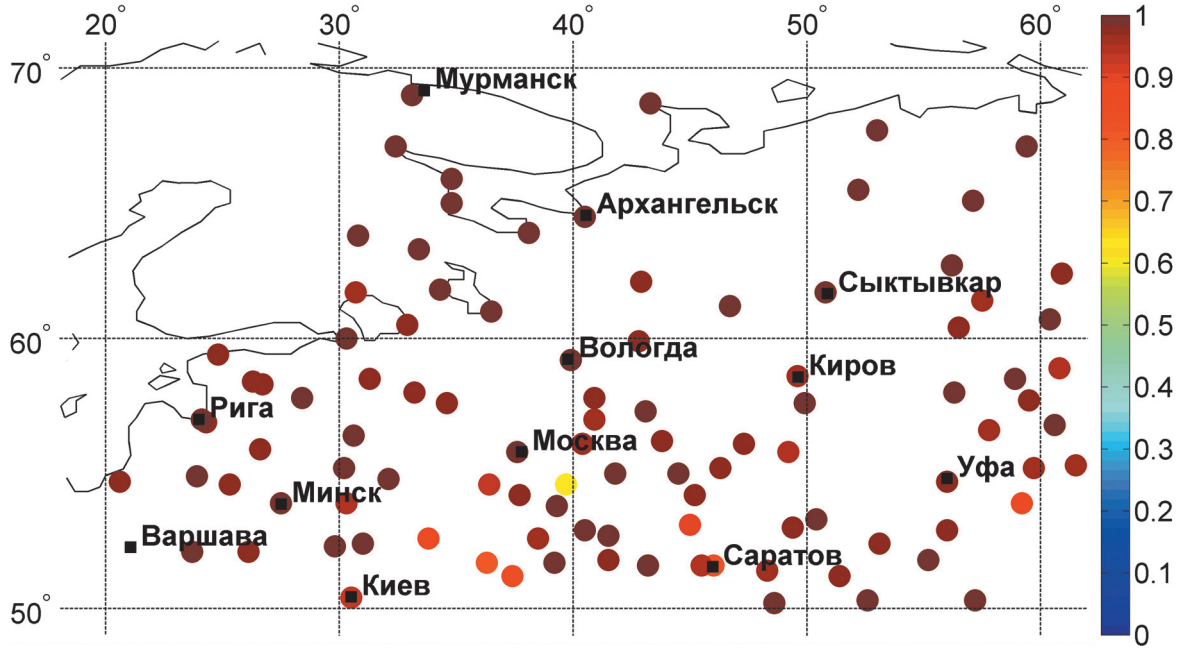


Рис. 7. Коэффициенты корреляции средних годовых температур на метеостанциях архива 455 и в ближайших к ним узлах сетки архива CRU TS 3.0

2.2.2. Данные реанализа

В дополнение к метеоданным мы использовали данные реанализа для XX в. (20th Century Reanalysis V2 [Compo et al., 2011]), полученные с сайта Национальной службы по атмосфере и океану (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA, см. http://www.esrl.noaa.gov/psd/). Модель использует систему ассимиляции данных на основе Калмановского фильтра [Whitaker, Hamill, 2002], новую версию модели Национального центра прогнозирования окру-

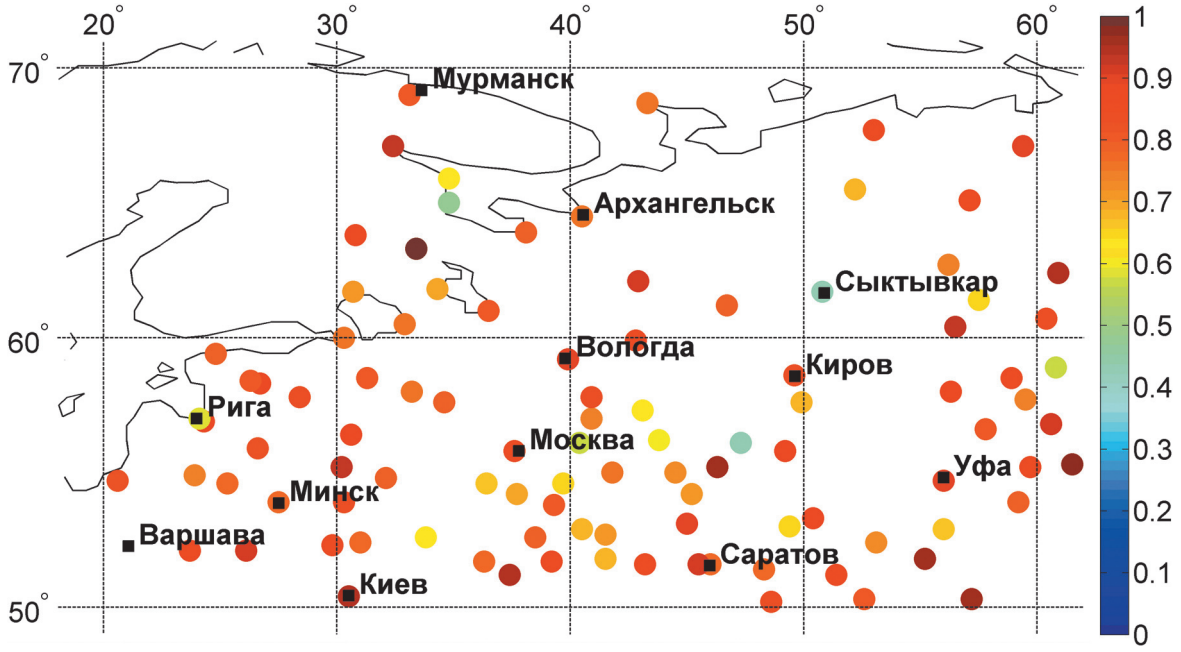


Рис. 8. Коэффициенты корреляции суммы осадков за год на метеостанциях архива 455 и в ближайших к ним узлах сетки архива CRU TS 3.0

жающей среды (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) атмосфера-земля для генерации полей первого приближения, интерполированные массивы ежемесячных данных по температуре поверхности океана и ледовитости из архива HadISST [Rayner et al., 2003] в качестве заданных краевых условий, недавно собранные отчеты и наблюдения за приземным давлением и давлением на уровне моря для создания массива данных реанализа с 1871 г. и до настоящего времени. Данные об атмосферном давлении взяты из нового Международного банка данных приземного давления (International Surface Pressure Databank, ISPD; см. [Yin et al., 2008]). На основе этих данных и модели общей циркуляции атмосферы Climate Forecast System Model [Saha et al., 2006; Saha et al., 2010] генерируется общий краткосрочный прогноз. В него, в частности, входят влажность почвы, толщина снежного покрова, влагосодержание воздуха, облачность, суммарная транспирация и другие величины, ежемесячные значения которых мы использовали в нашей работе. Пространственное разрешение данных – около 2° 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.

2.2.3. Данные по индексу сухости PDSI и влажности почвы

Индекс суровости засухи Палмера (Palmer Drought Severity Index, PDSI; [Palmer, 1965; Alley, 1984; Karl, 1986]) – самый широко используемый индекс метеорологической засухи в США. Индекс отражает не только засушливые условия, но и условия переувлажнения, поэтому его иногда называют просто индексом Палмера. Индекс рассчитывается на основе двухслойной модели почвы, где верхний слой может вместить 2,5 см воды, а вместимость нижнего ограничена локальными условиями. Даи и соавт. [Dai et al., 2004] создали глобальный архив данных с ежемесячными значениями индекса Палмера с 1870 по 2002 г. в узлах сетки с разрешением 2,5° по широте и долготе. В основу архива легли сеточные архивы данных по температуре [Jones, Moberg, 2003] и осадкам [Chen et al., 2002; Dai et al., 1997], а также мировая карта влагоудерживающей способности почвы [Webb et al., 1993]. Существует множество работ по реконструкции этого индекса на основе дендрохронологических данных, в том числе на больших территориях [Cook et al., 1999, 2004; Zhang et al., 2004; Brewer et al., 2006; Cook, Krusic, 2008]. Индекс интересен для дендроклиматологов, с одной стороны, тем, что обращается к социально-значимой проблеме засух, а с другой

– тем, что его связь с радиальным приростом деревьев весьма сильна в засушливых регионах и легко интерпретируема.

Также мы использовали архив данных по глобальной влажности почв Центра климатического прогноза (Climate Prediction Center, CPC) CPC Soil Moisture [Fan, van den Dool, 2004], полученных с сайта NOAA (http://www.esrl.noaa.gov/psd/). Архив представляет собой ежемесячные модельные данные с разрешением 0,5° по широте и долготе за период с 1948 до текущего года. Модель водного баланса с одним слоем получает на вход данные по ежемесячным осадкам более чем с 17000 метеостанций по всему миру и ежемесячные температуры глобального реанализа.

2.2.4. Циркуляционные индексы

Для сопоставления прироста деревьев с характеристиками циркуляции атмосферы мы использовали пять индексов циркуляции Северного полушария с сайта CPC (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml): Североатлантическая осцилляция (North Atlantic Oscillation, NAO), Восточно-атлантический (East Atlantic, EA), Восточно-атлантический/Западнороссийский (East Atlantic/Western Russia, EAWR), Скандинавский (Scandinavia, SCAND) и Полярно-евразийский (Polar/Eurasia, POLAR) циркуляционные индексы.

Сильные положительные фазы NAO [Barnston, Livezey, 1987] зимой обычно ассоциируются с повышенными температурами в северной Европе и наоборот. Летом положительные фазы NAO коррелируют с теплыми и сухими условиями в северной Европе [Folland et al., 2009]. Известна связь прироста деревьев в Северной Америке и Европе как с зимними, так и с летними индексами NAO [Linderholm et al., 2010]. Положительные фазы индекса EAWR (Eurasia-2 в [Barnston, Livezey, 1987]) связаны с пониженными температурами на больших пространствах запада России. Положительные фазы индекса EA связаны с повышенными осадками в северной Европе и Скандинавии. Положительные фазы индекса SCAND (Eurasia-1 в [Barnston, Livezey, 1987]) связаны с пониженными температурами в центральной России и западной Европе, повышенными осадками в центральной и южной Европе и пониженными – в Скандинавии. Положительные фазы индекса POLAR связаны с повышенными осадками в полярном регионе.

2.3. Сбор и обработка древесно-кольцевых данных

2.3.1. Полевые методы. Отбор образцов

Образцы древесины (керны и спилы) для каждой площадки отбирались на ограниченной территории с однородными орографическими, почвенными и микроклиматическими условиями. Координаты выбранных площадок фиксировались при помощи системы глобального позиционирования (GPS). Все образцы из живых деревьев отбирались приростным буравом (буравом Пресслера) с внутренним диаметром 5 мм и внешним диаметром 10 мм. Данный механизм позволяет извлекать из дерева керн со всеми годичными кольцами, не нанося ему вред. Образцы отбирались на высоте 1–1,5 м от поверхности земли, по два керна из каждого дерева под углом не менее 90° друг относительно друга. По возможности на тех же площадках отбирались керны и спилы с отмерших деревьев. Керны помещались в специальные пластиковые контейнеры, гарантирующие сохранность при транспортировке. Все образцы маркировались в соответствии с кодом площадки отбора (уникальный шифр из трех–пяти латинских букв и цифр), номером дерева на площадке и индексом радиуса (латинские буквы A, B, C и т.д.). При отборе образцов из деревянных построек иногда также использовался бурав с внутренним диаметром 10 мм и внешним диаметром 18 мм. Он позволяет извлекать более сохранный керн из рассохшихся бревен. Обычно отбирался сквозной керн, что позволяло получить сразу два радиуса из одного бревна. По возможности образец извлекался из части бревна, имеющей наибольшее число годичных колец. Особенно важными считались внешние кольца, позволяющие определить порубочную дату. Из бруса керн извлекался через ребро.

Из каждой части строения, предположительно построенного в одно время, извлекалось около десяти образцов для более точной датировки. В полевом дневнике фиксировалась вся имеющаяся информация о строении и предположительной дате его сооружения, делались фотографии отобранных образцов.

2.3.2. Камеральная обработка образцов. Измерение ширины колец

Дальнейшая обработка образцов проводилась в дендрохронологической лаборатории Института

географии РАН в соответствии с общепринятыми методическими требованиями древесно-кольцевого анализа [Шиятов и др., 2000; Cook, Kairiukstis, 1990]. Керны были вклеены в деревянные подложки, подписаны в соответствии с шифром каждого образца и отшлифованы для увеличения контрастности колец [Stokes, Smiley, 1968]. Затем годичные кольца посчитаны и размечены по десять, пятьдесят и сто лет. Образцы из живых деревьев размечались относительно года образования последнего полностью сформированного годичного кольца. Образцы с неизвестным годом образования последнего кольца (мертвые деревья, образцы из построек и археологические образцы) размечались относительно 1000 года н.э. (для удобства датировки). Измерения ширины годичных колец произведены на полуавтоматической установке LINTAB с точностью 0,01 мм [Rinn, 1996]. Измерения и первоначальная перекрестная датировка образцов производились в программе TSAP-Win (Time Series Analysis and Presentation for Windows). Результаты измерений ширины годичных колец сохранялись на компьютер в декадном формате Tuscon Raw Data Files (rwl, http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treeinfo.html).

2.3.3. Перекрестное датирование образцов

Данные по ширине годичных колец подвергались перекрестной датировке. Метод перекрестного датирования позволяет с высокой точностью определить календарную дату выпадающих или ложных колец, что особенно актуально в условиях верхней границы леса, где выпадающие кольца встречаются часто [Fritts, 1976]. После первоначальной перекрестной датировки в программе TSAP-Win проводилась последующая проверка в программе COFECHA [Holmes, 1983]. В последней также проводились контроль качества измерений и поиск выпадающих и ложных колец. Для перекрестной датировки образцов в программе TSAP-Win используется индекс перекрестной датировки (Cross-Date Index, CDI; [Rinn, 1996]), являющийся интегральной характеристикой, основанной на коэффициенте корреляции Пирсона, коэффициенте синхронности (см., например, [Колчин, Битвинскас, 1972]), t-value [Baillie, Pilcher, 1973] и нескольких других статистиках. В программе COFECHA для перекрестной датировки также используется коэффициент корреляции Пирсона и t-value, а также разбиение серии измерений на 50-летние интервалы с наложением по 25 лет и независимая датировка этих интервалов. Для проверки качества измерений и поиска выпадающих и ложных колец используется вывод всех коэффициентов корреляции для последовательного сдвига этих интервалов от –10 до +10 лет от текущей позиции. Если хотя бы для одного такого сдвига коэффициент корреляции больше, чем на текущей позиции, или коэффициент статистически незначим, программа выдает предупреждение.

2.4. Индексирование и построение хронологий

2.4.1. Индексирование древесно-кольцевых серий

Детерминистские методы стандартизации. Поскольку абсолютное значение прироста древесины, помимо климата, зависит от многих других факторов, таких как возрастные изменения, конкурентные взаимоотношения, катастрофические явления и т.д., для сопоставления изменчивости прироста древесины и выделения общего климатического сигнала необходимо минимизировать их влияние. Этого можно добиться с помощью стандартизации или индексирования [Fritts, 1976]. Так называемые классические или детерминистские методы стандартизации объединяет то, что для каждого образца подбирается индивидуальная биологическая кривая роста, заданная детерминированной функцией, а индексы затем рассчитываются путем деления или вычитания значения ширины кольца из соответствующего значения аппроксимирующей кривой:

$$I_t = R_t / G_t \text{ или } I_t = R_t - G_t,$$

где I_t – индекс прироста в год t, R_t – фактическая ширина годичного кольца в год t, G_t – значение подобранной биологической кривой роста в год t.

Существует большое количество методов подбора биологической кривой роста, от линейной функции до различных скользящих средних, и подбора параметров для функций специального вида (отрицательная экспонента, функция Хугерсхоффа, полиномы, сплайны и т.д.; см., например, [Битвинскас, 1972; Fritts, 1976]).

В последние десятилетия одним из самых используемых методов индексирования в дендроклиматологии является программа ARSTAN (Auto-Regression Modeling and Standardization [Cook, Holmes, 1986]). Она предоставляет разнообразные возможности подбора биологической кривой роста и построения итоговой хронологии. Все индексированные хронологии в

Банке древесно-кольцевых данных (International Tree-Ring Data Bank, ITRDB) построены с помощью программы ARSTAN. Нами использовалась версия этой программы 41_b для ОС Windows. В качестве биологической кривой роста использовалась отрицательная экспонента, прямая с нулевым или отрицательным уклоном, либо функция Хугерсхоффа (Hugershoff). Эта функция включает в себя функции полинома и отрицательной экспоненты. Она хорошо описывает ситуацию, когда молодое дерево в первые годы жизни наиболее устойчиво к внешним стрессам, таким как недостаток тепла или влаги, и в связи с этим вначале кривая имеет положительный уклон. Затем абсолютный годовой прирост уменьшается с возрастом и может быть описан отрицательной экспоненциальной кривой. Для индексирования использовалось деление, а для получения обобщенной хронологии отдельные серии индексов усреднялись методом робастного двухвесового среднего (Biweight Robust Mean [Cook, 1985]). Внимание уделялось тому, чтобы биологическая кривая роста не пересекала ось абсцисс близко к началу или концу серии измерений, т.к. это может привести к завышенным значениям индексов.

Кроме того, известно, что как фактические измерения кольца, так и индексированные данные обладают инерционностью или автокорреляцией ввиду физиологических причин [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* за счет откладывания сахаров и сохранения хвои на протяжении нескольких лет. Поэтому прирост текущего года коррелирует с приростом нескольких предыдущих лет. Э. Кук [Cook, 1985] для удаления автокорреляционной составляющей предложил использовать модель авторегрессии, с помощью которой удаляется автокорреляция из индивидуальных серий индексов. Далее полученные ряды усредняются, в результате чего получаются так называемые «выбеленные» остаточные хронологии (Residuals). Этот процесс позволяет усилить сигнал высокочастотной составляющей климатической изменчивости в хронологиях. В программе ARSTAN также вычисляются стандартная (Standard) хронология без оценки и удаления авторегрессии из серий индексов и третий тип – «арстан» (Arstan) хронология, в которую возвращается общий (климатически обусловленный) низкочастотный сигнал, удаленный из остаточных хронологий. Если в процессе индексирования индивидуальный (не климатический) низкочастотный сигнал в сериях индексов хорошо удален, то хронология «арстан» не должна сильно отличаться от стандартной. В данной работе использованы все три вида хронологий, посчитанных с помощью программы ARSTAN.

Методы стандартизации, сохраняющие долгопериодные колебания. Изменение подхода к стандартизации в дендроклиматологии можно проследить по изменению определения этого понятия в литературе. В 1990 г. Э. Кук и Л.А. Кайрюкштис стандартизацией назвали процесс, посредством которого серии измерений годичных колец преобразуются в серии индексов хронологии, представляющие амплитуду годичных изменений «общих» факторов, влияющих на рост деревьев [Cook, Kairiukstis, 1990]. Через 14 лет Т. Мелвин в своей диссертации дал новое определение этого понятия: стандартизация – это совокупность дендроклиматических методов, используемых и для удаления шума из серий измерений, и для построения хронологий, отражающих общую изменчивость роста деревьев на максимально длительных периодах [Melvin, 2004]. Интересно смещение акцента с «годичных изменений» на «изменчивость на максимально длительных периодах», т.е. с высокочастотных колебаний на низкочастотные.

Детерминистские методы стандартизации имеют один важный недостаток. Они не позволяют сохранять в хронологиях низкочастотный климатический сигнал, а именно такие колебания, период которых больше длины индивидуальных серий [Cook et al., 1995]. Начиная со статьи К. Бриффы и соавт. [Briffa et al., 1992] и по настоящее время внимание дендроклиматологов все больше акцентируется на сохранении долгопериодного климатического сигнала в древесно-кольцевых хронологиях. Одним из толчков к этому стал пристальный интерес научного сообщества и общественности к проблеме современного потепления и его соотношения с климатическими изменениями в прошлом. Без сохранения долгопериодных колебаний в древесно-кольцевых хронологиях невозможно, например, оценить, были ли температуры в средневековом оптимуме выше или ниже, чем сейчас.

Альтернативой детерминистским методам стандартизации является стандартизация региональной кривой (Regional Curve Standardization, далее RCS; см. [Briffa et al., 1992; Briffa, Melvin, 2010]). Этот подход призван сохранить долгопериодные климатические колебания, выраженные в изменении средней ширины колец во времени.

Он основан на предположении о том, что деревья, произрастающие в одном регионе, имеют некоторую стандартную кривую роста (единую для ныне живущих деревьев и для деревьев, росших на той же территории в прошлом). Для определения этой кривой все серии измерений упорядочивают по камбиальному возрасту и вычисляют среднюю величину прироста для каждого возраста. Затем эту кривую роста аппроксими-руют некоторой сглаживающей функцией [Briffa et al., 1992; Esper et al., 2003; Melvin et al., 2007] и используют для стандартизации всех серий измерений. Предполагается, что из-за распределения дат начала роста деревьев во времени климатический сигнал не повлияет на итоговую возрастную кривую. На практике это предположение может нарушаться. К. Бриффа и Т. Мелвин [Briffa, Melvin, 2010] обсуждают возможные отклонения итоговой хронологии, полученной методом RCS, из-за частных случаев нарушения этого предположения, таких как наличие постоянного тренда в климатическом сигнале или присутствие в выборке образцов только из живых деревьев. Особенно сильно эти отклонения могут проявляться на концах хронологии. Как частичное решение этой проблемы они предлагают «очищенный от сигнала» (signal-free) метод построения RCS хронологии, объединяющий идею региональной кривой и ранее предложенную ими же идею «очищенной от сигнала» стандартизации [Melvin, Briffa, 2008]. Идея метода состоит в постепенном очищении исходных измерений от общего сигнала посредством деления их на полученную хронологию (за несколько итераций). В последние десятилетия во множестве дендроклиматических исследований использовали стандартизацию региональной кривой (RCS) для анализа долгопериодных климатических колебаний [Cook et al., 2000; Grudd et al., 2002; Helama et al., 2002; Melvin, 2004; Naurzbaev et al., 2004; Buntgen et al., 2005; D'Arrigo et al., 2005; Linderholm, Gunnarson, 2005; Luckman, Wilson, 2005; Wilson et al., 2005; и др]. Для выполнения данного исследования были программно реализованы метод стандартизации региональной кривой (RCS) и его «очищенный от сигнала» аналог (signal-free RCS, далее – sf-RCS). Они используются для построения длинных хронологий и сохранения в них низкочастотного сигнала. В качестве функции для аппроксимации региональной кривой используется кубический сплайн с 50% сокращением дисперсии сигнала на 66% максимальной длины серий [Cook, Peters, 1981].

Другим методом сохранения низкочастотного сигнала в древесно-кольцевых хронологиях является разложение по возрастному диапазону (Age Band Decomposition, ABD; см. [Briffa et al., 2001]). Для каждого возрастного диапазона (например, 0–20, 21–40 лет и т.д.) строится отдельная хронология, основанная только на годичных кольцах данного камбиального возраста. Затем все эти хронологии нормируются и усредняются, формируя итоговую хронологию. Однако этот метод имеет те же недостатки, что и RCS [Briffa, Melvin, 2008], и к тому же является менее обоснованным теоретически.

2.4.2. Оценка качества хронологий

Наиболее часто используемым критерием оценки качества хронологии является выраженный сигнал популяции (Expressed Population Signal, далее EPS; см. [Briffa, Jones, 1990]). Эта статистика представляет собой корреляцию между средним из N серий и генеральной совокупностью, а формула для ее вычисления записывается следующим образом [Wigley et al., 1984]:

$$EPS = \left(\overline{R_N}\right)^2 \approx \frac{N\bar{r}}{1+(N-1)\bar{r}},$$

где $\bar{r}$ – средняя межсериальная корреляция, а N – число образцов, входящих в хронологию.

Значения EPS в нашем случае были посчитаны для каждой хронологии с помощью 50-летнего «плавающего» окна с 49-летним перекрытием. EPS более 0,85 означает, что из-за уменьшения числа образцов погрешность хронологии возрастет не более чем на 15% по сравнению с генеральной совокупностью [Wigley et al., 1984]. Это значение является общепринятым в дендроклиматологии.

2.5. Климатический отклик древесно-кольцевых хронологий

Для определения статистических связей между различными климатическими параметрами и шириной годичного кольца используется корреляционный анализ. Эта методика заключается в расчете коэффициентов корреляции Пирсона дендрохронологических данных с ежемесячными или ежегодными параметрами за год прироста и за предшествующий год. Для определения уровня значимости коэффициентов корреляции использовалась статистика t:

$$t = \frac{r}{\sqrt{(1-r^2)/(N-2)}}$$

где r – значение коэффициента корреляции Пирсона, $N = N_1 = N_2$ – длина рядов. Как известно, эта статистика имеет распределение Стьюдента с (N–2) степенями свободы.

2.5.1. Графическое представление климатического отклика

Результаты анализа климатического отклика представляются в двух видах: табличном и графическом. Таблицы позволяют количественно оценить отклик на разные климатические параметры для каждой хронологии. Карты показывают пространственные изменения климатического отклика. Для всех карт используется цилиндрическая эквидистантная проекция.

Для вычисления пространственных корреляций с сеточными климатическими данными древесно-кольцевые данные, заданные в точках отбора образцов, были преобразованы в поля данных, заданных в узлах сетки с шагом 0,5° по широте и долготе. Значения индексов древесно-кольцевых данных в каждом узле сетки определялись по формуле

$$(C_{lo,la})_{Y\times 1} = \frac{1}{N} \cdot CHR \times W$$

– это вектор-столбец индексов длиной в Y лет в узле сетки с долготой lo и широтой la, где Y – число лет за общий период древесно-кольцевых данных, а N – число индивидуальных древесно-кольцевых хронологий. Здесь

$CHR = (chr_{n,y})_{Y\times N}$ – матрица размера YxN, где $chr_{n,y}$ – индекс хронологии n в год y, а

$W = (w_n^{lo,la})_{N\times 1}$ – вектор-столбец весов, длиной в N,

$$w_n^{lo,la} = \frac{S_n^{lo,la\ -1}}{\sum_{k=1}^{N} S_{lo,la}^{k\ -1/2}}$$

– вес каждой хронологии n в узле сетки с долготой lo и широтой la, а

$S_{lo,la}^{n}$ – расстояние между узлом сетки с долготой lo и широтой la и точкой расположения хронологии с номером n.

Если $S_{lo,la}^{n} > 400$ км, то вес обнуляется. Это сделано для того, чтобы ограничить «дальность действия» хронологий. Если хронология слишком далеко от узла координатной сетки, то она не участвует в индексах в этом узле.

Таким образом, в каждом узле координатной сетки осредняются индексы всех хронологий, расположенных ближе 400 км к этому узлу. Вес каждой хронологии в этом узле зависит от расстояния – чем больше расстояние (по сравнению с другими хронологиями), тем меньше вес.

Для построения карт пространственной корреляции хронологий использовалась та же методика построения поля древесно-кольцевых данных, с одним изменением. Поле строилось по всем хронологиям, кроме одной – той, для которой определялась пространственная корреляция с этим полем.

2.5.2. Изменение климатического отклика во времени

Автором разработана программа, выполняющая вычисление коэффициентов корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями и климатическими параметрами в скользящем окне произвольной ширины. Программа функционально аналогична программе DendroClim2002 [Biondi, Waikul, 2004], но позволила получать результаты в более удобном виде и автоматизировать работу с большим количеством материала.

2.6. Реперные годы

В данной работе мы использовали анализ реперных лет (в англоязычной литературе «pointer years») в том виде, в каком он описан в работах Ф. Швайнгрубера, Б. Нойвирта и др. [Schweingruber et al., 1990; Neuwirth et al., 2004, 2007]. Похожий анализ, но с некоторыми техническими изменениями использовался в работах Э. Уотсон и Б. Лакмана [Watson, Luckman, 2001] и Д. Франка с соавт. [Frank et al., 2005]. Этот анализ используется для определения синхронного аномального прироста деревьев на одной пробной площади. При наличии нескольких лимитирующих факторов такой анализ может дать дополнительную информацию об их влиянии на синхронный аномальный прирост деревьев. Поиск реперных лет производится для каждой хронологии (пробной площади отбора образцов). Каждая серия измерений ширины годичных колец для данной хронологии (пробной площади) делится на ее 13-летнее скользящее среднее и нормализуется, что оставляет высокочастотную изменчивость и убирает долговременные тренды, связанные с возрастом дерева и экологическими условиями его роста. Таким образом, результирующие значения отражают межгодовые аномалии радиального при-

роста. Далее для каждого года, который покрывается древесно-кольцевыми данными для этой площадки (хронологии), вычисляется процент деревьев, имеющих в этот год аномалию радиального прироста по модулю больше 1,645. Это значение является 95-й процентилью нормального распределения, т.е. вероятность таких аномалий меньше 5%. Затем для каждого года вычисляется процент деревьев для данной площадки (хронологии), имеющих такую аномалию (положительную или отрицательную). Год считается реперным, если больше 20% деревьев испытали положительную или отрицательную аномалию. Периоды, содержащие меньше 10 образцов или меньше 5 деревьев, в расчет не принимались, чтобы избежать случайных аномальных значений, вызванных малым объемом выборки. Для определения реперных лет автором была написана программа PointerYears, которую можно загрузить с сайта дендрохронологической лаборатории Института географии РАН (http://paleoglaciology.org/ru/TreeRingLab/).

Подводя итоги этой главы, выделим несколько ключевых моментов:

– Из-за специфики выбранного района исследования (высокая антропогенная нагрузка, условия, близкие и оптимуму произрастания деревьев) четыре из шести основных принципов дендрохронологии вынужденно используются с оговорками в данном исследовании. Это отчасти объясняет малую изученность района в отношении дендроклиматологии. Принципы перекрестной датировки и повторности безоговорочно принимаются и в полной мере используются в рамках данной работы.

– Для анализа используются суточные и месячные данные метеонаблюдений, сеточные метеоданные, данные реанализа, данные моделирования различных климатических параметров, индексы сухости и влажности почвы, а также циркуляционные индексы. Все это позволяет наиболее полно исследовать климатический отклик деревьев.

– В работе использовались как детерминистские методы стандартизации (программа ARSTAN), позволяющие отразить высоко- и среднечастотную климатическую изменчивость и сравнить наши хронологии с хронологиями из ITRDB, так и стандартизация региональной кривой и ее «очищенный от сигнала» (signal-free) аналог, позволяющие сохранить долгопериодные колебания в длинных хронологиях.

– Как дополнительный способ дендроклиматического анализа используется вычисление реперных лет. При наличии нескольких лимитирующих факторов этот анализ может дать дополнительную информацию об их влиянии на синхронный аномальный радиальный прирост деревьев.

Глава 3
ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫЕ ДАННЫЕ

Всего в работе использовано 49 древесно-кольцевых хронологий, построенных на основе измерений ширины годичных колец живых на момент отбора образцов деревьев. Это — 26 хронологий по сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris*), 14 хронологий по ели сибирской и ели европейской (*Picea obovata*, *Picea abies*) и 9 хронологий по лиственнице сибирской (*Larix sibirica*). Положение этих хронологий в пространстве для каждого рода деревьев показано на рис. 1.

3.1. Хронологии из Международного банка древесно-кольцевых данных ITRDB

42 из 49 древесно-кольцевых хронологий, построенных на основе образцов из живых деревьев и использованных в работе, взяты из Международного банка древесно-кольцевых данных ITRDB (http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html). Изучены все хронологии по живым деревьям из этой базы данных, находящиеся в районе исследования. В табл. 1 перечислены эти хронологии и их характеристики, а также хронологии по живым деревьям, созданные в лаборатории дендрохронологии ИГ РАН и использованные в работе. Практически для всех древесно-кольцевых данных из ITRDB вместе с измерениями ширины представлены хронологии, сделанные в программе ARSTAN. Для остальных площадок они были рассчитаны в ходе нашего исследования в программе ARSTAN на основе исходных измерений (хронологии finl2, finl001, russ016, russ181, russ182, russ183, russ192; здесь и далее для хронологий из ITRDB используются исходные коды). Так как образцы для большинства хронологий из ITRDB отбирались в начале 90-х годов XX в., было принято решение ограничить интервал общего анализа 1990-м годом, который покрывает большинство хронологий. Только хронологии finl001 и finl018 заканчиваются соответственно 1984 и 1978 годами и не доходят до 1990 г. на 6 и 12 лет.

Поскольку последние 20 лет (1991–2010 гг.) очень важны для понимания современных климатических событий, мы отдельно провели дендроклиматический анализ для нескольких построенных нами хронологий, оканчивающихся в 2007–2010 гг. (Вологодская обл., Соловецкие о-ва и Московская обл.).

3.2. ДКХ лаборатории дендрохронологии ИГ РАН

Семь древесно-кольцевых хронологий по живым деревьям построены в лаборатории дендрохронологии Института географии РАН (далее – ИГ РАН) под руководством член-корр. РАН О.Н. Соломиной. Эти хронологии расположены по трансекту север–юг и дополняют данные из ITRBD (рис. 9).

Характеристики хронологий по живым деревьям приведены в табл. 1 и 2. Это две хронологии с Соловецких островов (сосна PDB и ель PDEL), одна из Вологодской области (сосна, KOV), три из Московской области (сосна ZVE, ель VYAZ и лиственница GOLL) и одна из Калужской области (сосна OPP). В основном длина хронологий сокращается с севера на юг, что естественно. Исключение составляет хронология OPP, построенная на основе образцов, отобранных из деревьев, произрастающих на заповедных землях рядом с монастырем Оптина Пустынь, Калужская область. Соседство с монастырем позволило оградить деревья от порубок на протяжении почти 300 лет.

Хронология GOLL составлена из образцов, отобранных из лиственниц, высаженных в музее-заповеднике А.С. Пушкина (Усадьба Вяземы) в начале XIX в. С помощью дендрохронологического исследования удалось установить возраст деревьев – до 194 лет. Лиственница в данных условиях является интродуцентом, т.е. произрастает вне границ своего ареала.

Таблица 1

Хронологии по живым деревьям, использованные в работе.
Коды пород: PISY – *Pinus sylvestris*, PCAB – *Picea abies*, PCOB – *Picea obovata*, LASI – *Larix sibirica*

N	Код площадки	Название площадки	Источник	Исследователь	Страна	Порода	Широта	Долгота	Число образцов	Год начала	Год окончания	Больше 10 образцов
1	finl001	Ilomantsi Sivakkovaara	ITRDB	Eronen	Финляндия	PISY	62,98	31,3	46	1573	1984	1586
2	finl2	Vaistonselka Sauvasaaret	ITRDB	Merilainen	Финляндия	PISY	61,66	29,16	37	1783	1993	1842
3	finl018	Ouluungan National Park	ITRDB	Schweingruber	Финляндия	PCAB	66,36	29,43	24	1726	1978	1784
4	russ016	Paajarvi Pyaozera	ITRDB	Merilainen	Россия	PISY	66,26	30,8	61	1471	2002	1538
5	russ036	Pinega	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	64,91	42,5	23	1674	1990	1688
6	russ039	Pinega	ITRDB	Schweingruber	Россия	PCAB	64,91	42,5	24	1711	1990	1740
7	russ040	Nonburg	ITRDB	Schweingruber	Россия	PCOB	65,6	50,63	25	1642	1990	1737
8	russ041	Nonburg	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	65,6	50,63	20	1638	1990	1726
9	russ042	Shchely Bozh	ITRDB	Schweingruber	Россия	PCOB	66,21	56,33	22	1784	1990	1789
10	russ043	Voroney	ITRDB	Schweingruber	Россия	PCAB	63,43	43,55	22	1753	1990	1781
11	russ044	Voroney	ITRDB	Schweingruber	Россия	LASI	63,43	43,55	27	1729	1990	1788
12	russ045	Voroney	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	63,43	43,55	25	1723	1991	1798
13	russ046	Shchely Bozh	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	66,21	56,33	27	1694	1990	1724
14	russ047	Kedvaran	ITRDB	Schweingruber	Россия	PCOB	64,25	53,56	29	1714	1990	1731
15	russ049	Verhnaja Toima	ITRDB	Schweingruber	Россия	PCAB	62,16	44,41	26	1732	1990	1804
16	russ051	Verhnaja Toima	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	62,16	44,41	23	1699	1990	1799
17	russ056	Charijaga	ITRDB	Schweingruber	Россия	PCOB	66,88	51,95	23	1797	1990	1816
18	russ058	Charijaga	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	66,88	51,95	15	1653	1990	1796
19	russ060	Leshukonskoe	ITRDB	Schweingruber	Россия	PCOB	64,91	42,5	23	1743	1991	1830
20	russ061	Kedvaran	ITRDB	Schweingruber	Россия	LASI	64,25	53,56	29	1674	1991	1698
21	russ062	Kedvaran	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	64,25	53,56	30	1717	1990	1774
22	russ064	Shchely Bozh	ITRDB	Schweingruber	Россия	LASI	66,21	56,33	23	1630	1990	1682
23	russ072	Nyuchpas	ITRDB	Schweingruber	Россия	PCAB	60,7	51,38	36	1650	1991	1753
24	russ073	Zolotica	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	65,33	41,11	24	1594	1990	1725
25	russ074	Nyuchpas	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	60,7	51,38	30	1651	1991	1732
26	russ075	Nyuchpas	ITRDB	Schweingruber	Россия	LASI	60,7	51,38	28	1649	1991	1810
27	russ081	Valaam	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	61,36	30,9	30	1715	1992	1792

Таблица 1 (окончание)

N	Код площадки	Название площадки	Источник	Исследователь	Страна	Порода	Широта	Долгота	Число образцов	Год начала	Год окончания	Больше 10 образцов
28	russ083	Sukkozero	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	63,38	32,31	30	1650	1992	1655
29	russ093	Murmashi	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	68,76	32,8	31	1715	1992	1730
30	russ096	Murmashi	ITRDB	Schweingruber	Россия	PCAB	68,76	32,8	30	1678	1992	1714
31	russ098	Pinega, Belomop-kuloi pla	ITRDB	Schweingruber	Россия	LASI	64,91	42,5	18	1578	1990	1704
32	russ104	Krasnovishersk	ITRDB	Schweingruber	Россия	PCOB	60,38	57,11	32	1680	1991	1762
33	russ115	Lindulowo	ITRDB	Schweingruber	Россия	LASI	60,26	29,58	30	1757	1990	1764
34	russ116	Krasnovishersk	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	60,38	57,11	30	1717	1991	1818
35	russ117	Krasnovishersk	ITRDB	Schweingruber	Россия	LASI	60,38	57,11	28	1730	1991	1794
36	russ119	Nonburg	ITRDB	Schweingruber	Россия	LASI	65,6	50,63	22	1603	1990	1649
37	russ121	Kostomuksha	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	64,53	31,03	28	1578	1992	1628
38	russ125	Alakurtti	ITRDB	Schweingruber	Россия	PISY	66,98	30,25	33	1699	1992	1704
39	russ181	Venehjarvi	ITRDB	Merilainen	Россия	PISY	64,95	30,2	34	1681	2001	1794
40	russ182	Verhnutulomskij Yla-Tuuloma	ITRDB	Merilainen	Россия	PISY	68,65	31,66	24	1681	2001	1753
41	russ183	Borovoi	ITRDB	Merilainen	Россия	PISY	64,76	32,33	22	1590	2002	1710
42	russ192	Kola Peninsula	ITRDB	Gervais	Россия	PISY	68,41	35,28	37	1577	1997	1636
43	KOV	Коварзино	ИГРАН	Мацковский	Россия	PISY	60,16	38,84	27	1786	2009	1811
44	PDB	Поднебесная	ИГРАН	Соломина, Жуков, Грязнова	Россия	PISY	65,12	35,69	23	1540	2008	1625
45	PDEL	Поднебесная	ИГРАН	Соломина, Жуков, Грязнова	Россия	PCAB	65,12	35,69	17	1626	2007	1736
46	VYAZ	Вяземы	ИГРАН	Соломина, Лазукова	Россия	PCAB	55,67	37,03	23	1858	2009	1894
47	GOLL	Голицино	ИГРАН	Соломина, Лазукова, Мацковский	Россия	LASI	55,63	36,99	12	1843	2009	1889
48	ZVE	Звенигород	ИГРАН	Соломина, Лазукова, Грязнова	Россия	PISY	55,73	36,87	17	1853	2007	1894
49	OPP	Оптина пустынь	ИГРАН	Соломина, Мацковский, Грязнова	Россия	PISY	54,05	35,83	22	1717	2010	1768

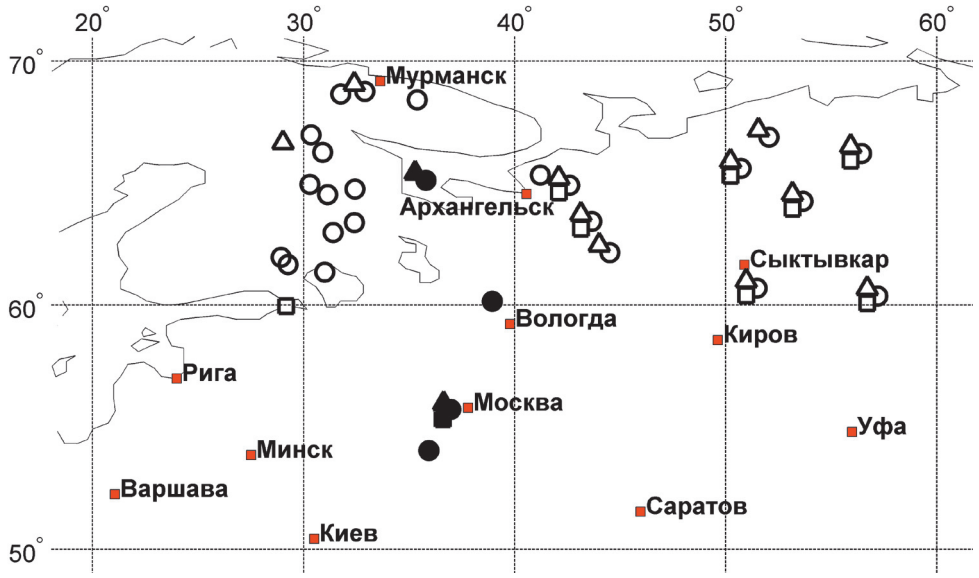


Рис. 9. Район исследования. Кругами обозначены точки расположения хронологий сосны, треугольниками – ели, квадратами – лиственницы. Закрашенные значки – хронологии, созданные в лаборатории дендрохронологии ИГ РАН, пустые значки – хронологии из Международного банка древесно-кольцевых данных ITRDB

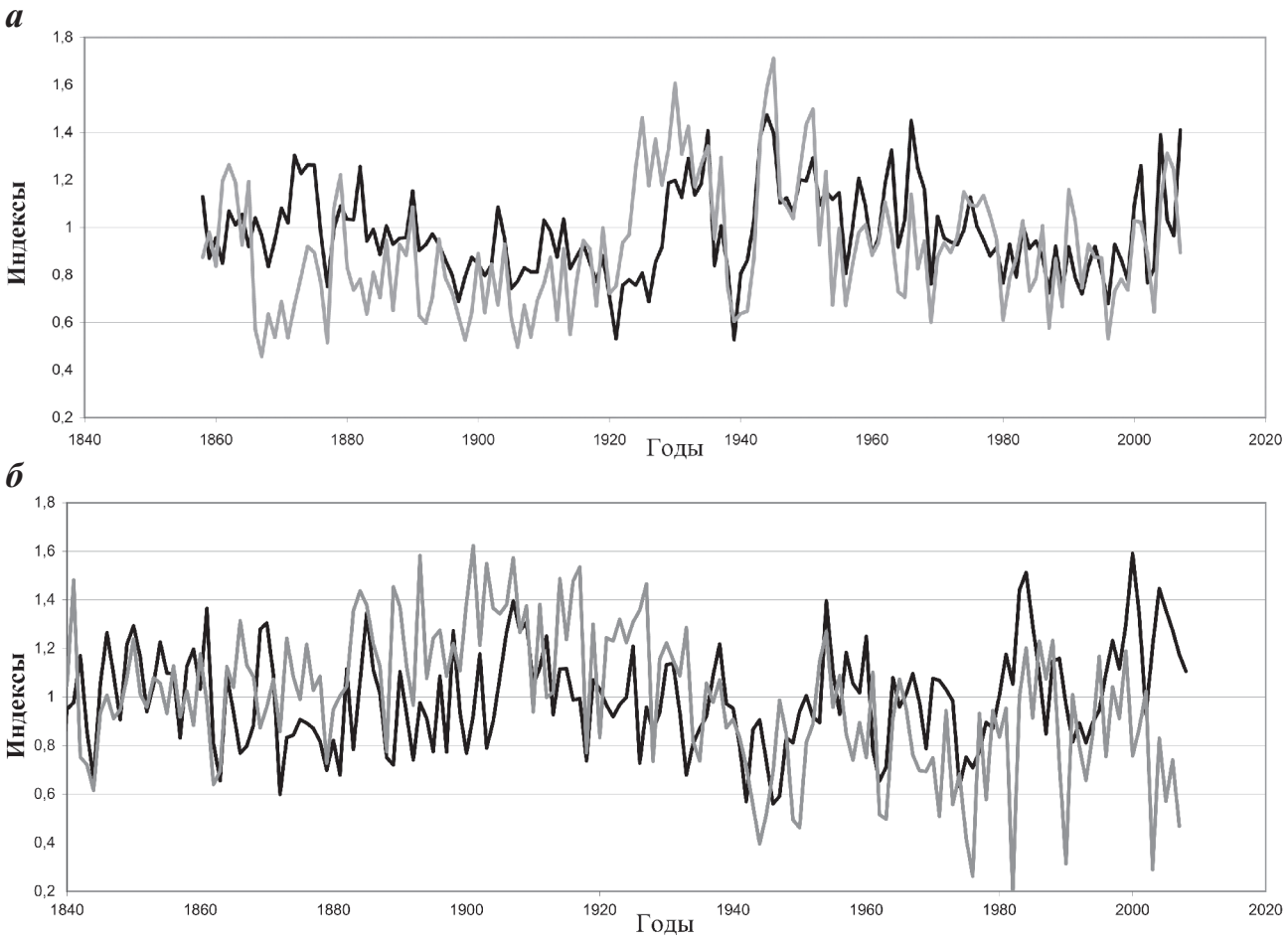


Рис. 10. Сопоставление динамики прироста сосны (черный) и ели (серый) а) – в Московской области и б) – на Соловецких островах

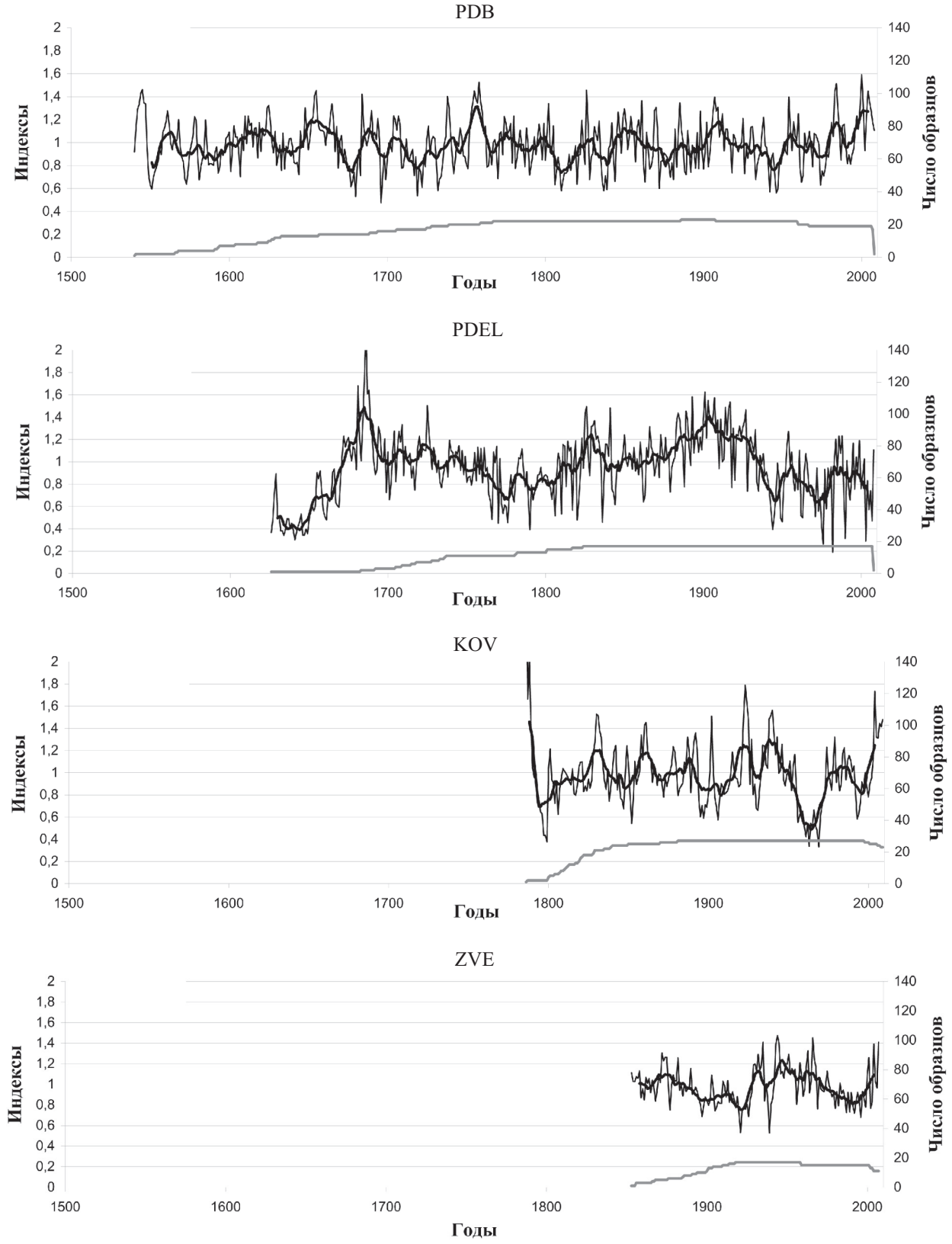


Рис. 11. Стандартные хронологии по живым деревьям, построенные в лаборатории дендрохронологии ИГ РАН, и их наполненность образцами

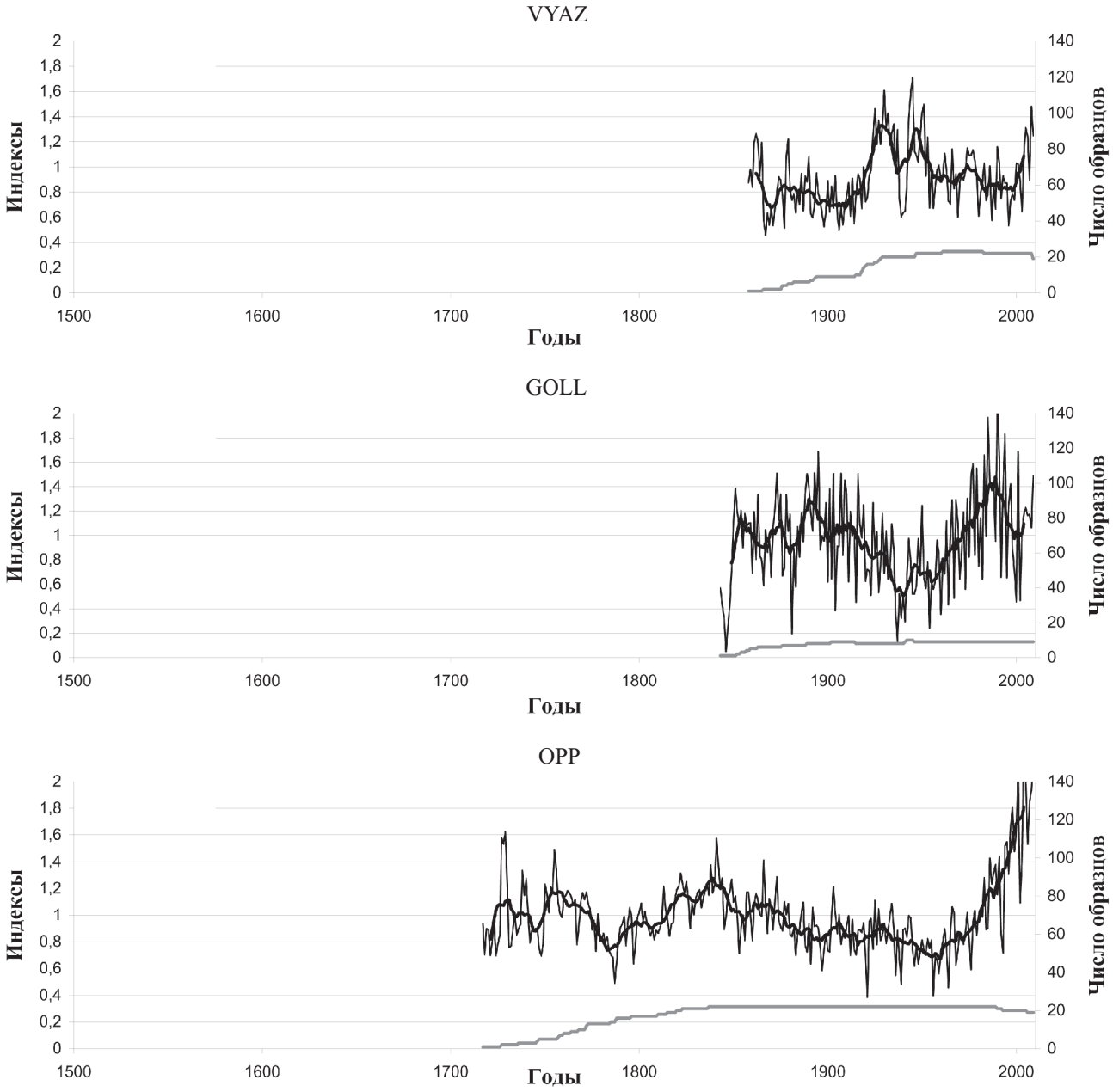


Рис. 11, окончание

Хронологии сосны и ели в Московской области (ZVE и VYAZ) показывают сходную динамику прироста (рис. 10, а). Коэффициент корреляции между ними за период 1858–2007 гг. равен 0,52. В работе Д.Е. Румянцева и соавт. [Румянцев и др., 2010] раньше также отмечалось сходство динамики прироста сосны и ели в Московском регионе, обнаруженное при анализе другого массива хронологий. Корреляции хронологий сосны и ели с хронологией лиственницы GOLL статистически незначимы.

