

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 57.045; 58.056; 574.2; 574.45

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В РАЗЛИЧНЫХ МЕСТООБИТАНИЯХ МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

© 2019 г. О. С. Железнова\*, С. А. Тобратов

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Рязань, Россия

\*e-mail: Zheleznova\_rzn@mail.ru

Поступила в редакцию 30.04.2018 г.; после доработки 25.01.2019 г.; принята в печать 4.04.2019 г.

Проанализированы закономерности радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в различных топоэкологических условиях Мещерской низменности (Рязанская область). Обобщенные хронологии построены для 16 местообитаний, отличающихся особенностями рельефа дневной поверхности и коренных пород. Несмотря на относительно мало контрастный рельеф, средний прирост по диаметру сосны в пределах территории исследования различается в 2.5 раза (1.5–3.9 мм/год). Показано, что ключевым фактором, влияющим на ширину годичных колец сосны, является количество доступной почвенной влаги. Как ее избыток (в условиях болот), так и недостаток (в местообитаниях, приуроченных к останцовым песчаным массивам московского возраста) негативно сказывается на величине прироста. Установлено, что в переувлажненных местообитаниях наблюдается положительная корреляция прироста сосны с температурой и отрицательная – с осадками осени предыдущего года. Для сосны из засушливых местообитаний типична положительная корреляция прироста с осадками осени, мая и с температурой зимы. Отрицательная связь прироста болотных сосен с количеством осадков и стоком может проявляться с лагом 1–4 года.

**Ключевые слова:** дендрохронология, сосна обыкновенная, годичные кольца, топоэкологические условия, почвенное увлажнение, климатические факторы, погребенный рельеф.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019567-77>

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодный прирост деревьев определяется многочисленными биотическими и абиотическими факторами, важнейший из которых – климат [8, 15]. При выборе района дендрохронологических исследований приоритет, как правило, отдается территориям с пессимальными условиями для роста деревьев [7]. В умеренном климатическом поясе, в условиях, близких к оптимальным, прирост деревьев находится под влиянием целого комплекса климатических параметров [15], и выявить их влияние на прирост довольно сложно [6]. При этом возрастает роль неоднородностей условий, трансформирующих единый региональный климатический сигнал [9].

Анализ работ, посвященных влиянию локальных условий на развитие древостоя [10, 11, 13, 19], позволяет заключить, что местообитания могут существенно смягчать или, напротив, обострять воздействие аномалий температуры и осадков на прирост. При этом их влияние на рост древостоев проявляется даже в случае относительно мало контрастного рельефа. Это опре-

деляет необходимость детального анализа полей биопродуктивности древостоев, рассмотрения особенностей рельефа дневной поверхности и коренных пород. Экстраполяция закономерностей прироста на обширную территорию без учета ее ландшафтной структуры может привести к ошибочным результатам оценки запасов фитомассы древостоя и некорректным прогнозам их динамики в условиях климатических изменений.

Цель настоящей работы – сравнить радиальный прирост сосны обыкновенной в различных топоэкологических условиях Южной Мещеры и выявить климатические факторы, влияющие на ее прирост.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