Соловецкие хронологии сосны и ели PDB и PDEL показывают меньше сходства: коэффициент корреляции за тот же период только 0,18 (рис. 10, б). Тем не менее эти хронологии датируются относительно друг друга в программе COFECHA. На рис. 11 приведены стандартные (STD) хронологии по живым деревьям, построенные в лаборатории дендрохронологии ИГ РАН, и их наполненность образцами.

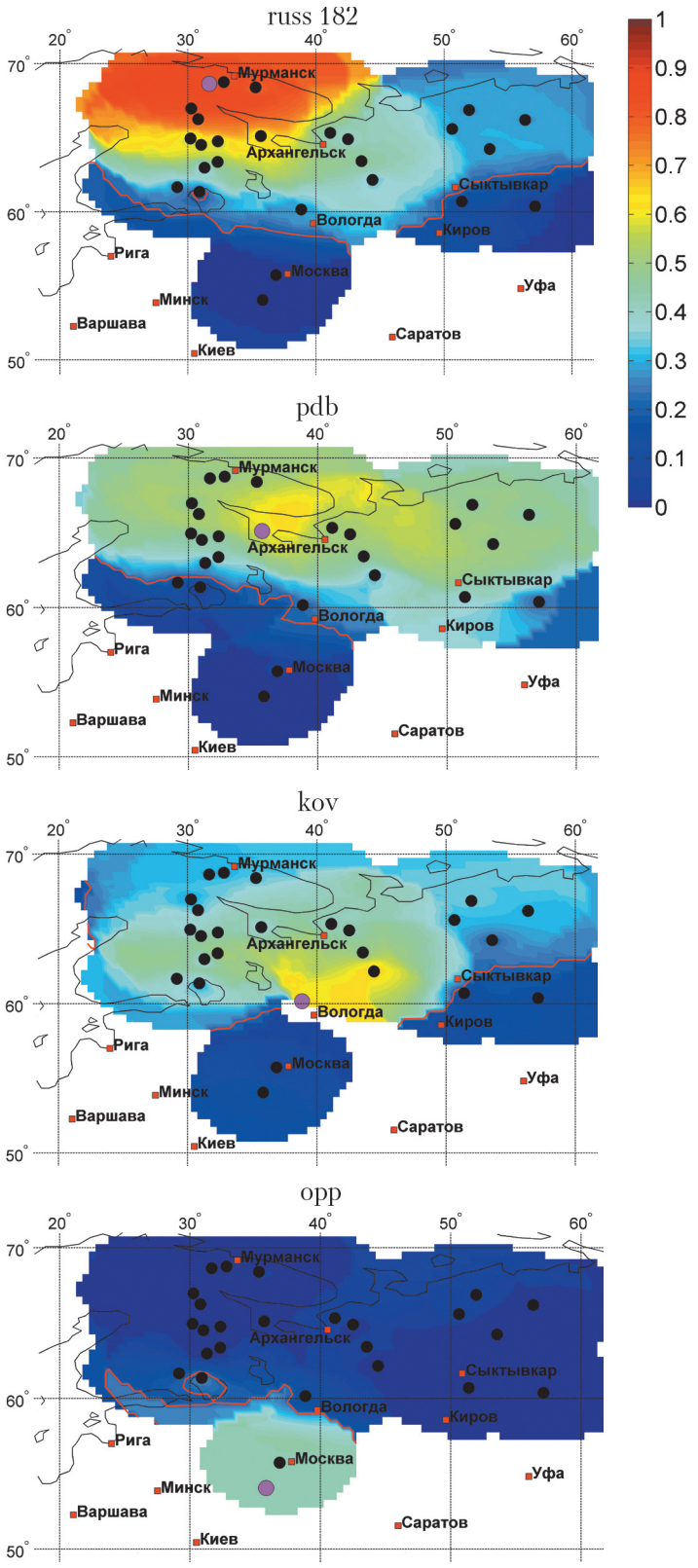


Рис. 12. Карты пространственных корреляций хронологий сосны (сверху вниз: russ182, PDB, KOV, OPP). Цветом обозначены коэффициенты корреляции. Сиреневый круг – хронология, для которой рассчитаны корреляции, черные круги – хронологии, по которым построено поле древесно-кольцевых данных. Красная линия обозначает границу значимых корреляций (p = 0,05)

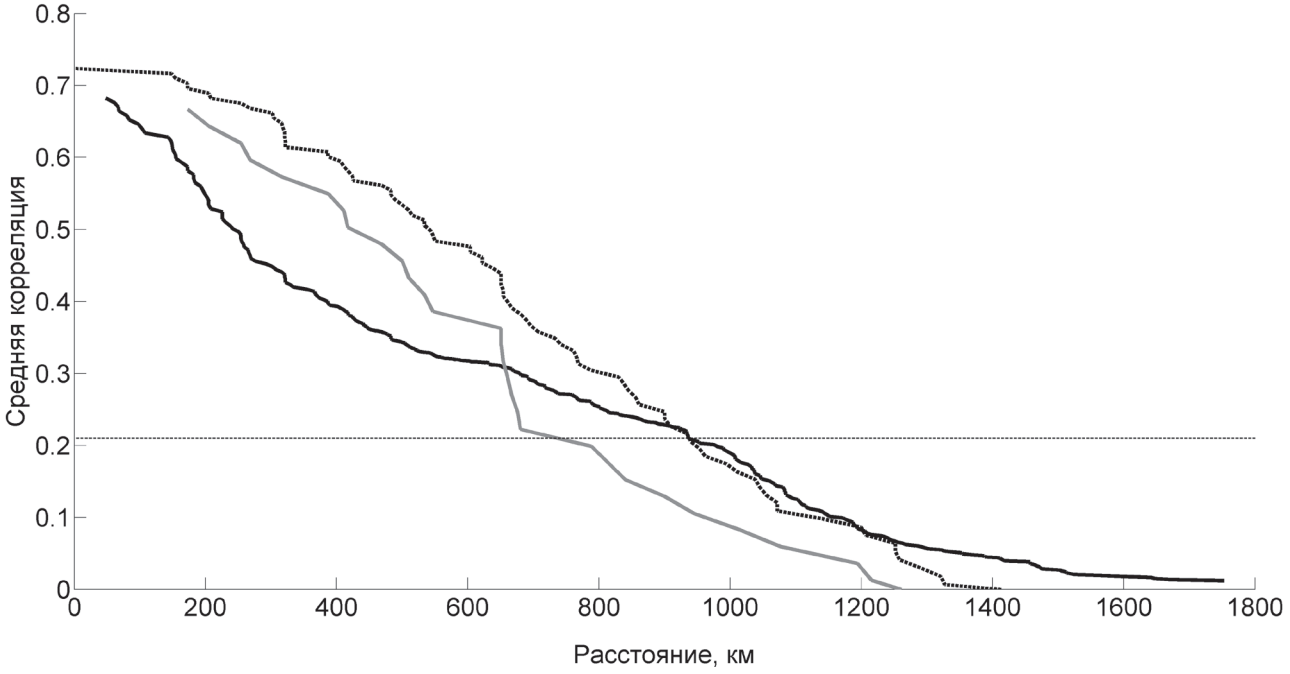


Рис. 13. Зависимость средних корреляций между хронологиями сосны (черная сплошная), ели (черная пунктирная) и лиственницы (серая) от расстояния. Период 1901–1990 гг. Горизонтальной линией показана граница значимых корреляций (p = 0,05)

3.3. Сопряженность динамики годичного прироста деревьев в пространстве

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. В приложении 1 приведены карты пространственных корреляций для каждой хронологии.

На рис. 12 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.

На рис. 13 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 усредняются индексы хронологий из Архангельской области и с Кольского полуострова. Это говорит о том, что поле древесно-кольцевых данных адекватно отражает пространственную изменчивость отдельных хронологий.

Подведем итоги главы.

– В работе использованы 42 древесно-кольцевые хронологии по живым деревьям из международного банка данных ITRDB и 7 хронологий по живым деревьям, созданных в лаборатории дендрохронологии ИГ РАН, которые пролегают по трансекту север–юг и заполняют пробел, имеющийся в данных из ITRDB.

Таблица 2

Статистические характеристики хронологий

Название хронологии	PDB	PDEL	KOV	ZVE	VYAZ	GOLL	OPP
Временной интервал, годы	1540-2008	1626-2007	1786-2009	1853-2007	1858-2009	1843-2009	1717-2010
Длина хронологии, годы	469	382	224	155	152	167	294
Кол-во образцов (деревьев), вошедших в хронологию	23 (11)	17 (9)	15 (29)	17 (8)	23 (12)	12(6)	24(13)
Межсериальный коэффициент корреляции	0,644	0,737	0,556	0,495	0,589	0,697	0,539
Стандартное отклонение	0,415	0,316	0,668	1,169	1,365	1,470	0,938
Средняя чувствительность	0,226	0,250	0,209	0,217	0,285	0,551	0,262
Средняя автокорреляция 1-ого порядка	0,863	0,712	0,879	0,788	0,727	0,525	0,864
Средняя длина образцов	342	268	188	114	100	115	232
EPS>0,85	1594	1745	1753	1922	1884	1880	1799

– Хронологии по сосне и ели в Московской области показывают большее сходство динамики прироста, чем хронологии по этим породам на Соловецких островах. Перекрестная датировка образцов сосны и ели возможна в обоих регионах.

– Уменьшение корреляции древесно-кольцевых хронологий с расстоянием усиливается по мере движения с севера на юг. Для всего района исследования среднее расстояние, на котором корреляции становятся незначимыми, равно 740–940 км в зависимости от породы деревьев.

Глава 4
КЛИМАТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЙ

4.1. Климатический отклик в период 1950–1990 гг.

Помимо климатических условий, прирост годичных колец зависит от многих других параметров. Влияние возраста деревьев на прирост было описано в гл. 2. Вопрос о влиянии экофизиологических параметров подробно рассматривается в специальной ботанической, экологической и лесоводческой литературе (см., например, [Лархер, 1978; Казенс, 1982; Ваганов, 1996; Schweingruber, 1996; Fritts, 1976]) и не является предметом этого исследования, хотя мы и отдаем себе отчет в том, что, например, изменения в растительном сообществе при определенных обстоятельствах (вырубки, пожары, вспышки численности вредителей и пр.) могут оказать решающее влияние на радиальный прирост древесины в различные моменты жизни дерева. Задача настоящего исследования – выявить закономерности влияния климатических факторов на ширину колец трех основных хвойных пород деревьев на севере и в центре ЕТР.

Сосна – малотребовательная к влажности почв и богатству их питательными веществами порода, часто занимает непригодные для других видов площади: пески, болота. Она отличается светолюбием, хорошо возобновляется на лесосеках и пожарищах.

Ель – теневыносливая и холодостойкая порода (особенно ель сибирская), с поверхностной корневой системой. Ель европейская зимостойка, но чувствительна к поздним весенним заморозкам, повреждающим нежную мягкую хвою прироста текущего года. Росту не благоприятствуют засуха и бедность почвы. Ель избегает крайне заболоченных почв с застойным увлажнением, но растет по берегам ручьев и временных водотоков там, где увлажнение проточное. Предпочитает суглинистые влажные почвы. По холодостойкости корневой системы ель сибирская превосходит все хвойные породы, кроме лиственницы Гмелина. Ее корни способны расти при небольшой отрицательной температуре, поэтому ель встречается на переувлажненных, медленно протаивающих почвах. Благодаря поверхностной корневой системе часть ее корней остается в мерзлом слое почвы и удерживает дерево от вывала ветром. На открытых местах хвоя и побеги ели сибирской повреждаются поздними заморозками, что сильно задерживает возобновление ее на вырубках и гарях. Под пологом леса этого, как правило, не случается.

Лиственница – очень светолюбивое дерево, в затенении не возобновляется и не растет. Лиственница устойчива к весенним заморозкам, очень устойчива к зимним заморозкам. На севере выдерживает температуры до −60 °С. К почве нетребовательна. Растет на моховых болотах, переувлажненных марях, при близком залегании вечной мерзлоты, на сухих скелетных почвах горных склонов. В таких неблагоприятных условиях лиственница бывает низкорослой и чахлой. Оптимальные почвы, дающие лиственнице возможности для наилучшего развития, – достаточно увлажненные и хорошо дренированные суглинки или супесчаные почвы пологих склонов и речных долин.

Таким образом, мы можем ожидать большей реакции на осадки и влажность почв у ели, чем у сосны и лиственницы. Кроме того, у ели возможен отрицательный отклик на число заморозков в начале вегетационного периода. Прирост сосны и лиственницы должен быть сильнее связан с температурой в течение вегетационного периода. Приведенный ниже анализ в основном это под-

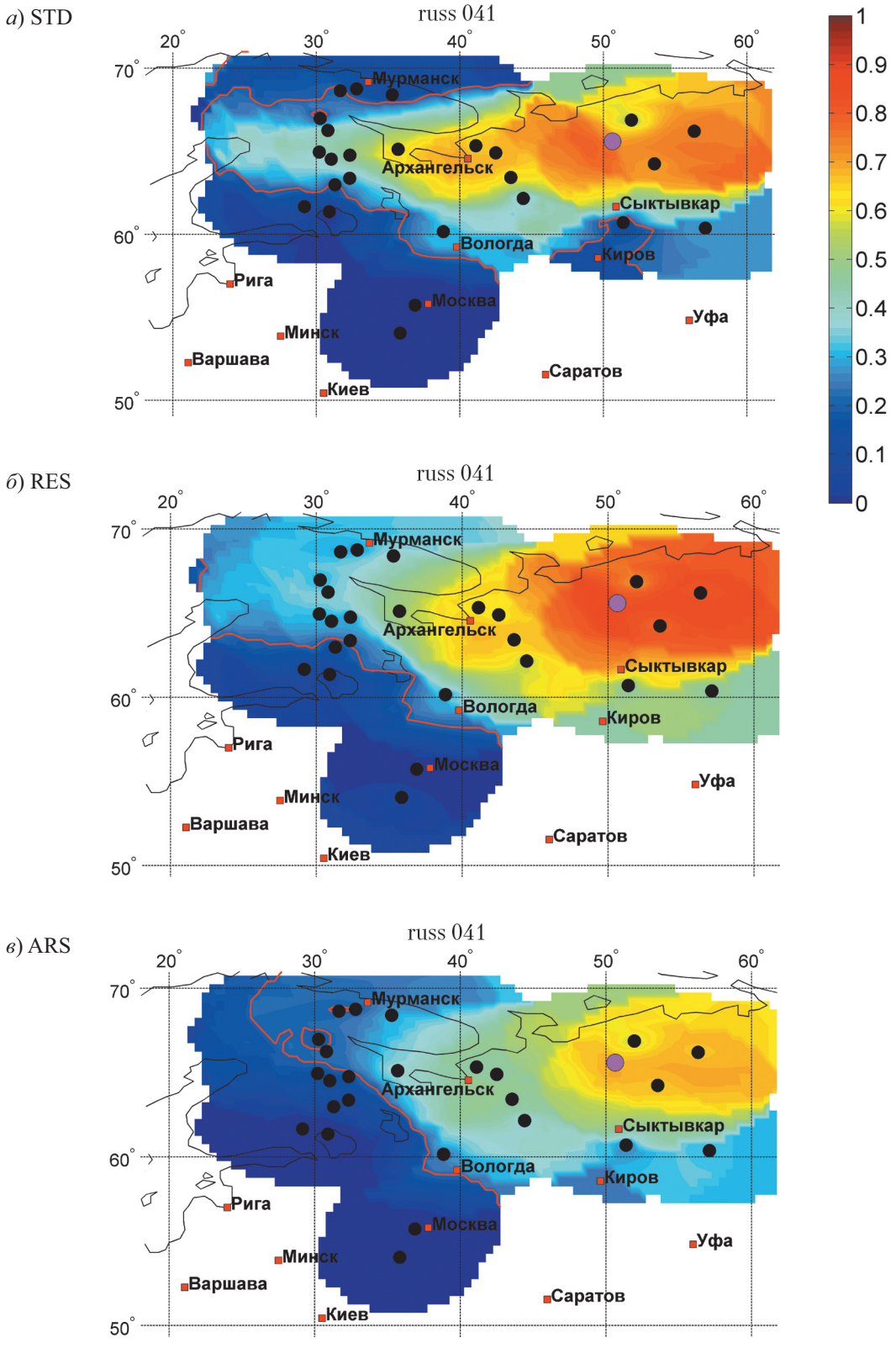


Рис. 14. Корреляция хронологии russ041 (малиновый круг) с полем древесно-кольцевых данных, построенным на основе остальных хронологий по сосне (черные круги) за период 1901–1990 гг.: *а* – стандартные хронологии (STD); *б* – остаточные хронологии (RES); *в* – «арстан» хронологии (ARS). Красной линей отмечена граница значимых корреляций, $p = 0{,}05$

тверждает, хотя отрицательный отклик ели на число заморозков в начале вегетационного периода обнаружен только для четырех из 14 площадок в июне (PDEL, russ039, russ043, VYAZ, см. ниже).

Для анализа климатического отклика ширины годичных колец трех наиболее распространенных в Европейской части России древесных пород хвойных – сосны, ели и лиственницы, был выбран опорный период 1950–1990 гг., так как его охватывают все хронологии кроме finl001 и finl018 и все климатические базы данных (кроме нескольких станций «архива 476», на которых измерения начались в 1959 г.). Мы проанализировали статистические связи метеопараметров со всеми тремя типами хронологий, полученных в программе ARSTAN (стандартные, остаточные и «арстан»), но в конечном итоге убедились в том, что остаточные (RES) хронологии наиболее пригодны для целей нашего анализа. Во-первых, у них больший радиус корреляции, по сравнению со стандартными (STD) и «арстан» (ARS) хронологиями. На рис. 14 в качестве примера показана корреляция хронологии russ041 с полем древесно-кольцевых данных, построенным на основе остальных хронологий по сосне для трех типов хронологий из программы ARSTAN. Видно, что для остаточных хронологий корреляция сильнее, а область со значимыми корреляциями больше. Во-вторых, для выбранного периода 1950–1990 гг. и выбранных климатических параметров именно у остаточных хронологий больше значимых значений коэффициентов корреляции и больше их среднее абсолютное значение. В-третьих, остаточные хронологии показывают более сильный общий климатический отклик. Это было определено по числу хронологий каждого рода деревьев, имеющих значимый отклик на один и тот же климатический параметр. Например, для хронологий сосны – 17 из 26 остаточных хронологий имеют значимый отклик на минимальные температуры мая – августа, тогда как среди стандартных и «арстан» хронологий максимум 12 из 26 хронологий значимо реагируют на один климатический параметр. То же обнаружено для других родов деревьев (табл. 3).

Именно остаточные хронологии лучше всего подходят для изучения общего климатического отклика деревьев на данной территории.

В приложении 2 представлены таблицы отклика остаточных хронологий по живым деревьям на различные климатические параметры в период 1950–1990 гг. Обозначены только значимые коэффициенты корреляции ($p = 0{,}05$). По этим таблицам для каждого рода деревьев были определены климатические параметры, с которыми статистически значимо коррелирует большая часть хронологий этого рода.

4.1.1. Отклик хронологий сосны

Значимо реагируют на минимальные температуры мая–августа по сеточному архиву CRU TS 3.0 17 из 26 остаточных хронологий сосны (рис. 15). По 16 хронологий значимо реагируют на средние температуры мая–августа и июня–июля, по 15 – на минимальные, средние и максимальные температуры июня–июля. Из агроклиматических характеристик больше всего хронологий (14) значимо откликаются на годовую сумму температур выше 15 °C; по 11 хронологий откликаются на годовую сумму температур выше 0 °C и 10 °C. Интересно рассмотреть случаи, когда северные и южные хронологии реагируют на один и тот же климатический параметр. Такие случаи приведены на рис. 16. Тринадцать хронологий отрицательно коррелируют с числом дней с заморозками за апрель–сентябрь (рис. 16, *а*), 11 – положительно коррелируют с минимальными температурами за гидрологический год (с октября по сентябрь) по сеточному архиву CRU TS 3.0 (рис. 16, *б*) и 10 – положительно коррелируют со средними температурами за гидрологический год по «архиву 223» (рис. 16, *в*).

Для всех трех случаев северные и южные хронологии сосны показывают отклик одного знака на одни и те же климатические параметры.

4.1.2. Отклик хронологий ели

Из 14 остаточных хронологий ели (все, кроме хронологии из Московской области) 13 имеют

Таблица 3

Общий климатический отклик разных типов древесно-кольцевых хронологий и разных родов деревьев. Числа показывают максимальное число хронологий, имеющих значимый отклик с одним климатическим параметром (за период 1950-1990 гг.).

Тип хронологии	Сосна	Ель	Лиственница
Стандартная (STD)	12	9	5
Остаточная (RES)	17	13	6
Арстановская (ARS)	12	9	5

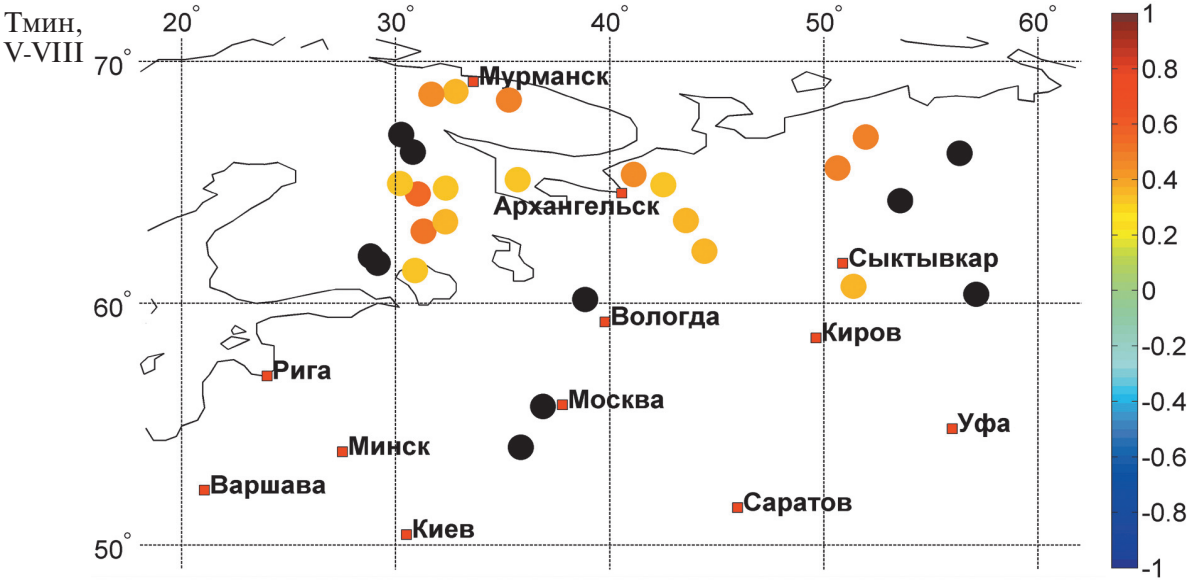


Рис. 15. Значимые корреляции (p = 0,05) остаточных хронологий сосны с минимальными температурами мая–августа по сеточному архиву CRU TS 3.0 за 1950–1990 гг. Черные круги – хронологии, корреляции которых с данным параметром незначимы

значимую отрицательную корреляцию с суммами температур выше 10 °C и 15 °C за предыдущий год, а также с минимальными температурами июля предыдущего года по сеточному архиву CRU TS 3.0 (рис. 17). Подмосковная хронология VYAZ, в свою очередь, имеет значимый отрицательный отклик на средние температуры июня и августа предыдущего года (см. разд. 4.3.2). Интересно, что общий отклик хронологий ели данного региона приходится в основном на температуры июня–июля именно предыдущего года, и он отрицательный (по 10 хронологий отрицательно реагируют на максимальные, минимальные и средние температуры в эти месяцы; 11 хронологий отрицательно реагируют на сумму температур выше 5 °C за предыдущий год).

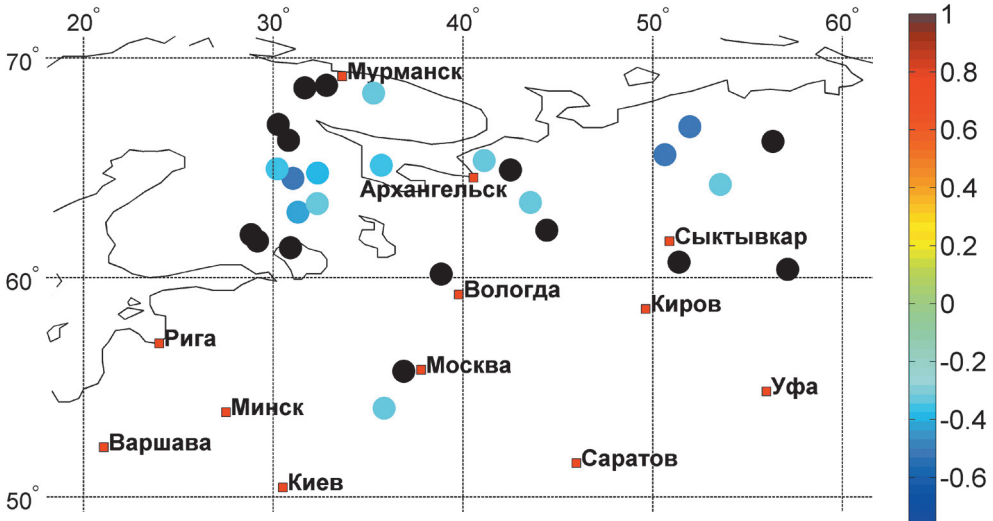
Что касается факторов, положительно влияющих на радиальный прирост деревьев, то 10 остаточных хронологий ели положительно реагируют на число дней с заморозками в августе предыдущего года (рис. 18).

Северные хронологии и подмосковная хронология VYAZ если и реагируют на один и тот же климатический параметр, то в основном с противоположным знаком (рис. 19, *а, б, в*). Исключение составляет индекс сухости PDSI в январе, на который положительно реагируют 5 хронологий, включая подмосковную (рис. 19, *г*). В разд. 4.3.2 более подробно рассмотрен отклик подмосковной хронологии ели VYAZ.

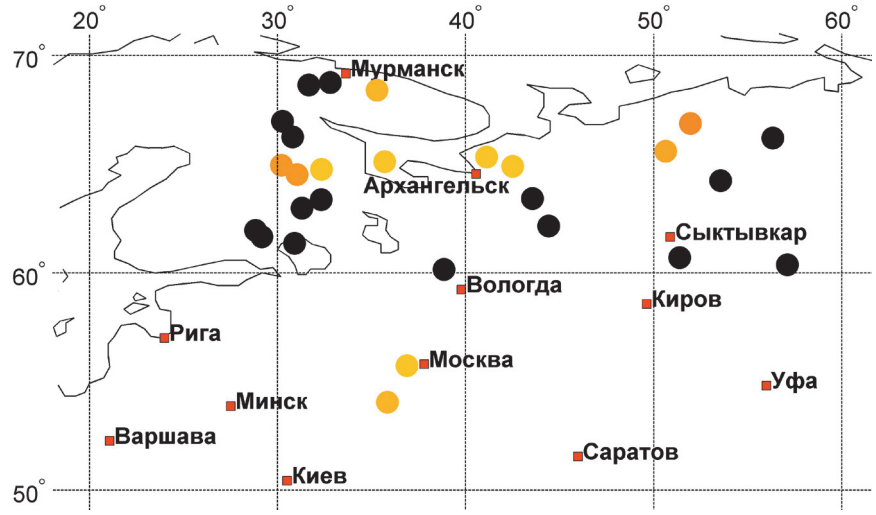
Отрицательный отклик хронологий ели на климатические параметры предыдущего года необходимо обсудить отдельно. В работе Х. Макинена и соавт. [Makinen et al., 2002] также обнаружен отрицательный отклик на температуры лета предыдущего года для хронологий ели европейской из юго-западной Германии, Норвегии и Финляндии. Авторы объясняют его тем, что повышенные температуры в конце лета приводят к цветению деревьев в следующем сезоне, что уменьшает радиальный прирост из-за большого расхода продуктов фотосинтеза на продукцию пыльцы и семян. Они подтверждают это ссылками на ряд исследований [Tiren, 1935; Leikola et al., 1982; Mielikainen et al., 1998].

Наличие аналогичного отклика, но уже у сосны обыкновенной в Финляндии описано в статье С. Хеламы и соавт. [Helama et al., 2005]. В.А. Липаткин и Д.Е. Румянцев в обзоре литературы, посвященной влиянию климатических факторов на прирост ели европейской в разных частях ареала, заключают, что данный вид «иногда демонстрирует смещенную на год отрицательную реакцию на засушливые условия летних месяцев (высокие температуры, малое количество осадков)» [Дендрохронологическая информация..., 2007. С. 101–113]. Это согласуется с нашим исследованием по отношению к температурам. В той же монографии [Там же. С. 113–125] они отмечают наличие отрицательного отклика хроно-

а) заморозки, IV-IX



б) Тмин, X-IX



в) Тср, X-IX

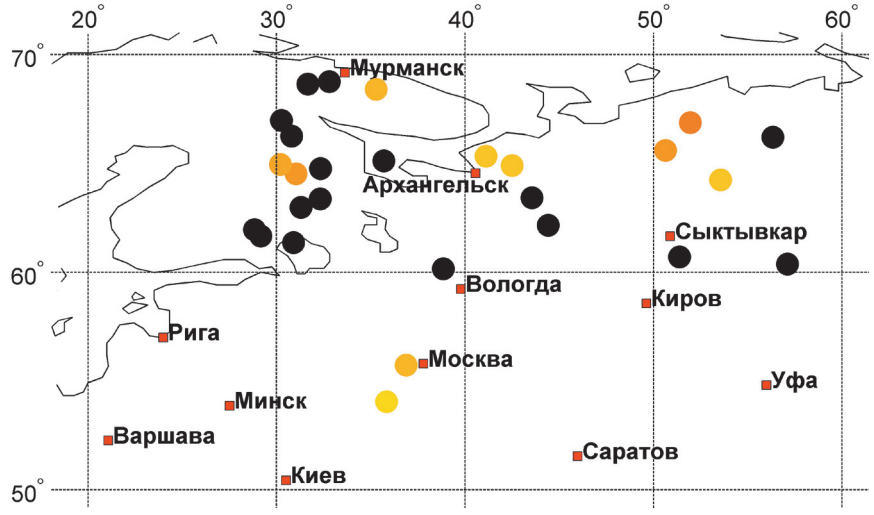


Рис. 16. Значимые корреляции (p = 0,05) остаточных хронологий сосны: *а* – с числом дней с заморозками за апрель–сентябрь, *б* – с минимальными температурами за гидрологический год, *в* – со средними температурами за гидрологический год. Период 1950–1990 гг. Черные круги – хронологии, корреляции которых с данным параметром незначимы

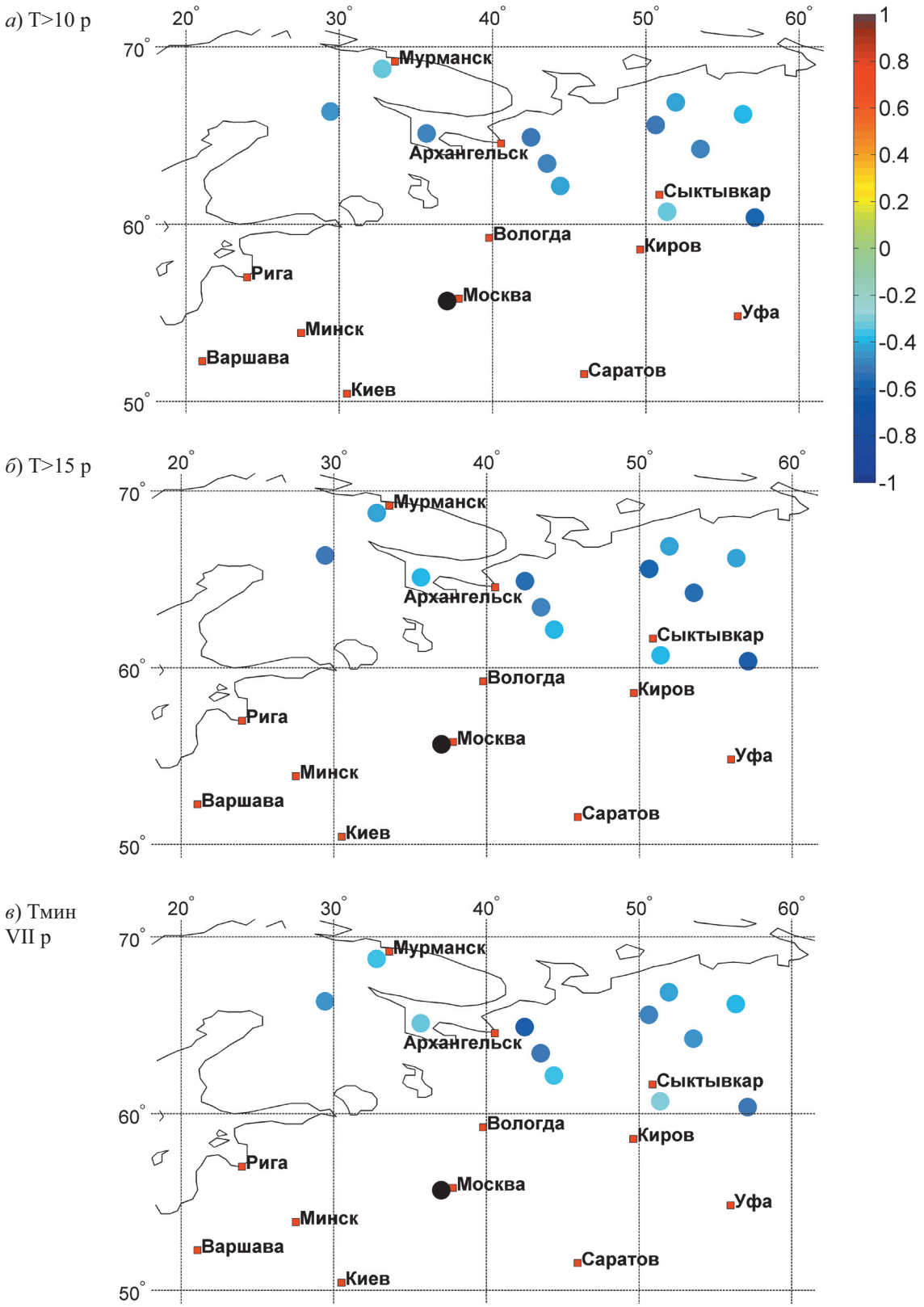


Рис. 17. Значимые корреляции (p = 0,05) остаточных хронологий ели с температурами > 10 °С (*а*) и 15 °С (*б*) за предыдущий год и с минимальными температурами июля предыдущего года по сеточному архиву CRU TS 3.0 (*в*). Период 1950–1990 гг. Черные круги – хронологии, корреляции которых с данным параметром незначимы

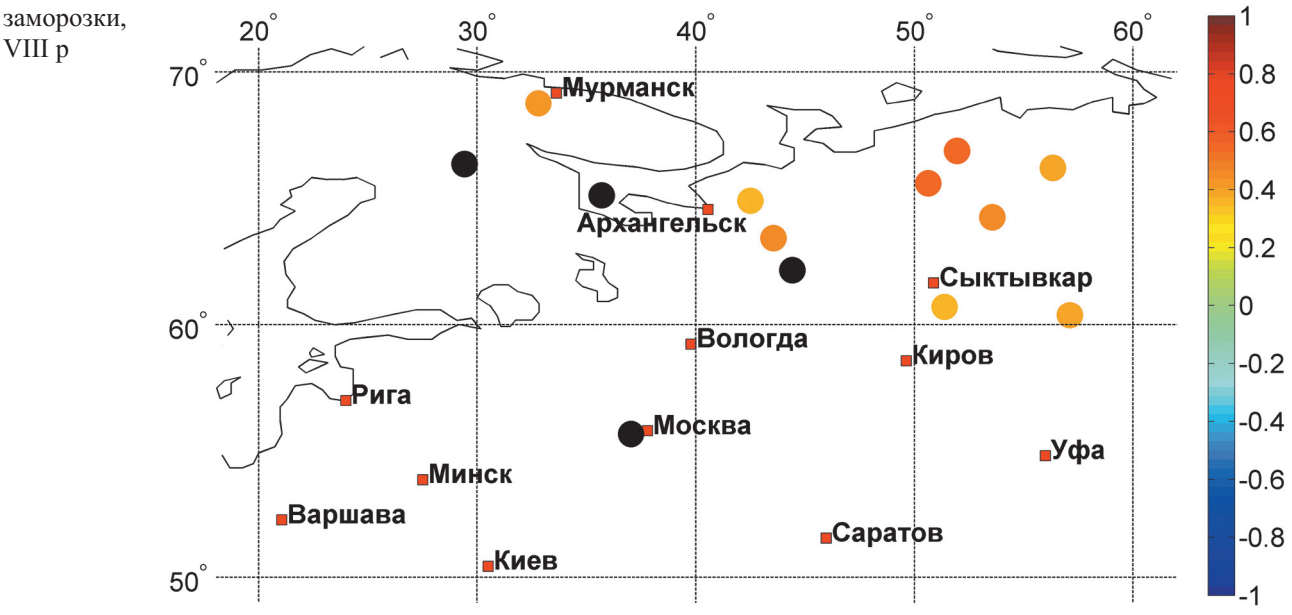


Рис. 18. Значимые корреляции (p = 0,05) остаточных хронологий ели с числом дней с заморозками в августе предыдущего года за 1950–1990 гг. Черные круги – хронологии, корреляции которых с данным параметром незначимы

логии ели из Московской области на температуры августа предыдущего года.

Е.В. Лопатин и соавт. [Lopatin et al., 2007], в отличие от нас, не обнаружили значимого отрицательного отклика ели на температуры предыдущего лета ни для одной из трех площадок в Республике Коми. Наше исследование показывает, что отрицательный отклик на температуры предыдущего вегетационного сезона является одной из характерных особенностей хронологий ели (как европейской, так и сибирской) в северной и центральной частях ЕТР.

4.1.3. Отклик хронологий лиственницы

Шесть из девяти остаточных (RES) хронологий лиственницы имеют значимую отрицательную корреляцию с индексом NAO сентября текущего года (рис. 20, *а*). Сильные положительные фазы NAO [Barnston, Livezey, 1987] зимой обычно ассоциируются с повышенными температурами в северной Европе и наоборот. Летом положительные фазы NAO показали сильные связи с теплыми и сухими условиями в северной Европе [Folland et al., 2009]. Известна связь прироста деревьев (в основном сосны и ели) в Северной Америке и Европе как с зимними, так и с летними индексами NAO. На основе этих связей сделаны реконструкции индексов NAO продолжительностью в несколько столетий [Linderholm et al., 2010].

Шесть хронологий лиственницы значимо реагируют на максимальные температуры июня по данным «архива 223» (рис. 20, *б*). Однако подмосковная хронология GOLL в этом случае показывает отрицательный отклик, в отличие от более северных хронологий, реагирующих на максимальные температуры положительно. Общий климатический отклик лиственницы часто приходится на апрель предыдущего года (по пять хронологий положительно реагируют на минимальные, максимальные и средние температуры и отрицательно – на толщину снежного покрова в этом месяце). Пять хронологий, включая подмосковную, отрицательно коррелируют с давлением на уровне моря в декабре предыдущего года по данным реанализа (рис. 21, *а*). В августе текущего года отклик подмосковной хронологии меняется на положительный (рис. 21, *б*). Эти связи могут быть объяснены различным влиянием циклонального и антициклонального типов погоды на прирост деревьев.

4.1.4. Совместный отклик хвойных пород

Мы рассмотрели отклик всех хронологий по живым деревьям вместе, чтобы понять, на какие климатические параметры сосна, ель и листвен-

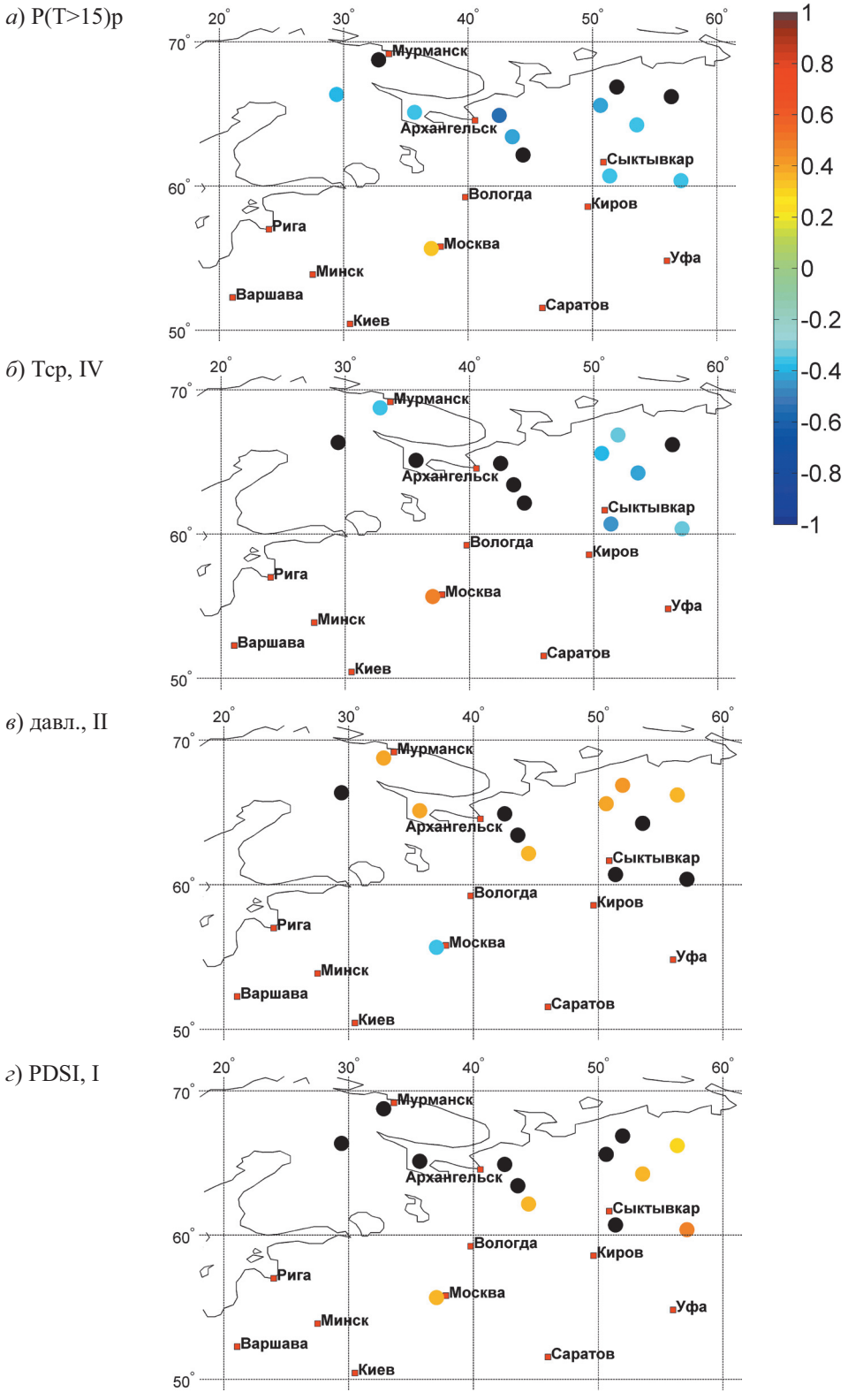


Рис. 19. Значимые корреляции (p = 0,05) остаточных хронологий ели: *а* – с суммой осадков за период, когда температуры > 15 °С в предыдущем году, *б* – со средними температурами в апреле по «архиву 476», *в* – с давлением на уровне моря в феврале (по данным реанализа), *г* – с индексом сухости PDSI в январе. Период 1950–1990 гг. Черные круги – хронологии, корреляции которых с данным параметром незначимы

а) NAO, IX

б) Тср, VI

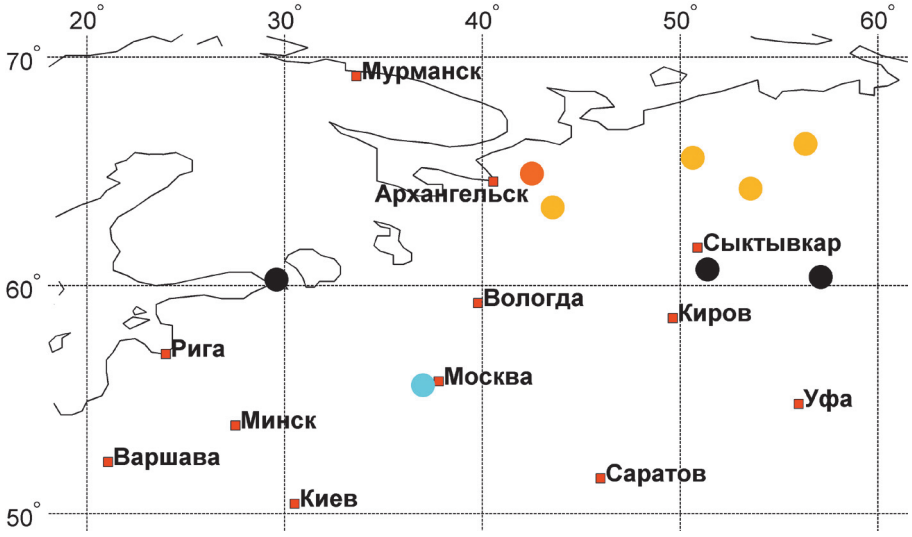


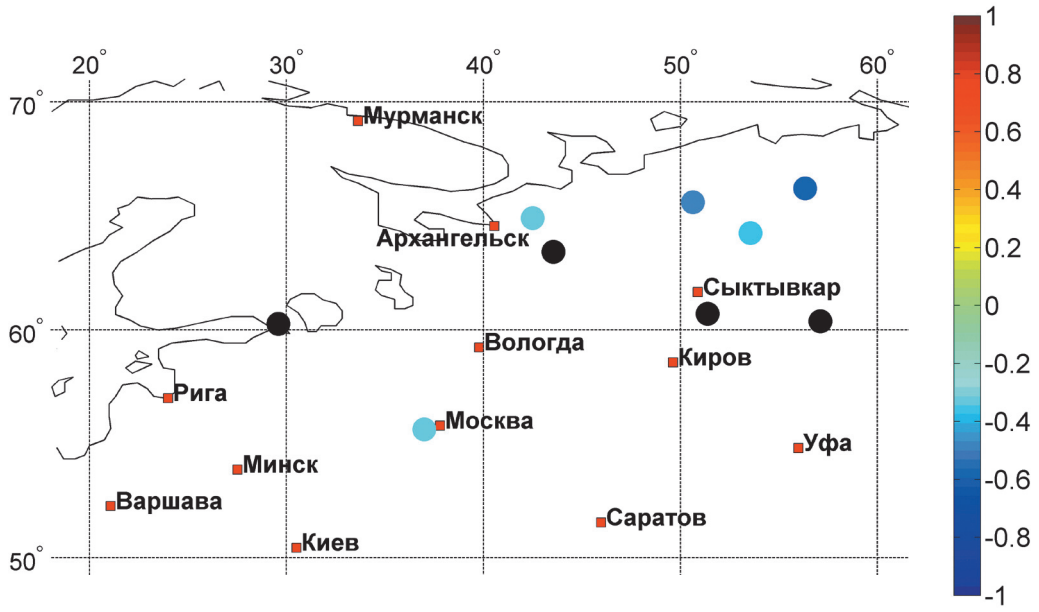
Рис. 20. Значимые корреляции ($p = 0{,}05$) остаточных хронологий лиственницы: *а* – с индексом NAO сентября текущего года, *б* – со средними температурами июня по данным «архива 223». Период 1950–1990 гг. Черные круги – хронологии, корреляции которых с данным параметром незначимы

ница реагируют одинаково. В основном это оказались температуры теплого периода (рис. 22). Самое большое число – 20 из 49 хронологий – положительно реагируют на средние температуры июня–июля (по данным «архива 455» и сеточным данным CRU TS 3.0, рис. 22, *а*). По 19 хронологий положительно коррелируют с суммой температур выше 15 °С (рис. 22, *б*) и с минимальными температурами июня–июля по сеточным данным CRU TS 3.0 (рис. 22, *в*). Двадцать хронологий значимо коррелируют с максимальными температурами июня–июля по сеточным данным CRU TS 3.0 (рис. 22, *г*).

На сумму осадков за период с температурами выше 15 °С положительно реагируют 15 хронологий (рис. 23).

Отрицательный отклик на индекс NAO в сентябре показывают 18 хронологий (рис. 24, *а*), также по 16 хронологий отрицательно реагируют на сумму температур выше 15 °С за предыдущий

а) давл., XII р



б) давл., VIII

Рис. 21. Значимые корреляции (p = 0,05) остаточных хронологий лиственницы с давлением на уровне моря в декабре предыдущего года (*а*) и в августе текущего года (*б*). Данные реанализа, период 1950–1990 гг. Черные круги – хронологии, корреляции которых с данным параметром незначимы

год (рис. 24, *б*) и на средние температуры августа предыдущего года (рис. 24, *в*).

Интересно, что на некоторые климатические параметры в разных районах реагируют разные породы деревьев. Например, с числом дней с заморозками в августе предыдущего года в северо-восточной части исследуемого региона коррелируют хронологии ели, а в юго-западной – хронологии сосны и лиственницы (рис. 25, *а*). То же справедливо для максимальных температур августа предыдущего года (рис. 25, *б*) и для средних температур августа предыдущего года (рис. 24, *в*).

На максимальные температуры апреля предыдущего года положительно реагируют все три исследуемых рода хвойных, но только в северо-восточной части региона (рис. 26, *а*). На минимальные температуры апреля текущего года отрицательно реагируют хронологии в северо-восточной части, но положительно – в юго-западной (рис. 26, *б*).

а) Tср, VI-VII

б) T>15

в) Tмин, VI-VII

г) Tмакс, VI-VII

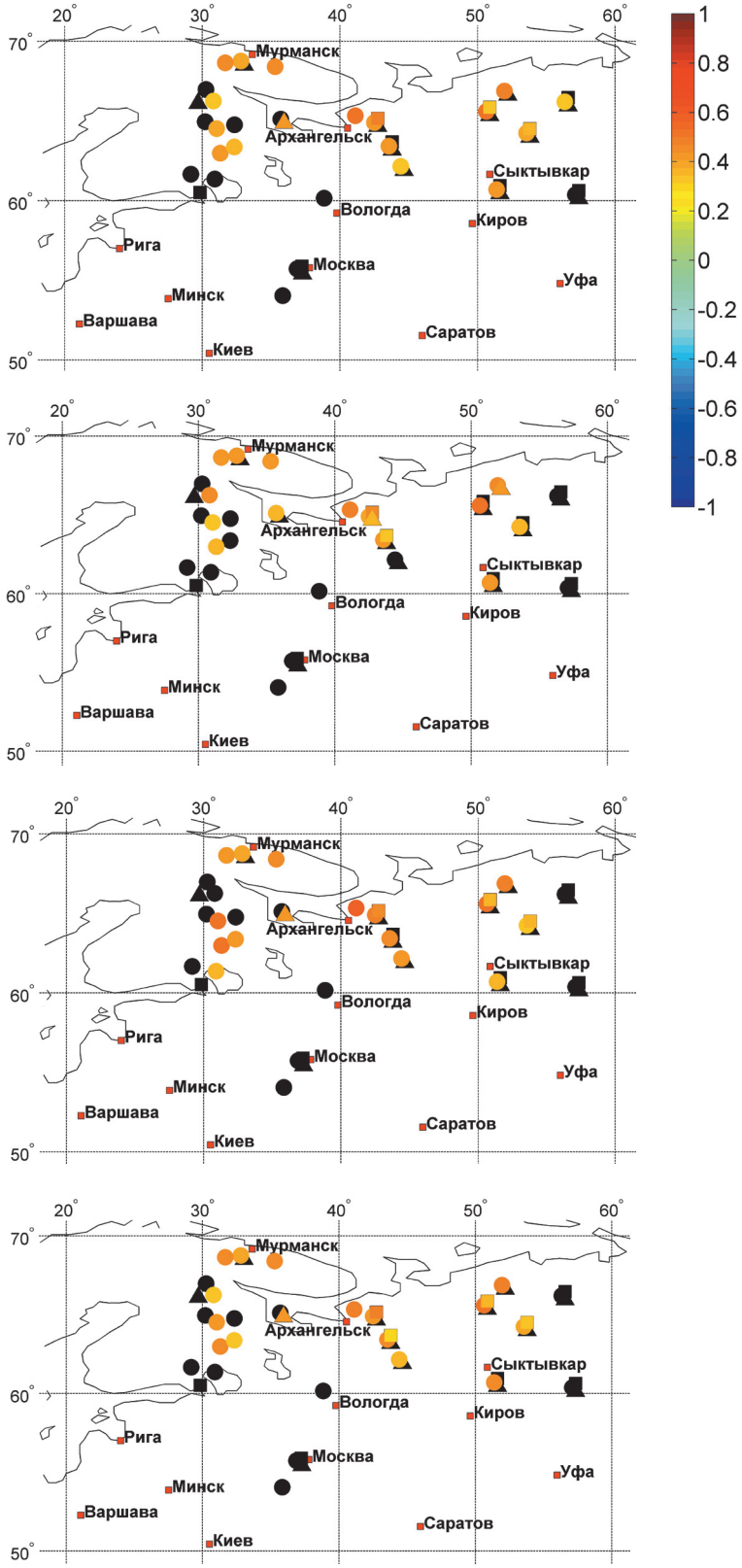


Рис. 22. Значимые корреляции (p = 0,05) остаточных хронологий: *а* – со средними температурами июня–июля, *б* – с суммой температур > 15 °C, *в* – с минимальными температурами июня–июля, *г* – с максимальными температурами июня–июля. Период 1950–1990 гг. Круги – сосна, треугольники – ель, квадраты – лиственница. Черные значки – хронологии, корреляции которых с данным параметром незначимы

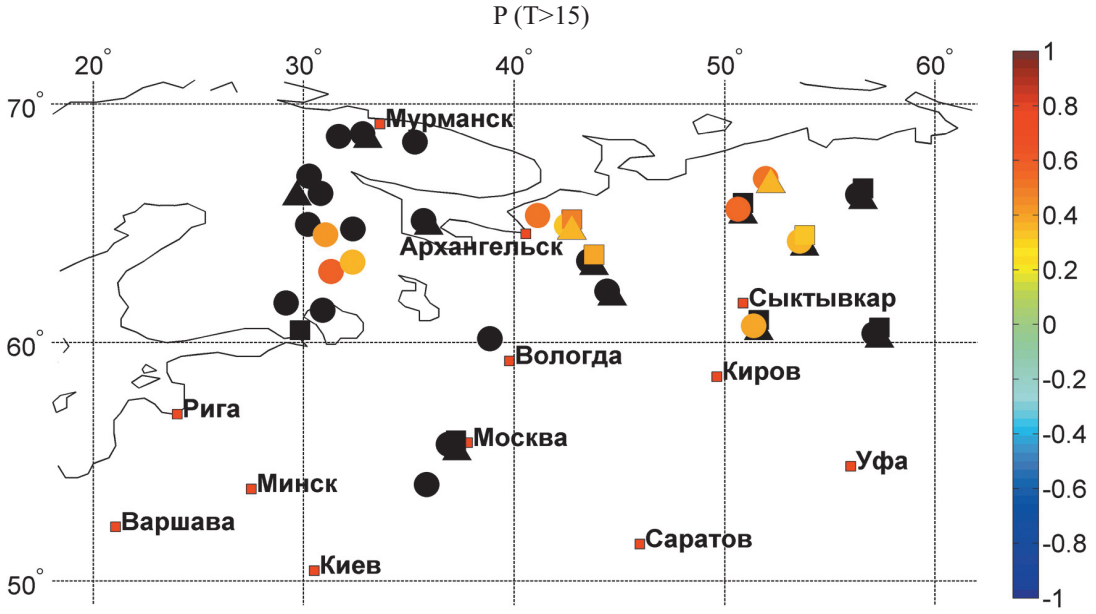


Рис. 23. Значимые корреляции (p = 0,05) остаточных хронологий с суммой осадков за период с суммой температур > 15 °C. Период 1950–1990 гг. Круги – сосна, треугольники – ель, квадраты – лиственница. Черные значки – хронологии, корреляции которых с данным параметром незначимы

Скорее всего все эти различия связаны с разной продолжительностью вегетационного периода в различных районах и для разных пород.

4.2. Корреляции древесно-кольцевых данных с сеточными архивами

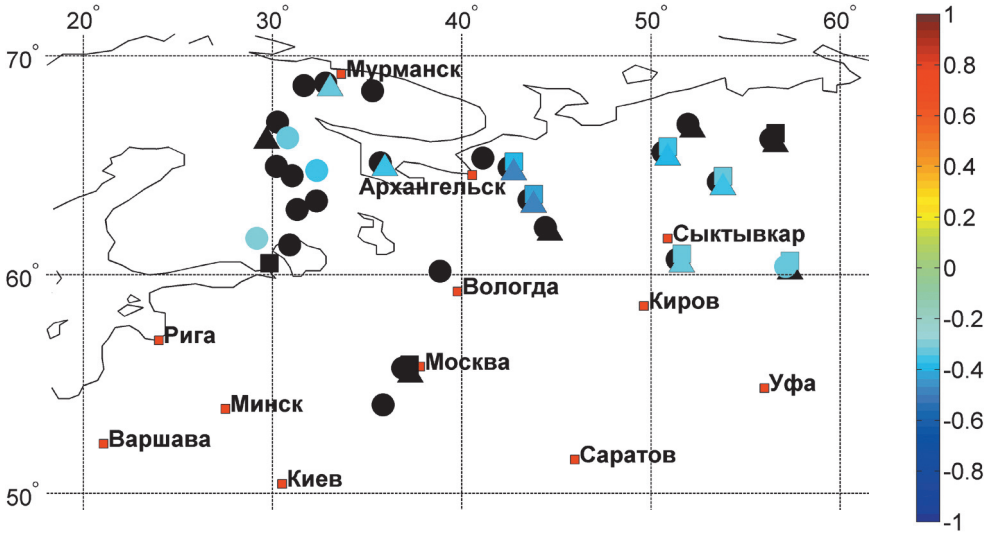
Использование сеточных архивов дополнительно позволило рассмотреть пространственные корреляции поля древесно-кольцевых данных (см. разд. 2.5.1) с полями климатических параметров. Кроме того, все использованные сеточные архивы начинаются не позднее 1901 г. Таким образом, общий период климатических и древесно-кольцевых данных составил уже не 40, а 90 лет: с 1901 по 1990 г. Мы провели корреляционный анализ со всеми девятью параметрами из сеточного архива CRU TS 3.0, с индексом сухости PDSI и с несколькими параметрами реанализа: давлением, толщиной снежного покрова, облачностью, влажностью почв и суммарной транспирацией.

4.2.1. Пространственная корреляция хронологий сосны с климатическими данными

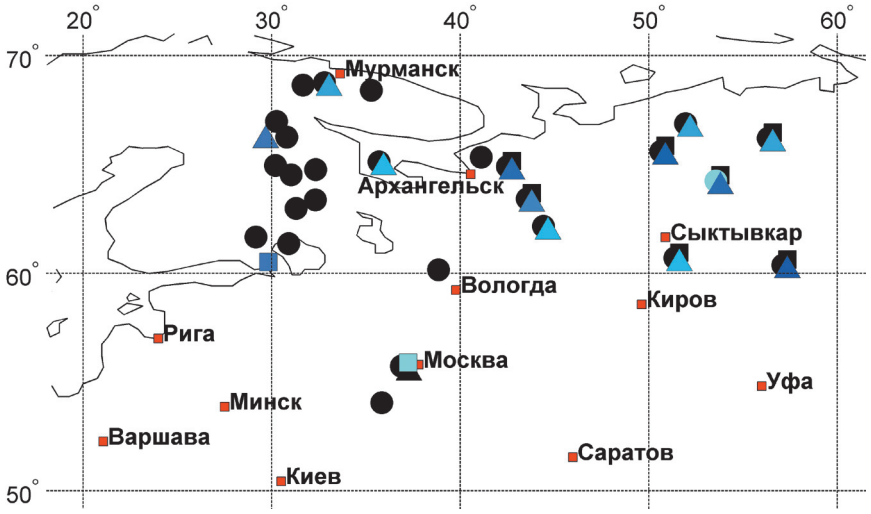
На рис. 27 показаны самые сильные пространственные корреляции поля древесно-кольцевых данных сосны с климатическими параметрами. Фрагменты рис. 27, *г–е* как бы дополняют фрагменты *а–в*, что говорит об изменении климатического отклика в зависимости от широты. В северной части исследуемого региона максимальный отклик ширины колец отмечается на минимальные и средние температуры летнего периода, а в южной – на индекс сухости PDSI, число дней с осадками и их количество.

Другие корреляции, выраженные на обширных пространствах, приведены на рис. 28. Поле древесно-кольцевых данных сосны и на севере и на юге отрицательно коррелирует с частотой заморозков в июле (рис. 28, *а*) и в апреле–сентябре (рис. 28, *б*). Для значительной территории присутствует значимая корреляция с условиями июля предыдущего года: положительная с относительной влажностью (рис. 28, *в*) и отрицательная с суммарной транспирацией (рис. 28, *г*), что согласуется друг с другом. Отрицательные корреляции на севере и положительные на юге прослеживаются для толщины снежного покрова в мае предыдущего года (рис. 28, *д*) и для облачности в июне–июле текущего года по данным реанализа (рис. 28, *е*). Эти параметры также могут косвенно влиять на рост деревьев, так как от глубины снежного покрова зависят количество поступающей в почву влаги при его таянии и глубина промерзания почвы, а облачность влияет на транспирацию и косвенно связана с осадками. Следует заметить, что такой связи древесно-кольцевых данных с об-

а) NAO, IX



б) T>15 р



в) Tср, VIII р

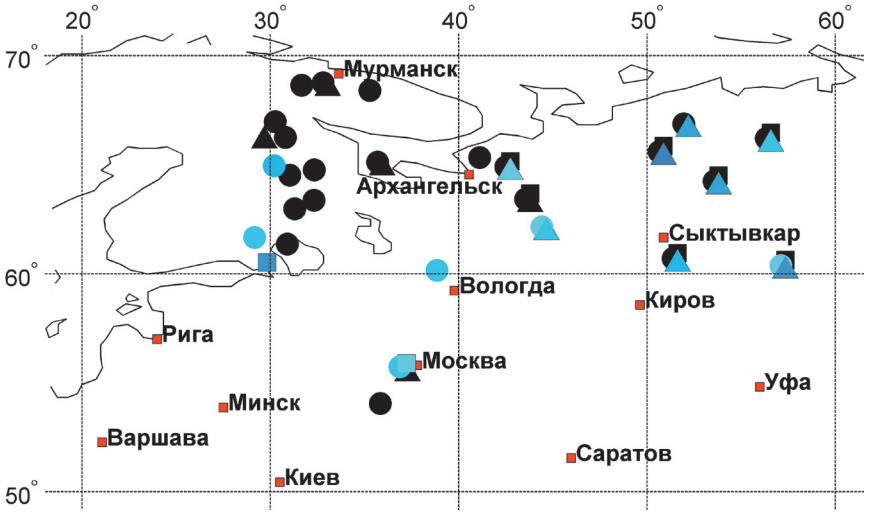
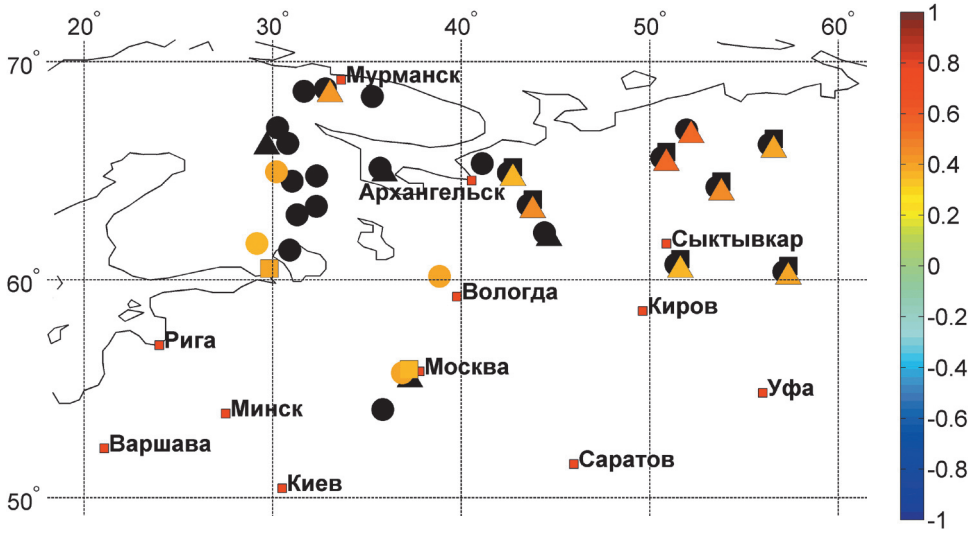


Рис. 24. Значимые корреляции (p = 0,05) остаточных хронологий: *а* – с индексом NAO в сентябре, *б* – с суммой температур > 15 °С за предыдущий год, *в* – со средними температурами августа предыдущего года. Период 1950–1990 гг. Круги – сосна, треугольники – ель, квадраты – лиственница. Черные значки – хронологии, корреляции которых с данным параметром незначимы

а) заморозки., VIII р



б) Тмакс., VIII р

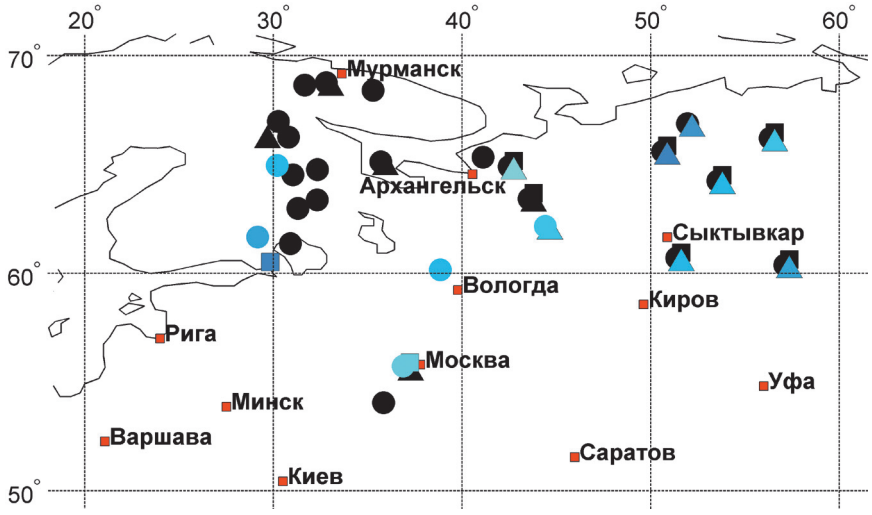


Рис. 25. Значимые корреляции (p = 0,05) остаточных хронологий: *а* – с числом дней с заморозками в августе предыдущего года, *б* – с максимальными температурами августа предыдущего года. Период 1950–1990 гг. Круги – сосна, треугольники – ель, квадраты – лиственница. Черные значки – хронологии, корреляции которых с данным параметром незначимы

лачностью по данным сеточного архива CRU TS 3.0 не наблюдается.

4.2.2. Пространственная корреляция хронологий ели с климатическими данными

На рис. 29 показана пространственная корреляция поля древесно-кольцевых данных ели с климатическими параметрами в июле и августе предыдущего года. Как было показано раньше, климатический отклик в эти месяцы является наиболее сильным. Деревья отрицательно реагируют на минимальные, средние и максимальные температуры и положительно – на число дней с заморозками. Довольно сильная корреляция в июле предыдущего года также прослеживается с относительной влажностью (рис. 30, *а*), облачностью по сеточному архиву CRU TS 3.0 (рис. 30, *б*) и суммарной транспирацией (рис. 30, *в*), причем в тех же районах, в которых есть отрицательная корреляция с температурами. Все эти данные в целом соответствуют друг другу. На рис. 31 показаны другие корреляции, проявляющиеся на значительных территориях: со средними температурами июня–июля (рис. 31, *а*) ель коррелирует аналогично сосне (рис. 27, *в*), то же можно сказать и о корреляции с облачностью в июне–июле по данным реанализа (рис. 31, *б* для ели и рис. 28, *е*

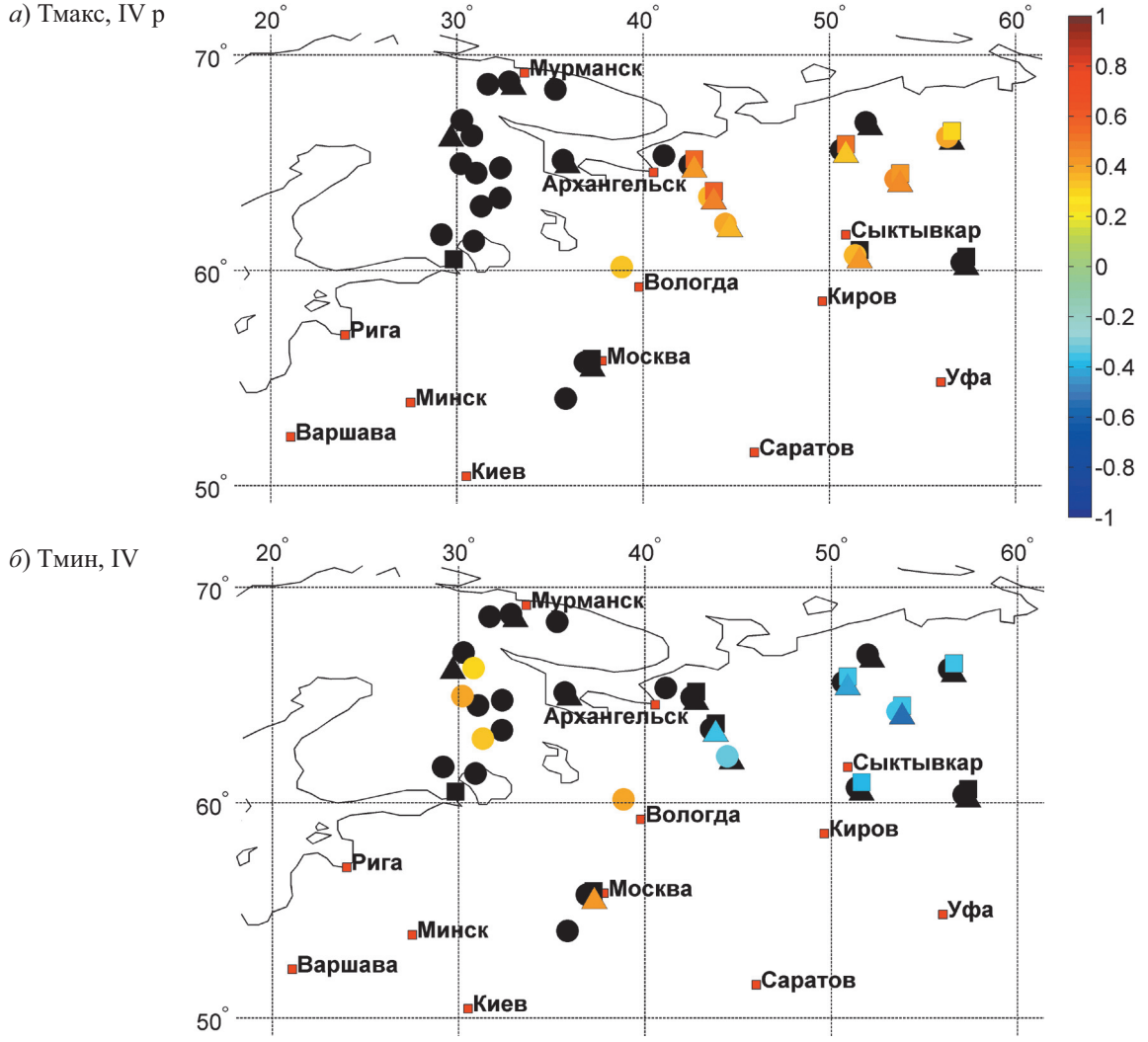


Рис. 26. Значимые корреляции (p = 0,05) остаточных хронологий: *а* – с максимальными температурами апреля предыдущего года, *б* – с минимальными температурами апреля текущего года. Период 1950–1990 гг. Круги – сосна, треугольники – ель, квадраты – лиственница. Черные значки – хронологии, корреляции которых с данным параметром незначимы

для сосны). Интересна положительная корреляция ели с давлением на уровне моря в феврале текущего года в северных районах (рис. 31, *в*).

4.2.3. Пространственная корреляция хронологий лиственницы с климатическими данными

На рис. 32 показаны корреляции поля древесно-кольцевых данных лиственницы с минимальными, средними и максимальными температурами в апреле прошлого года и в мае и июне текущего года. С температурами апреля предыдущего года положительно коррелируют северные хронологии, а также хронология, находящаяся недалеко от Санкт-Петербурга (russ 115, 60,26º с.ш., 29,58º в.д.). В мае текущего года с температурами коррелируют хронологии, находящиеся южнее, а в июне – севернее. Такой переход, видимо, связан с более поздним началом вегетационного периода в северных районах. Северные хронологии также положительно коррелируют с суммарной транспирацией в июне. Подмосковная хронология GOLL с этими параметрами значимо не коррелирует, она будет рассмотрена в разд. 4.3.2 отдельно.

В южной части района исследования поле древесно-кольцевых данных положительно коррелирует с данными относительной влажности в июле предыдущего года, а в юго-западной части – с данными относительной влажности в августе предыдущего года (рис. 33, *а, б*). То же верно для

минимальных, средних и максимальных температур, но корреляции отрицательные (рис. 33, *в–з*). Похожее поведение мы наблюдали для хронологий ели, но в северо-восточной части региона (рис. 29 и 30).

В северо-восточной части региона лиственница значимо коррелирует с толщиной снежного покрова и облачностью (отрицательно) и транспирацией (положительно) в мае предыдущего года по данным реанализа (рис. 34).

Таким образом, так же как и для ели, для роста лиственницы важную роль играют условия предыдущего вегетационного сезона.

4.2.4. Обобщение данных о климатическом сигнале, отраженном в хронологиях хвойных

Приведенные выше результаты анализа показывают, что реакция хвойных деревьев на климатические параметры может быть очень разной. Это не является неожиданностью, так как климатический отклик зависит от многих экофизиологических параметров. Отсюда и неоднозначность отклика, обнаруженная для индивидуальных пробных площадей. Тем не менее в разнообразии связей с климатическими параметрами прослеживаются закономерности, которые показаны в табл. 4. В частности, в северном секторе на 60–69° с.ш. прирост сосны, ели и лиственницы зависит от средней температуры июня и июля. В южном секторе на 54–56° с.ш. сигнал меняется, и ширина колец определяется сочетанием двух факторов – тепла и влаги (осадки, индекс сухости PDSI, относительная влажность). На прирост ели и лиственницы часто оказывают влияние погодные условия предыдущего года, тогда как для сосны они не так важны. Интересно отметить сходство реакции разных хвойных пород на климатические параметры в пределах исследуемого региона. Это является основанием для создания сводных хронологий по хвойным породам в пределах означенных территорий, что крайне важно для палеоклиматологических исследований.

4.3. Изменение климатического отклика древесно-кольцевых хронологий во времени

Изменчивость климатического отклика древесно-кольцевых хронологий во времени интересна как с точки зрения экологии растений, так и для палеоклиматологии. Для получения надежной реконструкции климатических параметров желательно убедиться в стабильности климатического отклика либо четко понимать причины его изменения. В этом разделе мы рассмотрим изменение во времени климатического отклика древесно-кольцевых хронологий в районе исследования.

4.3.1. Изменение отклика на сеточные данные

На рис. 35 показана пространственная корреляция полей древесно-кольцевых данных со средними температурами июня–июля для трех 30-летних периодов: 1901–1930, 1931–1960 и 1961–1990 гг.

Таблица 4

Основные факторы, влияющие на прирост хвойных пород. Римскими цифрами обозначены месяцы, буквой *p* обозначены параметры предыдущего года (относительно года прироста)

Район	Знак отклика	Сосна	Ель	Лиственница
Север ЕТР	+	T средн, VI-VII T мин, V-VIII T макс, VI-VII	T средн, VI-VII Отн. влажн., VIp Заморозки, VIIp Давление, II	T средн, VI T мин, VI
Север ЕТР	–	Облачность, VI-VII Транспирация, VIIp	T > 10 p T мин, VIp P(T>15) p	NAO, IX
Центр ЕТР	+	Осадки, VI-VII PDSI, VI-VII	Осадки, Xp-III PDSI, VII	Осадки, VI Отн. влажн., VIIp, VIIIp
Центр ЕТР	–		T средн, VI-VII	T средн, VIIp, VIIIp
Везде	+	T средн, Xp – IX T мин, Xp – IX	PDSI, I	
Везде	–	Заморозки, IV-IX	T мин, VIIIp	Давление, XIIp

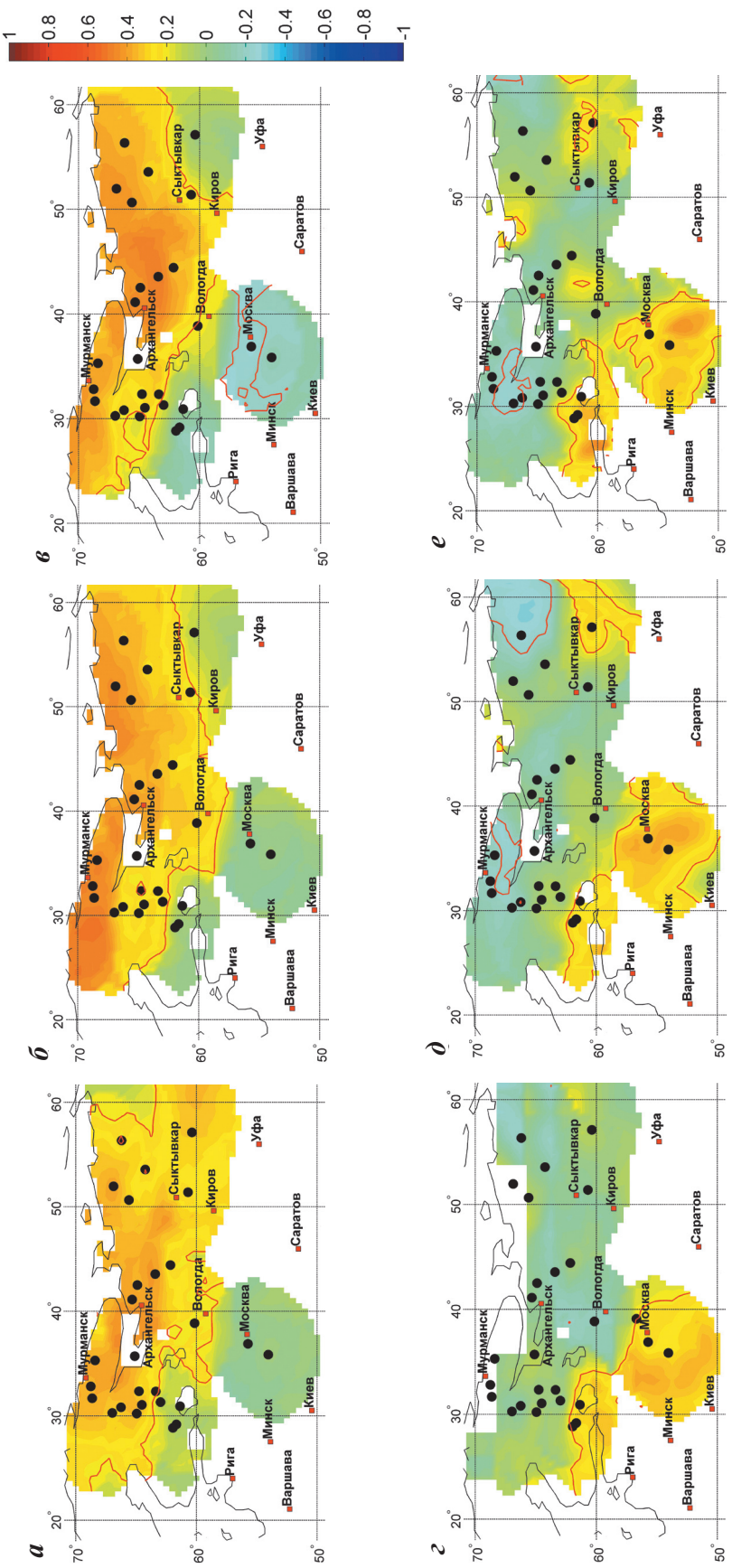


Рис. 27. Пространственные корреляции поля древесно-кольцевых данных сосны и *а*) минимальных температур мая–августа, *б*) средних температур июля, *в*) средних температур июня–июля, *г*) индекса сухости PDSI июня–июля, *д*) числа дней с осадками в июне–июле, *е*) количества осадков в июне–июле. Красным контуром показана граница значимых корреляций ($p = 0{,}05$). Период 1901–1990 гг. Черные круги – расположение древесно-кольцевых хронологий

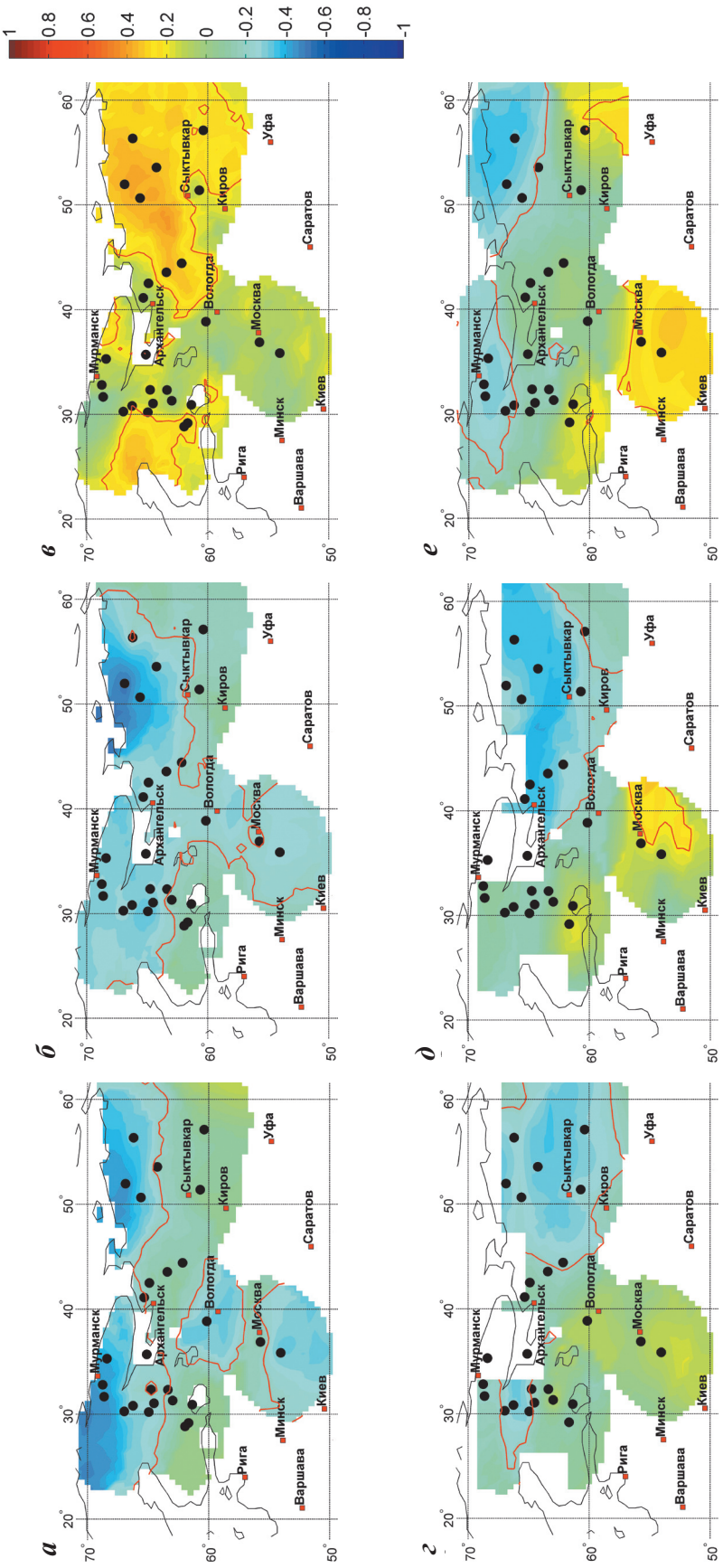


Рис. 28. Пространственные корреляции поля древесно-кольцевых данных сосны и *а*) числа дней с заморозками в июле, *б*) числа дней с заморозками в апреле–сентябре, *в*) относительной влажности в июле предыдущего года, *г*) суммарной транспирации в июле предыдущего года, *д*) глубины снежного покрова в мае предыдущего года, *е*) облачности в июне–июле (по данным реанализа). Красным контуром показана граница значимых корреляций ($p = 0{,}05$). Период 1901–1990 гг. Черные круги – расположение древесно-кольцевых хронологий

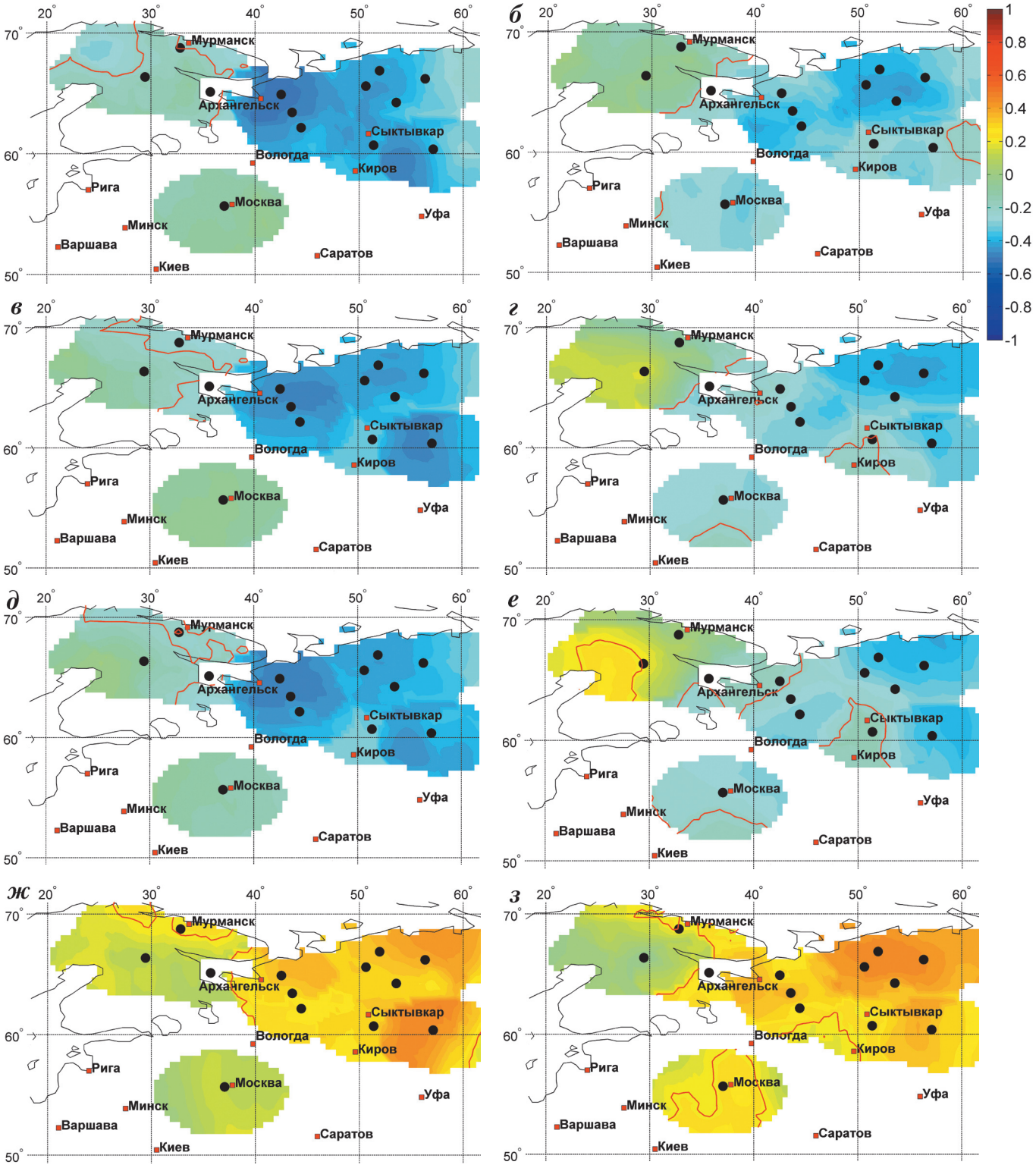


Рис. 29. Пространственные корреляции поля древесно-кольцевых данных ели и *а*) минимальных температур, *в*) средних температур, *д*) максимальных температур, *ж*) числа дней с заморозками в июле предыдущего года; *б*, *г*, *е*, *з*) этих же параметров в августе предыдущего года. Красным контуром показана граница значимых корреляций (p = 0,05). Период 1901–1990 гг. Черные круги – расположение древесно-кольцевых хронологий