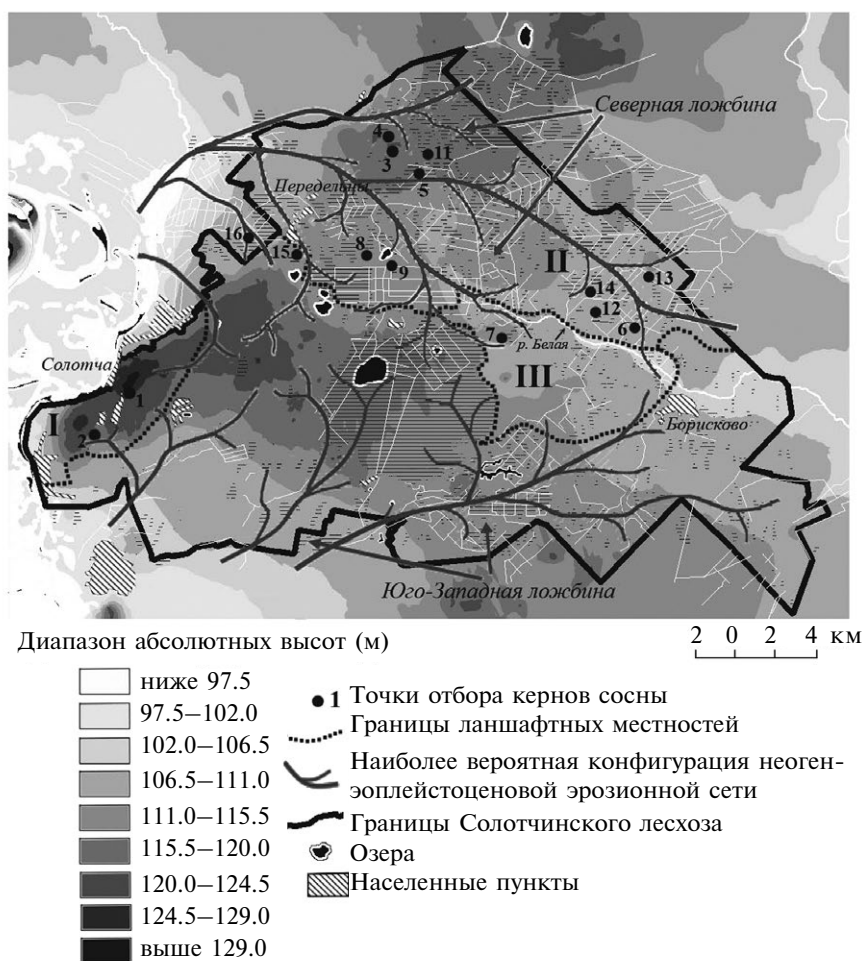
**Территория исследования и отбор древесных кернов**

Исследования проводились на юго-западе Мещерской низины в центре Восточно-Европейской равнины (Солотчинский лесхоз Рязанской области), в зоне хвойно-широколиственных лесов. Среднее годовое количество

осадков (за 1951–2009 гг.) – 609 мм; средняя температура января –  $-9.9$  °С, июля  $+18.9$  °С.

Характерная особенность Южной Мещеры – мало контрастный рельеф влажных, сырых и заболоченных песчаных равнин [1]. Затрудненная гидродинамика и низкотрофные субстраты, являющиеся наследием четвертичных оледенений, определяют специфику почвенно-растительных условий района исследований. Дерново-подзолистые почвы плакоров в условиях ослабления дренажа сменяются болотно-подзолистыми и болотными почвами. Видами-эдикаторами растительных сообществ являются сосна (*Pinus sylvestris*) и мелколиственные породы – береза (*Betula pendula*, *Betula pubescens*) и осина (*Populus tremula*); при повышении трофности субстрата – дуб (*Quercus robur*), ольха (*Alnus glutinosa*) и ель (*Picea abies*). Сосна, имеющая очень широкую экологическую амплитуду [5], произрастает как на сухих песчаных почвах, так и в условиях болот.

Положение Южной Мещеры в зоне “гидротермического перелома” [4] – на границе бореального и суббореального термических поясов – создает контрастные условия для развития растений на положительных и отрицательных элементах рельефа даже при небольших перепадах относительных высот. При этом в условиях мало контрастного рельефа Мещеры существенное влияние на степень гидроморфизма территории и на биопродуктивность оказывают особенности погребенных морфо-структур [3]. Специфичны биопродукционные процессы в пределах Солотчинской останцовой местности с озерно-аллювиальной аккумуляцией московского возраста (максимальные высоты 118–130 м), Борисковской сырой равнины и Переделецкой заболоченной равнины с участками отмерших доплейстоценовых долин – Северной ложбины стока и ее притоками (рис. 1).