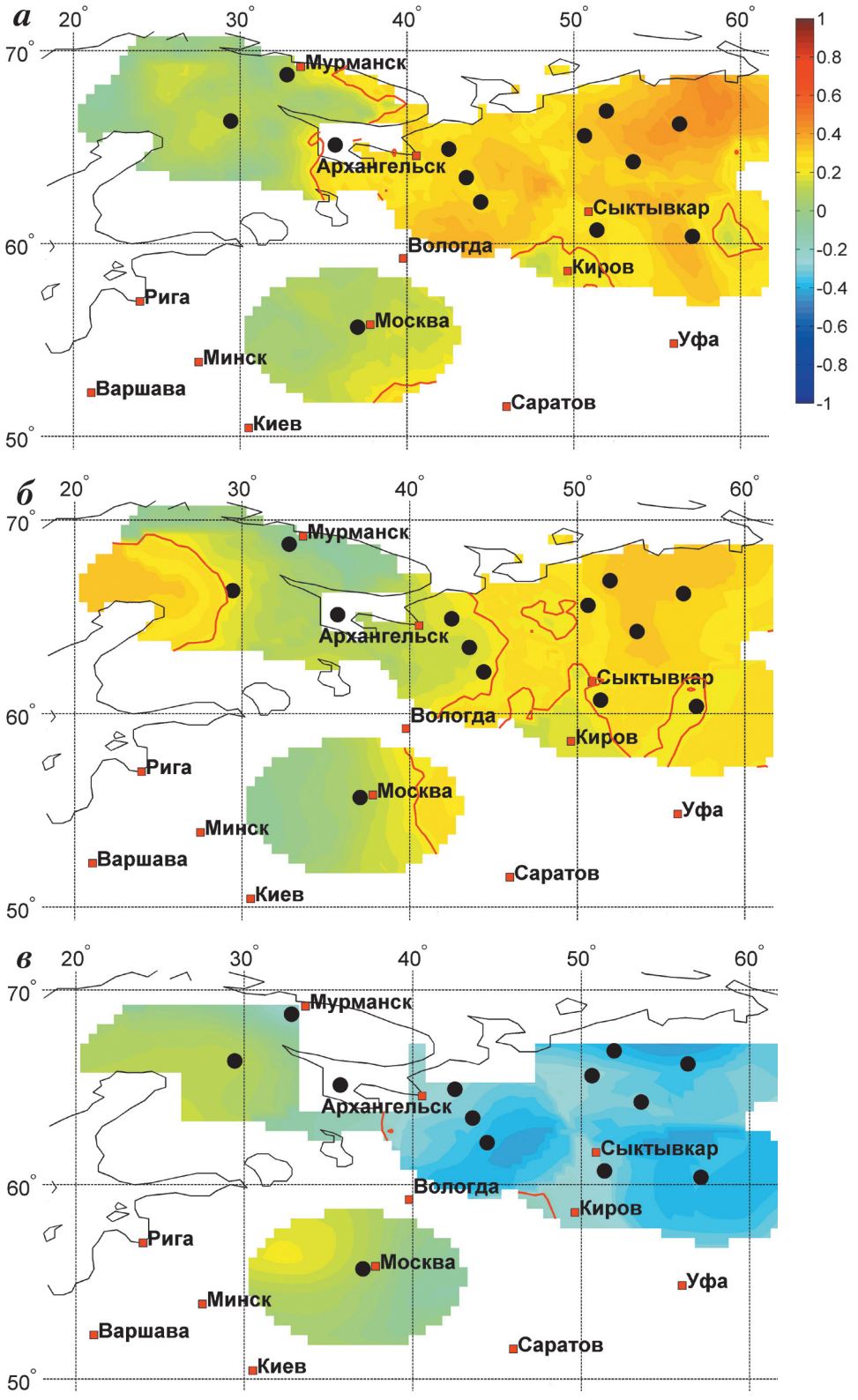


Рис. 30. Пространственные корреляции поля древесно-кольцевых данных ели и *а*) относительной влажности, *б*) облачности по данным архива CRU TS 3.0, *в*) суммарной транспирации в июле предыдущего года. Красным контуром показана граница значимых корреляций ($p = 0{,}05$). Период 1901–1990 гг. Черные круги – расположение древесно-кольцевых хронологий

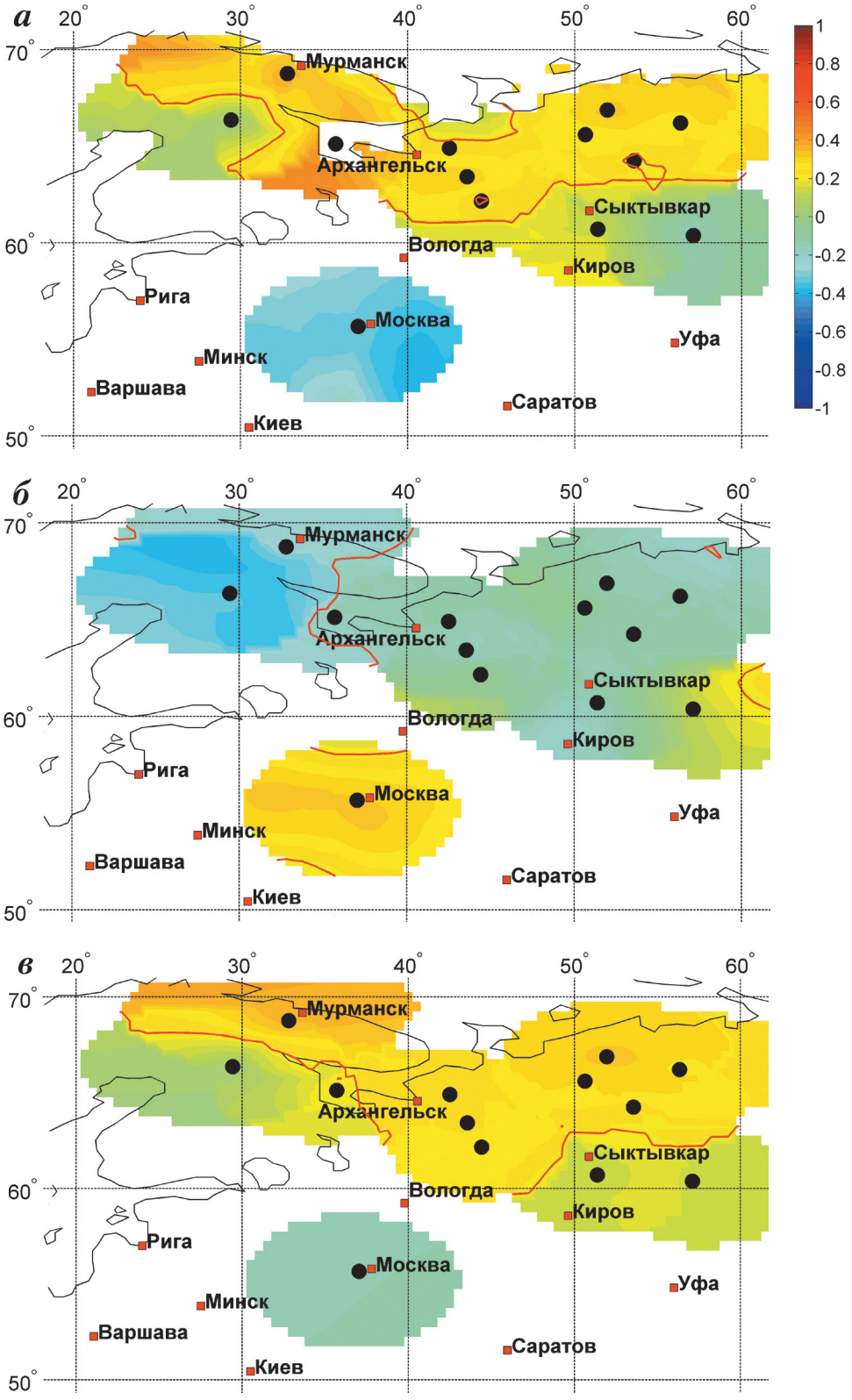


Рис. 31. Пространственные корреляции поля древесно-кольцевых данных ели и *а*) средних температур июня–июля, *б*) облачности в июне–июле по данным реанализа, *в*) давления на уровне моря в феврале. Красным контуром показана граница значимых корреляций (p = 0,05). Период 1901–1990 гг. Черные круги – расположение древесно-кольцевых хронологий

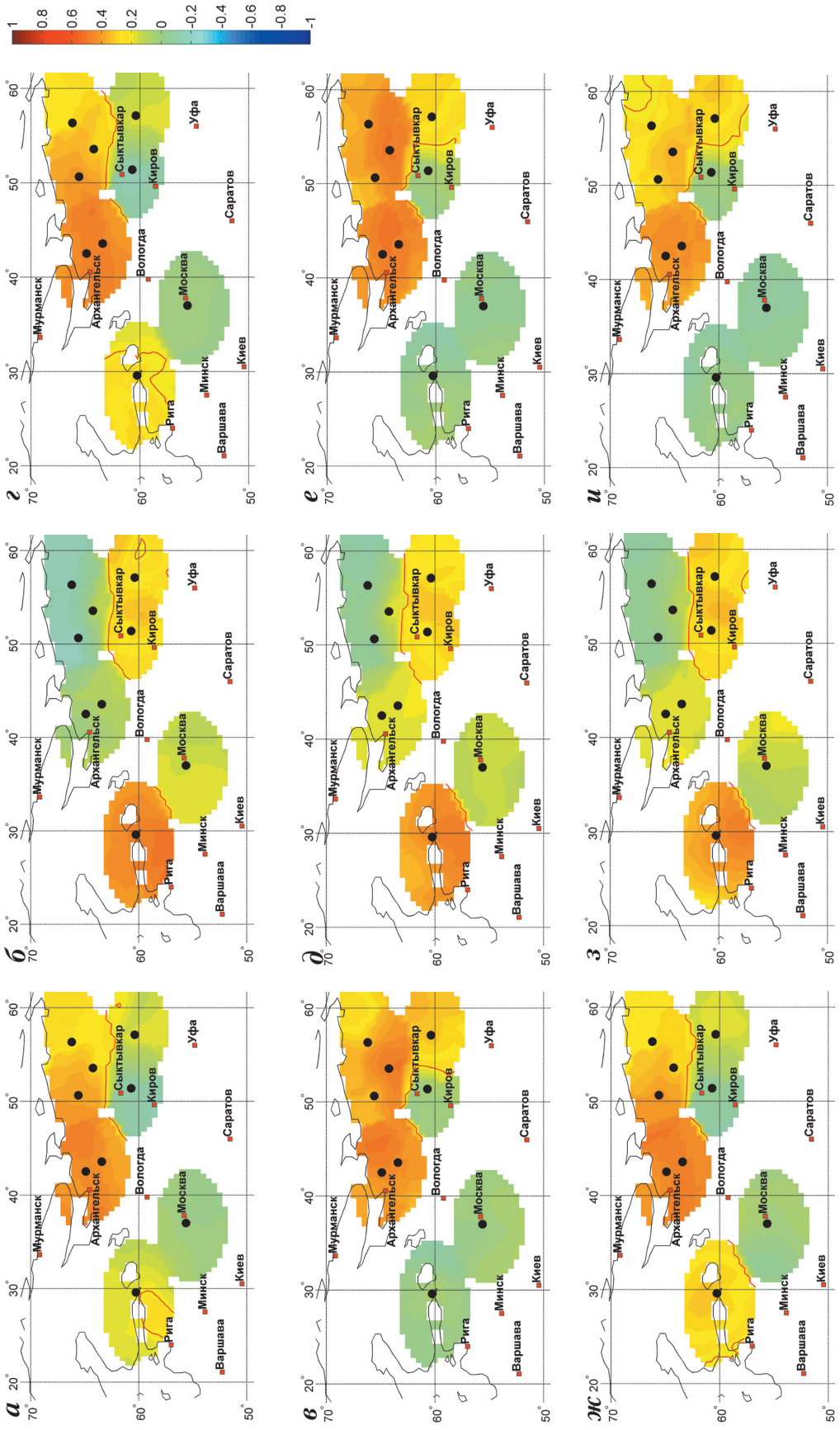


Рис. 32. Пространственные корреляции поля древесно-кольцевых данных лиственницы и минимальных температур: *а* – апреля предыдущего года, *б* – мая текущего года, *в* – июня текущего года; *г–е* – то же самое для средних температур; *ж–и* – то же для максимальных температур. Красным контуром показана граница значимых корреляций ($p = 0{,}05$). Период 1901–1990 гг. Черные круги – расположение древесно-кольцевых хронологий

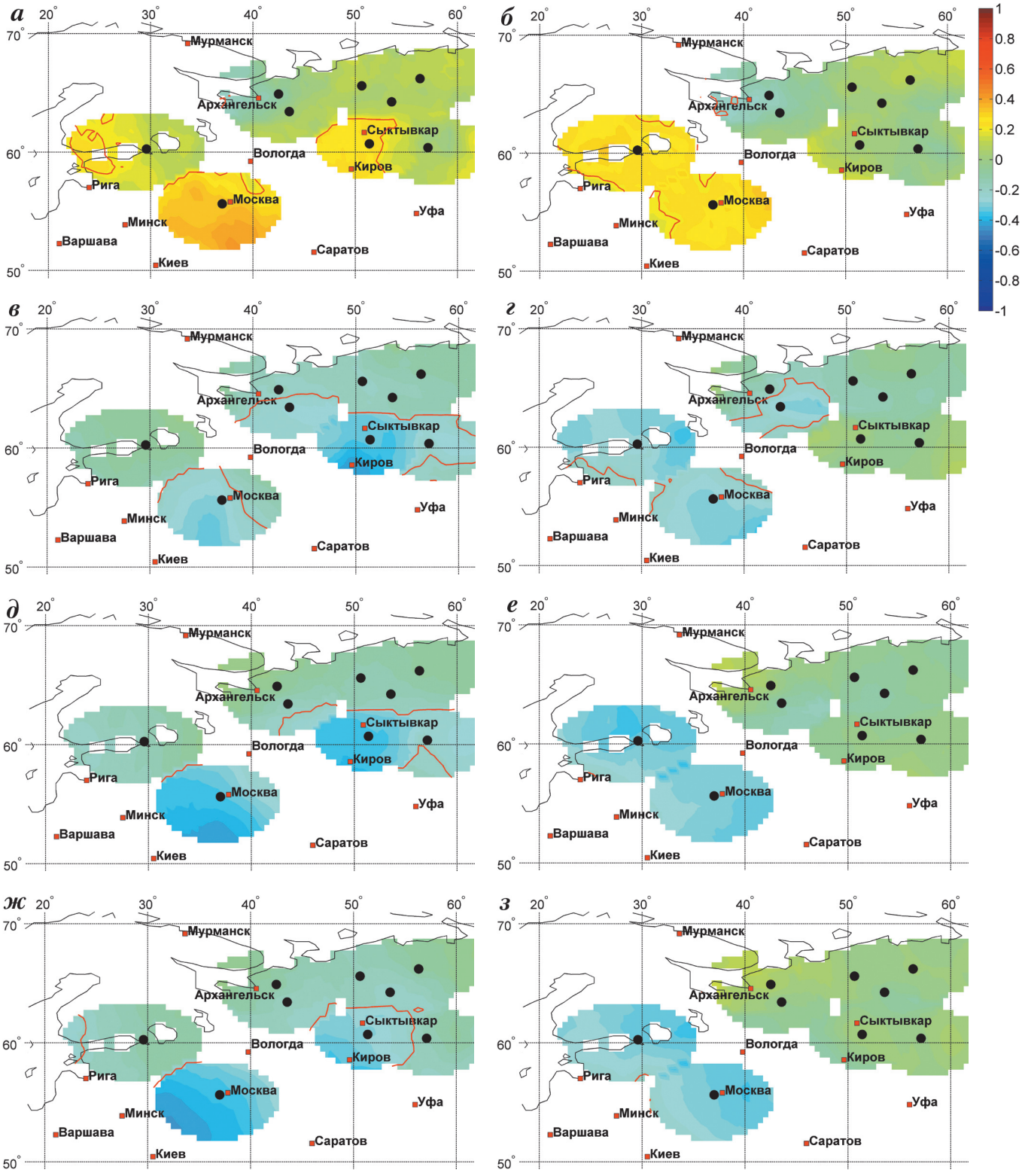


Рис. 33. Пространственные корреляции поля древесно-кольцевых данных лиственницы и относительной влажности: *а* – июля предыдущего года, *б* – августа предыдущего года; *в, г* – то же для минимальных температур; *д, е* – то же для средних температур; *ж, з* – то же для максимальных температур. Красным контуром показана граница значимых корреляций (p = 0,05). Период 1901–1990 гг. Черные круги – расположение древесно-кольцевых хронологий

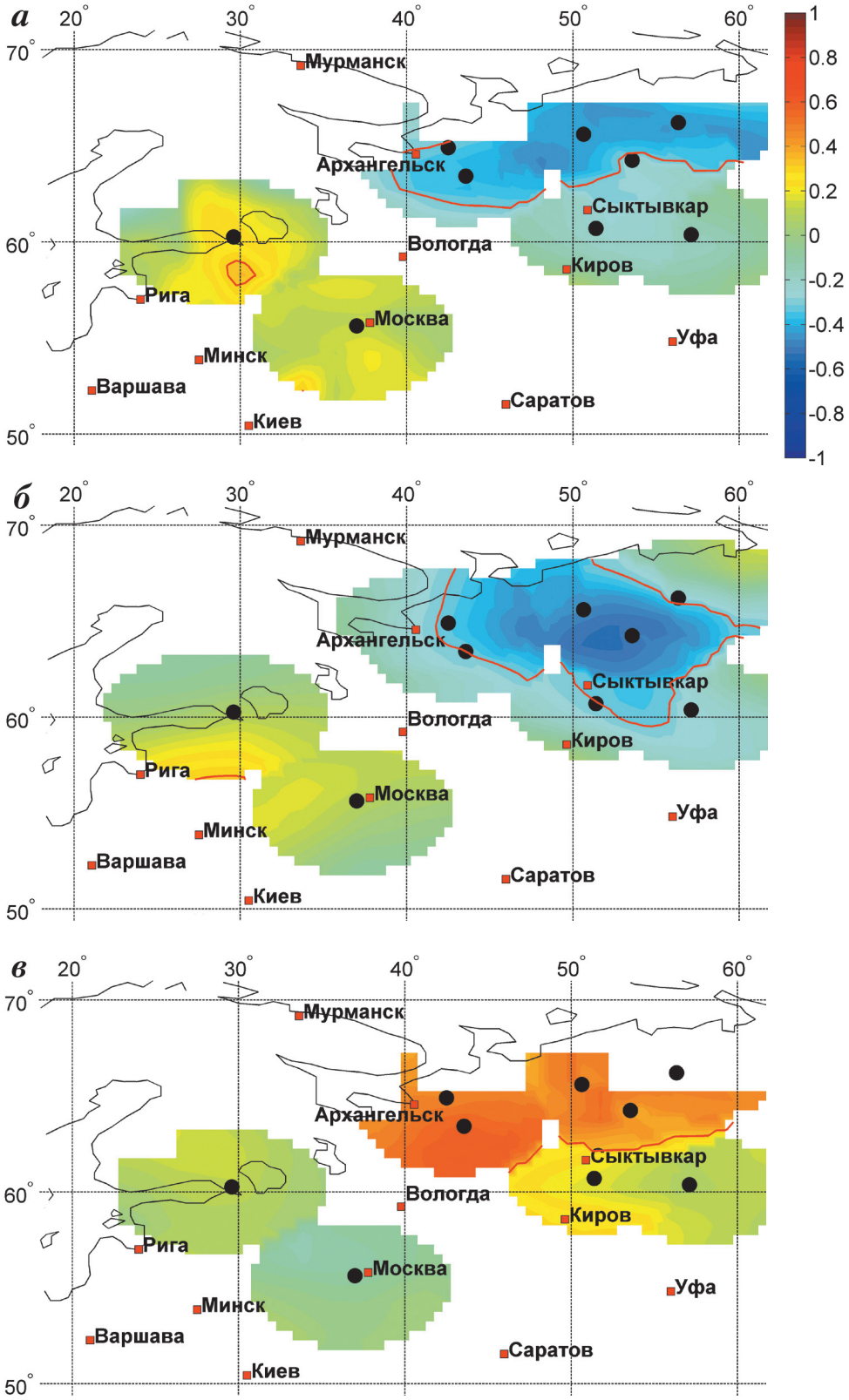


Рис. 34. Пространственные корреляции поля древесно-кольцевых данных лиственницы и *а* – толщины снежного покрова, *б* – облачности, *в* – транспирации мая предыдущего года. Красным контуром показана граница значимых корреляций (p = 0,05). Период 1901–1990 гг. Черные круги – расположение древесно-кольцевых хронологий

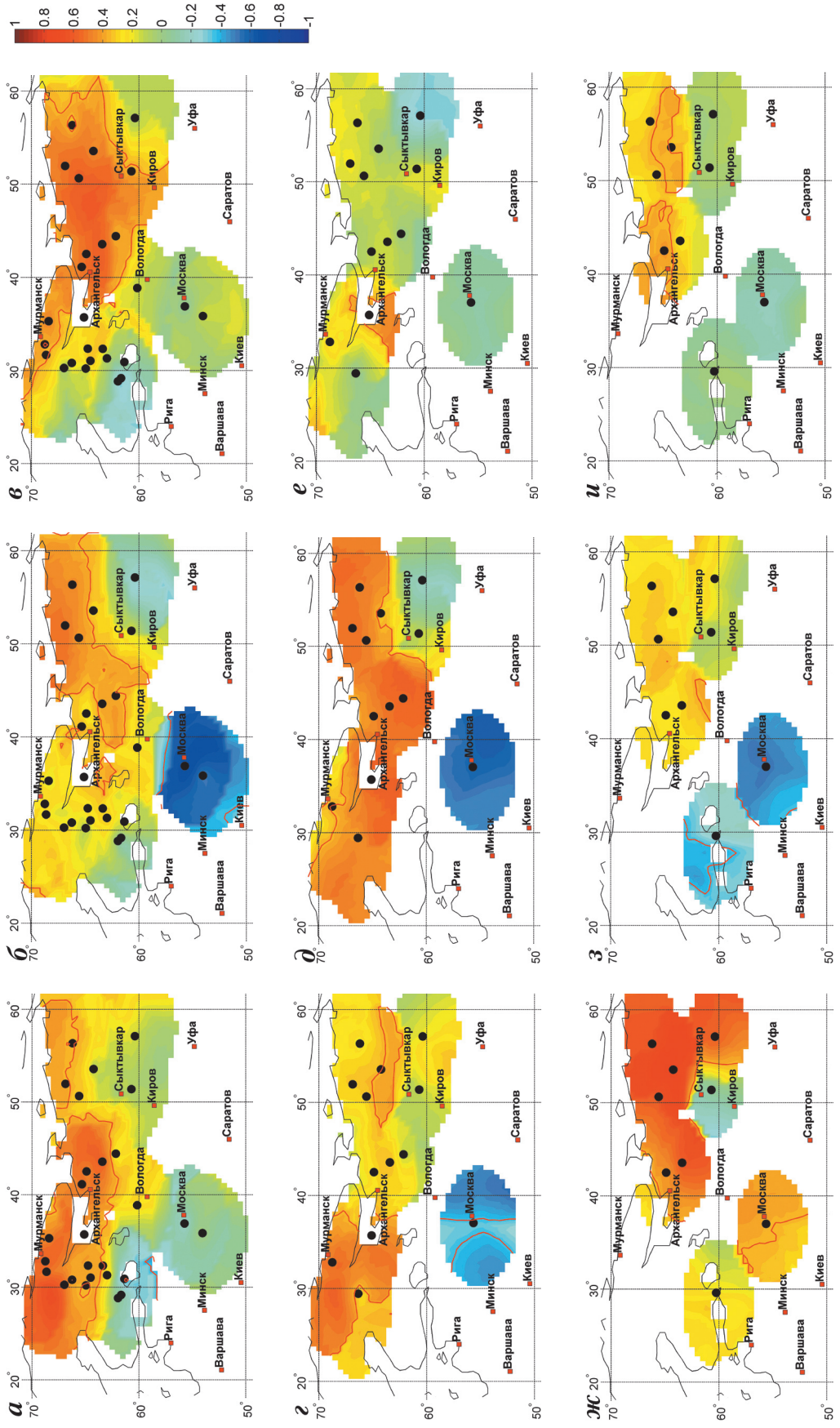


Рис. 35. Изменение отклика древесно-кольцевых данных на средние температуры июня–июля во времени: *а–в* – сосна, *г–е* – ель, *ж–и* – лиственница; *а, г, ж* – период 1901–1930 гг.; *б, д, з* – период 1931–1960 гг.; *в, е, и* – период 1961–1990 гг. Красным контуром показана граница значимых корреляций ($p = 0{,}05$). Черные круги – расположение древесно-кольцевых хронологий

Отклик сосны чуть слабее во втором периоде, в первом периоде он сильнее в западной части, а в третьем – в восточной. Отклик ели самый сильный во второй период, а в третий период значимый отклик присутствует только в Соловецкой хронологии. Отклик лиственницы сильнее всего в первый период, в третий слабее, а во второй – для северных хронологий вообще незначим.

На рис. 36 для каждого рода деревьев приведены пространственные корреляции на трех 30-летних периодах с теми параметрами, с которыми они имеют наилучшие корреляции в период 1901–1990 гг. Отклик сосны на среднюю температуру июля ослабевает от первого к третьему периоду, но остается значимым на обширной территории. Отрицательный отклик ели на среднюю температуру июля предыдущего года немного ослабевает во втором периоде, а в третьем он максимальный. Отклик лиственницы на среднюю температуру июня ослабевает от первого к третьему периоду, в третьем он значим на небольшой территории.

В целом климатический отклик деревьев в той или иной степени изменяется, причем как в сторону усиления реакции на климатические параметры, так и в сторону ослабления. Можно говорить не только об изменении климатического отклика в последние десятилетия, но и вообще об отсутствии стабильности за период инструментальных наблюдений. Связи даже с теми климатическими параметрами, на которые откликается большинство хронологий, изменяются в пространстве и времени. Лишь для нескольких северных хронологий по ширине годичных колец сосны и лиственницы сохраняется значимый отклик на летние температуры для всех рассмотренных временных интервалов.

4.3.2. Изменение во времени отклика хронологий, охватывающих начало XXI в.

Мы отдельно рассмотрели отклик хронологий, полученных в лаборатории дендрохронологии ИГ РАН в последние годы, так как все они заканчиваются после 2007 г., что позволяет проследить изменение отклика в недавнее время.

Соловецкие острова. Хронология сосны PDB. Ближайшей метеостанцией к площадке отбора образцов для хронологии сосны PDB является метеостанция Кемь (код ВМО 22520). Данные среднемесячных температур и осадков на ней доступны с 1891 по 2006 г. Ежедневные данные, по которым были получены минимальные и максимальные месячные температуры и агроклиматические характеристики, доступны с 1916 по 2006 г.

Самые сильные корреляции остаточной хронологии PDB за весь период с метеоданными наблюдаются для минимальных температур апреля–сентября, максимальных температур за гидрологический год, средних температур мая–августа и суммы температур выше 0 °С (рис. 37). Период стабильного положительного отклика на летние температуры для этой хронологии приходится на 1910–1975 гг. Примерно до 1940 г. длится период отрицательного отклика на осадки июня–июля. После него идет период стабильного положительного отклика на индекс сухости PDSI с апреля предыдущего года по апрель текущего года – он приходится на 1955–2004 гг. Скорее всего это изменение связано с резким уменьшением осадков в летние месяцы после 1937 г., наблюдаемым на метеостанции Кемь. В последние 30-33 года (1980–2011 гг.) снова появляется значимый отклик на суммы температур выше 0, 5, 10 и 15 °С.

Соловецкие острова. Хронология ели PDEL. Площадка этой хронологии находится рядом с площадкой PDB, так что для нее тоже использовались ряды метеостанции Кемь. Самые сильные корреляции остаточной хронологии PDEL за весь период с метеоданными отмечены для максимальных и средних температур июня (рис. 38). Сильные отрицательные корреляции наблюдаются со средними температурами июня предыдущего года и с максимальными, минимальными и средними температурами февраля. Также хронология отрицательно коррелирует с суммой температур выше 10 °С в предыдущем году. В целом эти связи довольно стабильны во времени, но усиление корреляций с прошлым годом в основном соответствует ослаблению корреляций с текущим годом. Особенно хорошо это видно по агроклиматическим характеристикам.

В статье Н.В. Ловелиуса и А.Н. Соболева [2010] приведены результаты анализа связи прироста сосны и ели на Соловецких островах с температурами и осадками. Анализ проведен с помощью метода климаграмм, отображающих средние климатические параметры в годы повышенного и пониженного прироста. Этот метод позволяет получить качественные, а не количественные выводы о связи приростов с климатическими параметрами. Наши выводы сходны с выводами Н.В. Ловелиуса и А.Н. Соболева только в отношении положительного влияния летних температур на прирост ели. Их выводы об отрицательном влиянии на прирост

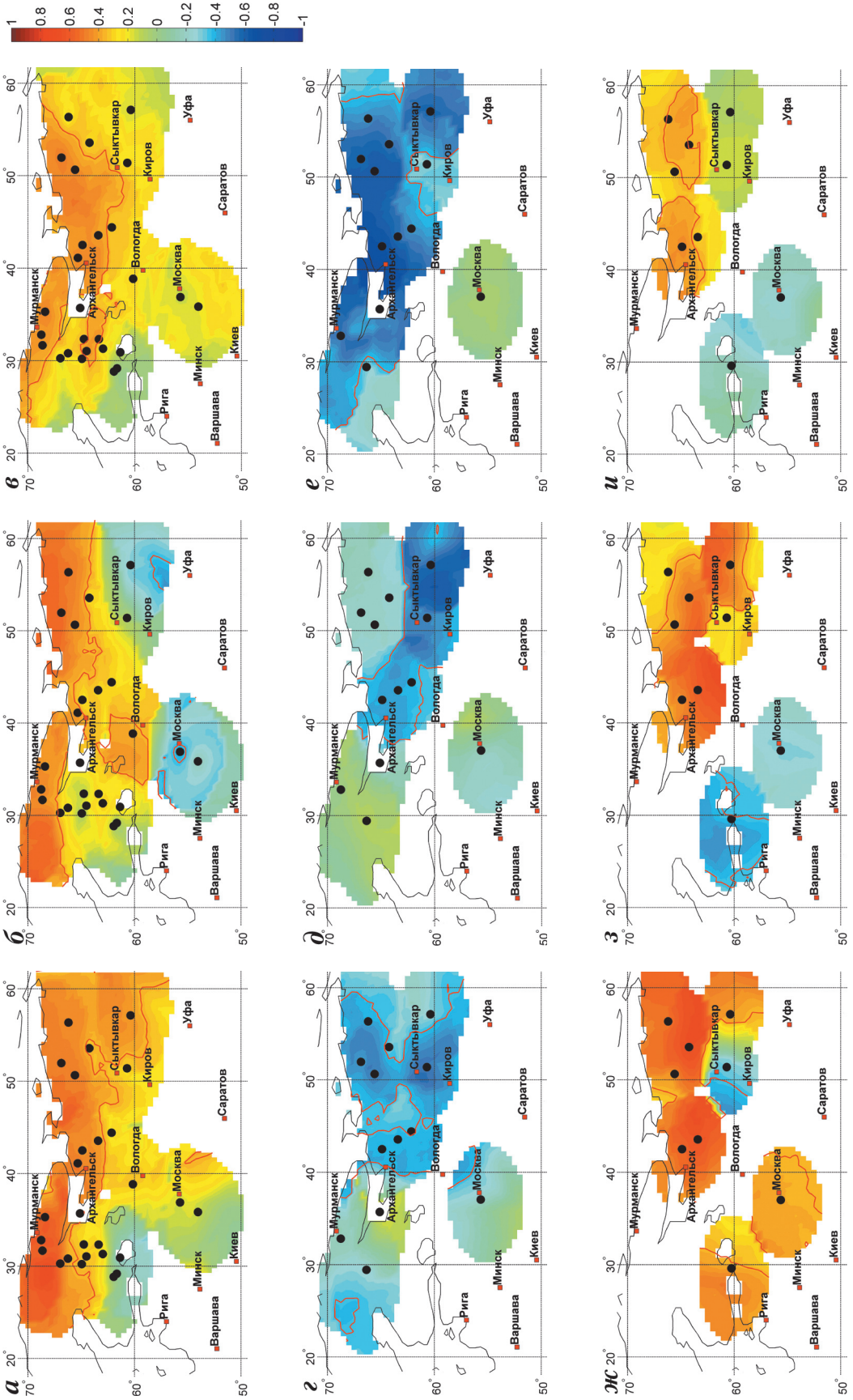


Рис. 36. Изменение отклика древесно-кольцевых данных во времени: *а–в* – сосна и средние температуры июля; *г–е* – ель и минимальные температуры июля предыдущего года, *ж–и* – лиственница и средние температуры июня; *а, г, ж* – период 1901–1930 гг.; *б, д, з* – период 1931–1960 гг.; *в, е, и* – период 1961–1990 гг. Красным контуром показана граница значимых корреляций ($p = 0{,}05$). Черные круги – расположение древесно-кольцевых хронологий

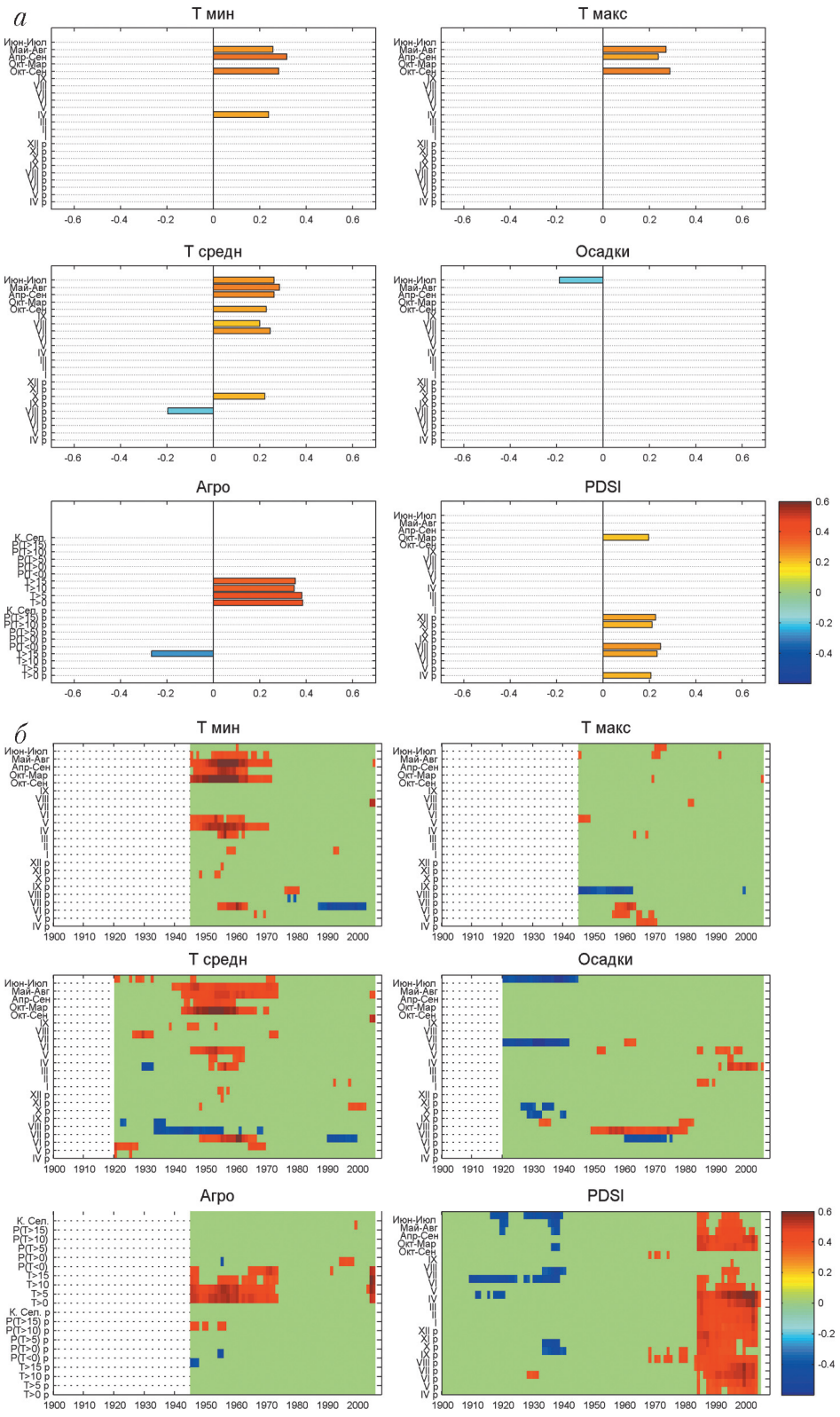


Рис. 37. Климатический отклик остаточной хронологии PDB за весь период с климатическими данными: *а* – значение корреляций хронологии с климатическими параметрами, *б* – корреляции в скользящем окне шириной 30 лет. Год на оси соответствует последнему году в окне. Обозначены только значимые корреляции ($p = 0{,}05$)

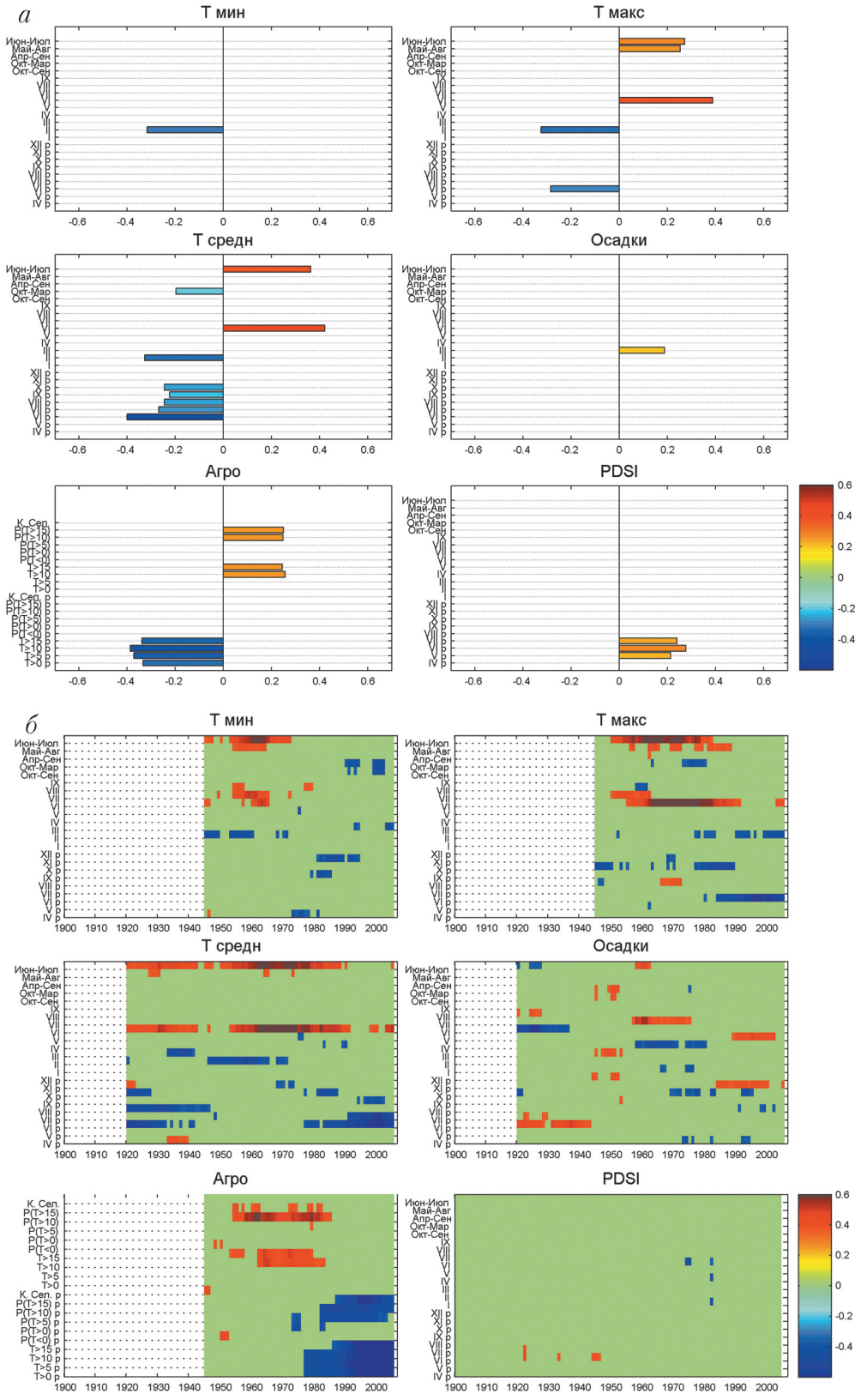


Рис. 38. Климатический отклик остаточной хронологии PDEL за весь период с климатическими данными: *а* – значение корреляций хронологии с климатическими параметрами, *б* – корреляции в скользящем окне шириной 30 лет. Год на оси соответствует последнему году в окне. Обозначены только значимые корреляции (p = 0,05)

сосны повышенных температур летом и пониженных температур зимой не подтверждаются нашим исследованием. Также нашим исследованием не подтверждаются выводы о заметном влиянии осадков на прирост сосны и ели в этом регионе. Различие выводов может быть связано с использованием разных методов анализа.

Вологодская область. Хронология сосны KOV. Площадка отбора образцов находится примерно на равном расстоянии от метеостанций Вологда (код ВМО 27037) и Вытегра (код ВМО 22837), но корреляции с метеостанцией Вытегра в среднем выше. Данные о среднемесячных температурах и осадках на станции Вытегра доступны с 1886 по 2007 г. и с 1902 по 2007 г. соответственно. Ежедневные данные, по которым были получены минимальные и максимальные месячные температуры и агроклиматические характеристики доступны с 1881 по 2008 г.

Самый сильный климатический отклик остаточной хронологии KOV за весь период наблюдается на минимальные и средние температуры июля, а также на индекс сухости PDSI апреля предыдущего года (отрицательный) (рис. 39). Самые стабильные корреляции – с минимальными температурами апреля–сентября (с 1905 по 1990 г. с небольшим перерывом) и индексом сухости PDSI с апреля по июль предыдущего года (с 1910 по 1980 г. с перерывами). В целом отклик довольно нестабилен, отклик на суммы температур выше 0 и 5 °С вообще меняется на противоположный.

Московская область. Хронология сосны ZVE. Ближайшей метеостанцией к площадкам отбора образцов для подмосковных хронологий сосны ZVE, ели VYAZ и лиственницы GOLL является метеостанция Москва (код ВМО 27612). Данные о среднемесячных температурах и осадках на ней доступны с 1891 по 2007 г. и с 1939 по 2007 г. соответственно. Ежедневные данные, по которым были получены минимальные и максимальные месячные температуры и агроклиматические характеристики, доступны с 1948 по 2008 г.

Длина рядов по максимальной, минимальной температуре и агроклиматическим характеристикам, таким образом, составляет всего 60 лет. Самые сильные корреляции остаточной хронологии ZVE с этими рядами присутствуют для минимальных температур декабря предыдущего года, максимальных температур октября–марта (рис. 40). Более интересны значимые корреляции с длинными рядами: положительная – со средней температурой декабря прошлого года и осадками февраля и марта, отрицательная – со средней температурой июня. Самая сильная корреляция с индексом сухости PDSI приходится на июль. Она же и самая стабильная – эта связь оставалась значимой с 1890 по 1970 г.

В 1940-е – 1970-е гг. происходят резкие изменения: на смену отрицательному отклику на температуру июня и июля приходит положительный отклик на температуры мая. В это же время большее значение приобретает индекс сухости января–апреля текущего года. С 1940 г. стабильно присутствует значимый положительный отклик на осадки конца зимы – начала весны, с переходом от марта к февралю. Скорее всего, эти изменения связаны с положительными трендами температур и осадков в этом регионе и в связи с этим более ранним началом вегетационного сезона.

Московская область. Хронология ели VYAZ. Климатический отклик хронологий ели VYAZ и сосны ZVE, а также его изменения очень похожи. Самые сильные корреляции остаточной хронологии VYAZ с рядами, полученными по ежедневным данным «архива 223», отмечаются для минимальных температур октября–марта и апреля, максимальных температур октября–марта, сумм температур выше 0 °С (рис. 41). Присутствует высокая положительная корреляция с осадками октября–марта, и отрицательная – со средней температурой июня–июля. Самая сильная корреляция с индексом сухости PDSI приходится на июль, но она не такая стабильная, как у хронологии сосны.

Все изменения отклика, описанные для хронологии сосны, также ярко выражены для хронологии ели. Сходство этих двух хронологий, на которое указывалось в разд. 3.2, нашло обоснование в схожем климатическом отклике.

Московская область. Хронология лиственницы GOLL. Основной тенденцией для лиственницы является отрицательный отклик на температуры и положительный – на осадки и индекс сухости (рис. 42). Значимый отрицательный отклик присутствует на максимальные температуры июня и августа прошлого года и июня–июля текущего года, на средние температуры июня и июля прошлого года, сумму температур выше 15 °С в прошлом году. Положительная связь есть с осадками июля прошлого года и июня текущего года, с суммой осадков за период с температурами выше 0 и 5 °С, с гидротермическим коэффициентом Селянинова и индексом сухости PDSI марта и апреля. Самым стабильным является отрицательный отклик на летние температуры предыдущего года. С 1945

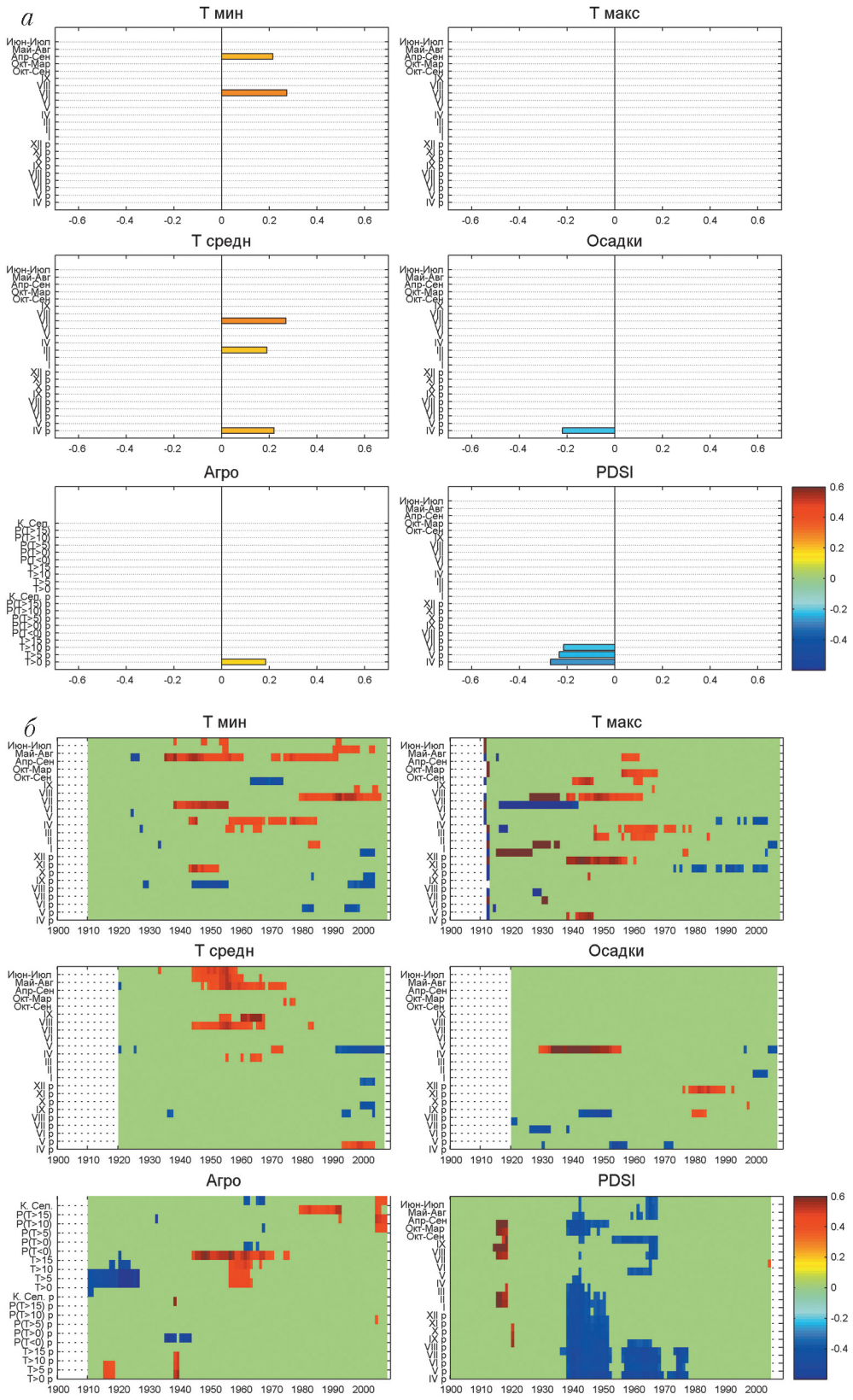


Рис. 39. Климатический отклик остаточной хронологии KOV за весь период с климатическими данными: *а* – значение корреляций хронологии с климатическими параметрами, *б* – корреляции в скользящем окне шириной 30 лет. Год на оси соответствует последнему году в окне. Обозначены только значимые корреляции (p = 0,05)

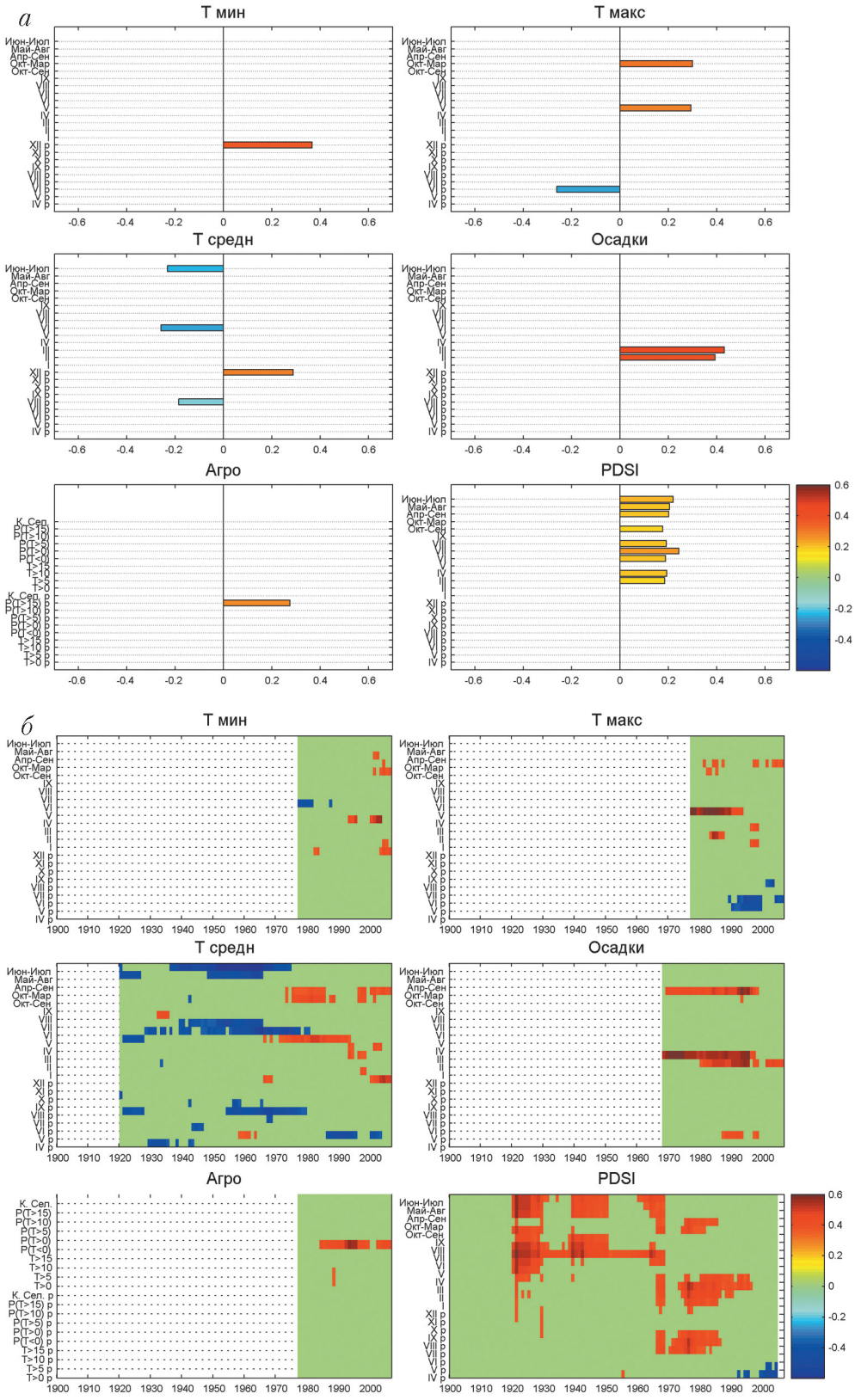


Рис. 40. Климатический отклик остаточной хронологии ZVE за весь период с климатическими данными: *а* – значение корреляций хронологии с климатическими параметрами, *б* – корреляции в скользящем окне шириной 30 лет. Год на оси соответствует последнему году в окне. Обозначены только значимые корреляции (p = 0,05)

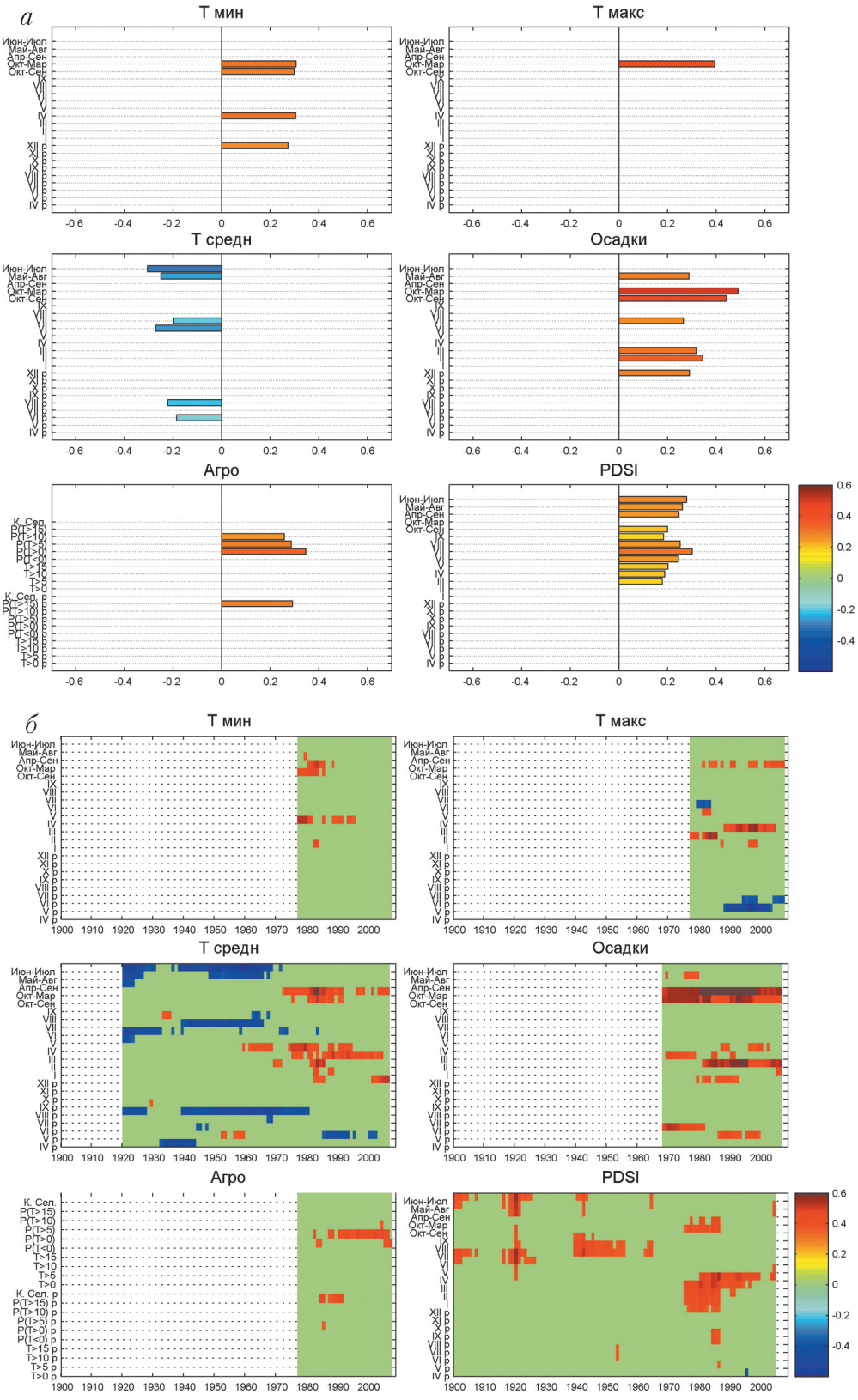


Рис. 41. Климатический отклик остаточной хронологии VYAZ за весь период с климатическими данными: *а* – значение корреляций хронологии с климатическими параметрами, *б* – корреляции в скользящем окне шириной 30 лет. Год на оси соответствует последнему году в окне. Обозначены только значимые корреляции (p = 0,05)

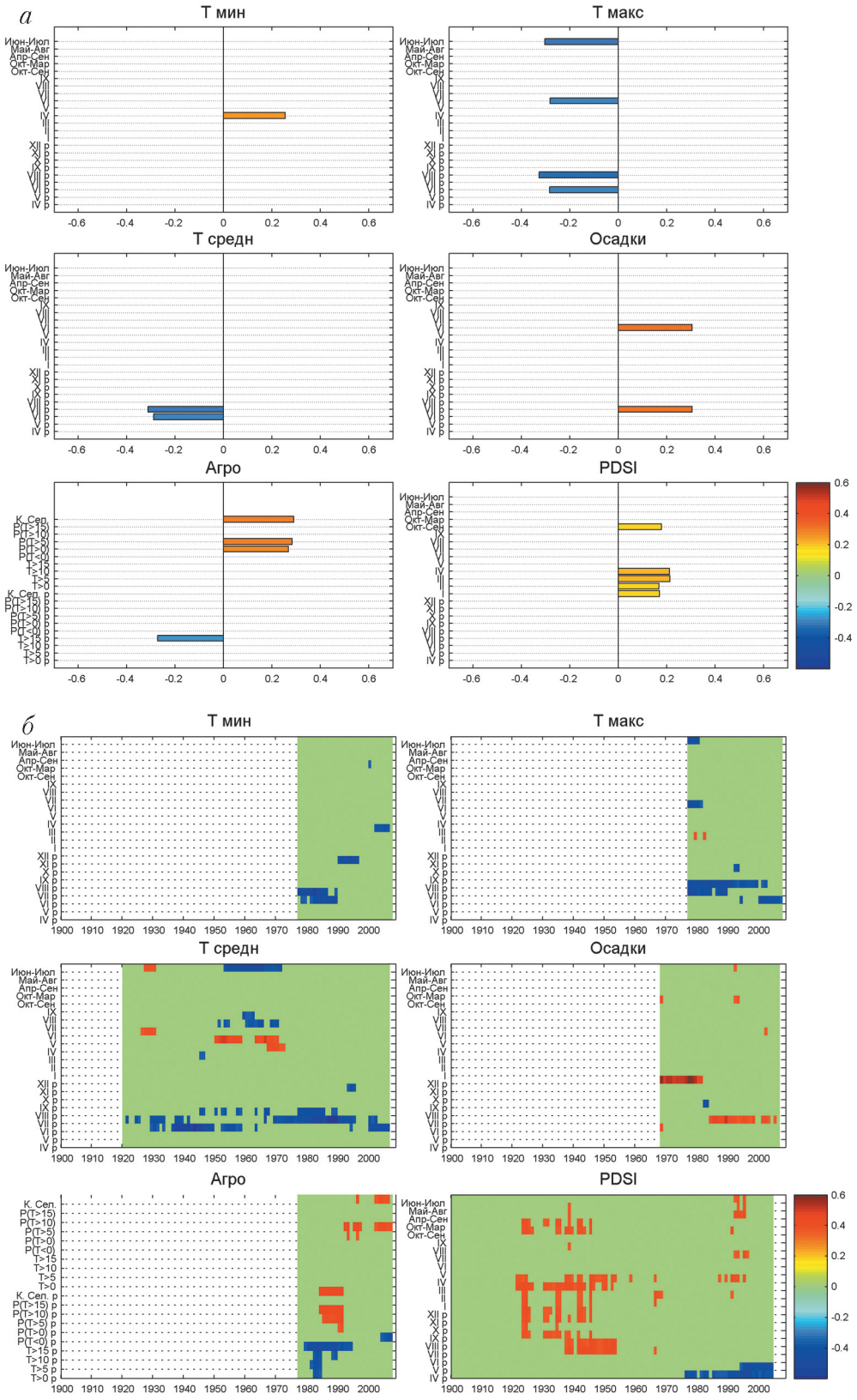


Рис. 42. Климатический отклик остаточной хронологии GOLL за весь период с климатическими данными: *а* – значение корреляций хронологии с климатическими параметрами, *б* – корреляции в скользящем окне шириной 30 лет. Год на оси соответствует последнему году в окне. Обозначены только значимые корреляции (p = 0,05)

г. появляется отрицательная корреляция с индексом сухости PDSI апреля и мая предыдущего года. В целом понятно, что наибольшую роль для роста лиственницы в данном районе играет влагообеспеченность. К такому же выводу пришел Д.Е. Румянцев [2010] на основе исследования насаждений лиственницы сибирской в Порецком лесничестве Бородинского лесхоза Московской области. Он эмпирическим путем подобрал показатель увлажнения на основе осадков зимнего и летнего периодов, коэффициент корреляции между индексом прироста лиственницы и этим показателем равен 0,65.

Калужская область. Хронология сосны OPP. Ближайшей метеостанцией к площадкам отбора образцов для хронологии сосны OPP является метеостанция Калуга (код ВМО 27703). Данные о среднемесячных температурах и осадках на ней доступны с 1932 по 2007 г. Ближайшая метеостанция с ежедневными данными, по которым были получены минимальные и максимальные месячные температуры и агроклиматические характеристики, – метеостанция Павелец (код ВМО 27823); данные по ней доступны с 1936 по 2008 г.

Самые высокие значения корреляции остаточной хронологии OPP приходятся на средние температуры сентября предыдущего года (отрицательная) и на осадки июня–июля (положительная) (рис. 43). Также значимы положительные корреляции с минимальными температурами июля и суммой осадков за период с температурами выше 15 °C, с индексом сухости PDSI с мая по сентябрь.

Самым стабильным является отрицательный отклик на температуру сентября прошлого года, сохранявшийся статистически значимым на протяжении всего периода наблюдений. Значимые корреляции с индексом сухости возникают только с 1950-х годов и продолжаются до конца рядов данных. Примерно в это же время прерывается положительный отклик на средние и максимальные температуры зимы и отрицательный отклик на средние температуры июня, появляется отрицательный отклик на сумму положительных температур предыдущего года, положительный отклик на осадки лета и начала осени прошлого года. Скорее всего, это связано с положительным трендом температур и увеличившимся в связи с этим стрессом, вызываемым засухой.

Интересно, что отклик на климатические параметры предыдущего года, как мы замечали ранее, больше свойствен ели и лиственнице, чем сосне. Но в этом относительно южном районе (Оптина Пустынь, Козельский район, Калужская обл.) такое запаздывание реакции характерно и для сосны.

Подводя итоги, можно сказать, что из семи рассмотренных хронологий только три имеют действительно постоянный значимый отклик на какой-либо параметр на всем рассмотренном интервале. Это хронология PDEL, положительно реагирующая на средние температуры июля, хронология OPP, отрицательно реагирующая на средние температуры сентября прошлого года, и хронология VYAZ, положительно реагирующая на осадки с октября по март. Но и это лишь составляющие общего климатического отклика, корреляции же с другими параметрами меняются. В остальных случаях наблюдается изменение отклика, иногда даже смена знака корреляции с одним и тем же параметром. Иногда изменение отклика может быть связано с изменением длительности сезона вегетации, а иногда – с переходом одного из лимитирующих факторов в разряд оптимальных. При повышении температур в XX – начале XXI в. в северных районах может уменьшаться влияние температур на прирост деревьев, а в южных районах – более сильное влияние оказывать стресс, связанный с засухой.

Интересно, что у самой северной и у самой южной из рассмотренных хронологий сосны PDB и OPP наблюдается одинаковое усиление отклика на индекс сухости PDSI с 1950-х годов. Но в случае Соловецкой хронологии это скорее всего вызвано понижением общего уровня летних осадков при возрастающих температурах, а в случае Калужской хронологии – повышением температур, при том что количество осадков тоже увеличивается (по данным метеостанции Павелец).

4.4. Реперные годы и климатические параметры

Не всегда функция отклика, являющаяся результатом корреляционного анализа, может адекватно отразить влияние климатических факторов на прирост деревьев. Особенно это относится к деревьям, произрастающим в условиях, близких к оптимальным. В этом случае лимитирующие факторы могут меняться год от года, что затрудняет дендроклиматический анализ [Дендрохронологическая информация…, 2007. С. 101–113]. Альтернативным подходом может быть рассмотрение метеорологических условий в годы с аномальными приростами деревьев. Такой

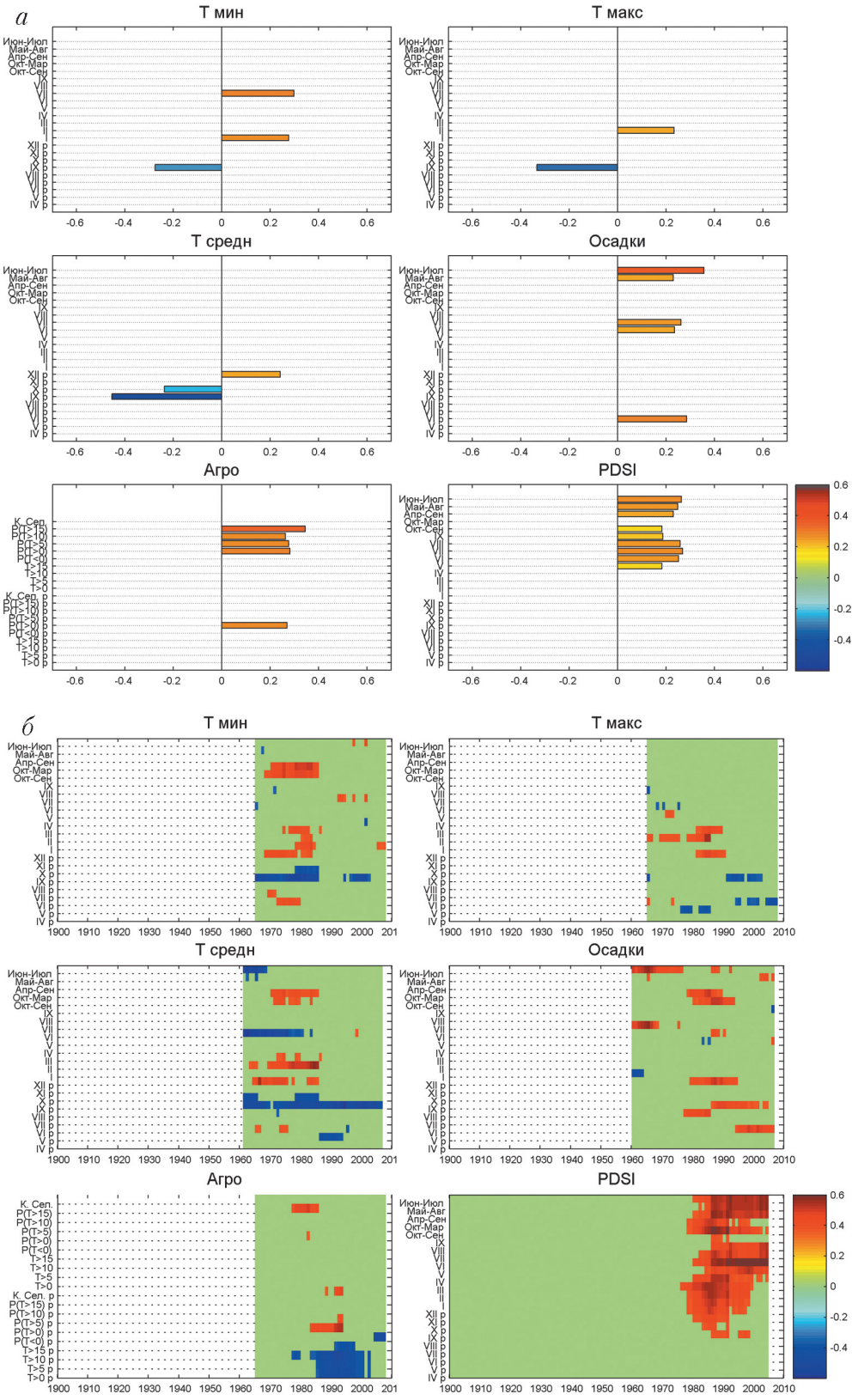


Рис. 43. Климатический отклик остаточной хронологии ОРР за весь период с климатическими данными: *а* – значение корреляций хронологии с климатическими параметрами, *б* – корреляции в скользящем окне шириной 30 лет. Год на оси соответствует последнему году в окне. Обозначены только значимые корреляции (p = 0,05)

анализ не предполагает непрерывности отклика деревьев на какой-либо климатический параметр, но позволяет выделить основные метеорологические условия, приводящие к аномальным приростам деревьев.

Одним из способов такого анализа является метод климаграмм [Ловелиус, 1979, 2003], когда на основе графиков осредненных климатических параметров для лет с аномально большими и аномально малыми приростами делаются выводы о том, какие значения параметров наиболее существенны для прироста рассматриваемых деревьев. Мы несколько модернизировали данный метод, добавив анализ статистической значимости различий. Такая модификация помогает учесть естественную изменчивость климатических параметров. Например, на рис. 44, *а* видно, что разница средних температур в июле для отрицательных реперных лет и для всего периода меньше, чем та же разница в январе. Однако различие в январе не является значимым из-за большей их вариабельности. Используется двухвыборочный критерий Стьюдента, уровень значимости $p = 0{,}05$ (см., например, [Кобзарь, 2006]). Таким образом, описанная модификация метода климаграмм позволяет определять только достоверные различия климатических параметров, рассчитанных для лет с аномально большими и аномально малыми приростами.

Мы рассмотрели разницу средних метеопараметров в реперные годы по сравнению со средними метеопараметрами за 1901–2005 гг. (период, покрытый ежемесячными данными сеточного архива CRU TS 3.0). Для этого были выбраны ближайшие к точкам расположения хронологий узлы сетки, и климатические параметры в них усреднены за весь временной период. Затем мы проделали то же самое, но только для тех узлов и для тех лет, в которых соседняя хронология показывала синхронный аномальный прирост в этот год. Результаты приведены на рис. 44.

Анализ показал, что аномально низким радиальным приростам хвойных деревьев в регионе исследования способствуют повышенные температуры в июле и августе предыдущего года, в феврале, марте и апреле текущего года, пониженные температуры в июне и июле текущего года, а также пониженный уровень осадков в мае предыдущего и в марте и августе текущего года.

Аномально высоким радиальным приростам способствуют повышенные температуры в апреле, мае, июне и декабре предыдущего года, в январе, мае, июле, августе и сентябре текущего года, равно как и полностью за гидрологический год. Скорее всего, они приводят к аномальным приростам только в совокупности с повышенными осадками предыдущего и текущего лета.

Полученные результаты являются осредненными по всей территории исследования и по всем хвойным породам. Это сделано намеренно, чтобы впоследствии наиболее полно использовать эти результаты для палеоклиматических исследований на основе всех имеющихся хронологий для севера и центра ЕТР.

Сформулируем основные результаты главы.

– Рассмотрение климатического отклика всех хронологий на территории исследования позволило определить климатические параметры, одинаково влияющие на прирост деревьев для всего региона, и отсеять локальные сигналы, а также выявить региональные различия.

– Общим для всех хвойных пород севернее 60° с.ш. является положительный отклик на летние температуры. В южном секторе на 54–56° с.ш. сигнал меняется, и ширина колец определяется сочетанием двух факторов – тепла и влаги (осадки, индекс сухости PDSI, относительная влажность).

– Для всей территории подтверждено наличие отрицательных корреляций прироста ели с температурами конца предыдущего вегетационного сезона. Такая же связь известна для прироста ели в центральной, восточной и северной Европе.

– Статистический анализ в целом свидетельствует об отсутствии стабильности отражения климатического сигнала в ширине годичных колец даже на северном пределе произрастания деревьев за период инструментальных наблюдений. Иногда это может быть связано с изменением длительности сезона вегетации, в ряде случаев – с переходом одного из лимитирующих факторов в разряд оптимальных. При наблюдающемся повышении температур в XX – начале XXI в. в северных районах может уменьшаться влияние температур на прирост деревьев, а в южных районах – усиливающееся влияние оказывать стресс, связанный с засухой. Лишь для нескольких северных хронологий по ширине годичных колец сосны и лиственницы сохраняется значимый отклик на летние температуры на протяжении всего рассмотренного временного интервала.

– Синхронным аномально низким радиальным приростам хвойных деревьев в регионе исследования способствуют повышенные температуры

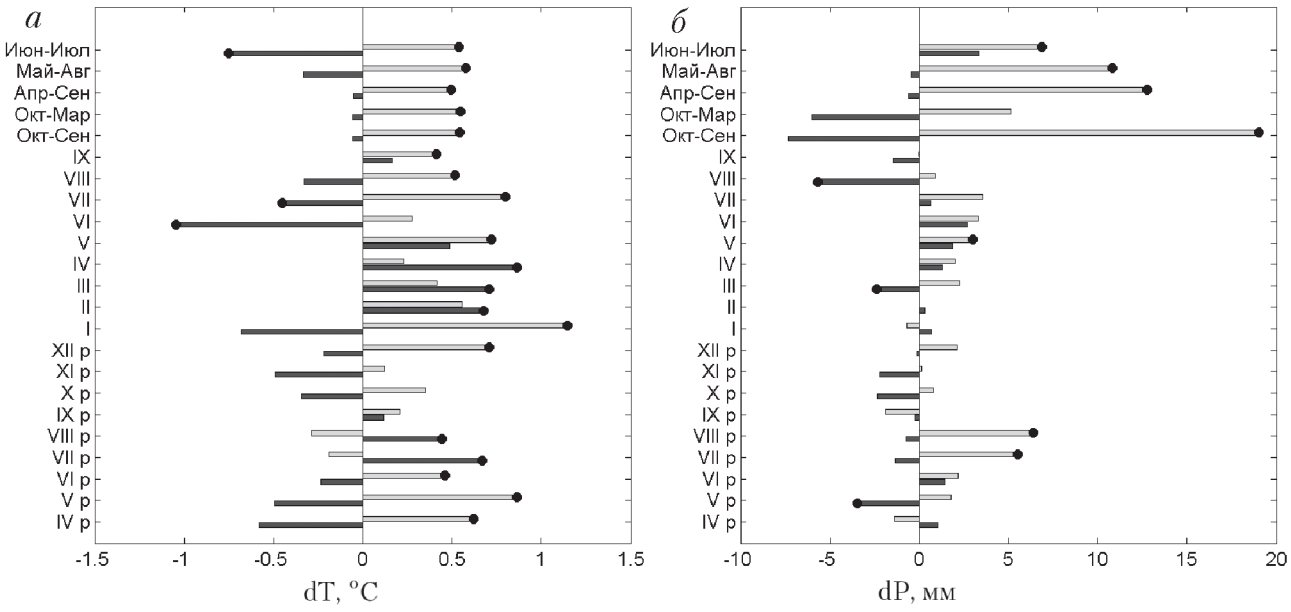


Рис. 44. Разница средних температур (*а*) и осадков (*б*) в реперные годы по сравнению со средними метеопараметрами за период 1901–2005 гг. Разницы для положительных реперных лет показаны серым, для отрицательных – черным. Значимые различия отмечены черным кружком ($p = 0{,}05$)

в июле и августе предыдущего года, в феврале, марте и апреле текущего года, пониженные температуры в июне и июле текущего года, а также пониженные осадки в мае предыдущего и в марте и августе текущего года.

– Синхронным аномально высоким радиальным приростам способствуют повышенные температуры в апреле, мае, июне и декабре предыдущего года, в январе, мае, июле, августе и сентябре текущего года, как и полностью за гидрологический год. Скорее всего, они приводят к аномальным приростам только в совокупности с повышенными осадками предыдущего и текущего лета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрение климатического отклика всех доступных хронологий на территории исследования позволило определить климатические параметры, одинаково влияющие на прирост деревьев в пределах двух основных регионов – севера и центра ЕТР – и отсеять локальные сигналы. В частности, мы установили, что несмотря на сильный локальный сигнал и невысокие коэффициенты корреляции ширины колец с метеорологическими параметрами, общим для всех хвойных пород севернее 60° с.ш. является положительный отклик приростов на летние температуры воздуха (минимальная, максимальная, средняя температура воздуха за отдельные месяцы и за сезон). В южном секторе на широте 54–56° с.ш. сигнал меняется, и ширина колец определяется сочетанием двух факторов – тепла и влаги (атмосферные осадки, индекс сухости PDSI, относительная влажность воздуха). Для всей территории подтверждено наличие отрицательных корреляций прироста ели с температурами конца предыдущего вегетационного сезона. Такая же связь известна в центральной, восточной и северной Европе.

Все полученные результаты отражены в таблицах, позволяющих оценить отклик каждой конкретной древесно-кольцевой хронологии на все рассмотренные климатические параметры.

На рассмотренной территории сила связи между радиальным приростом деревьев и климатическими параметрами оказалась довольно непостоянной. Это может быть связано с изменением длительности сезона вегетации, с переходом одного из лимитирующих факторов в разряд оптимальных и, возможно, с рядом других причин. При наблюдающемся повышении температур в XX – начале XXI века в северных районах может уменьшаться влияние температур на прирост деревьев, а в южных районах – усиливаться влияние стресса, связанного с засухой. Слабость климатического сигнала, содержащегося в ширине колец, обнаруженная для инструментального периода, а также его неустойчивость во времени, до известной степени ограничивают возможности применения дендрохронологического метода для целей палеоклиматологии на севере и в центре ЕТР.

Перспективами расширения данного исследования являются:

– дополнение сети древесно-кольцевых хронологий для более полного покрытия территории данными по разным хвойным породам деревьев;

– использование постоянно совершенствующихся климатических архивов для более полного исследования климатического отклика деревьев.

ЛИТЕРАТУРА

Адаменко В.Н., Ловелиус Н.В. Аномалии прироста деревьев и изменение барико-циркуляционных условий последнего тысячелетия // Известия всесоюзного географического общества. 1976. Вып. 4. С. 290–296.

Битвинскас Т.Т. Вычисление средних величин ширины годичных слоев и методика учета и исключения фактора возраста в дендрохронологии и дендроклиматологии // Проблемы экспертизы растительных объектов. М., 1972. С. 68–80.

Битвинскас Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л., 1974.

Ваганов Е.А. Механизмы и имитационная модель формирования структуры годичных колец у хвойных // Лесоведение. 1996. № 1. С. 3–15.

Гортинский Г.В., Тарасов А.И. О географической сопряженности годичного прироста // Механизмы взаимодействия растений в биогеноценозах тайги. Л., 1969.

Дендрохронологическая информация в лесоводственных исследованиях / Ред. В.А. Липаткин, Д.Е. Румянцев. М., 2007.

Дзердзеевский Б.Л. Избранные труды. Общая циркуляция атмосферы и климат. М., 1975.

Дмитриева Е.В. Влияние климата на прирост деревьев различных местообитаний северной части южной тайги // Биоэкологические основы дендрохронологии. Вильнюс; Л., 1975.

Жильцова Е.Л., Анисимов О.А. О точности воспроизведения температуры и осадков на территории России глобальными климатическими архивами // Метеорология и гидрология. 2009. Вып. 10. С. 27–35.

Изменчивость климата Европы в историческом прошлом / Ред. А.Н. Кренке. М., 1995.

Казенс Д. Введение в лесную экологию / Ред. С.А. Дыренков. М., 1982.

Клименко В.В., Слепцов А.М. Комплексная реконструкция климата Восточной Европы за последние 2000 лет // Известия РГО. 2003. Вып. 6. С. 45–54.

Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М., 2006.

Колчин Б.А., Битвинскас Т.Т. Современные проблемы дендрохронологии. М., 1972.

Колчин Б.А., Черных Н.Б. Дендрохронология Восточной Европы. М., 1977.

Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. М., 2009.

Лархер В. Экология растений. М., 1978.

Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев: Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Л., 1979.

Ловелиус Н.В. Дендроиндикация. СПб., 2000.

Ловелиус Н.В., Соболев А.Н. Прирост деревьев и климат на Соловецком архипелаге // География: проблемы науки и образования. LXIII Герценовские чтения. Материалы ежегодной Международной научно-практической конференции 22–24 апреля 2010, Санкт-Петербург. СПб, 2010. С. 151–155.

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. Вып. 189. С. 24–31.

Лопатин Е.В. Анализ динамики радиального прироста основных лесообразующих пород Республики Коми: Автореф. дис. канд. с.-х. наук. СПб., 2012.

Механизмы взаимодействия растений в биогеноценозах тайги / Ред. В.Г. Карпов. Л., 1969.

Молчанов А.А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды. М., 1976.

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.

Румянцев Д.Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии. М., 2010.

Румянцев Д.Е., Соломина О.Н., Липаткин В.А., Мацковский В.В., Кухта А.Е., Николаев Д.К. Возможности перекрестного датирования хронологий сосны обыкновенной и ели европейской в центральной части Восточно-Европейской равнины // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2010. № 3 (72). С. 67–75.

Селянинов Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата // Мировой агроклиматический справочник. Л.; М., 1937.

Чернавская М.М. Реконструкция термических условий малого ледникового периода на севере Евразии (по дендрохронологическим данным) // Известия АН СССР. Серия Географическая. 1985. № 1. С. 99–103.

Черных Н.Б. Дендрохронология и археология. М., 1996.

Шишов В.В., Ивановский А.Б. Связь между современной динамикой прироста деревьев и климатических трендов на территории России // Всероссийская конференция «Природная и антропогенная динамика наземных экосистем», посвященная памяти А.С. Рожкова. Иркутск, 2005. С. 223–226.

Шиятов С.Г. Дендрохронология, ее принципы и методы // Записки Свердловского отделения ВБО. 1973. Вып. 6. С. 53–81.

Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методич. пособие. Красноярск, 2000.

Alley W.M. Palmer drought severity index: limitations and assumptions // Journal of Climate and Applied Meteorology. 1984. Vol. 23. P. 1100–1109.

Baillie M.G.L., Pilcher J.R. A Simple cross-dating program for tree-ring research // Tree-ring bulletin. 1973. Vol. 33. P. 7–14.

Barber V., Juday G., Finney B. Reduced growth of Alaska White Spruce in the 20th century from temperature-induced drought stress // Nature. 2000. Vol. 405. P. 668–672.

Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Monthly Weather Review. 1987. Vol. 115. P. 1083–1126.

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.

Boettger T., Hiller A., Kremenetski C. Mid-Holocene warming in North-West Kola Peninsula, Russia: Northern Pine limit movement and stable isotope evidence // The Holocene. 2003. Vol. 13. P. 405–412.

Boettger T., Kononov Y.U., Friedrich M. New stable isotope and dendrochronological studies of the 1000 years Pine (*Pinus sylvestris* L.) tree-ring chronology at the upper Timberline in the Khibiny Low Mountains, Kola Peninsula, North-Western Russia // TRACE — Tree Rings in Archaelogy, Climatology and Ecology. 2005. Vol. 3: Proceedings of the Dendrosymposium in Birmensdorf, Switzerland, 22–24 July 2004 (Schriften des Forschungszentrums Julich, 53). P. 104–111.

Brewer S., Alleaume S., Guiot J. Nicault A. Historical droughts in Mediterranean Regions during the last 500 years: a Data/Model approach // Climate of the Past. Discussions. 2006. Vol. 2. P. 771–800.

Briffa K.R., Jones P.D. Basic chronology statistics and assessment // Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences / Ed. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Norwell (Mass.), 1990. P. 137–152.

Briffa K.R., Jones P.D., Bartholin T.S. et al. Fennoscan-dian summers from AD 500: Temperature changes on short and long time scales // Climate Dynamics. 1992. Vol. 7. P. 111–119.

Briffa K.R, Jones P.D., Schweingruber F.H., Shiyatov S.G. et al. Unusual 20th-century summer warmth in a 1000-year temperature record from Siberia // Nature. 1995. Vol. 376. P. 156–158.

Briffa K.R., Schweingruber F.H., Jones P., Osborn T. Reduced sensitivity of recent tree growth to temperature at High Northern Latitudes // Nature. 1995. Vol. 391. P. 678–682.

Briffa K.R., Schweingruber F., Jones P. et al. Trees tell of past climates: but are they speaking less clearly today? // Philosophical Transactions of the Royal Society. 1998. Vol. 353. P. 65–73.

Briffa K.R. Annual climate variability in the Holocene: Interpreting the message of ancient trees // Quaternary Science Reviews. 2000. Vol. 19. Iss. 1–5. P. 87–105.

Briffa K.R., Osborn T.J., Schweingruber F.H. et al. Low frequency temperature variations from a Northern Tree-Ring Density Network // Journal of Geophysical Research. 2001. Vol. 106. P. 2929–2941.

Briffa K.R., Osborn T.J., Schweingruber F.H. et al. Tree-ring width and density data around the Northern Hemisphere: Part 1. Local and regional climate signals // The Holocene. 2002. Vol. 12. Iss. 6. P. 737–757. doi:10.1191/0959683602hl587rp.

Briffa K.R., Osborn T.J., Schweingruber F.H. et al. Tree-ring width and density data around the Northern Hemisphere: Part 2. Spatio-temporal Variability and Associated Climate Patterns // The Holocene. 2002. Vol. 12. Iss. 6. P. 759–789. doi:10.1191/0959683602hl588rp

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 of its application // Dendroclimatology: Progress and Prospects / Ed. H.K. Hughes, H.F. Diaz, T.W. Swetnam. Dordrecht; N.Y., 2010. P. 113–146.

Büntgen U., Esper J., Frank D.C. et al. A 1,052-year tree-ring proxy for Alpine summer temperatures // Climate Dynamics. Vol. 25. P. 141–153.

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.

Chen M., Xie P., Janowiak J.E., Arkin P.A. Global land precipitation: A 50-yr monthly analysis based on gauge observations // Journal of Hydrometeorology. 2002. Vol. 3. P. 249–266.

Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D. et al. The Twentieth Century reanalysis project // Quarterly

Journal of the Royal Meteorological Society. 2011. Vol. 137. P. 1–28.

Contributors of the International Tree-Ring Data Bank. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology, NOAA/NCDC Paleoclimatology Program. Boulder (Colo-rado), 2012.

Cook E.R., 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., Holmes R.L. Users manual for program ARSTAN // *Holmes R. L., Adams R. K., Fritts H. C.* Tree-ring chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin. By Laboratory of Tree Ring Research. Tucson (Ariz.), 1986. P. 50–65.

Cook E.R., Kairiukstis L.A. Methods of dendro-chronology: Applications in the environmental sciences. Dordrecht; N. Y., 1990.

Cook E.R., Briffa K.R., Meko D.M. et al. The segment length curse in long tree-ring chronology development for paleoclimatic studies // The Holocene. 1995. Vol. 5. Iss. 2. P. 229–237. doi:10.1177/095968369500500211

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. P. 1145–1162.

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. P. 79–91.

Cook E.R., Esper J., D'Arrigo R.D. Extra-tropical Northern Hemisphere land temperature variability over the past 1000 years // Quaternary Science Reviews. 2004. Vol. 23. Iss. 20–22. P. 2063–2074.

Cook E.R., Krusic P.J. Experimental reconstruction of large-scale summer Monsoon Drought over India and the Tibetan Plateau using tree rings from 'High Asia' // The Palaeobotanist. 2008. Vol. 57. Iss. 3. P. 515–528.

D'Arrigo R.D., Mashig E., Frank D. et al. Temperature variability over the past Millennium inferred from Northwestern Alaska tree rings // Climate Dynamics. 2005. Vol. 24. P. 227–236.

D'Arrigo R.D., Wilson R., Liepert B., Cherubini P. On the 'Divergence Problem' in Northern forests: a review of the tree-ring evidence and possible causes // Global and Planetary Change. 2008. Vol. 60. P. 289–305.

Dai A., Fung I.Y., Del Genio A.D. Surface observed global land precipitation variations during 1900–88 // Journal of Climate. 1997. Vol. 10. P. 2943–2962.

Dai A., Trenberth K.E., Qian T. A Global data set of Palmer drought severity index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming // Journal of Hydrometeorology. Vol. 5. P. 1117–1130.

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 Research. 2003. Vol. 59. P. 81–98.

Esper J., Frank D. Divergence pitfalls in tree-ring research // Climatic Change. 2009. Vol. 94. P. 261–266.

Fan Y., van den Dool H. Climate prediction center global monthly soil moisture data set at 0.5 degree resolution for 1948 to present // Journal of Geophysical Research. 2004. Vol. 109. D10102. doi:10.1029/2003JD004345.

Folland C.K., Knight J., Linderholm H.W. et al. The summer North Atlantic oscillation: Past, Present and Future // Journal of Climate. 2009. Vol. 22. P. 1082–1103.

Frank D., Wilson R., Esper J. Synchronous variability changes in Alpine temperature and tree-ring data over the past 2 centuries // Boreas. 2005. Vol. 34. P. 498–505.

Fritts H.C. Tree rings and climate. L.; N. –Y, 1976.

Gouirand I., Linderholm H.W., Moberg A., Wohlfarth B. On the spatiotemporal characteristics of Fennoscandian tree-ring based summer temperature reconstructions // Theoretical and Applied Climatology. 2008. Vol. 91. P. 1–25.

Grudd H., Briffa K.R., Karlén W. et al. 7,400-year tree-ring chronology in Northern Swedish Lapland: Natural climatic variability expressed on Annual to Millennial timescales // The Holocene. 2002. Vol. 12. Iss. 6. P. 657–665. doi:10.1191/0959683602hl578rp.

Hantemirov R.M., Shiyatov S.G. A continuous multimillennial ring-width chronology in Yamal, Northwestern Siberia // The Holocene. 2002.Vol. 12. Iss. 6. P. 717–726. doi:10.1191/0959683602hl585rp.

Helama S., Lindholm M., Timonen M. et al. The supra-long Scots Pine tree-ring record for Finnish Lapland: Part 2, Interannual to Centennial variability in summer temperatures for 7,500 years // The Holocene. 2002. Vol. 12. Iss. 6. P. 681–687. doi:10.1191/0959683602hl581rp.

Helama S., Lindholm M., Meriläinen J. et al. Multicentennial ring-width chronologies of Scots Pine along a North–south gradient across Finland // Tree-Ring Research. 2005. Vol. 61. Iss. 1. P. 21–32.

Hiller A., Boettger T., Kremenetski C. Medieval climatic warming recorded by radiocarbon dated Alpine treeline shift on the Kola Peninsula, Russia // The Holocene. 2001. Vol. 11. Iss. 4. P. 491–497. doi:10.1191/095968301678302931.

Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-Ring Bulletin. Vol. 43. P. 69–78.

Jones P.D., Briffa K.R., Barnett T.P., Tett S.F.B. High resolution palaeoclimatic records for the last Millennium: interpretation, integration and comparison with general circulation model control-run temperatures // The Holocene.1998. Vol. 8. Iss. 4. P. 455–471. doi:10.1191/095968398667194956.

Jones P.D., Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001 // Journal of Climate. 2003. Vol. 16. P. 206–223.

Karl T.R. Sensitivity of the Palmer drought severity index and Palmer's Z-index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration // Journal of Climate and Applied Meteorology. 1986. Vol. 25. P. 77–86.

Klimenko V., Solomina O. Climatic variations in the East European Plain during the last Millennium: State of the art // The Polish Climate in the European Context: An historical overview / Ed. R. Przybylak, J. Majorowicz, R. Brázdil, M. Kejna, Dordrecht; Heidelberg; L.; N. Y., 2010. P. 71–101.

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. N 4. P. 460–468.

Kozlov A., Kisternaya M. Architectural wooden monuments as a source of information for past environmental changes in Northern Russia // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2004. Vol. 209. Iss. 1–4. P. 103–111.

Kremenetski K., Boettger T., MacDonald G. et al. Medieval climate warming and aridity as indicated by multi-proxy evidence from the Kola Peninsula, Russia // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2004. Vol. 209. Iss. 1–4. P. 113–125.

Leikola M., Raulo J., Pukkala T. Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen (Prediction of the Variations of the Seed Crop of Scots Pine and Norway Spruce) // Folia forestalia. 1982. N 537. P. 1–43.

Linderholm H.W., Gunnarson B.E. Summer temperature variability in central Scandinavia during the last 3,600 years // Geografiska Annaler. Series A: Physical Geography. 2005. Vol. 87. P. 231–241.

Linderholm H.W., Björklund J.A., Seftigen K. et al. Dendroclimatology in Fennoscandia – from past accomplishments to future potential // Climate of the Past. 2010. Vol. 6. P. 93–114.

Lindholm, M., Eggertsson, O., Lovelius N. et al. Growth indices of North European Scots Pine record the seasonal North Atlantic oscillation // Boreal Environ. 2001. Res. 6. P. 1–10.

Lopatin E., Kolstrom T., Spiecker H. Impact of climate change on radial growth of Siberian Spruce and Scots Pine in North-Western Russia // Forest@. 2007. Vol. 4. N 1. P. 28–41.

Lopatin E., Kolstrom T., Spiecker H. Long-term trends in radial growth of Siberian Spruce and Scots Pine in Komi Republic (Northwestern Russia) // Boreal Environment Research. 2008. Vol. 13. P. 539–552.

Luckman B.H., Wilson R.J.S. Summer temperatures in the Canadian Rockies during the last Millennium: a revised record // Climate Dynamics. 2005. Vol. 24. P. 131–144.

MacDonald G., Kremenetski K., Smith L. et al. Recent Eurasian river discharge to the Arctic Ocean. The context of longer-term dendrohydrological records // Journal of Geophysical Research. 2007. Vol. 112. G04S50. doi:101029/2006JG000333.

Makinen H., Nojd P., Kahle H.-P. et al. Radial growth variation of Norway Spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] across latitudinal and altitudinal gradients in Central and Northern Europe // Forest Ecology and Management. 2002. Vol. 171. Iss. 3. P. 243–259.

Mielikainen K., Nojd P., Pesonen E., Timonen M. Puun muisti. Kasvun vaihtelu päivästä vuosituhanteen. Vantaa, 1998 (Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja, 703).

Melvin T.M. Historical growth rates and changing climatic sensitivity of boreal conifers: Ph. D. Diss. University of East Anglia. [Электронный ресурс]. URL: http://www.cru.uea.ac.uk/cru/pubs/thesis/2004-melvin/ (дата последнего обращения: 01.12.2012).

Melvin T.M., Briffa K.R., Nicolussi K., Grabner M. Time-varying-response smoothing // Dendrochronologia. 2007. Vol. 25. P. 65–69.