**Рис. 1.** Точки отбора ядер и спилов сосны.

*Примечание:* I – Солотчинская останцовая местность (массив остаточного рельефа, проявляющийся как в современной топографической поверхности, так и в погребенных литологических структурах); II – Переделецкая заболоченная равнина (бывшая Северная ложбина стока); III – Борисковская сырая равнина (массив остаточного погребенного рельефа – Бельского известнякового останца доверхнеюрского возраста).

Борисковская равнина (106–117 м) расположена гипсометрически ниже Переделецкой (112–120 м). Тем не менее, негативное влияние грунтового переувлажнения на прирост древостоев здесь не проявляется, продуктивность сосны достигает максимума для района. Это связано с высоким гравитационным потенциалом территории, обусловленным ее приуроченностью к вершине погребенного палеоводораздела – доверхнеюрского известнякового Бельского останца. Из-за высокой плотности известняка (в 1.20–1.33 раза выше, чем у иных пород, слагающих территорию), его локальные выступы – даже несмотря на их древность и значительную глубину залегания – формируют положительные гравитационные аномалии, стимулирующие водообмен и снижающие эффект переувлажнения [3].

Точки отбора кернов сосны представлены на рис. 1, их характеристика – в табл. 1. Они выбирались таким образом, чтобы охватить разнообразие топоэкологических условий района исследований. Для каждой точки были получены 4–10 индивидуальных хронологий. Керны отбирались на высоте 1.3 м с доминантных деревьев сосны в 2009–2015 гг. с помощью возрастного бурава *Halgof*.

#### **Измерение ширины годичных колец и построение хронологий**

Подсчет ширины годичных колец осуществлялся при помощи программ *CDendro* и *CooRecorder* с точностью до 0.01 мм, с последующей визуальной перекрестной датировкой. Возрастной тренд удалялся путем деления значения ширины кольца на значение аппроксимирующей функции для того же года, полученной с помощью скользящего сглаживающего сплайна (20-летние скользящие средние, с предварительным осреднением по 5-летним и 10-летним временным интервалам) [2]. Осреднение индивидуальных хронологий позволило получить обобщенную хронологию для каждой точки.

#### **Климатические данные**

Ежедневные средние значения температуры и осадков за 1886–2014 гг. получены по метеостанциям Елатьма и Тума (Южная Мещера); гидрологические характеристики рассчитаны по значениям стока р. Гусь (дренирует Мещеру восточнее района исследований). В качестве предикторов прироста в корреляционном анализе использованы месячные суммы осадков и средние месячные температуры за 13-месячный интервал (с августа предыдущего года по август текущего года), а также интегральные показатели тепло- и влагообеспеченности.

#### **Статистический анализ**

Обработка данных проводилась в программных пакетах *Statistica* и *Excel*. Рассчитывались средний прирост, стандартное отклонение (SD), средняя чувствительность (MS), автокорреляция первого порядка (AC). MS отражает степень чувствительности хронологии к климатическим факторам [14]. AC позволяет оценить влияние прироста предыдущих лет на прирост в последующие годы [18]. Для сравнения хронологий применялся кластерный анализ (*Ward's method; Euclidean distances*), позволивший выделить местообитания, сходные по динамике прироста древостоя в 1951–2009 гг. В кластерный анализ не были включены т. 4 и 15 из-за недостаточной длины хронологий. Для идентификации факторов, влияющих на прирост, применялся корреляционный анализ. Коэффициенты корреляции между хронологиями и климатическими факторами рассчитаны для всей длины хронологий.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

В табл. 2 приведены статистические характеристики полученных хронологий. Как следует из материалов табл. 2, средний прирост сосен по диаметру различается в 2.5 раза. Минимальные приросты (1.5–1.98 мм/год) характерны для сосен в условиях останцов третьей надпойменной террасы (т. 1–3) и массивов остаточного рельефа (т. 5), а также верхового болота (т. 15). Средние приросты сосен (2.1–2.8 мм/год) типичны для большинства болот и влажных равнин. Максимальные приросты (до 3.9 мм/год) реализуются в условиях улучшения гидродинамики, например, за счет мелиоративных каналов (т. 8; 14) или неоднородностей поверхности коренных пород, усиливающих дренаж (т. 9). Максимальные значения MS характерны для сосен из контрастных по увлажненности местообитаний: с одной стороны, болот (т. 15; 13), а с другой стороны – останцов третьей надпойменной террасы (т. 3; 1) и локальных возвышенных участков в пределах влажных равнин (т. 5; 6). Минимальная MS наблюдается в условиях влажных равнин и некоторых болот. AC максимальна для хронологий болот и влажных равнин (т. 14; 13; 11), а минимальна в условиях локальных повышений (т. 6).