Melvin T.M., Briffa K.R. A 'Signal-free' approach to dendroclimatic standardisation // Dendrochronologia. 2008. Vol. 26. P. 71–86.

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). June 2004. (Tyndall Working Paper, 55). [Электронный ресурс] URL: http://www.tyndall.ac.uk/sites/default/files/wp55.pdf (дата последнего обращения: 01.12.2012).

Mitchell T.D., Jones P.D. An improved method of constructing a database of monthlyclimate observations and associated high-resolution grids // International Journal of Climatology. Vol. 25. Iss. 6. P. 693–712.

Naurzbaev M.M., Vaganov E.A., Sidorova O.V., Schweingruber F.H. Summer temperatures in Eastern Taimyr inferred from a 2,427-year late-Holocene tree-ring chronologyandearlierfloatingseries//TheHolocene.2002. Vol. 12. P. 727–736. doi:10.1191/0959683602hl586rp

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. Iss. 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. Iss. 2–3. P. 79–89.

Palmer W.C. Meteorological drought. Washington, 1965 (U.S. Department of Commerce; Research Paper 45).

Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B. et al. Global analyses of sea surface temperature, sea ice and night marine air temperature since the late nineteenth century // Journal of Geophysical Research. 2003. Vol. 108. D14 4407. doi: 10.1029/2002JD002670.

Razuvaev V.N., Apasova E.G., Martuganov R.A. Daily temperature and precipitation data for 223 former-USSR stations. ORNL/CDIAC-56, NDP-040. Carbon

Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee. 2008. doi: 10.3334/CDIAC/cli.ndp040

Rinn F. TSAP. Version 3.0. Reference manual. Computer program for time series analysis and presentation. Heidelberg, 1996.

Saha S., Nadiga S., Thiaw C., Wang J., Wang W. et al. The NCEP climate forecast system // Journal of Climate. 2006. Vol. 19. Iss. 15. P. 3483–3517.

Saha S., Moorthi S., Wu X., Wang J., Nadiga S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis // Bulletin of the American Meteorological Society. 2010. Vol. 91. Iss. 8. P. 1015–1057. doi: 10.1175/2010BAMS 3001.1.

Schweingruber F.H., Eckstein D., Bachet S.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., Briffa K.R. Tree-ring density networks for climate reconstruction // Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years / Ed. P. D. Jones, R. S. Bradley and J. Jouzel. Berlin; N. Y., 1996. P. 43–66.

Schweingruber F.H. Tree-rings and environment. Dendroecology. Berne, 1996.

Spiecker H. Overview of recent growth trends in European forests // Water, Air and Soil Pollution. 1999. Vol. 116. P. 33–46.

Stokes M.A., Smiley T.L. An introduction to tree-ring dating. Chicago, 1968.

Tiren L. Om granens kottsättning, dess periodicitet och samband med temperatur och nederbörd // Meddelanden från Statens Skogsförsöksanst. 1935. Bd. 28. S. 413–524.

Vaganov E., Hughes M., Kirdyanov A., Schweingruber F., Silkin P. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in Subarctic Eurasia // Nature. 1999. Vol. 400. P. 149–151.

Watson E., Luckman B.H. The development of a moisture-stressed tree-ring chronology Network for the Southern Canadian Cordillera // Tree-Ring Research. 2001. Vol. 57. P. 149–168.

Webb R.S., Rosenzweig C.E., Levine E.R. Specifying land surface characteristics in general circulation models: soil profile data set and derived water-holding capacities // Global Biogeochemical Cycles. 1993. Vol. 7. P. 97–108.

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 Climate and Applied Meteorology. 1984. Vol. 23. P. 201–213.

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 // Interna-tional Journal of Climatology. 2005. Vol. 25. P. 611–630.

Whitaker J.S., Hamill T.M. Ensemble data assimilation without perturbed observations. // Monthly Weather Re-view. 2002. Vol. 130. P. 1913–1924.

Yin X., Gleason B.E., Compo G.P. et al. The International surface pressure databank (ISPD) land component version 2.2'. National climatic data center: Asheville, NC. [Электронный ресурс] URL: ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/ispd/doc/ISPD2_2.pdf (дата последнего обращения 30.11.2012).

Zhang. Z., Mann M.E., Cook E.R. Alternative methods of proxy-based climate field reconstruction: application to summer drought over the Conterminous United States back to AD 1700 from tree-ring data // The Holocene. 2004. Vol. 14. Iss. 4. P. 502–516. doi:10.1191/0959683604hl727rp.

Приложение 1
КОРРЕЛЯЦИИ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЙ ЗА ПЕРИОД 1901-1990 гг.

В приложении приведены корреляции хронологий сосны, ели и лиственницы с полем древесно-кольцевых данных, построенным по остальным хронологиям этих пород за период 1901–1990 гг. В каждом узле координатной сетки осредняются индексы всех хронологий, расположенный ближе 400 км к этому узлу. Вес каждой хронологии в этом узле зависит от расстояния – чем больше расстояние (по сравнению с другими хронологиями), тем меньше вес. Подробное описание методики построения поля древесно-кольцевых данных приведено в разделе 2.5.1. Подробное описание древесно-кольцевых хронологий содержится в таблице 1 настоящей книги (глава 3).

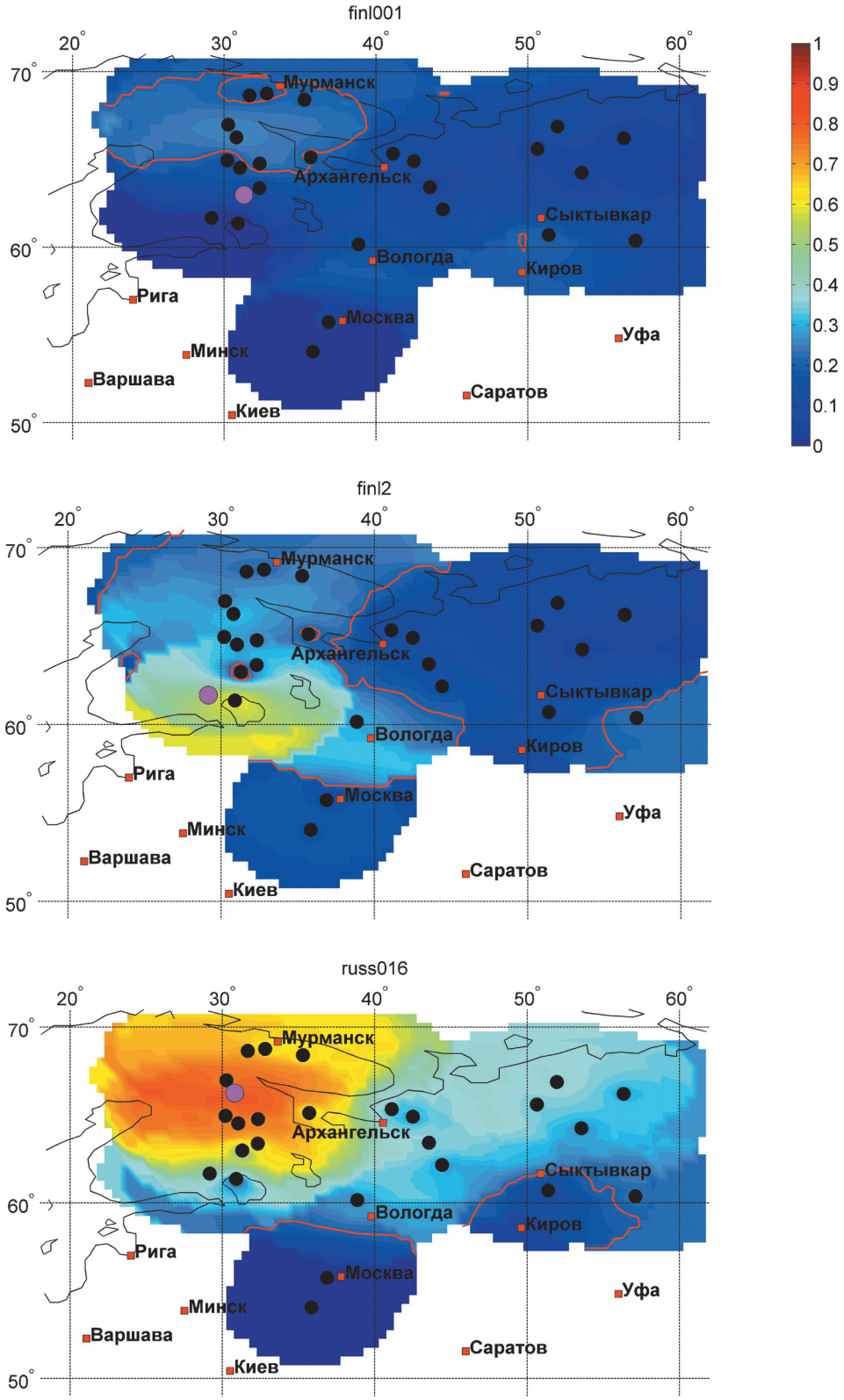


Рис. 1. Корреляции хронологий сосны (сиреневые круги) с полем древесно-кольцевых данных, построенным по остальным хронологиям сосны (черные круги) за период 1901-1990 гг. Красной линией отмечена граница значимых корреляций (p = 0,05)

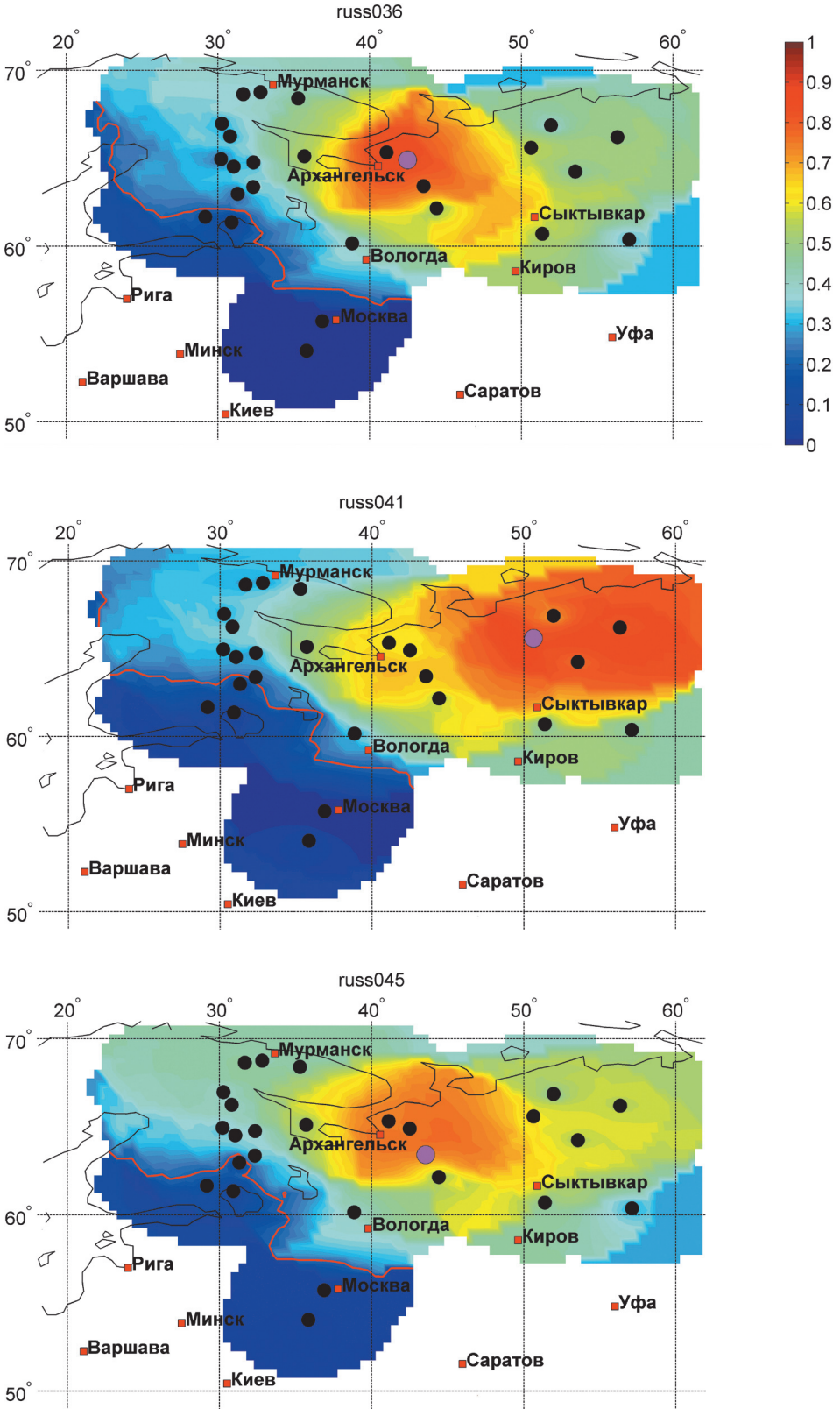


Рис. 1 (*продолжение*)

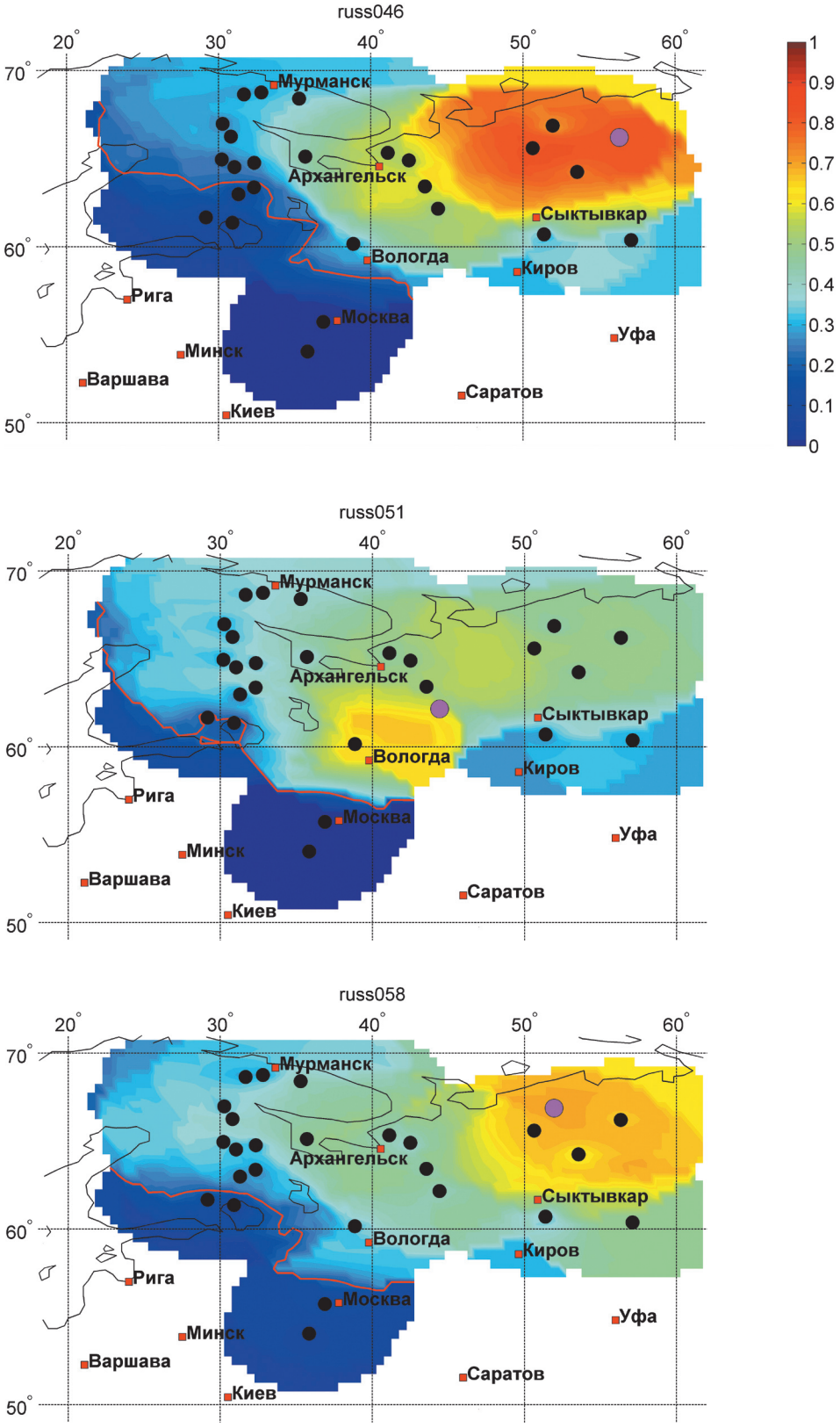


Рис. 1 (*продолжение*)

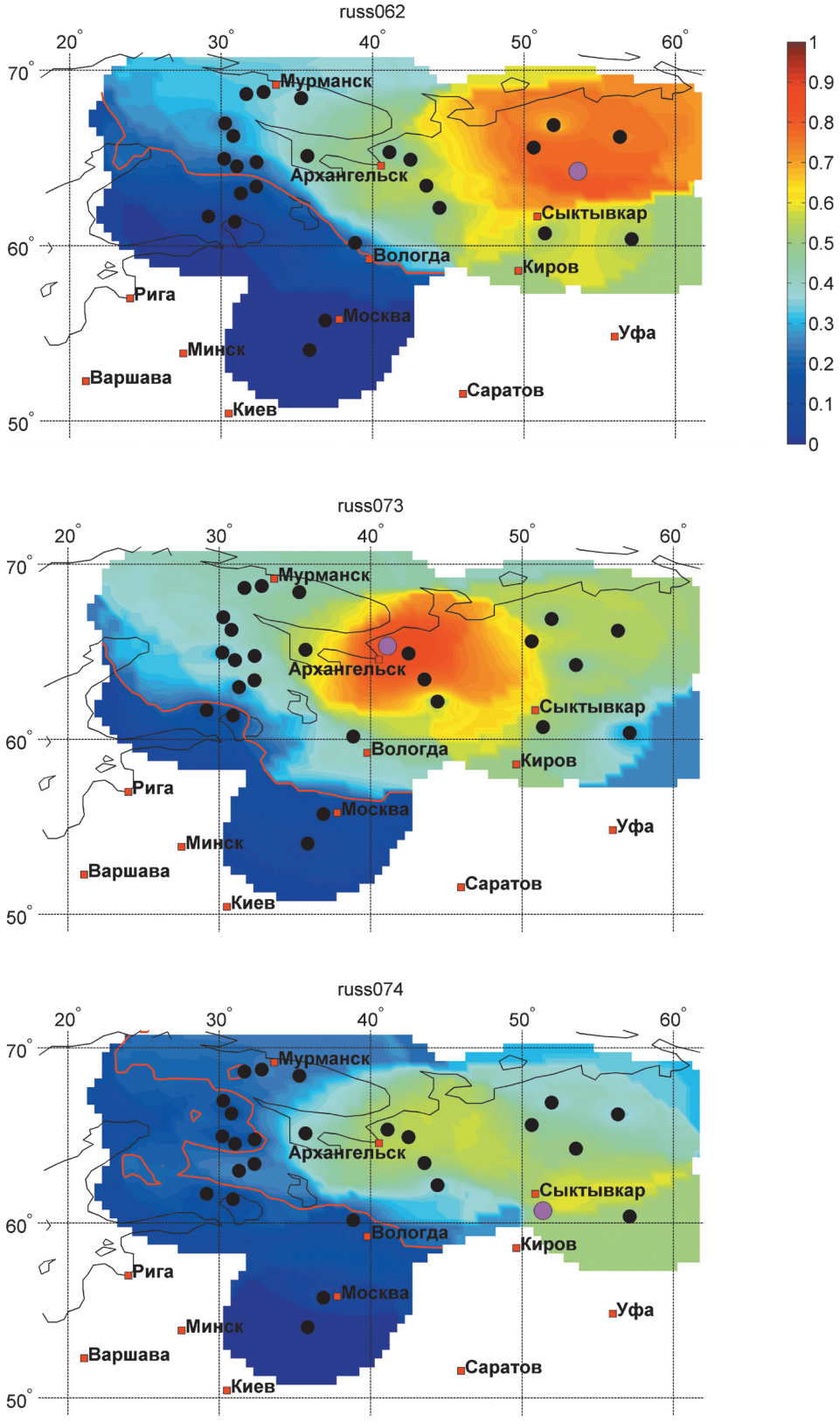


Рис. 1 (*продолжение*)

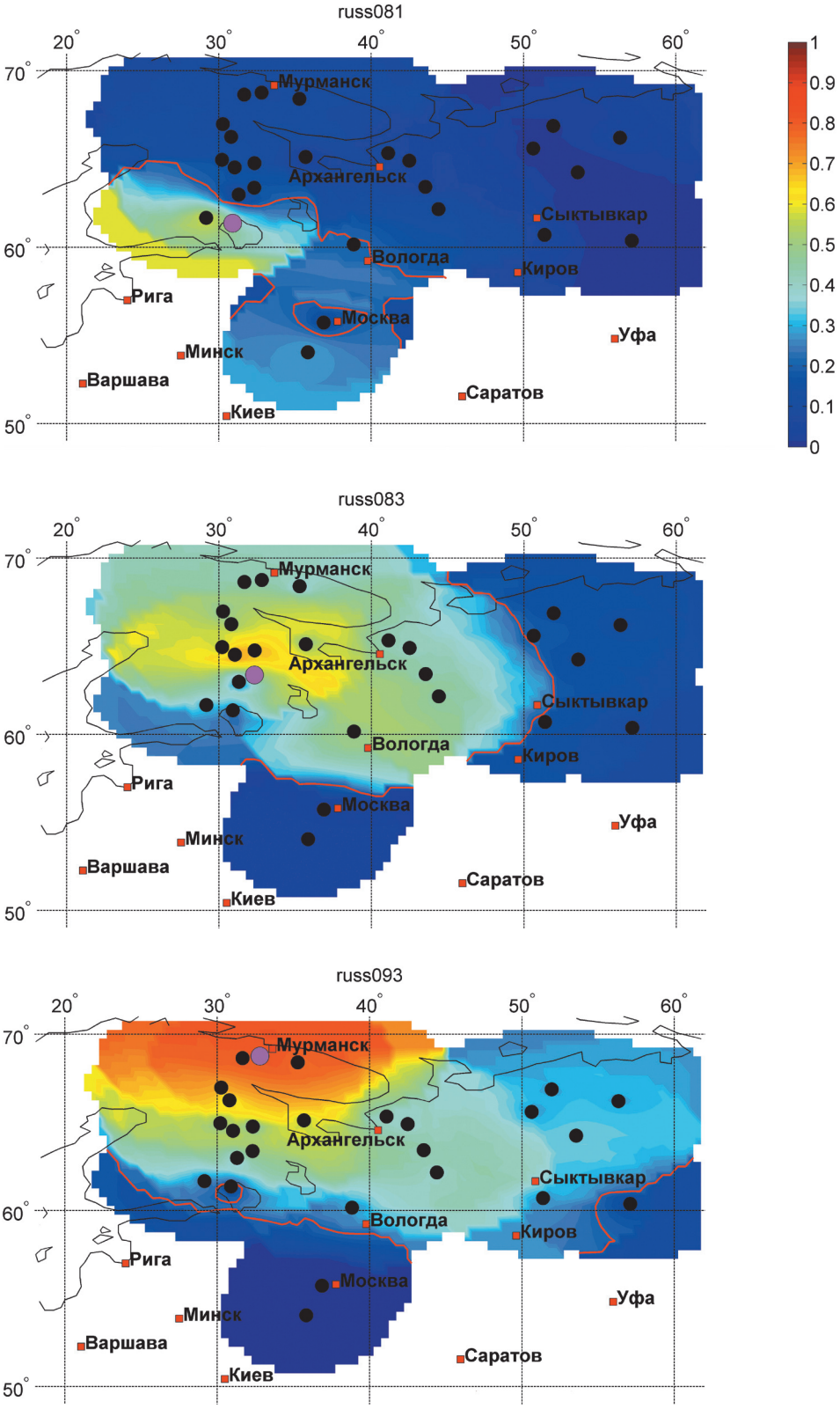


Рис. 1 (*продолжение*)

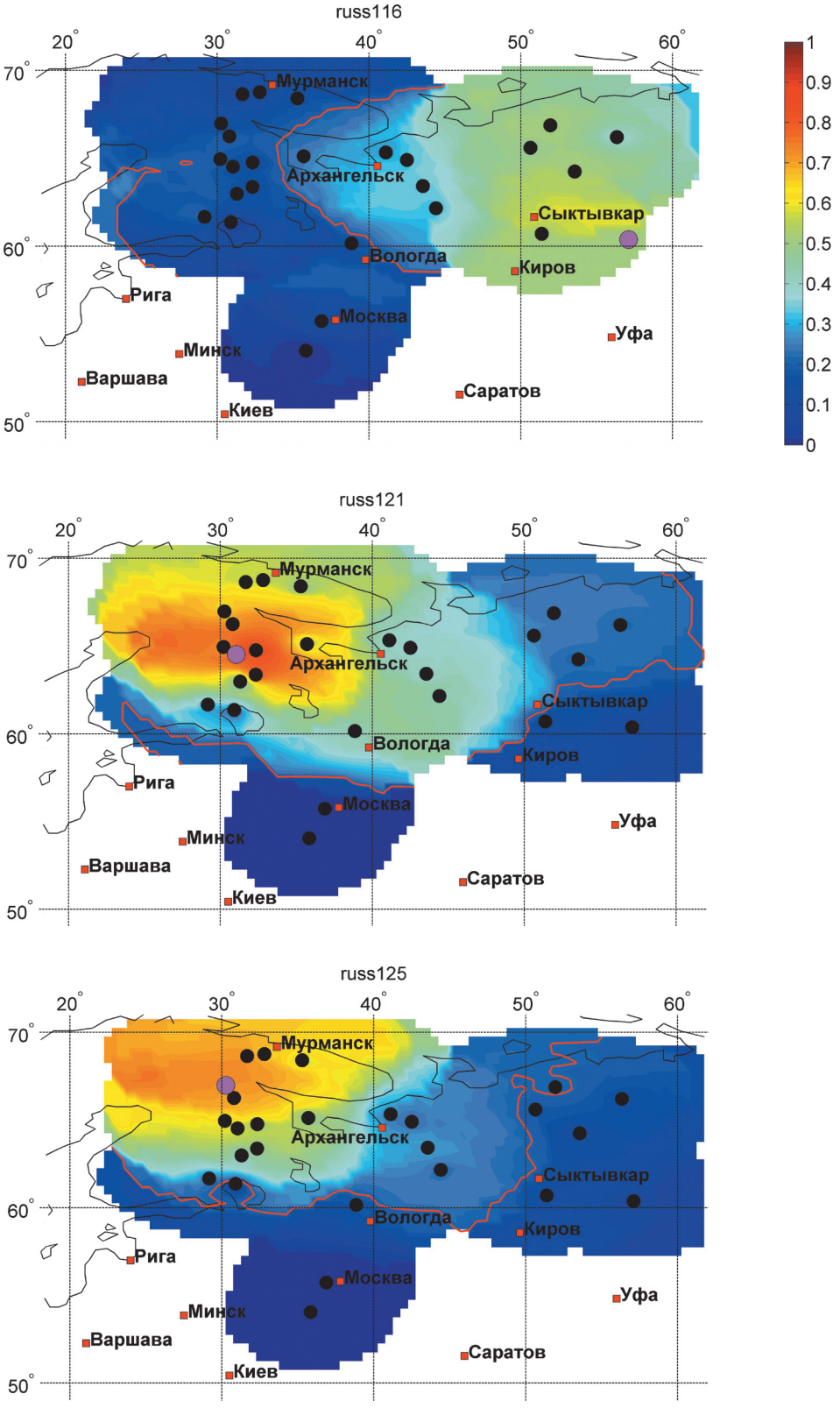


Рис. 1 (*продолжение*)

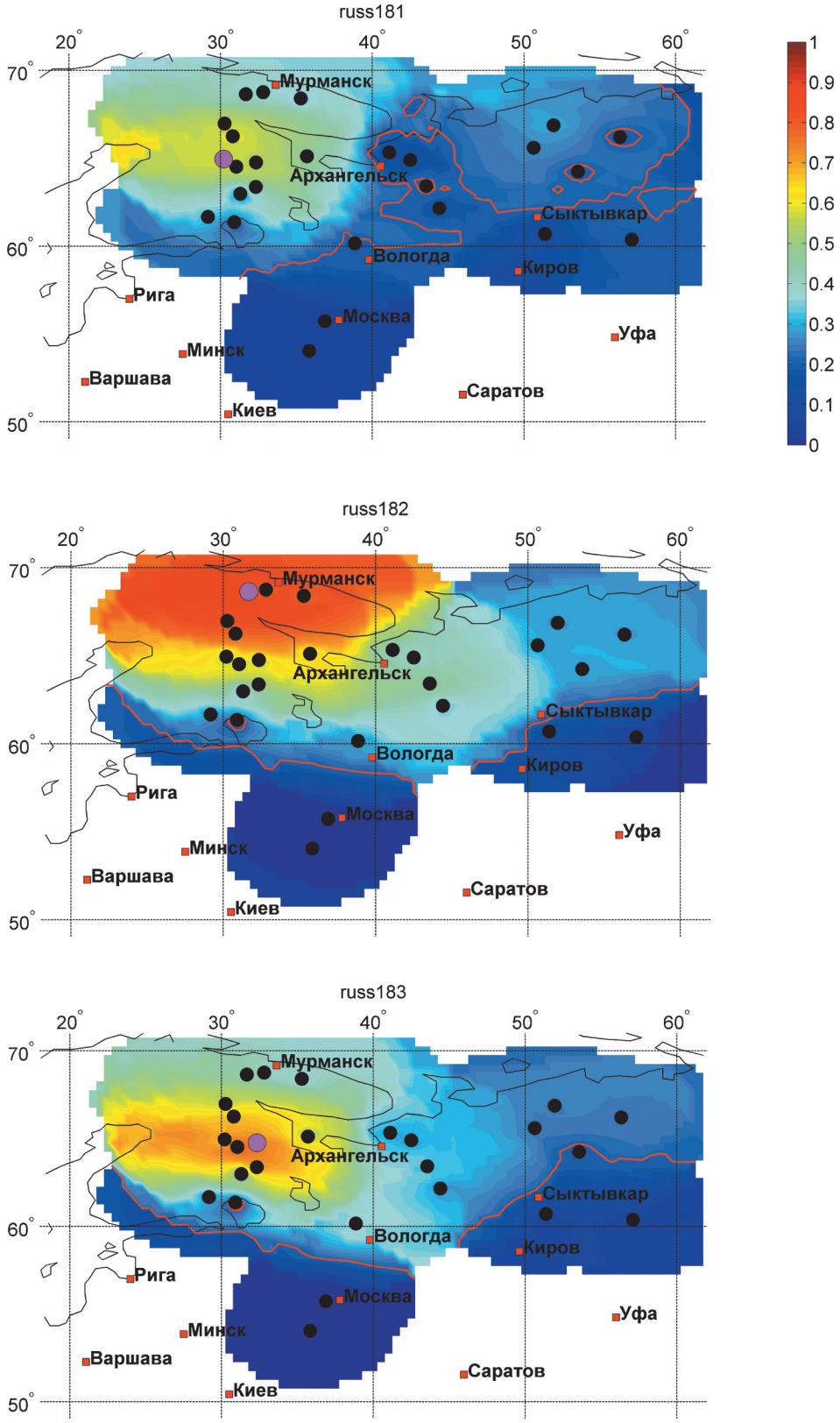


Рис. 1 (*продолжение*)

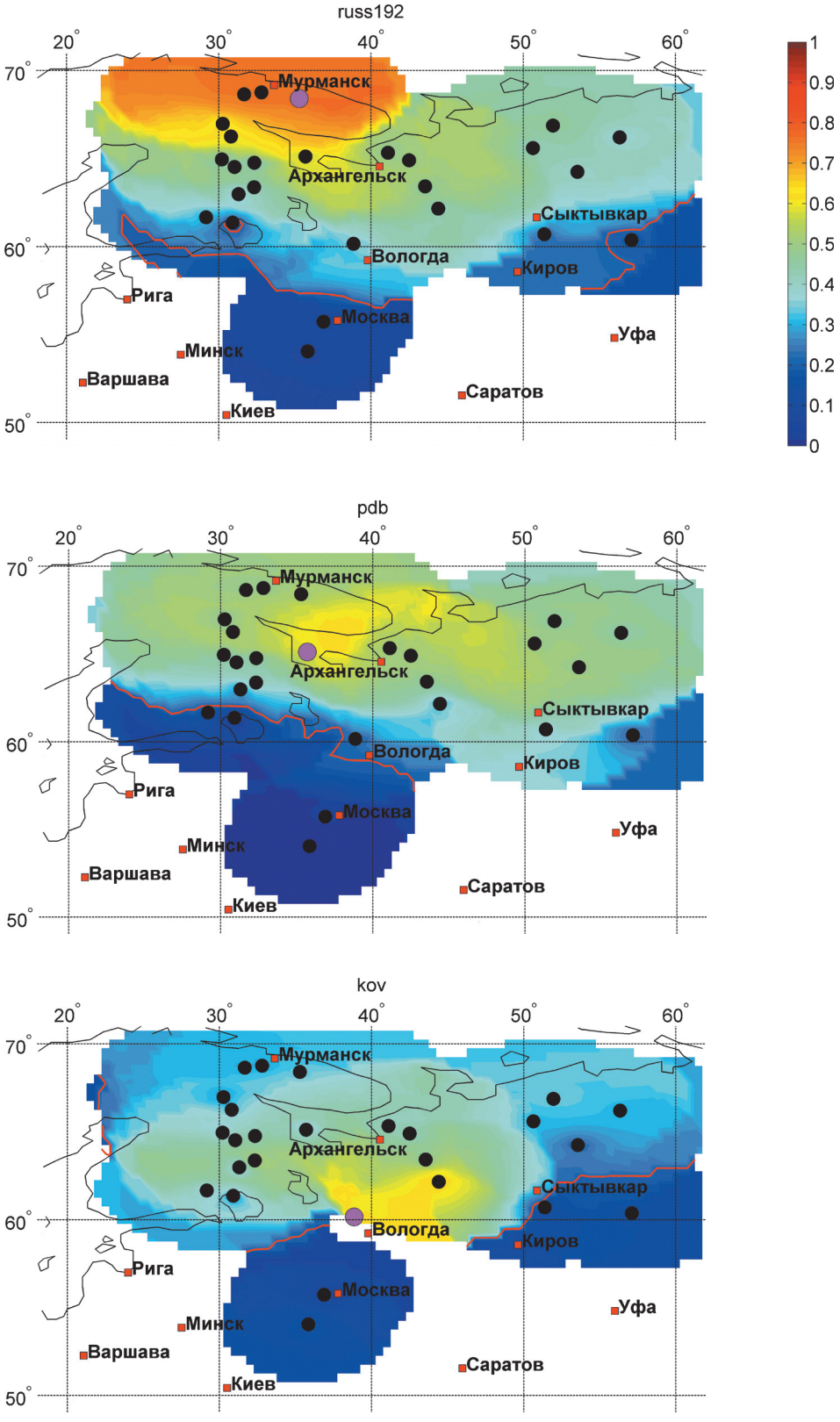


Рис. 1 (*продолжение*)

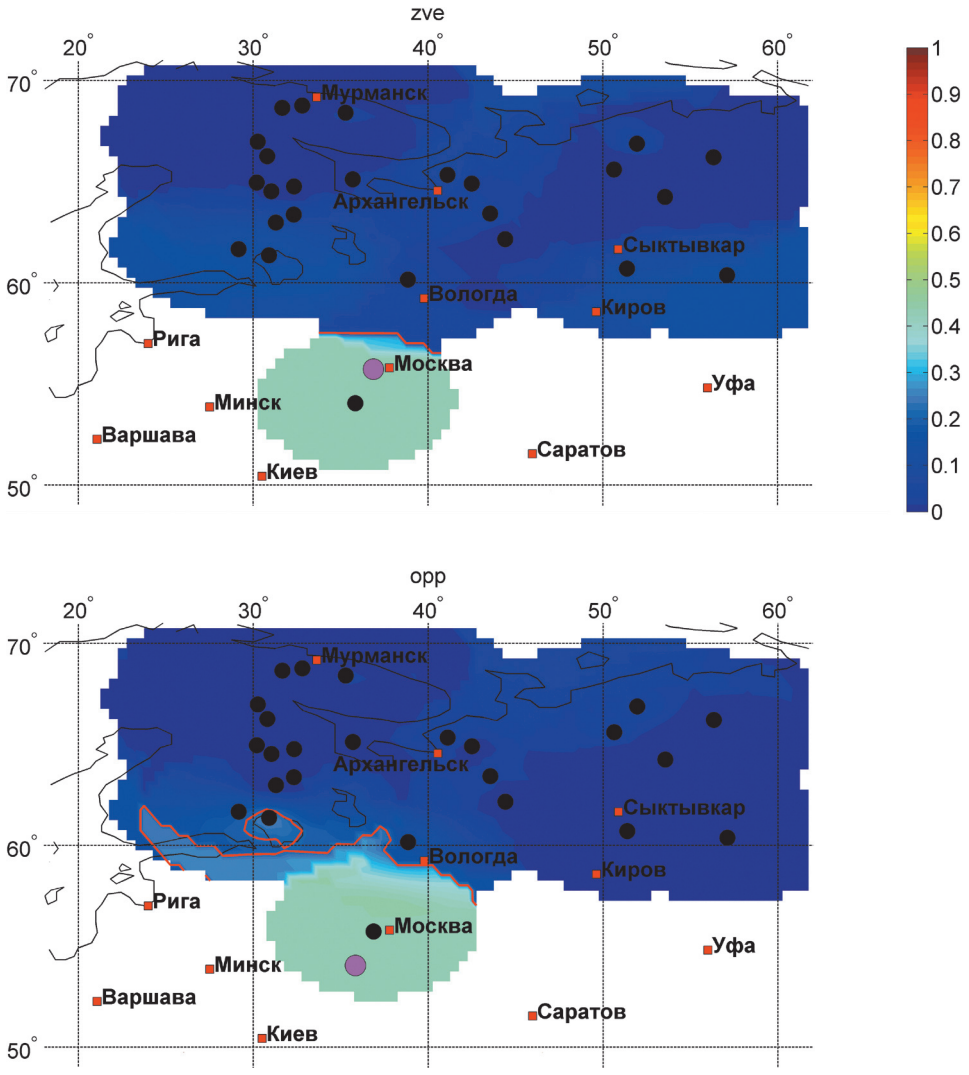


Рис. 1 (*окончание*)

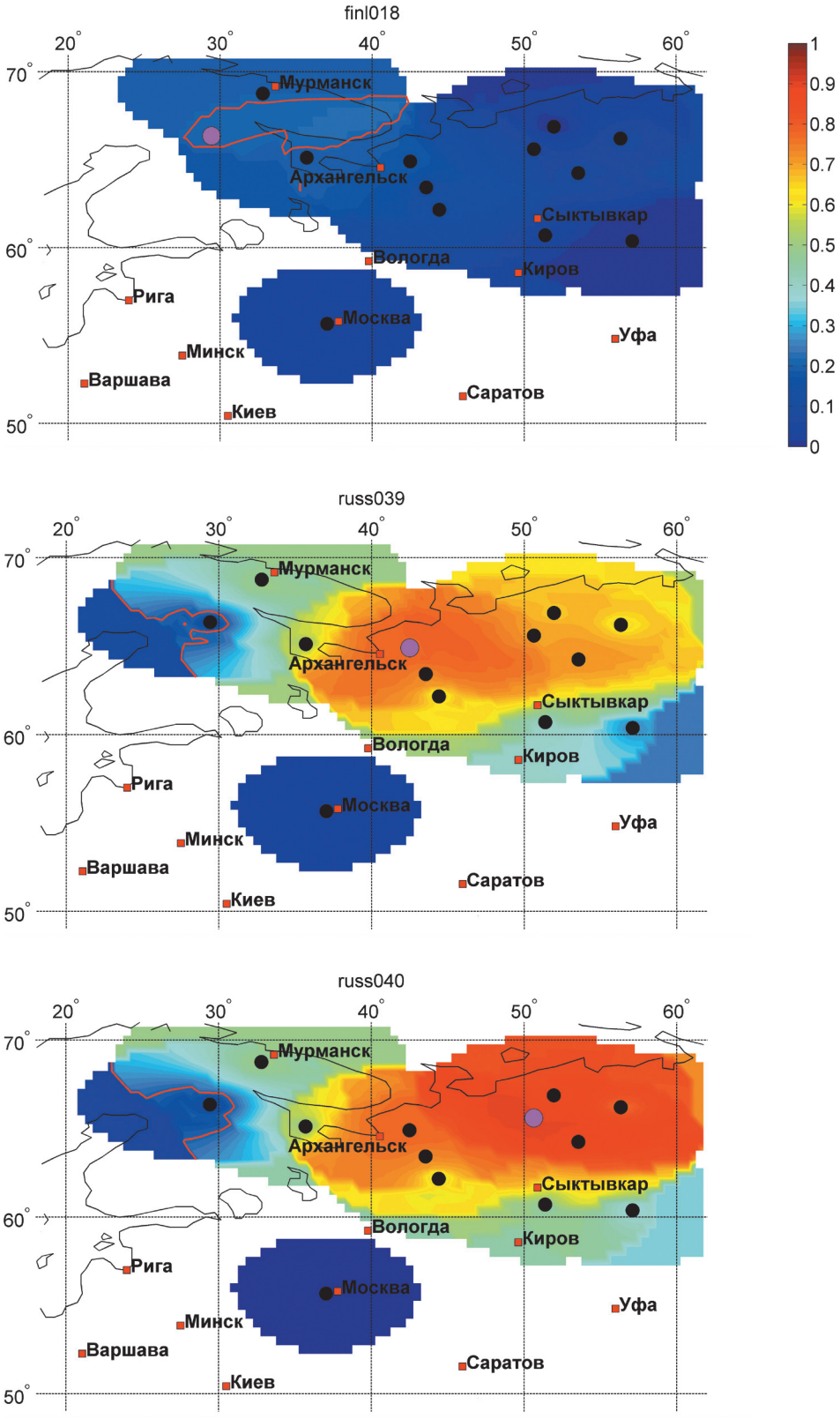


Рис. 2. Корреляции хронологий ели (сиреневые круги) с полем древесно-кольцевых данных, построенным по остальным хронологиям ели (черные круги) за период 1901-1990 гг. Красной линией отмечена граница значимых корреляций (p = 0,05)

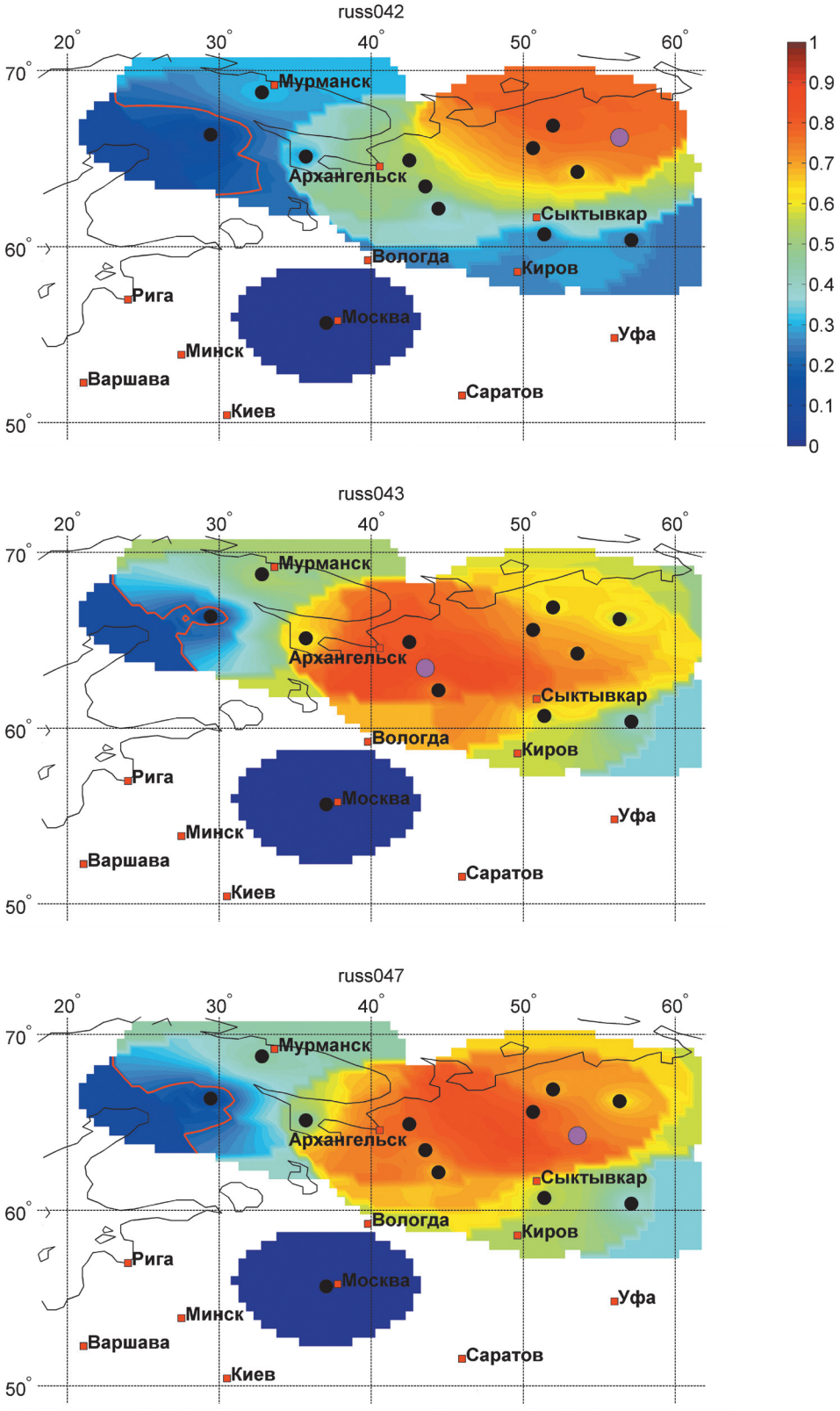


Рис. 2 (*продолжение*)

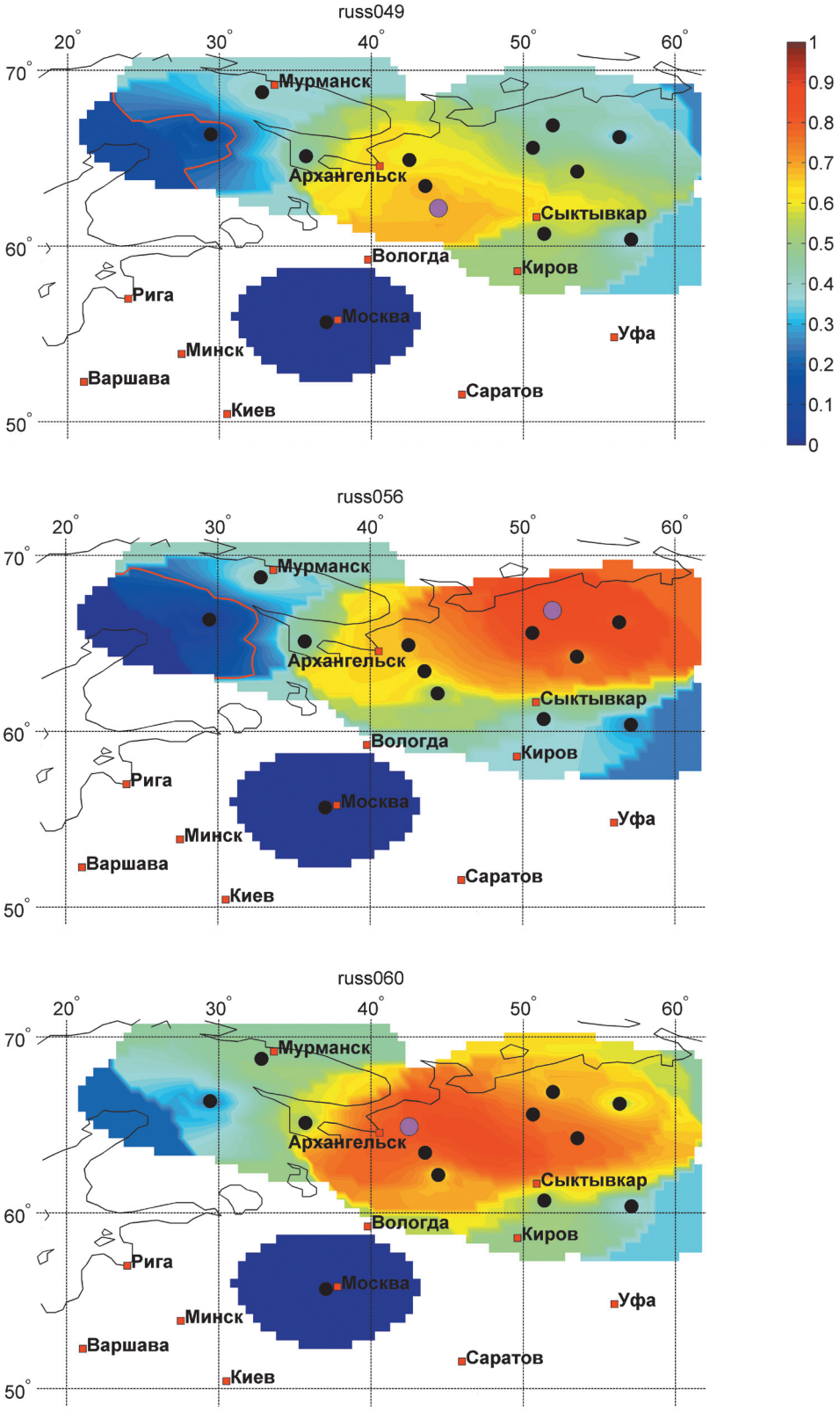


Рис. 2 (*продолжение*)

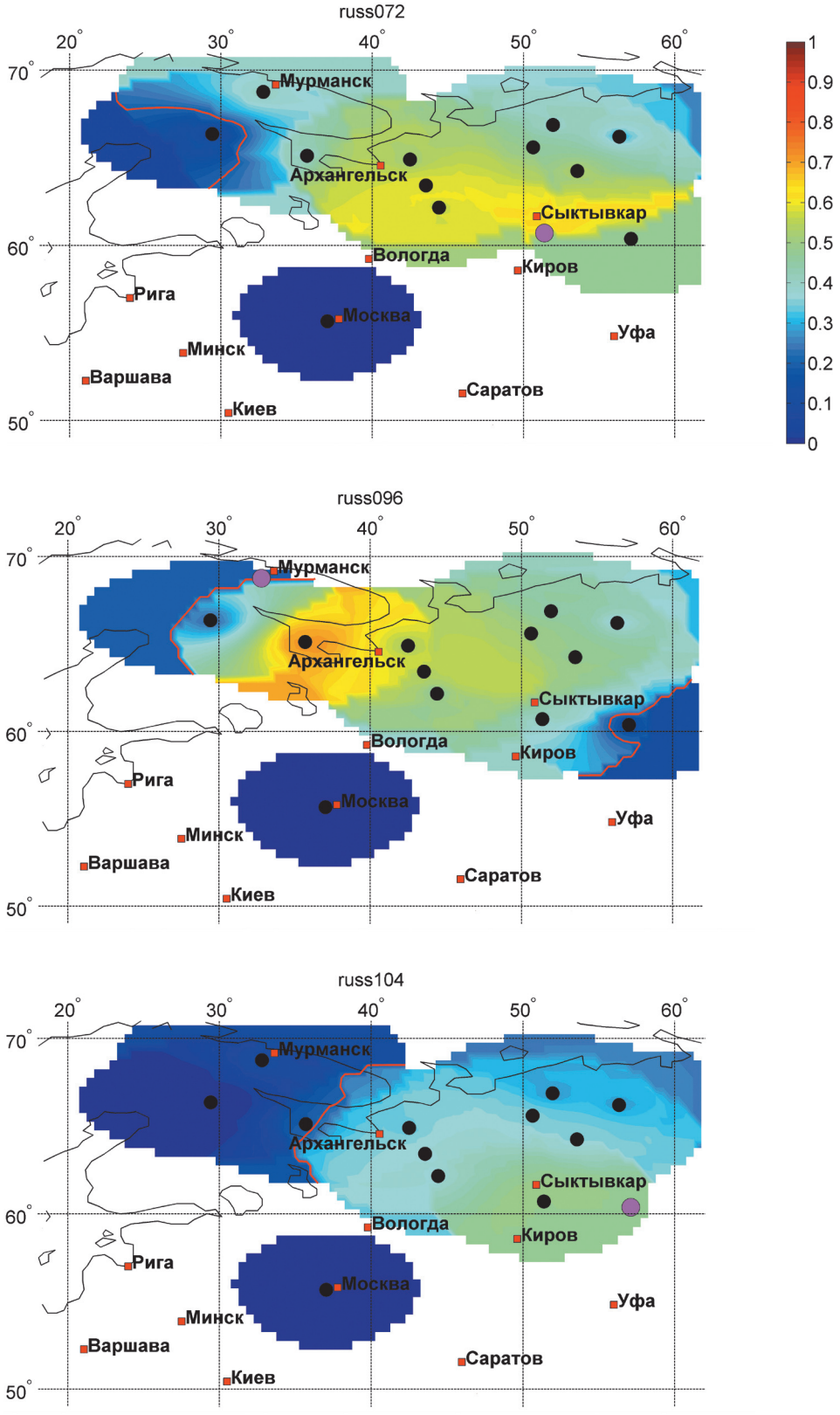


Рис. 2 (*продолжение*)

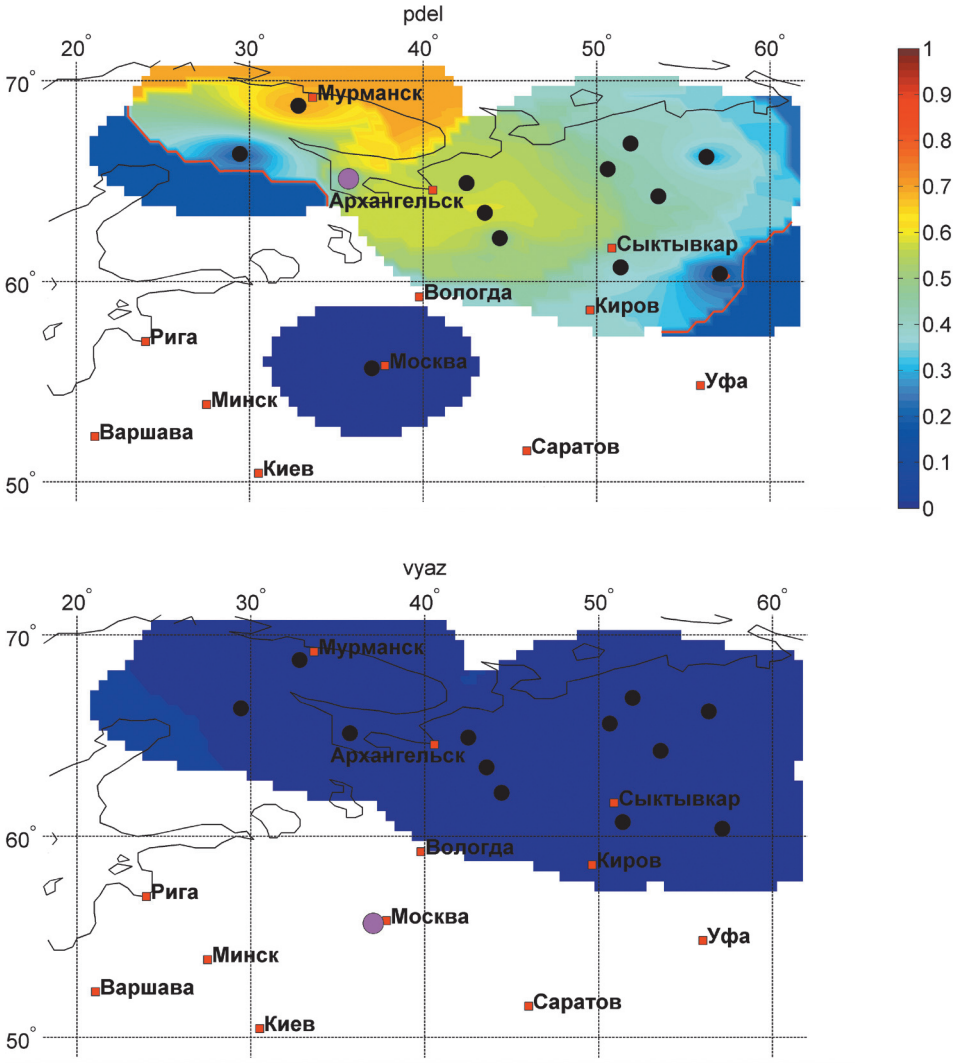


Рис. 2 (*окончание*)

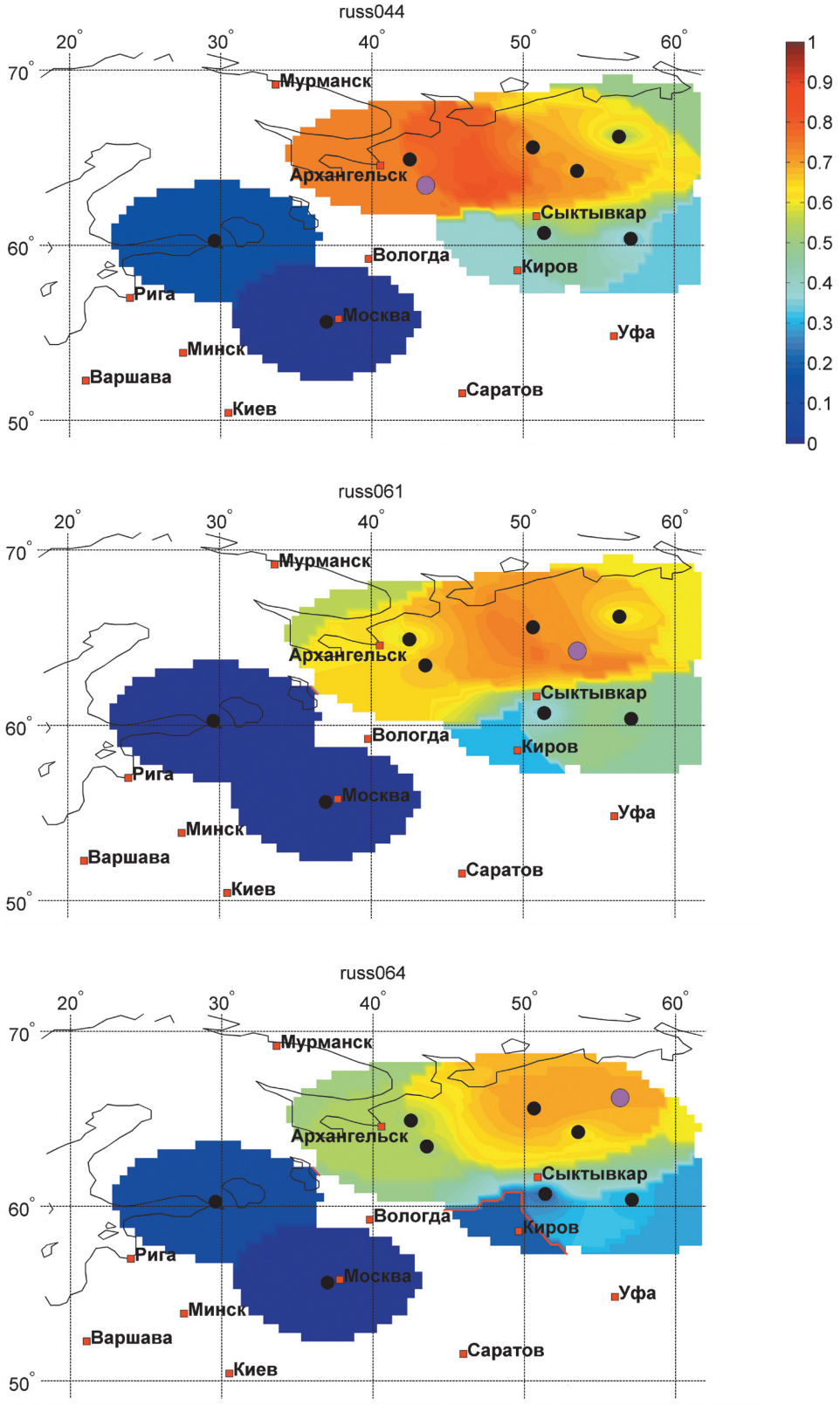


Рис. 3. Корреляции хронологий лиственницы (сиреневые круги) с полем древесно-кольцевых данных, построенным по остальным хронологиям лиственницы (черные круги) за период 1901-1990 гг. Красной линией отмечена граница значимых корреляций (p = 0,05)

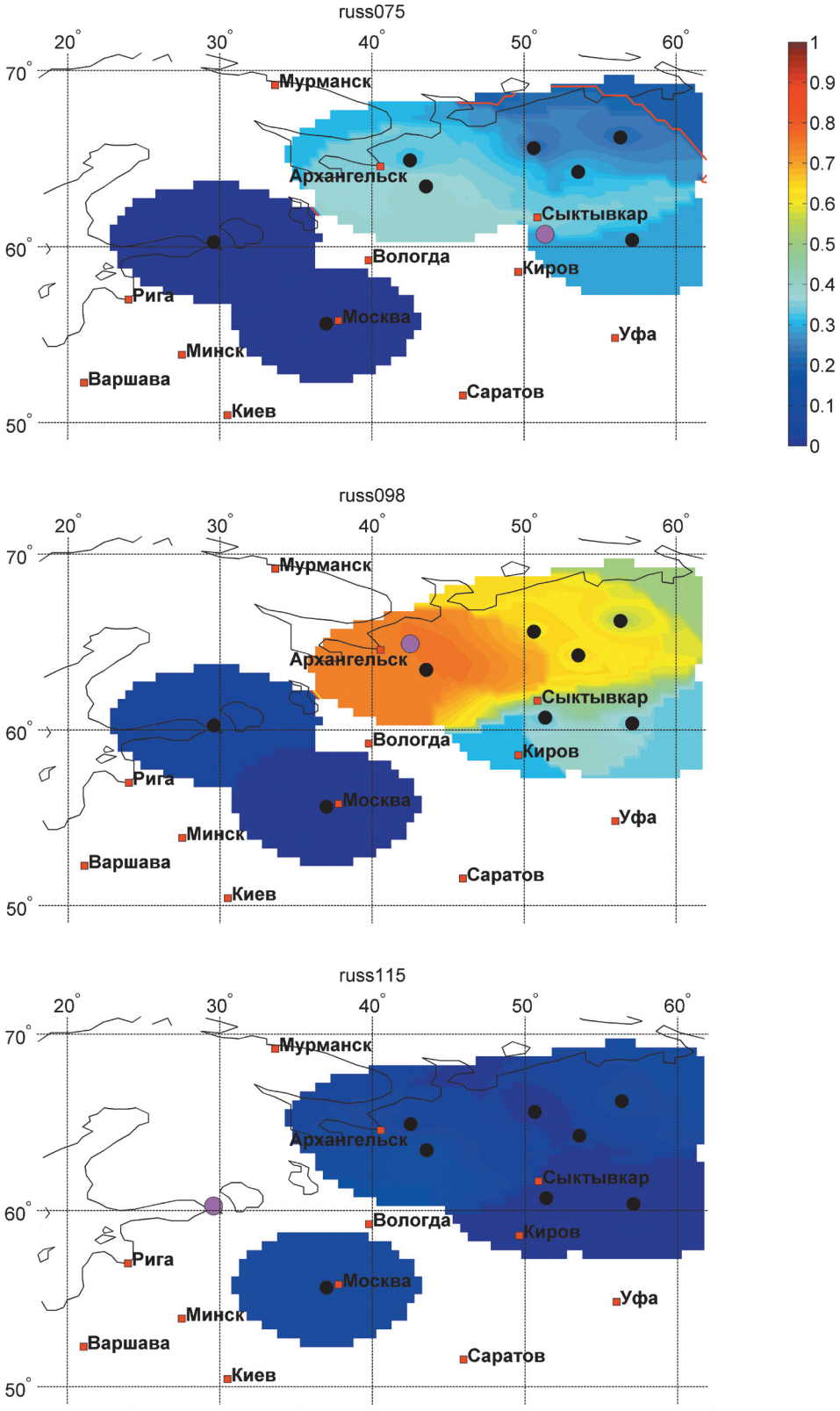


Рис. 3 (*продолжение*)

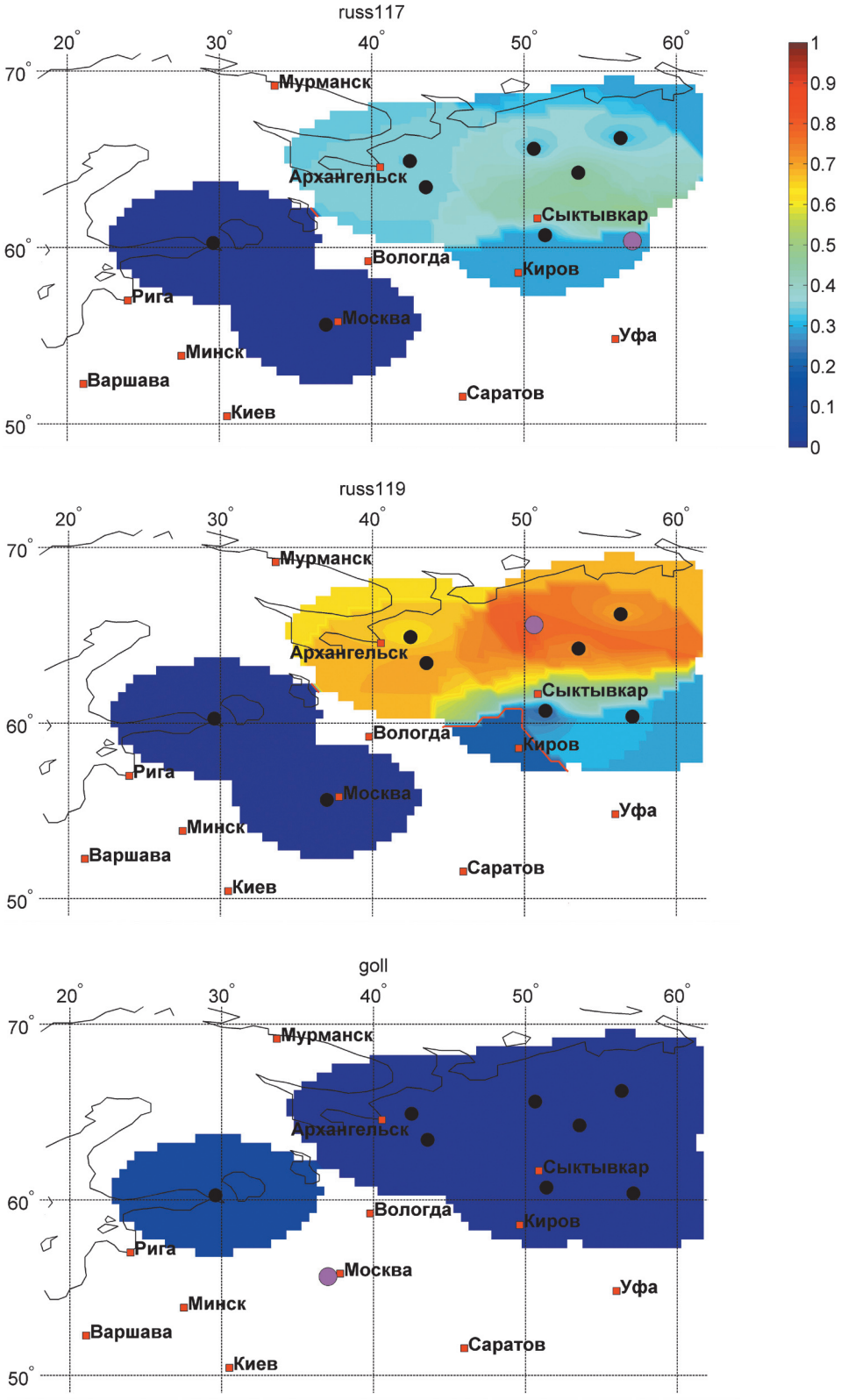


Рис. 3 (*окончание*)

Приложение 2
КЛИМАТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ХРОНОЛОГИЙ ЖИВЫХ ДЕРЕВЬЕВ ЗА ПЕРИОД 1950-1990 гг.

В приложении приведены значения коэффициентов корреляции остаточных (RES) хронологий сосны, ели и лиственницы с различными климатическими параметрами за период 1950-1990 гг. (только значимые корреляции, p=0,05).

Использованные в таблицах обозначения: римскими цифрами обозначены месяцы, буква p обозначает месяцы предыдущего года (по отношению к году прироста).

Архив 223, архив 455, архив 476 – архивы метеоданных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», опубликованные на сайте http://meteo.ru/. Рядом указан код ВМО ближайшей метеостанции из архива к пробной площади отбора образцов для хронологии и расстояние до нее.

Сеточные архивы метеоданных и модельных климатических данных: PDSI – индекс суровости засухи Палмера (Palmer Drought Severity Index), CPC Soil Moisture – архив модельных данных влажности почвы, CRU TS 3.0 – архив метеоданных, интерполированных в узлы регулярной сетки, 20th Reanalysis – данные реанализа. Рядом указаны координаты ближайшего узла сетки к пробной площади отбора образцов для хронологии и расстояние до нее.

Под каждым из использованных архивов указаны параметры, взятые из этого архива.

Использованные климатические параметры: T мин, T средн, T макс – минимальные, средние и максимальные температуры, dT сутки – разница максимальных и минимальных температур за сутки, Отн влажность – относительная влажность воздуха, Дни с заморозками – число дней с заморозками, Дни с осадками – число дней с осадками, Давление – атмосферное давление на уровне моря.

Агро – 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).

Индексы NOAA – индексы дальних связей с сайта Национальной службы по атмосфере и океанам США (NOAA): NAO – Североатлантическая осцилляция (North Atlantic Oscillation), EA – Восточно-атлантический (East Atlantic), EAWR – Восточно-атлантический/Западно-российский (East Atlantic/Western Russia), SCAND – Скандинавский (Scandinavia) и POLAR – Полярно-евразийский (Polar/Eurasia) циркуляционные индексы.

Подробное описание данных, использованных для расчета климатического отклика, приведено в разделе 2.2. Подробное описание древесно-кольцевых хронологий содержится в таблице 1 настоящей книги (глава 3).

Таблица 1. Хронология **finl001**

	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	22602	98.1 км																					
Т мин												0.39	0.33			0.45			0.36		0.42		
Т средн			0.39									0.45				0.41					0.42	0.44	0.4
Т макс																							
Осадки						-0.38										0.36					0.42	0.39	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	0.38	0.39	0.44	0.36		0.4	0.44	0.47	0.58														
архив 455	22602	94.8 км																					
Т средн			0.39									0.45				0.41			0.34		0.42	0.45	0.41
Осадки						-0.37										0.35					0.42	0.39	0.36
архив 476	22619	111.7 км																					
Т средн																0.54						0.47	
PDSI	63.75 с.ш.	31.25 в.д.	85.9 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	62.75 с.ш.	31.25 в.д.	25.8 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO															0.38				0.36	0.45			
SCAND																							
POLAR						0.37																	
EA																							
EAWR																-0.37							
CRU TS 3.0	62.75 с.ш.	31.25 в.д.	25.8 км																				
Т мин						-0.36						0.46				0.5					0.45	0.53	0.51
Т средн			0.35									0.44				0.44					0.43	0.47	0.44
Т макс												0.36				0.38					0.35	0.39	0.39
dT сутки												-0.46	-0.37										
Осадки						-0.37																	
Отн влажн																							
Облачность												0.49	0.35										
Дни с осадками			-0.39		0.36																		
Дни с заморозками												-0.48			-0.43	-0.36					-0.41	-0.47	-0.52
20th Reanalysis	62 с.ш.	32 в.д.	115 км																				
Давление									0.35					0.35									
Толщина снега																							

Таблица 2. Хронология **finl2**

	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	22802	82.6 км																					
Т мин		-0,32			-0,32																		
Т средн					-0,36										-0,36								
Т макс																							
Осадки					0,33					-0,47					0,51						0,42	0,41	0,42
	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						0,45	0,44	0,43		0,44													
архив 455	22802	81.7 км																					
Т средн					-0,36										-0,36								
Осадки					0,34					-0,47					0,51				0,33		0,44	0,42	0,42
архив 476	22802	82.8 км																					
Т средн					-0,36										-0,35								
PDSI	61.25 с.ш.	28.75 в.д.	50.7 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	61.75 с.ш.	29.25 в.д.	11.1 км																				
Влажность почвы																0,37	0,38	0,36					0,32
индексы NOAA																							
NAO																		-0,31					
SCAND																		-0,32			-0,38		
POLAR											-0,35									-0,42			
EA																							
EAWR			-0,34														-0,37						
CRU TS 3.0	61.75 с.ш.	29.25 в.д.	11.1 км																				
Т мин																							
Т средн					-0,41										-0,39								
Т макс					-0,42										-0,42							-0,32	-0,32
dT сутки															-0,61		-0,43		-0,34		-0,52	-0,58	-0,54
Осадки										-0,33					0,42								0,31
Отн влажн													-0,41		0,57		0,36					0,31	0,47	0,47
Облачность															0,32		0,37					0,33	
Дни с осадками										-0,41					0,52							0,43	0,43	0,4
Дни с заморозками					0,36																		
20th Reanalysis	62 с.ш.	30 в.д.	58.3 км																				
Давление				-0,32											-0,36								
Толщина снега		0,32																					

Таблица 3. Хронология **finl018**

	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	22217	155.9 км																					
Т мин				-0,56							-0,39								-0,37	-0,43			
Т средн			-0,48	-0,41							-0,42									-0,43			
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	22217	154.8 км																					
Т средн			-0,48	-0,41							-0,42									-0,43			
Осадки																							
архив 476	22204	142.1 км																					
Т средн			-0,71	-0,69							-0,46									-0,55			
PDSI	66.25 с.ш.	28.75 в.д.	32.9 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	66.25 с.ш.	29.25 в.д.	14.7 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO				0,43											0,57								
SCAND																							
POLAR				0,47			0,42																
EA			-0,38				0,43			-0,43													
EAWR							0,52																
CRU TS 3.0	66.25 с.ш.	29.25 в.д.	14.7 км																				
Т мин			-0,46	-0,46																-0,4			
Т средн			-0,43	-0,39							-0,37									-0,4			
Т макс			-0,4								-0,41									-0,39			
dT сутки							0,52																
Осадки										-0,45	-0,39			-0,38									
Отн влажн										-0,41													
Облачность							-0,47																
Дни с осадками																							
Дни с заморозками			0,44																	0,44			
20th Reanalysis	66 с.ш.	30 в.д.	47.7 км																				
Давление										0,47													
Толщина снега																							

Таблица 4. Хронология **russ016**

	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	22217	120.5 км																					
Т мин													0,31								0,34		
Т средн																0,36	0,33				0,4	0,46	0,34
Т макс					-0,36												0,33						
Осадки																-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	0,34	0,33	0,35	0,46																			
архив 455	22217	117.4 км																					
Т средн																0,36	0,32				0,4	0,46	0,34
Осадки					0,31											-0,32							
архив 476	22408	117.2 км																					
Т средн																0,36					0,36	0,42	
PDSI	66.25 с.ш.	31.25 в.д.	20.3 км																				
Индекс сухости	0,36				0,35		0,32																
CPC Soil Moisture	66.25 с.ш.	30.75 в.д.	2.5 км																				
Влажность почвы						0,32	0,33																
индексы NOAA																							
NAO															0,37			-0,33		0,31			0,36
SCAND																							
POLAR						0,32																	
EA																							
EAWR									0,36	0,38			-0,34	-0,35									
CRU TS 3.0	66.25 с.ш.	30.75 в.д.	2.5 км																				
Т мин																							
Т средн																0,39					0,4	0,47	0,34
Т макс																0,34	0,34				0,36	0,46	0,31
dT сутки																						0,32	
Осадки																							
Отн влажн																							
Облачность													0,32										
Дни с осадками																							
Дни с заморозками																						-0,35	
20th Reanalysis	66 с.ш.	30 в.д.	46.3 км																				
Давление			0,32																				
Толщина снега																			-0,31	-0,33			

Таблица 5. Хронология **russ036**

	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	22550	95.9 км																					
Т мин										0,33	0,42									0,35			
Т средн										0,35					0,35	0,33			0,32			0,32	0,43
Т макс										0,32					0,48								0,4
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			0,42	0,38	0,33				0,33														
архив 455	22550	105.8 км																					
Т средн								-0,32		0,35					0,33	0,33			0,32			0,31	0,43
Осадки					-0,35																		
архив 476	22550	96 км																					
Т средн										0,35					0,35	0,33			0,32			0,32	0,43
PDSI	63.75 с.ш.	41.25 в.д.	142.7 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	64.75 с.ш.	42.25 в.д.	21.4 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO										0,33													
SCAND								-0,46	-0,34											-0,31			
POLAR																							
EA																							
EAWR												-0,35											
CRU TS 3.0	64.75 с.ш.	42.25 в.д.	21.4 км																				
Т мин											0,33				0,39	0,36			0,34	0,31		0,34	0,48
Т средн										0,37					0,34	0,33			0,33	0,31		0,33	0,42
Т макс								-0,36		0,37					0,31								0,39
dT сутки											-0,49												
Осадки																							
Отн влажн																							
Облачность											0,48												
Дни с осадками				-0,38																			
Дни с заморозками																		-0,33					
20th Reanalysis	64 с.ш.	42 в.д.	104.3 км																				
Давление								-0,39															
Толщина снега															-0,36								-0,36

Таблица 6. Хронология **russ039**

	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	22550	95.9 км																					
T мин				-0,32					-0,33														
T средн	0,35		-0,42	-0,57	-0,33																		
T макс	0,42						-0,31																
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				0,35					0,37														
архив 455	22550	105.8 км																					
T средн	0,37		-0,41	-0,57	-0,34																		
Осадки																							
архив 476	22550	96 км																					
T средн	0,36		-0,42	-0,57	-0,34																		
PDSI	63.75 с.ш.	41.25 в.д.	142.7 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	64.75 с.ш.	42.25 в.д.	21.4 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																		-0,35					
SCAND									-0,33														
POLAR									-0,5														
EA																							
EAWR																							
CRU TS 3.0	64.75 с.ш.	42.25 в.д.	21.4 км																				
T мин			-0,41	-0,61	-0,45																		
T средн	0,32		-0,4	-0,59	-0,4																		
T макс	0,36		-0,43	-0,57	-0,32																		
dT сутки			-0,33															-0,34					
Осадки								0,32															
Отн влажн				0,31			-0,42																
Облачность			0,36															0,34					
Дни с осадками																							
Дни с заморозками			0,34	0,39	0,47							0,34											
20th Reanalysis	64 с.ш.	42 в.д.	104.3 км																				
Давление																		-0,31					
Толщина снега																	-0,33						

Таблица 7. Хронология **russ040**

	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	23405	78 км																					
Т мин				-0,61					-0,33				-0,41								-0,32		
Т средн			-0,34	-0,52	-0,39				-0,32				-0,37										
Т макс	0,32														0,34								
Осадки				0,31							-0,41			-0,36						-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	23405	73.4 км																					
Т средн			-0,37	-0,5	-0,47				-0,37				-0,41										
Осадки				0,31							-0,41			-0,36						-0,34			
архив 476	23405	78.2 км																					
Т средн			-0,35	-0,52	-0,39				-0,32				-0,38										
PDSI	66.25 с.ш.	51.25 в.д.	77.8 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	65.75 с.ш.	50.75 в.д.	17.6 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																		-0,4					
SCAND									-0,44														
POLAR				0,4			0,38		-0,47														
EA																							
EAWR	-0,41																						
CRU TS 3.0	65.75 с.ш.	50.75 в.д.	17.6 км																				
Т мин			-0,31	-0,49	-0,47				-0,33				-0,44										
Т средн			-0,35	-0,5	-0,5				-0,33				-0,41										
Т макс			-0,35	-0,49	-0,39								-0,39										
dT сутки			-0,34	-0,36					0,32				0,42										
Осадки											-0,45			-0,42			0,34						
Отн влажн				0,43			-0,51						0,33										
Облачность			0,34						-0,34				-0,42										
Дни с осадками				0,31							-0,32			-0,37									
Дни с заморозками				0,36	0,56																		
20th Reanalysis	66 с.ш.	50 в.д.	53.1 км																				
Давление								-0,32			0,38												
Толщина снега	-0,39	-0,32															-0,33						

Таблица 8. Хронология **russ041**

	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	23405	78 км																					
Т мин										0,37						0,49							0,45
Т средн										0,31					0,4	0,45	0,34		0,42		0,4	0,51	0,54
Т макс															0,44				0,34		0,39	0,47	0,46
Осадки				0,34																			
	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	0,51	0,54	0,49	0,52				0,34	0,54														
архив 455	23405	73.4 км																					
Т средн															0,37	0,46	0,33		0,39		0,38	0,48	0,53
Осадки				0,35																			
архив 476	23405	78.2 км																					
Т средн										0,31					0,4	0,44	0,34		0,42		0,4	0,51	0,53
PDSI	66.25 с.ш.	51.25 в.д.	77.8 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	65.75 с.ш.	50.75 в.д.	17.6 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO		0,35		0,35						0,31													
SCAND								-0,34															
POLAR																					-0,32		
EA																							
EAWR											-0,32	-0,36				-0,35			-0,37		-0,34		-0,31
CRU TS 3.0	65.75 с.ш.	50.75 в.д.	17.6 км																				
Т мин										0,34					0,37	0,46	0,35		0,38	0,33	0,32	0,47	0,5
Т средн										0,37					0,4	0,45	0,38		0,43	0,33	0,41	0,52	0,52
Т макс										0,38					0,44	0,4	0,36		0,46	0,32	0,44	0,53	0,53
dT сутки															0,45						0,45	0,5	0,47
Осадки				0,32																			
Отн влажн				0,33														0,41					
Облачность														-0,36	-0,42						-0,42	-0,5	-0,47
Дни с осадками				0,33																			
Дни с заморозками																-0,31	-0,38	-0,38	-0,37		-0,53	-0,43	-0,31
20th Reanalysis	66 с.ш.	50 в.д.	53.1 км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Таблица 9. Хронология **russ042**

	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	23418	126.9 км																					
Т мин				-0,39																			
Т средн				-0,38																			
Т макс							-0,37																
Осадки											-0,38		-0,31				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	23418	128.7 км																					
Т средн				-0,4	-0,37																		
Осадки	-0,34										-0,38						0,36						
архив 476	23412	37.8 км																					
Т средн				-0,38																			
PDSI	66.25 с.ш.	56.25 в.д.	5.7 км																				
Индекс сухости						0,32	0,34	0,36	0,35	0,31													
CPC Soil Moisture	66.25 с.ш.	56.25 в.д.	5.7 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																							
SCAND									-0,37														
POLAR				0,42					-0,34														
EA										-0,42	-0,31												
EAWR	-0,38							0,32															
CRU TS 3.0	66.25 с.ш.	56.25 в.д.	5.7 км																				
Т мин				-0,39													0,32						
Т средн				-0,39	-0,34																		
Т макс			-0,31	-0,4																			
dT сутки				-0,32									0,34										
Осадки											-0,34		-0,35										
Отн влажн				0,37	0,45																		
Облачность													-0,38					0,33					
Дни с осадками				0,35									-0,34	-0,33									
Дни с заморозками				0,33	0,4																		
20th Reanalysis	66 с.ш.	56 в.д.	27.8 км																				
Давление								-0,36			0,34												
Толщина снега									0,34	0,32							-0,31						

Таблица 10. Хронология **russ043**

	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	22550	182.4 км																					
Т мин													-0,35										
Т средн	0,34		-0,37	-0,5											0,32								
Т макс	0,48														0,34								
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	22768	151.9 км																					
Т средн	0,32		-0,41	-0,5											0,32								
Осадки																							
архив 476	22676	104.9 км																					
Т средн			-0,42	-0,57	-0,4																		
PDSI	63.75 с.ш.	43.75 в.д.	37 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	63.25 с.ш.	43.75 в.д.	22.4 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																		-0,49					
SCAND																							
POLAR				0,44					-0,44												-0,33		
EA													0,31										
EAWR																							
CRU TS 3.0	63.25 с.ш.	43.75 в.д.	22.4 км																				
Т мин			-0,37	-0,5	-0,37																		
Т средн	0,31		-0,38	-0,52											0,31								
Т макс	0,34		-0,41	-0,5																			
dT сутки		-0,36	-0,35															-0,33					
Осадки																							
Отн влажн							-0,32											0,33					
Облачность		0,32	0,38																				
Дни с осадками					-0,31		-0,33								-0,35								
Дни с заморозками					0,44										-0,32								
20th Reanalysis	64 с.ш.	44 в.д.	67.3 км																				
Давление																		-0,32					
Толщина снега															-0,34								-0,34

Таблица 11. Хронология **russ044**

	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	22550	182.4 км																					
T мин	0,36																						
T средн	0,53														0,37								
T макс	0,56				0,35																		
Осадки																	0,37				0,32	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				0,32			0,37		0,38	0,35													
архив 455	22768	151.9 км																					
T средн	0,52		-0,32												0,35								
Осадки																0,33					0,31	0,34	0,36
архив 476	22676	104.9 км																					
T средн	0,61																						
PDSI	63.75 с.ш.	43.75 в.д.	37 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	63.25 с.ш.	43.75 в.д.	22.4 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																		-0,44					
SCAND																							
POLAR	0,32																				-0,32		
EA																							
EAWR	-0,55													-0,34									
CRU TS 3.0	63.25 с.ш.	43.75 в.д.	22.4 км																				
T мин	0,44				-0,33										0,36								
T средн	0,52														0,38								0,31
T макс	0,54														0,36			-0,34					
dT сутки														0,32				-0,38					
Осадки					-0,35												0,4				0,41	0,37	
Отн влажн																		0,31					
Облачность			0,33											-0,32				0,37					
Дни с осадками														-0,31									
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	64 с.ш.	44 в.д.	67.3 км																				
Давление											0,39	0,31											
Толщина снега	-0,46	-0,33			0,36										-0,37								-0,37

Таблица 12. Хронология **russ045**

	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	22550	182.4 км																					
Т мин																				0,32			
Т средн															0,36						0,31	0,39	0,42
Т макс	0,35														0,32								
Осадки	-0,31							-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			0,37	0,42																			
архив 455	22768	151.9 км																					
Т средн															0,4						0,33	0,35	0,44
Осадки																							
архив 476	22676	104.9 км																					
Т средн															0,48							0,38	0,52
PDSI	63.75 с.ш.	43.75 в.д.	37 км																				
Индекс сухости			-0,33			-0,33																	
CPC Soil Moisture	63.25 с.ш.	43.75 в.д.	22.4 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																							
SCAND																							
POLAR		-0,32																					
EA																							
EAWR																							
CRU TS 3.0	63.25 с.ш.	43.75 в.д.	22.4 км																				
Т мин															0,4	0,31						0,35	0,44
Т средн			0,32												0,41						0,36	0,41	0,46
Т макс	0,31							-0,34							0,39							0,37	0,42
dT сутки	0,31																						
Осадки																							
Отн влажн																							
Облачность	-0,36														-0,41			0,31					-0,36
Дни с осадками	-0,44																						
Дни с заморозками																	-0,4				-0,32	-0,31	
20th Reanalysis	64 с.ш.	44 в.д.	67.3 км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Таблица 13. Хронология **russ046**

	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	23418	126.9 км																					
Т мин										0,32													
Т средн	0,33	0,36								0,34													0,32
Т макс	0,39	0,33					-0,34																
Осадки		0,33		0,31																			
	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	23418	128.7 км																					
Т средн		0,39								0,35													0,33
Осадки		0,36																					
архив 476	23412	37.8 км																					
Т средн	0,31	0,37								0,38													
PDSI	66.25 с.ш.	56.25 в.д.	5.7 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	66.25 с.ш.	56.25 в.д.	5.7 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO				0,35																			
SCAND		-0,39							-0,34														
POLAR				0,34																	-0,32		
EA						0,33																	
EAWR	-0,35														-0,34	-0,32							-0,41
CRU TS 3.0	66.25 с.ш.	56.25 в.д.	5.7 км																				
Т мин		0,31								0,37													
Т средн		0,36								0,4													
Т макс	0,31	0,38								0,4													
dT сутки		0,35																		-0,32			
Осадки				0,32																			
Отн влажн					0,42					-0,36	-0,32							0,41	-0,32	-0,36			
Облачность		-0,33																					
Дни с осадками	-0,53													-0,38					-0,33		-0,31	-0,35	
Дни с заморозками										-0,31													
20th Reanalysis	66 с.ш.	56 в.д.	27.8 км																				
Давление	0,45										0,35												
Толщина снега	-0,4	-0,53	-0,42																				

Таблица 14. Хронология **russ047**

	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	23405	145.5 км																					
Т мин				-0,48						0,33			-0,54								-0,37		
Т средн	0,34		-0,36	-0,47	-0,35								-0,47										
Т макс	0,45			-0,34																			
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	23405	153.5 км																					
Т средн			-0,39	-0,44	-0,42								-0,51										
Осадки																							
архив 476	23514	93.8 км																					
Т средн				-0,48	-0,42								-0,43										
PDSI	63.75 с.ш.	53.75 в.д.	56.5 км																				
Индекс сухости									0,32	0,34		0,37	0,35						0,33	0,33			
CPC Soil Moisture	64.25 с.ш.	53.75 в.д.	9.2 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																		-0,35					
SCAND									-0,5														
POLAR	0,33								-0,47														
EA																	-0,31						
EAWR	-0,38																						
CRU TS 3.0	64.25 с.ш.	53.75 в.д.	9.2 км																				
Т мин			-0,32	-0,44	-0,38								-0,51										
Т средн			-0,37	-0,44	-0,39								-0,51										
Т макс	0,35		-0,34	-0,44									-0,45										
dT сутки				-0,31		0,31	-0,33		0,35				0,4					-0,37					
Осадки											-0,33												
Отн влажн				0,32			-0,32						0,4								0,38		
Облачность			0,42	0,36									-0,34					0,43					
Дни с осадками					-0,33	-0,37																	
Дни с заморозками	-0,34			0,4	0,46								0,35										
20th Reanalysis	64 с.ш.	54 в.д.	35.2 км																				
Давление			-0,32					-0,31	-0,37														
Толщина снега	-0,44	-0,34							0,31														

Таблица 15. Хронология **russ049**

	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	22887	159.9 км																					
T мин																							
T средн				-0,37	-0,36																		
T макс	0,37						-0,34				-0,39												
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	22768	79.1 км																					
T средн	0,34		-0,35	-0,39	-0,36																		
Осадки			0,33																				
архив 476	22768	79.1 км																					
T средн	0,34		-0,34	-0,38	-0,37																		
PDSI	61.25 с.ш.	43.75 в.д.	107.3 км																				
Индекс сухости									0,33	0,36	0,37	0,37	0,4		0,34	0,35		0,35	0,37	0,34	0,36	0,33	0,35
CPC Soil Moisture	62.25 с.ш.	44.25 в.д.	13 км																				
Влажность почвы				0,41	0,35																		
индексы NOAA																							
NAO																							
SCAND												0,36											
POLAR															-0,35						-0,44		-0,33
EA																							
EAWR							0,31																
CRU TS 3.0	62.25 с.ш.	44.25 в.д.	13 км																				
T мин				-0,36	-0,37																		
T средн	0,33			-0,39	-0,36																		
T макс	0,39		-0,31	-0,38	-0,37																		
dT сутки	0,36		-0,32															-0,32					
Осадки																							
Отн влажн																		0,41					
Облачность	-0,37		0,38																				
Дни с осадками	-0,43																	0,43					
Дни с заморозками		-0,35																					
20th Reanalysis	62 с.ш.	44 в.д.	27.9 км																				
Давление	0,42										0,37	0,34						-0,37					
Толщина снега																							

Таблица 16. Хронология **russ051**

	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	22887	159.9 км																					
T мин						-0,48							-0,32										
T средн	0,4				-0,36								-0,38			0,32							
T макс	0,39						-0,36																
Осадки								0,36											0,35	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																							
архив 455	22768	79.1 км																					
T средн	0,39				-0,34								-0,38										0,32
Осадки																							
архив 476	22768	79.1 км																					
T средн	0,39				-0,35								-0,38										0,32
PDSI	61.25 с.ш.	43.75 в.д.	107.3 км																				
Индекс сухости	-0,33																						
CPC Soil Moisture	62.25 с.ш.	44.25 в.д.	13 км																				
Влажность почвы	-0,39	-0,41																					
индексы NOAA																							
NAO																							
SCAND								-0,36	-0,49														
POLAR																							
EA			-0,34																				
EAWR	-0,4						0,32	0,33			-0,36		0,46										
CRU TS 3.0	62.25 с.ш.	44.25 в.д.	13 км																				
T мин	0,35															0,44						0,36	0,42
T средн	0,4				-0,35								-0,38			0,34							0,35
T макс	0,47												-0,37			0,32							0,35
dT сутки																							
Осадки																							
Отн влажн				0,35													0,37						
Облачность																							
Дни с осадками									0,33														
Дни с заморозками		-0,43																					
20th Reanalysis	62 с.ш.	44 в.д.	27.9 км																				
Давление								-0,46	-0,32														
Толщина снега	-0,59	-0,52			0,53						0,35								0,33	0,33			

Таблица 17. Хронология **russ056**

	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	23205	96.1 км																					
Т мин				-0,31	-0,35					0,42													
Т средн				-0,41	-0,4					0,33			-0,32										
Т макс							-0,47									0,34							0,34
Осадки											-0,38		-0,33	-0,41									
	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	0,42	-0,35				0,34														
архив 455	23205	102 км																					
Т средн				-0,42	-0,41					0,33			-0,33										
Осадки											-0,38			-0,41									
архив 476	23205	95.8 км																					
Т средн				-0,42	-0,41					0,33			-0,32										
PDSI	66.25 с.ш.	51.25 в.д.	76.8 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	66.75 с.ш.	51.75 в.д.	17 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																							
SCAND									-0,39														
POLAR									-0,39						-0,33				-0,38		-0,38	-0,34	
EA																							
EAWR	-0,42							0,38								-0,34						-0,43	-0,36
CRU TS 3.0	66.75 с.ш.	51.75 в.д.	17 км																				
Т мин				-0,42	-0,42	-0,32				0,32			-0,35			0,31							
Т средн				-0,42	-0,45					0,32			-0,32			0,32							
Т макс				-0,43	-0,38								-0,31										
dT сутки				-0,34									0,35										
Осадки											-0,32			-0,41									
Отн влажн				0,35	0,31		-0,31																
Облачность				0,34									-0,43								-0,31		
Дни с осадками														-0,36									
Дни с заморозками				0,31	0,55					-0,37						-0,34						-0,35	-0,34
20th Reanalysis	66 с.ш.	52 в.д.	98.2 км																				
Давление	0,31							-0,37			0,41												
Толщина снега		-0,32																					