На рис. 2 представлены результаты кластеризации рядов индексов прироста сосны за 1951–2009 гг. В табл. 3 приведены коэффициенты корреляции прироста с климатическими факторами.

Темпы прироста сосны существенно варьируют среди местообитаний (см. табл. 2). Прирост деревьев в контрастных по увлажненности ме-

Таблица 1. Краткая характеристика точек отбора кернов и спилов сосны

№ точки на рис. 1	Природные условия	$h$ , м <sup>а</sup>	Растительное сообщество <sup>б</sup>	Примечания
1	Юго-восточный склон Солотчинского массива, доплейстоценовые эрозионные формы отсутствуют	125	Сосняк разнотравно-зеленомошный	Останцовые массивы соответствуют верхнему уровню озерно-аллювиальной аккумуляции (третьей надпойменной террасе) московского возраста
2	Влажная равнина в пределах Солотчинского массива, приурочена к древней погребенной эрозионной форме	120.8		
3	Середина склона песчаного бугра (крутизной 7–8°) на останце, обращенная к межбугровому понижению	118	Сосняк зеленомошный	
4	Нижняя часть песчаного бугра на останце, обращенная к межбугровому понижению, занятому карьером; УГВ не более 1 м в летнюю межень	116	Сосняк чернично-зеленомошный	
5	Верхняя часть песчаного массива остаточного рельефа относительной высотой 2.5 м в пределах влажной равнины	112.6	Сосняк бруснично-осоково-зеленомошный	—
6	Верхняя часть линейной положительной формы рельефа (верей), изменчивой по относительной высоте	111.6		Склон Бельского погребенного массива
7	Влажная песчаная равнина	111.8	Сосняк осоково-черничный	
8	Сырая песчаная мелиорированная равнина (незаболоченный участок)	114		—
9	Равнина на периферии элемента остаточного рельефа (почти не проявляется в современном рельефе), проецируемого на поверхность юрского останца	114.5	Сосняк чернично-орляковый	В 50 м — мелиоративный канал
10	Пологий склон эрозионной формы второго порядка (верхняя часть), сложенный легким суглинком; на глубине 2–4 м — морена	122	Сосняк черничный	Точка расположена в 60 км от лесхоза
11	Влажная песчаная равнина на периферии болота, приурочена к погребенной доплейстоценовой ложбине стока	116	Сосняк долгомошный	Влияние мелиорации отсутствует
12	Периферия замкнутой, заболоченной по переходному типу депрессии на границе Бельского погребенного массива и Северной ложбины стока	109.3	Сосняк чернично-долгомошный	Ближайший мелиоративный канал — в 50 м
13	Низинное болото в замкнутой депрессии, наследующей древнюю эрозионную форму	108	Сосняк осоково-сфагновый	—
14	Переходное болото (наследует Северную ложбину стока)	110.5	Сосняк чернично-сфагновый	В 150 м — мелиоративный канал
15	Верховое болото	114.5	Сосняк кустарничково-сфагновый	—
16	Замкнутая бессточная депрессия, заболоченная по переходному типу	113.5	Сосняк чернично-долгомошный	—

<sup>а</sup>  $h$  — абсолютная высота дневной поверхности; <sup>б</sup> типизация сообществ дана по [5]. В настоящее время послепожарная (после пожара 2010 г.) восстановительная сукцессия наблюдается в т. 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 16.

стообитаниях – болотах (т. 15; 13), останцах третьей надпойменной террасы (т. 3; 1) и локальных повышениях в пределах влажных равнин (т. 5; 6) – наиболее чувствителен к климатическим вариациям (максимальные значения MS). Это является индикатором экстремальности условий: избытка влаги и ее недостатка соответственно. Полученные закономерности изменения AC согласуются с результатами А.К. Anning с соав. [8]: AC максимальна для хронологии дуба белого (*Quercus alba*) из гидроморфных местообитаний и минимальна для деревьев, растущих при низком содержании доступной почвенной влаги. Таким образом, снижение AC может быть индикатором возрастания экстремальности условий и менее стабильного прироста [16].

На самом высоком уровне иерархии все хронологии подразделяются на две группы: останцов третьей надпойменной террасы (см. рис. 2, т. 1–3) и более низких гипсометрических уровней. Несмотря на территориальную близость,

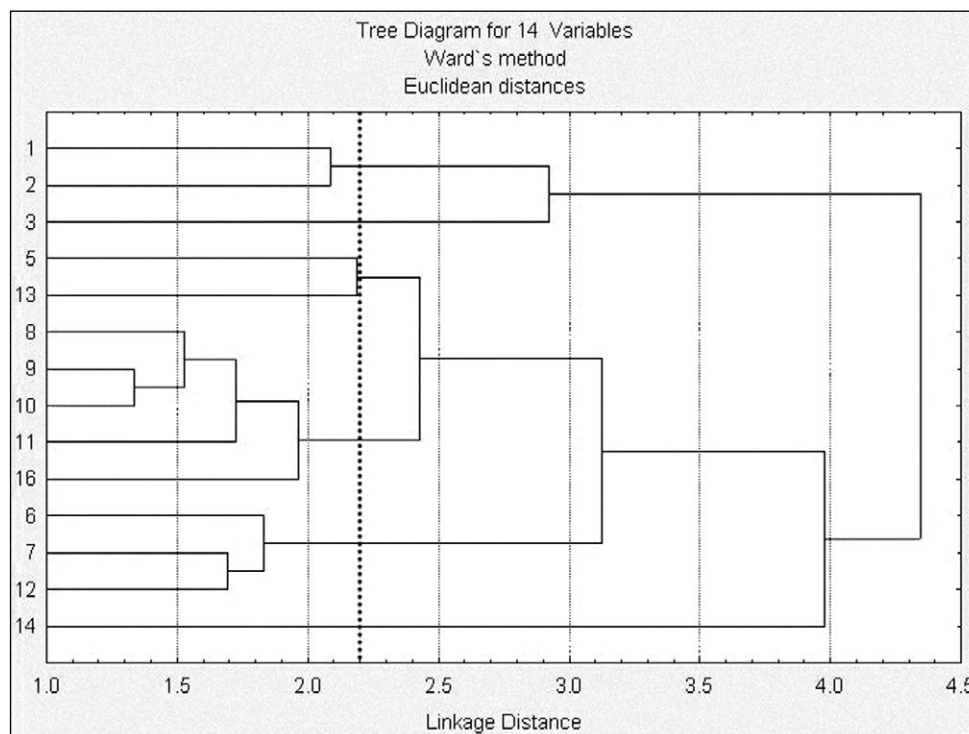
динамика прироста сосны в условиях наиболее крупных геолого-геоморфологических неоднородностей (останцовые массивы озерно-аллювиальной аккумуляции) не связана с закономерностями биопродуктивности в условиях болот и влажных равнин.