Таблица 18. Хронология **russ058**

	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	23205	96.1 км																					
Т мин																0,35			0,33				
Т средн		0,34								0,33					0,32	0,49	0,42		0,5	0,42	0,42	0,52	0,5
Т макс		0,37				-0,37					0,35				0,34				0,41		0,4	0,47	0,39
Осадки				0,39																			
	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	0,51	0,48	0,45	0,45				0,34	0,5														
архив 455	23205	102 км																					
Т средн		0,34								0,34					0,32	0,48	0,42		0,49	0,41	0,42	0,52	0,49
Осадки				0,38																			
архив 476	23205	95.8 км																					
Т средн		0,34								0,34					0,32	0,48	0,42		0,49	0,41	0,42	0,52	0,49
PDSI	66.25 с.ш.	51.25 в.д.	76.8 км																				
Индекс сухости				0,37	0,33	0,36	0,37	0,37	0,36	0,36	0,37	0,39	0,37			0,31			0,37	0,37	0,33		
CPC Soil Moisture	66.75 с.ш.	51.75 в.д.	17 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO						0,32																	
SCAND		-0,32																					
POLAR																					-0,32		
EA						0,33																	
EAWR						0,32										-0,32							
CRU TS 3.0	66.75 с.ш.	51.75 в.д.	17 км																				
Т мин																0,51	0,34		0,47	0,39	0,4	0,5	0,48
Т средн		0,34								0,33	0,31				0,33	0,5	0,4		0,5	0,41	0,45	0,52	0,5
Т макс		0,34								0,35					0,33	0,46	0,42		0,52	0,39	0,46	0,53	0,5
dT сутки		0,33													0,34		0,38	-0,32				0,46	0,44
Осадки		0,32		0,41																			
Отн влажн														-0,52		-0,35		0,39			-0,33	-0,48	-0,35
Облачность																-0,37	-0,35					-0,5	-0,41
Дни с осадками				0,36										-0,47									
Дни с заморозками														-0,36		-0,44	-0,31	-0,33	-0,43		-0,52	-0,46	-0,44
20th Reanalysis	66 с.ш.	52 в.д.	98.2 км																				
Давление	0,38					-0,42								0,32									
Толщина снега		-0,32														-0,41							

Таблица 19. Хронология **russ060**

	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	22550	95.9 км																					
Т мин				-0,37																			
Т средн	0,32			-0,56																			
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				0,36					0,36														
архив 455	22550	105.8 км																					
Т средн	0,33			-0,56																			
Осадки																							
архив 476	22550	96 км																					
Т средн	0,33			-0,56																			
PDSI	63.75 с.ш.	41.25 в.д.	142.7 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	64.75 с.ш.	42.25 в.д.	21.4 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO															0,36			-0,5					
SCAND																							
POLAR	0,31						0,36		-0,43														
EA																							
EAWR	-0,34			0,38																			
CRU TS 3.0	64.75 с.ш.	42.25 в.д.	21.4 км																				
Т мин			-0,33	-0,61	-0,37																		
Т средн				-0,58	-0,31																		
Т макс				-0,55																			
dT сутки																							
Осадки																	0,32						
Отн влажн							-0,46																
Облачность						-0,32																	
Дни с осадками																							
Дни с заморозками				0,39	0,36										-0,32								
20th Reanalysis	64 с.ш.	42 в.д.	104.3 км																				
Давление																		-0,36					
Толщина снега																							

Таблица 20. Хронология **russ061**

	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	23405	145.5 км																					
Т мин	0,31									0,36	0,31		-0,36			0,38							0,35
Т средн	0,41												-0,31		0,36								0,35
Т макс	0,42												-0,33		0,34								
Осадки																	0,42						
	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	23405	153.5 км																					
Т средн	0,34														0,37								0,35
Осадки																	0,44						
архив 476	23514	93.8 км																					
Т средн	0,42									0,36													
PDSI	63.75 с.ш.	53.75 в.д.	56.5 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	64.25 с.ш.	53.75 в.д.	9.2 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO				0,51														-0,31					
SCAND									-0,47														
POLAR																							
EA			-0,33																				
EAWR	-0,37							0,42							-0,36								-0,37
CRU TS 3.0	64.25 с.ш.	53.75 в.д.	9.2 км																				
Т мин	0,36												-0,32		0,31								0,34
Т средн	0,33														0,36								0,34
Т макс	0,43												-0,33		0,36								0,33
dT сутки														0,34	0,34			-0,48					
Осадки																	0,4						
Отн влажн																		0,31					
Облачность														-0,38	-0,32		0,32	0,48					
Дни с осадками																	0,47	0,42					
Дни с заморозками	-0,37																						
20th Reanalysis	64 с.ш.	54 в.д.	35.2 км																				
Давление								-0,34	-0,37		0,35						-0,49						
Толщина снега	-0,41								0,45	0,36			0,35						0,39	0,37			

Таблица 21. Хронология **russ062**

	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	23405	145.5 км																					
Т мин										0,34			-0,35			0,41				0,32			
Т средн															0,39				0,32			0,4	0,4
Т макс	0,46														0,44								0,33
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	0,36	0,36	0,34	0,35					0,34														
архив 455	23405	153.5 км																					
Т средн															0,34							0,37	0,39
Осадки																							
архив 476	23514	93.8 км																					
Т средн															0,42							0,44	0,43
PDSI	63.75 с.ш.	53.75 в.д.	56.5 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	64.25 с.ш.	53.75 в.д.	9.2 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO				0,38																			
SCAND																							
POLAR																-0,32							
EA						0,33																	
EAWR																			-0,36				-0,32
CRU TS 3.0	64.25 с.ш.	53.75 в.д.	9.2 км																				
Т мин																							0,34
Т средн															0,35							0,39	0,39
Т макс	0,33														0,41							0,41	0,41
dT сутки														0,39	0,49						0,46	0,5	0,42
Осадки																							
Отн влажн																		0,51					
Облачность														-0,43	-0,51			0,31			-0,38	-0,52	-0,48
Дни с осадками	-0,33																	0,38					
Дни с заморозками																			-0,32		-0,33		
20th Reanalysis	64 с.ш.	54 в.д.	35.2 км																				
Давление	0,48										0,34												
Толщина снега		-0,34	-0,33																				

Таблица 22. Хронология **russ064**

	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	23418	126.9 км																					
Т мин											0,46		-0,36	-0,4							-0,4		
Т средн	0,37	0,33											-0,32		0,37								0,34
Т макс	0,31						-0,38					-0,42	-0,32										
Осадки									0,34														
	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	23418	128.7 км																					
Т средн	0,36	0,41													0,35								
Осадки									0,34														
архив 476	23412	37.8 км																					
Т средн	0,37	0,32											-0,31		0,31								
PDSI	66.25 с.ш.	56.25 в.д.	5.7 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	66.25 с.ш.	56.25 в.д.	5.7 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO			-0,33							0,31													
SCAND									-0,53				0,33				-0,33						
POLAR																							
EA																							
EAWR																							-0,31
CRU TS 3.0	66.25 с.ш.	56.25 в.д.	5.7 км																				
Т мин	0,36	0,33											-0,32										
Т средн	0,36												-0,31										
Т макс	0,39																						
dT сутки											-0,45		0,31										
Осадки													-0,38	-0,38									
Отн влажн																							
Облачность																							
Дни с осадками									0,42					-0,37	-0,33								-0,33
Дни с заморозками		-0,34											0,35										
20th Reanalysis	66 с.ш.	56 в.д.	27.8 км																				
Давление			-0,33						-0,59						0,34		-0,38						0,32
Толщина снега	-0,39	-0,43							0,34	0,35				0,33					0,31		0,31		

Таблица 23. Хронология **russ072**

	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	23804	117 км																					
Т мин				-0,42	-0,55			0,35															
Т средн	0,38				-0,39																		
Т макс	0,42						-0,37																
Осадки								0,34															
	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	23804	115.7 км																					
Т средн	0,37				-0,38																		
Осадки								0,36															
архив 476	23904	35.8 км																					
Т средн	0,4				-0,44								-0,44										
PDSI	61.25 с.ш.	51.25 в.д.	61.7 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	60.75 с.ш.	51.25 в.д.	9 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																		-0,33					
SCAND																							
POLAR	0,33																						
EA																	-0,38						
EAWR															-0,31								
CRU TS 3.0	60.75 с.ш.	51.25 в.д.	9 км																				
Т мин				-0,31	-0,38																		
Т средн	0,35				-0,4																		
Т макс	0,4				-0,37																		
dT сутки																		-0,4		-0,31			
Осадки																							
Отн влажн																		0,56					
Облачность								0,32										0,4					
Дни с осадками																		0,35					
Дни с заморозками					0,36																		
20th Reanalysis	60 с.ш.	52 в.д.	85.2 км																				
Давление			-0,31																				
Толщина снега																							

Таблица 24. Хронология **russ073**

	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	22550	94.2 км																					
Т мин											0,33					0,38				0,31			
Т средн										0,39					0,31	0,52			0,34			0,42	0,53
Т макс															0,46								0,45
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	0,33	0,34	0,44	0,49	0,32			0,41	0,51														
архив 455	22550	96.9 км																					
Т средн								-0,32		0,38						0,51			0,32			0,41	0,52
Осадки																							
архив 476	22550	94.3 км																					
Т средн										0,39					0,31	0,52			0,34			0,42	0,53
PDSI	66.25 с.ш.	41.25 в.д.	102.8 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	65.25 с.ш.	41.25 в.д.	11.1 км																				
Влажность почвы							-0,32	-0,32															
индексы NOAA																							
NAO											0,31												
SCAND																							
POLAR		-0,4									-0,31												
EA																							
EAWR			-0,34									-0,34				-0,43							-0,42
CRU TS 3.0	65.25 с.ш.	41.25 в.д.	11.1 км																				
Т мин										0,36					0,35	0,56			0,34			0,46	0,59
Т средн										0,43						0,49			0,33			0,42	0,5
Т макс								-0,36		0,41						0,46						0,36	0,46
dT сутки											-0,4												
Осадки																							
Отн влажн																							
Облачность											0,36							0,33					
Дни с осадками				-0,34		-0,33																	
Дни с заморозками										-0,34							-0,36				-0,33		-0,32
20th Reanalysis	66 с.ш.	42 в.д.	85.2 км																				
Давление																							
Толщина снега															-0,32								-0,32

Таблица 25. Хронология **russ074**

	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	23804	117 км																					
Т мин																0,37	0,39		0,33			0,47	
Т средн	0,31														0,34						0,33	0,45	0,42
Т макс	0,37																						
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	0,35	0,36	0,42	0,41					0,38														
архив 455	23804	115.7 км																					
Т средн															0,34						0,32	0,44	0,41
Осадки			-0,36																				
архив 476	23904	35.8 км																					
Т средн	0,4														0,4							0,42	0,44
PDSI	61.25 с.ш.	51.25 в.д.	61.7 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	60.75 с.ш.	51.25 в.д.	9 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																							
SCAND																							
POLAR													-0,32										
EA																							
EAWR																							
CRU TS 3.0	60.75 с.ш.	51.25 в.д.	9 км																				
Т мин															0,31							0,37	0,37
Т средн	0,31														0,36	0,34			0,35		0,37	0,46	0,45
Т макс	0,37														0,37				0,33		0,33	0,48	0,42
dT сутки	0,46														0,34		0,32					0,46	0,35
Осадки																							
Отн влажн			-0,34					-0,32							-0,31	-0,47			-0,35		-0,41	-0,49	-0,49
Облачность	-0,44														-0,38							-0,46	-0,41
Дни с осадками	-0,35		-0,31																			-0,31	
Дни с заморозками																	-0,32					-0,32	
20th Reanalysis	60 с.ш.	52 в.д.	85.2 км																				
Давление	0,39													0,31									
Толщина снега																							

Таблица 26. Хронология **russ075**

	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	23804	117 км																					
T мин													-0,39	0,4								0,36	
T средн														0,55									
T макс							-0,31							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								0,34															
архив 455	23804	115.7 км																					
T средн														0,55									
Осадки																							
архив 476	23904	35.8 км																					
T средн														0,6									
PDSI	61.25 с.ш.	51.25 в.д.	61.7 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	60.75 с.ш.	51.25 в.д.	9 км																				
Влажность почвы	-0,31	-0,31																					
индексы NOAA																							
NAO					0,39		0,37											-0,32			-0,33		
SCAND																							
POLAR																							
EA														-0,34							-0,37	-0,46	
EAWR																							
CRU TS 3.0	60.75 с.ш.	51.25 в.д.	9 км																				
T мин														0,56									
T средн														0,56									
T макс														0,58									
dT сутки	0,36						-0,47							0,41				-0,33					
Осадки																		0,35					
Отн влажн																		0,43					
Облачность							0,41							-0,44									
Дни с осадками																		0,42					
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	60 с.ш.	52 в.д.	85.2 км																				
Давление		-0,31		-0,35																			
Толщина снега																							

Таблица 27. Хронология **russ081**

	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	22802	40.9 км																					
Т мин			0,32																		0,39	0,37	0,36
Т средн						-0,32																	
Т макс																							
Осадки					0,31										0,44						0,38	0,43	0,37
	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						0,41	0,44	0,4		0,35													
архив 455	22802	39.4 км																					
Т средн						-0,32																	
Осадки					0,32										0,43						0,37	0,43	0,37
архив 476	22802	41.2 км																					
Т средн						-0,32																	
PDSI	61.25 с.ш.	31.25 в.д.	22.4 км																				
Индекс сухости															0,35		0,38	0,36					0,33
CPC Soil Moisture	61.25 с.ш.	30.75 в.д.	14.7 км																				
Влажность почвы	-0,33	-0,37	-0,32	-0,36														0,33					
индексы NOAA																							
NAO																							
SCAND																	-0,38				-0,34		
POLAR																							
EA							0,35								0,37				0,4	0,31	0,39	0,4	0,38
EAWR			-0,36							0,42													
CRU TS 3.0	61.25 с.ш.	30.75 в.д.	14.7 км																				
Т мин						-0,33																0,33	0,35
Т средн						-0,31																	
Т макс					-0,34																		
dT сутки		0,37			-0,38												-0,42				-0,38	-0,43	-0,36
Осадки					0,34			-0,33							0,45	0,31	0,34		0,32		0,56	0,58	0,53
Отн влажн					0,33										0,57		0,37				0,46	0,53	0,5
Облачность		-0,35			0,34												0,36						
Дни с осадками					0,35					-0,36					0,33						0,35	0,43	0,33
Дни с заморозками						0,34																	
20th Reanalysis	62 с.ш.	30 в.д.	85.8 км																				
Давление					-0,33																		
Толщина снега													-0,38	-0,38							-0,39	-0,38	

Таблица 28. Хронология **russ083**

	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	22602	89.7 км																					
T мин												0,4				0,47			0,33			0,38	
T средн												0,31											
T макс																	-0,42						
Осадки																0,42			0,45		0,51	0,4	0,39
	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					0,42	0,37	0,42	0,45	0,37														
архив 455	22619	55.3 км																					
T средн																						0,33	0,36
Осадки																	0,33						
архив 476	22619	57 км																					
T средн																							
PDSI	63.75 с.ш.	31.25 в.д.	66.9 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	63.25 с.ш.	32.25 в.д.	14.8 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																				0,35			
SCAND					-0,32				-0,34														
POLAR									-0,34														
EA																		0,33	0,36		0,31		
EAWR			-0,34									-0,33				-0,37							-0,39
CRU TS 3.0	63.25 с.ш.	32.25 в.д.	14.8 км																				
T мин												0,32				0,37						0,35	0,41
T средн																							0,33
T макс																							
dT сутки												-0,36											
Осадки																	0,32						
Отн влажн															0,31	0,36			0,45		0,42	0,35	0,42
Облачность												0,37					0,36						
Дни с осадками																					0,34		0,35
Дни с заморозками															-0,35						-0,33		-0,39
20th Reanalysis	64 с.ш.	32 в.д.	70.8 км																				
Давление								-0,33								-0,36							
Толщина снега																							

Таблица 29. Хронология **russ093**

	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	22113	28 км																					
Т мин																0,37							
Т средн										0,36						0,38						0,38	0,39
Т макс										0,48				0,33								0,34	
Осадки												-0,34											
	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				0,41																			
архив 455	22113	29.4 км																					
Т средн										0,33						0,39						0,38	0,4
Осадки												-0,32											
архив 476	22113	25.5 км																					
Т средн										0,33						0,39						0,38	0,4
PDSI	68.75 с.ш.	33.75 в.д.	38.4 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	68.75 с.ш.	32.75 в.д.	2.3 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO		0,35				0,41																	
SCAND																							
POLAR				0,37																			
EA																							
EAWR																							
CRU TS 3.0	68.75 с.ш.	32.75 в.д.	2.3 км																				
Т мин										0,32						0,38						0,37	0,38
Т средн										0,34						0,39						0,38	0,39
Т макс										0,37						0,34						0,34	0,34
dT сутки																							
Осадки												-0,32											
Отн влажн																							-0,38
Облачность																							
Дни с осадками											-0,32												
Дни с заморозками																-0,37							
20th Reanalysis	68 с.ш.	32 в.д.	90.9 км																				
Давление			0,42																				
Толщина снега										-0,35													

Таблица 30. Хронология **russ096**

	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	22113	28 км																					
Т мин																	-0,31					-0,32	
Т средн			-0,45										-0,35		0,39								
Т макс			-0,45										-0,32		0,39								
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						-0,33																	
архив 455	22113	29.4 км																					
Т средн			-0,45										-0,35		0,39								
Осадки																							
архив 476	22113	25.5 км																					
Т средн			-0,45										-0,35		0,39								
PDSI	68.75 с.ш.	33.75 в.д.	38.4 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	68.75 с.ш.	32.75 в.д.	2.3 км																				
Влажность почвы															-0,31	-0,34	-0,32	-0,32			-0,31	-0,32	-0,34
индексы NOAA																							
NAO				0,32											0,44			-0,33					
SCAND																							
POLAR									-0,35														
EA				-0,37																			
EAWR											-0,35				-0,36								
CRU TS 3.0	68.75 с.ш.	32.75 в.д.	2.3 км																				
Т мин			-0,4	-0,34	-0,31										0,35								
Т средн			-0,44										-0,32		0,4								
Т макс			-0,45										-0,34		0,45								
dT сутки			-0,43												0,44								
Осадки														-0,31									
Отн влажн																							
Облачность			0,39												-0,4								
Дни с осадками														-0,32	-0,41							-0,33	-0,34
Дни с заморозками			0,42	0,31	0,41						0,33	0,36									0,39		
20th Reanalysis	68 с.ш.	32 в.д.	90.9 км																				
Давление											0,39												
Толщина снега																							-0,37

Таблица 31. Хронология **russ098**

	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	22550	95.9 км																					
T мин	0,34									0,31	0,35					0,35				0,32			0,36
T средн	0,53														0,55							0,43	0,5
T макс	0,56												-0,31		0,49							0,36	0,4
Осадки																						0,34	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			0,37	0,47			0,34	0,32	0,48														
архив 455	22550	105.8 км																					
T средн	0,53														0,53							0,42	0,49
Осадки																						0,34	0,33
архив 476	22550	96 км																					
T средн	0,53														0,54							0,43	0,49
PDSI	63.75 с.ш.	41.25 в.д.	142.7 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	64.75 с.ш.	42.25 в.д.	21.4 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																		-0,4					
SCAND									-0,52														
POLAR		-0,39							-0,38														
EA			-0,32																				
EAWR	-0,49														-0,35							-0,33	
CRU TS 3.0	64.75 с.ш.	42.25 в.д.	21.4 км																				
T мин	0,42			-0,32											0,51							0,36	0,46
T средн	0,49														0,54							0,44	0,48
T макс	0,54												-0,35		0,49							0,35	0,41
dT сутки														0,35	0,33								
Осадки																							
Отн влажн	-0,31					-0,33	-0,37																
Облачность														-0,34	-0,32			0,36					
Дни с осадками																							
Дни с заморозками		-0,33													-0,34		-0,37					-0,34	
20th Reanalysis	64 с.ш.	42 в.д.	104.3 км																				
Давление								-0,34	-0,33								-0,36						
Толщина снега	-0,38														-0,41								-0,41

Таблица 32. Хронология **russ104**

	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	23921	186.4 км																					
Т мин			-0,33	-0,33					-0,37													0,31	
Т средн			-0,44	-0,55	-0,41				-0,44				-0,34										
Т макс				-0,33											-0,47				-0,38			-0,32	-0,52
Осадки																			0,5		0,43	0,39	
	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						0,37	0,35			0,39													
архив 455	23914	33.7 км																					
Т средн			-0,41	-0,62	-0,46				-0,4				-0,32						-0,35				
Осадки				0,38			0,44	0,32									0,31		0,41	0,33		0,35	
архив 476	23914	32.6 км																					
Т средн			-0,41	-0,61	-0,46				-0,4				-0,32						-0,35				
PDSI	61.25 с.ш.	56.25 в.д.	107.6 км																				
Индекс сухости						0,31	0,33	0,44	0,48	0,51	0,49	0,47	0,49	0,46	0,44	0,42	0,44	0,42	0,41	0,51	0,5	0,47	0,46	0,44
CPC Soil Moisture	60.25 с.ш.	57.25 в.д.	16.4 км																				
Влажность почвы					0,39	0,36	0,39	0,5	0,53	0,5	0,47	0,43	0,39	0,38	0,37	0,4	0,46	0,44	0,54	0,49	0,5	0,46	0,4
индексы NOAA																							
NAO	-0,42							0,32															
SCAND																							
POLAR							0,37																
EA																	-0,47						
EAWR				0,4	0,35		0,39																
CRU TS 3.0	60.25 с.ш.	57.25 в.д.	16.4 км																				
Т мин			-0,43	-0,53		-0,32			-0,45				-0,32										
Т средн			-0,4	-0,59	-0,43				-0,44				-0,33						-0,32				
Т макс			-0,38	-0,57	-0,44				-0,44										-0,35				
dT сутки				-0,43	-0,45																		
Осадки				0,33			0,4	0,35									0,31		0,47	0,31	0,37	0,37	
Отн влажн				0,43	0,51				0,39														
Облачность				0,41	0,47											0,31							0,32
Дни с осадками					0,35											0,32		0,36	0,34		0,41		
Дни с заморозками				0,51	0,41	0,32													0,31				
20th Reanalysis	60 с.ш.	58 в.д.	65 км																				
Давление				-0,32			-0,4	-0,36															
Толщина снега									0,34														

Таблица 33. Хронология **russ115**

	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	26063	71.2 км																					
T мин																							
T средн					-0,45				0,35			-0,32		0,44									
T макс					-0,44	-0,37						-0,45		0,36						-0,33			
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		0,33	0,37																				
архив 455	26063	49.4 км																					
T средн					-0,45				0,35			-0,32		0,44									
Осадки																							
архив 476	26063	51.4 км																					
T средн					-0,45				0,35			-0,32		0,43									
PDSI	61.25 с.ш.	28.75 в.д.	119.2 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	60.25 с.ш.	29.75 в.д.	9.5 км																				
Влажность почвы						0,36																	
индексы NOAA																							
NAO				-0,32									-0,32										
SCAND					-0,34																		
POLAR																							
EA		-0,39																					
EAWR														-0,41									
CRU TS 3.0	60.25 с.ш.	29.75 в.д.	9.5 км																				
T мин					-0,39				0,34					0,43				0,31					
T средн					-0,48				0,35			-0,32		0,43									
T макс					-0,51				0,33			-0,39		0,38									
dT сутки																							
Осадки			0,33																				
Отн влажн												0,33											
Облачность			0,34																				
Дни с осадками					0,4				-0,32											-0,31			
Дни с заморозками					0,4									-0,57							-0,46	-0,39	
20th Reanalysis	60 с.ш.	30 в.д.	37.2 км																				
Давление					-0,34																		
Толщина снега									-0,34					-0,38								-0,39	

Таблица 34. Хронология **russ116**

	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	23921	186.4 км																					
T мин																					0,31		
T средн					-0,31																		
T 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	23914	33.7 км																					
T средн					-0,32																		
Осадки																	-0,34						
архив 476	23914	32.6 км																					
T средн					-0,32																		
PDSI	61.25 с.ш.	56.25 в.д.	107.6 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	60.25 с.ш.	57.25 в.д.	16.4 км																				
Влажность почвы											0,32	0,33	0,35										
индексы NOAA																							
NAO				0,33		0,31												-0,33					
SCAND																							
POLAR														0,34									
EA																			-0,33		-0,33	-0,36	-0,34
EAWR	-0,32											-0,37											
CRU TS 3.0	60.25 с.ш.	57.25 в.д.	16.4 км																				
T мин																							
T средн																							
T макс																							
dT сутки											-0,35												
Осадки																				0,33			
Отн влажн																							
Облачность																							
Дни с осадками																							
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	60 с.ш.	58 в.д.	65 км																				
Давление																							
Толщина снега																							

Таблица 35. Хронология **russ117**

	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	23921	186.4 км																					
T мин	0,31			-0,32				0,31						0,33								0,31	
T средн							0,33							0,32									
T макс									-0,41														
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								0,38															
архив 455	23914	33.7 км																					
T средн																							
Осадки																							
архив 476	23914	32.6 км																					
T средн																							
PDSI	61.25 с.ш.	56.25 в.д.	107.6 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	60.25 с.ш.	57.25 в.д.	16.4 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO	-0,32				0,36											-0,32		-0,32					
SCAND									-0,34											-0,35			
POLAR							0,42	0,36															
EA																							
EAWR									0,34														
CRU TS 3.0	60.25 с.ш.	57.25 в.д.	16.4 км																				
T мин							0,32																
T средн														0,32									
T макс														0,32									
dT сутки								-0,31			-0,31												
Осадки																							
Отн влажн																0,35							
Облачность														-0,37									
Дни с осадками																		0,39					
Дни с заморозками				0,31																			
20th Reanalysis	60 с.ш.	58 в.д.	65 км																				
Давление				-0,32																			
Толщина снега																							

Таблица 36. Хронология **russ119**

	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	23405	78 км																					
Т мин	0,37									0,35			-0,35			0,37							0,33
Т средн	0,55									0,34					0,35								0,35
Т макс	0,51						-0,32								0,41								0,35
Осадки														-0,59									
	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	23405	73.4 км																					
Т средн	0,48									0,32					0,32								0,34
Осадки														-0,59									
архив 476	23405	78.2 км																					
Т средн	0,54									0,33					0,35								0,35
PDSI	66.25 с.ш.	51.25 в.д.	77.8 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	65.75 с.ш.	50.75 в.д.	17.6 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO										0,38								-0,37					
SCAND									-0,56								-0,33						
POLAR				0,33					-0,35				-0,33										
EA																							
EAWR	-0,58														-0,33							-0,39	-0,4
CRU TS 3.0	65.75 с.ш.	50.75 в.д.	17.6 км																				
Т мин	0,52									0,34					0,32								0,35
Т средн	0,54									0,34					0,34								0,35
Т макс	0,56									0,31					0,32								
dT сутки																							
Осадки											-0,31			-0,61			0,36						
Отн влажн	-0,41						-0,35																
Облачность																							
Дни с осадками											-0,32			-0,54									
Дни с заморозками										-0,34													
20th Reanalysis	66 с.ш.	50 в.д.	53.1 км																				
Давление								-0,34	-0,47		0,37						-0,39						
Толщина снега	-0,5	-0,41								0,31													

Таблица 37. Хронология **russ121**

	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	22602	78.4 км																					
Т мин																			0,42	0,34	0,4	0,36	
Т средн												0,33				0,38			0,41		0,44	0,47	0,37
Т макс																							
Осадки			-0,35			-0,32												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	0,41	0,44	0,4	0,33					0,42														
архив 455	22602	82.1 км																					
Т средн												0,33				0,39			0,41		0,45	0,47	0,38
Осадки			-0,35			-0,31												0,34			0,32		
архив 476	22408	77.2 км																					
Т средн												0,32				0,41			0,39		0,46	0,5	0,43
PDSI	63.75 с.ш.	31.25 в.д.	87.6 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	64.75 с.ш.	31.25 в.д.	26.7 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO						0,32				0,37					0,35				0,37	0,46			
SCAND			0,4																				
POLAR		-0,32				0,34																	
EA																							
EAWR									0,33					-0,31							-0,31		
CRU TS 3.0	64.75 с.ш.	31.25 в.д.	26.7 км																				
Т мин												0,36			0,36	0,49			0,43	0,31	0,5	0,54	0,52
Т средн												0,35				0,41			0,41		0,48	0,51	0,43
Т макс												0,32				0,33			0,42	0,32	0,42	0,47	0,37
dT сутки												-0,33											
Осадки						-0,35										-0,33							
Отн влажн			-0,37													0,33							0,39
Облачность												0,35											
Дни с осадками			-0,38															0,32					
Дни с заморозками															-0,39				-0,41		-0,51	-0,52	-0,46
20th Reanalysis	64 с.ш.	32 в.д.	75.5 км																				
Давление																							
Толщина снега	-0,33									-0,38	-0,45	-0,39	-0,31						-0,45	-0,45	-0,32		

Таблица 38. Хронология **russ125**

	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	22217	93.3 км																					
T мин														0,39									
T средн																							
T макс																				0,33			
Осадки											-0,32					-0,46							-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								-0,33		-0,37													
архив 455	22217	94.6 км																					
T средн																							
Осадки											-0,34					-0,46							-0,35
архив 476	22204	66.4 км																					
T средн		0,36																					
PDSI	66.25 с.ш.	31.25 в.д.	92.7 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	66.75 с.ш.	30.25 в.д.	25.7 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO		0,32				0,34	0,4																
SCAND																							
POLAR			-0,35			0,37																	
EA																							
EAWR										0,43													
CRU TS 3.0	66.75 с.ш.	30.25 в.д.	25.7 км																				
T мин																							
T средн																							
T макс																							
dT сутки						0,32																	
Осадки																-0,32							
Отн влажн																							
Облачность			0,34																				
Дни с осадками														0,33		-0,32	-0,37						
Дни с заморозками																							
20th Reanalysis	66 с.ш.	30 в.д.	109.8 км																				
Давление																							
Толщина снега							-0,32				-0,35	-0,34	-0,32						-0,38	-0,38			

Таблица 39. Хронология **russ181**

	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	22602	128 км																					
Т мин													0,4	0,37					0,45	0,37	0,44		
Т средн					-0,38									0,53					0,39		0,37		
Т макс																							
Осадки				0,34														0,31					
	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	0,31				0,34																	
архив 455	22602	131.4 км																					
Т средн					-0,38									0,53					0,39		0,37		
Осадки				0,34														0,31					
архив 476	22408	54.7 км																					
Т средн					-0,38									0,51					0,39	0,32	0,37	0,34	
PDSI	63.75 с.ш.	31.25 в.д.	143.1 км																				
Индекс сухости					0,36																		
CPC Soil Moisture	64.75 с.ш.	30.25 в.д.	22.4 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																			0,41	0,39			
SCAND																							
POLAR						0,43					0,35												
EA															-0,38								
EAWR									0,33	0,33			-0,35	-0,39									
CRU TS 3.0	64.75 с.ш.	30.25 в.д.	22.4 км																				
Т мин													0,35	0,53					0,41	0,34	0,4	0,32	
Т средн					-0,4									0,52					0,41	0,33	0,39	0,33	
Т макс					-0,43									0,5					0,41	0,35	0,33	0,31	
dT сутки													-0,38										
Осадки				0,34																			
Отн влажн					0,33																		
Облачность													0,39										
Дни с осадками																		0,31					
Дни с заморозками					0,38							-0,32		-0,55		-0,34			-0,41	-0,33	-0,37	-0,39	
20th Reanalysis	64 с.ш.	30 в.д.	106.3 км																				
Давление																		-0,38					
Толщина снега											-0,39	-0,42	-0,47	-0,34					-0,4	-0,32	-0,47	-0,34	

Таблица 40. Хронология **russ182**

	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	22113	69.5 км																					
Т мин																							
Т средн																0,41					0,33	0,45	0,45
Т макс														0,36					0,33		0,39	0,45	0,36
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	0,32			0,43																			
архив 455	22113	70 км																					
Т средн																0,41					0,33	0,45	0,45
Осадки												-0,35											
архив 476	22113	66.5 км																					
Т средн																0,41					0,33	0,45	0,45
PDSI	68.75 с.ш.	31.25 в.д.	20 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	68.75 с.ш.	31.75 в.д.	11.7 км																				
Влажность почвы								0,33															
индексы NOAA																							
NAO																0,34							0,45
SCAND												0,34											
POLAR		-0,34																					
EA																							
EAWR										0,33													
CRU TS 3.0	68.75 с.ш.	31.75 в.д.	11.7 км																				
Т мин																0,42					0,32	0,45	0,43
Т средн																0,42					0,35	0,47	0,44
Т макс																0,4					0,33	0,45	0,43
dT сутки																							
Осадки																							
Отн влажн														0,41									
Облачность																							
Дни с осадками																							
Дни с заморозками														-0,33		-0,41						-0,38	
20th Reanalysis	68 с.ш.	32 в.д.	73.8 км																				
Давление																							
Толщина снега														-0,32							-0,31	-0,32	

Таблица 41. Хронология **russ183**

	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	22520	119.7 км																					
T мин																							
T средн																							
T макс																							
Осадки						-0,45																	
	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	22522	120.1 км																					
T средн																							
Осадки						-0,44																	
архив 476	22408	75 км																					
T средн																0,32			0,32		0,38	0,35	
PDSI	63.75 с.ш.	31.25 в.д.	124.2 км																				
Индекс сухости					0,33																		
CPC Soil Moisture	64.75 с.ш.	32.25 в.д.	4 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																		-0,37		0,31			
SCAND																							
POLAR						0,36								-0,32									
EA																							
EAWR										0,38													
CRU TS 3.0	64.75 с.ш.	32.25 в.д.	4 км																				
T мин																			0,34		0,38	0,32	
T средн																					0,33	0,31	
T макс																							
dT сутки						0,35							-0,48					-0,4	-0,35				
Осадки					0,33																		
Отн влажн															0,33								
Облачность						-0,31							0,4					0,43	0,37		0,33		
Дни с осадками					0,33	-0,32												0,46					
Дни с заморозками									-0,32										-0,38		-0,4	-0,35	
20th Reanalysis	64 с.ш.	32 в.д.	86.2 км																				
Давление																		-0,34					
Толщина снега													-0,38						-0,37	-0,32	-0,36		

Таблица 42. Хронология **russ192**

	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	22113	108.6 км																					
Т мин																0,43			0,38	0,35	0,32	0,33	
Т средн										0,43						0,48			0,35		0,35	0,41	0,44
Т макс									0,31	0,44													
Осадки												-0,34											
	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	0,36	0,35	0,39	0,42																			
архив 455	22113	110.2 км																					
Т средн										0,43						0,48			0,35		0,34	0,4	0,44
Осадки																							
архив 476	22028	88.4 км																					
Т средн										0,4						0,47	0,31		0,34		0,4	0,47	0,5
PDSI	68.75 с.ш.	36.25 в.д.	54.8 км																				
Индекс сухости			0,32																				
CPC Soil Moisture	68.25 с.ш.	35.25 в.д.	17.9 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO		0,44				0,32																	0,32
SCAND																							
POLAR																							
EA																							
EAWR										0,36													
CRU TS 3.0	68.25 с.ш.	35.25 в.д.	17.9 км																				
Т мин										0,38						0,48	0,39		0,35		0,4	0,48	0,46
Т средн										0,41						0,47	0,33		0,34		0,35	0,42	0,44
Т макс										0,42						0,43						0,34	0,36
dT сутки																							
Осадки												-0,32						0,32					
Отн влажн																-0,36		0,31					-0,39
Облачность																		0,37					
Дни с осадками									-0,33			-0,37											
Дни с заморозками										-0,54						-0,42	-0,36		-0,33		-0,33		
20th Reanalysis	68 с.ш.	36 в.д.	54.6 км																				
Давление			0,37																				
Толщина снега										-0,36													

Таблица 43. Хронология **kov**

	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	27037	111.8 км																					
Т мин		-0,35											0,38			0,31					0,4		
Т средн	0,36				-0,35																		
Т макс	0,32											0,35											
Осадки					0,42			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																							
архив 455	27037	122.5 км																					
Т средн	0,37				-0,35																		
Осадки					0,43			0,44															
архив 476	27037	111.6 км																					
Т средн	0,37				-0,35																		
PDSI	61.25 с.ш.	38.75 в.д.	121.6 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	60.25 с.ш.	38.75 в.д.	11.2 км																				
Влажность почвы	-0,31	-0,34	-0,39	-0,37																			
индексы NOAA																							
NAO																							
SCAND								-0,42										-0,42					
POLAR																							
EA																							
EAWR			-0,34																				
CRU TS 3.0	60.25 с.ш.	38.75 в.д.	11.2 км																				
Т мин	0,32																						
Т средн	0,33				-0,38																		
Т макс	0,39				-0,36																		
dT сутки																							
Осадки					0,35			0,35															
Отн влажн																							
Облачность							0,36																
Дни с осадками		-0,31			0,36																		
Дни с заморозками					0,38																		
20th Reanalysis	60 с.ш.	38 в.д.	50 км																				
Давление								-0,47								-0,32		-0,33					
Толщина снега	-0,37																						

Таблица 44. Хронология **pdb**

	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	22520	44.6 км																					
T мин										0,32													
T средн																0,33							
T 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				0,35																			
архив 455	22522	44 км																					
T средн																0,33							
Осадки																							
архив 476	22520	44.7 км																					
T средн																0,33							
PDSI	66.25 с.ш.	36.25 в.д.	128.6 км																				
Индекс сухости				0,38	0,41	0,34																	
CPC Soil Moisture	65.25 с.ш.	35.75 в.д.	14.8 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO																							
SCAND														0,32									
POLAR						0,31																	
EA																							
EAWR														-0,43							-0,33		
CRU TS 3.0	65.25 с.ш.	35.75 в.д.	14.8 км																				
T мин																0,34			0,32		0,38	0,34	
T средн																0,37					0,35	0,37	
T макс																0,35			0,35		0,35	0,38	
dT сутки																							
Осадки																		0,33					
Отн влажн																		0,42					
Облачность													0,34					0,36				-0,32	
Дни с осадками										0,34													
Дни с заморозками																					-0,35		
20th Reanalysis	66 с.ш.	36 в.д.	99.2 км																				
Давление														0,38									
Толщина снега																							

Таблица 45. Хронология **pdel**

	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	22520	44.6 км																					
Т мин																							
Т средн			-0,41												0,46								0,42
Т макс		-0,33	-0,41								-0,34				0,42							0,32	
Осадки	-0,32						-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							0,32	0,36															
архив 455	22522	44 км																					
Т средн			-0,42												0,45								0,41
Осадки							-0,39																
архив 476	22520	44.7 км																					
Т средн			-0,41												0,46								0,41
PDSI	66.25 с.ш.	36.25 в.д.	128.6 км																				
Индекс сухости																							
CPC Soil Moisture	65.25 с.ш.	35.75 в.д.	14.8 км																				
Влажность почвы																							
индексы NOAA																							
NAO															0,31			-0,35					
SCAND											0,39												
POLAR									-0,34														
EA																							
EAWR																-0,32						-0,4	-0,39
CRU TS 3.0	65.25 с.ш.	35.75 в.д.	14.8 км																				
Т мин			-0,34	-0,34											0,45								0,42
Т средн			-0,37												0,48								0,43
Т макс			-0,33												0,5								0,43
dT сутки										-0,37					0,41								
Осадки							-0,34	0,44															
Отн влажн																							
Облачность										0,33					-0,39								
Дни с осадками																							
Дни с заморозками															-0,51								-0,48
20th Reanalysis	66 с.ш.	36 в.д.	99.2 км																				
Давление											0,41					-0,37							
Толщина снега																							

Таблица 46. Хронология **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	41.1 км																					
T мин													0,43										
T средн												0,39	0,48						0,32	0,37			
T макс												0,34								0,37			
Осадки			0,32								0,36	0,32							0,43	0,55			
	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	38.6 км																					
T средн												0,39	0,48						0,31	0,37			
Осадки			0,33						0,34		0,37	0,33							0,47	0,61			
архив 476	27612	41.1 км																					
T средн												0,39	0,48						0,32	0,37			
PDSI	56.25 с.ш.	36.25 в.д.	80.9 км																				
Индекс сухости									0,34	0,37	0,41	0,45	0,38						0,33	0,33			
CPC Soil Moisture	55.75 с.ш.	37.25 в.д.	16.4 км																				
Влажность почвы	-0,34									0,32	0,41	0,5	0,5	0,48	0,37		0,32		0,45	0,32	0,48	0,43	0,35
индексы NOAA																							
NAO	0,46																						
SCAND												-0,39											
POLAR																							
EA																							
EAWR									-0,35				-0,5										
CRU TS 3.0	55.75 с.ш.	37.25 в.д.	16.4 км																				
T мин												0,37	0,48						0,34	0,37			
T средн												0,37	0,49							0,34			
T макс												0,33	0,46							0,32			
dT сутки												-0,36							-0,33	-0,38			
Осадки									0,36		0,36	0,43							0,43	0,63			
Отн влажн																							
Облачность												0,32								0,33			
Дни с осадками										0,32		0,39							0,44	0,49			
Дни с заморозками												-0,31											
20th Reanalysis	56 с.ш.	38 в.д.	71 км																				
Давление											-0,35	-0,33							-0,41	-0,37			
Толщина снега												-0,4	-0,43						-0,37	-0,32	-0,43		

Таблица 47. Хронология **goll**

	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 км																					
Т мин					-0,34																		
Т средн				-0,43	-0,34								0,32		-0,32								
Т макс				-0,35	-0,37																		
Осадки				0,32															0,36	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																	
архив 455	27612	42.8 км																					
Т средн				-0,4	-0,33								0,31										
Осадки																			0,33				
архив 476	27612	45.4 км																					
Т средн				-0,4									0,31		-0,33								
PDSI	56.25 с.ш.	36.25 в.д.	83.1 км																				
Индекс сухости	-0,36										0,31		0,32										
CPC Soil Moisture	55.75 с.ш.	36.75 в.д.	20.2 км																				
Влажность почвы	-0,4	-0,36										0,31				0,35							0,31
индексы NOAA																							
NAO																							
SCAND																							
POLAR										-0,44													
EA				-0,36							0,31												
EAWR																							
CRU TS 3.0	55.75 с.ш.	36.75 в.д.	20.2 км																				
Т мин				-0,38	-0,32																		
Т средн				-0,4	-0,33																		
Т макс				-0,42	-0,31								0,32		-0,31								
dT сутки				-0,34											-0,32								-0,38
Осадки									0,33														
Отн влажн			0,38	0,36				0,35							0,35	0,38			0,36	0,34			0,44
Облачность																							
Дни с осадками			0,37			-0,32																	
Дни с заморозками					0,36																		
20th Reanalysis	56 с.ш.	36 в.д.	74.5 км																				
Давление									-0,34						-0,37		0,34						-0,4
Толщина снега																							

Таблица 48. Хронология **zve**

	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	48.2 км																					
T мин															-0,36								
T средн					-0,33									0,35					0,35				
T макс														0,46					0,37	0,33			
Осадки		0,34									0,41	0,51								0,34			
	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	46.5 км																					
T средн					-0,35									0,34					0,34				
Осадки		0,34									0,42	0,51								0,38			
архив 476	27612	48.4 км																					
T средн					-0,38				0,31					0,34					0,36				
PDSI	56.25 с.ш.	36.25 в.д.	69.6 км																				
Индекс сухости				0,31	0,38					0,35	0,41	0,44	0,35							0,35			
CPC Soil Moisture	55.75 с.ш.	36.75 в.д.	7.9 км																				
Влажность почвы						0,31					0,33	0,47	0,5	0,4					0,35		0,33		
индексы NOAA																							
NAO	0,39																				-0,35		
SCAND												-0,43											
POLAR				-0,33																			
EA																							
EAWR		0,34																					
CRU TS 3.0	55.75 с.ш.	36.75 в.д.	7.9 км																				
T мин									0,33										0,33				
T средн					-0,33				0,33										0,34				
T макс					-0,36									0,33									
dT сутки					-0,4				-0,37											-0,36			
Осадки		0,31									0,41	0,54								0,44			
Отн влажн		0,43										0,36											
Облачность		0,34							0,35											0,35			
Дни с осадками		0,41		0,34	0,36					0,36		0,53							0,38	0,48			
Дни с заморозками		0,38			0,39														-0,31				
20th Reanalysis	56 с.ш.	36 в.д.	62.2 км																				
Давление		-0,4									-0,38	-0,44								-0,33			
Толщина снега																							

Таблица 49. Хронология **opp**

	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 км																					
Т мин						-0,37				0,33									0,33	0,33			
Т средн						-0,48	-0,39				0,34	0,33							0,31				
Т макс									0,34		0,34	0,35											
Осадки															0,37					0,31			
	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	27703	71.6 км																					
Т средн						-0,48	-0,37				0,32	0,32											
Осадки									0,41					-0,36	0,32				0,38	0,33			0,34
архив 476	27707	31.9 км																					
Т средн						-0,55																	
PDSI	53.75 с.ш.	36.25 в.д.	43.3 км																				
Индекс сухости							0,32	0,35	0,39	0,4	0,43	0,46	0,38		0,37				0,41	0,41	0,33	0,31	0,34
CPC Soil Moisture	54.25 с.ш.	35.75 в.д.	22.9 км																				
Влажность почвы										0,33	0,36	0,36	0,33						0,33				
индексы NOAA																							
NAO																							
SCAND					-0,32	-0,39	0,36		0,32														
POLAR	-0,36							-0,33															
EA			0,44							0,39							0,45		0,36	0,38			
EAWR	0,34					0,34										-0,35							
CRU TS 3.0	54.25 с.ш.	35.75 в.д.	22.9 км																				
Т мин						-0,42	-0,32				0,32								0,37	0,33			
Т средн						-0,53	-0,35				0,32	0,31											
Т макс						-0,53	-0,35																
dT сутки						-0,45		-0,36			-0,35				-0,35				-0,46	-0,48			
Осадки									0,35														
Отн влажн						0,53									0,38								
Облачность						0,41		0,32											0,36	0,39			
Дни с осадками						0,36									0,32								
Дни с заморозками						0,4	0,33					-0,35				-0,34					-0,32		-0,33
20th Reanalysis	54 с.ш.	36 в.д.	12.5 км																				
Давление																							
Толщина снега																							

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3
Глава 1. Изученность Европейской территории России в отношении дендроклиматологии 5
1.1. Район исследования 5
1.2. Состояние изученности севера ЕТР в отношении дендроклиматологии 5
Глава 2. Основные материалы и методы исследования 13
2.1. Основные принципы дендрохронологии 13
2.2. Климатические данные 14
2.3. Сбор и обработка древесно-кольцевых данных 19
2.4. Индексирование и построение хронологий 20
2.5. Климатический отклик древесно-кольцевых хронологий 22
2.6. Реперные годы 23
Глава 3. Древесно-кольцевые данные 25
3.1. Хронологии из Международного банка древесно-кольцевых данных ITRDB 25
3.2. ДКХ лаборатории дендрохронологии ИГ РАН 25
3.3. Сопряженность динамики годичного прироста деревьев в пространстве 32
Глава 4. Климатический отклик древесно-кольцевых хронологий 34
4.1. Климатический отклик в период 1950-1990 гг. 34
4.2. Корреляции древесно-кольцевых данных с сеточными архивами 45
4.3. Изменение климатического отклика древесно-кольцевых хронологий во времени 49
4.4. Реперные годы и климатические параметры 68
Заключение. 72
Литература 73
Приложение 1. Корреляции древесно-кольцевых хронологий за период 1901-1990 гг. 79
Приложение 2. Климатический отклик хронологий живых деревьев за период 1950-1990 гг. 97

Научное издание

Владимир Владимирович Мацковский

Климатический сигнал в ширине годичных колец хвойных деревьев на севере и в центре Европейской территории России

Редактор издательства *Л.В. Филиппова*

Компьютерная верстка *А.Н. Кураленко*

ООО “Издательства ГЕОС”
119017, Москва, Пыжевский пер., 7. к. 332
Тел./факс: (495) 959-35-16, 8-926-222-30-91.
e-mail: geos-books@yandex.ru www.geos-books.ru

ООО ИПК «Панорама»
Подписано к печати 18.06.2013
Формат 60х90 1/8. Бумага офсетная № 1.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 20.0
Тираж 300 экз. Заказ .

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного электронного оригинал-макета
в ОАО “Альянс “Югполиграфиздат”, ООО ИПК «Панорама»
400001, г.Волгоград, ул. КИМ, 6.