Максимальное сходство в динамике прироста характерно для хронологий в т. 9, 10 и 8, формирующих единый кластер на самом низком уровне иерархии (см. рис. 2). Несмотря на территориальную разобщенность и геолого-геоморфологическую специфику каждого из местообитаний, в них на фоне повышенной эдафической увлажненности создаются схожие условия для гидродинамики и, следовательно, близкие показатели влагообеспеченности. В т. 8 она обеспечивается антропогенным фактором – сетью мелиоративных осушительных каналов. Дренаж плоской песчаной равнины в т. 9 связан с уклоном поверхности коренных пород – юрских глин; сама равнина приурочена к периферии

**Таблица 2.** Статистические характеристики древесно-кольцевых хронологий сосны обыкновенной в различных местообитаниях Южной Мещеры

№ точки на рис. 1	Количество кернов	Длина хронологии	Возраст, лет	Средний прирост, мм/год	SD	MS	AC
1	10	1834–2014	181	1.525	0.712	0.207	0.409
2	10	1907–2014	108	1.980	1.036	0.169	0.496
3	8	1916–2012	97	1.613	0.621	0.242	0.604
4	4	1976–2010	35	3.402	1.241	0.203	0.480
5	4	1938–2010	73	1.737	0.703	0.225	0.456
6	9	1951–2011	61	2.597	0.983	0.238	0.254
7	10	1944–2011	68	2.779	1.036	0.174	0.593
8	6	1930–2010	81	3.157	1.121	0.192	0.533
9	9	1950–2010	61	3.869	1.071	0.145	0.534
10	9	1929–2012	84	2.493	1.365	0.173	0.433
11	5	1926–2010	85	2.093	1.396	0.175	0.613
12	7	1945–2010	66	2.807	0.762	0.151	0.503
13	5	1907–2010	104	2.324	0.969	0.210	0.653
14	4	1921–2010	90	3.168	1.826	0.185	0.692
15	4	1969–2013	45	1.899	1.327	0.389	0.403
16	5	1908–2010	103	2.381	1.166	0.192	0.369

*Примечание:* SD – стандартное отклонение; MS – средняя чувствительность хронологии; AC – автокорреляция первого порядка.



**Рис. 2.** Кластер-диаграмма рядов индексов прироста сосны из различных местообитаний Южной Мещеры за 1951–2009 гг. (по оси у – номера точек пробоотбора (см. рис. 1 и табл. 1)).

*Примечание:* монотонность функции наиболее резко нарушается на уровне дистанции сцепления 2.2 единицы; линия на дендрограмме, соответствующая этой дистанции, определяет число кластеров.

элемента остаточного рельефа, который, однако, в современном рельефе почти не выражен. Гидродинамика в т. 10 обусловлена особенностями рельефа и почв (см. табл. 1).

Примечательно, что хронологии на болотах, в отличие от останцовых местообитаний, не формируют единый кластер. По-видимому, биопродуктивность болот испытывает, помимо воздействия климата, также влияние локальных гидрологических условий [12], обусловленных возрастом болот, их генезисом, особенностями гидрографической сети, спецификой рельефа коренных пород. При этом хронологии из контрастных местообитаний – верей, влажной равнины и болота (т. 6; 7; 12 соответственно) – напротив, формируют единый кластер, что обусловлено их территориальной близостью и приуроченностью к единому элементу рельефа коренных пород – Бельскому останцу, влияние которого на динамику влаги оказывается сильнее, чем влияние неоднородностей дневной поверхности [3].

#### **Связи в системе “прирост деревьев – климатические условия”**

Согласно литературным данным, влияние температуры осени на прирост деревьев в следующем году неоднозначно. Положительная корреляция прироста с осенними температу-

рами может объясняться благоприятными условиями для запасаания метаболитов в случае теплой осени [21]. С другой стороны, повышенные осенние температуры могут продлить период функционирования листового аппарата, увеличивая затраты метаболитов на дыхание и ограничивая формирование метаболических резервов и, следовательно, прирост дерева в следующем году [18]. В нашем случае влияние повышенных осенних температур на прирост является контрастным: положительным – в переувлажненных местообитаниях (т. 7; 11) и отрицательным – при создании условий для дренажа (т. 5; 6; 8–10) (см. табл. 3). Очевидно, что непродуктивное испарение влаги осенью в последнем случае может создать дефицит увлажнения на следующий год.

Аналогичным образом различается влияние на прирост осенних осадков, которые отрицательно коррелируют с хронологиями влажных равнин и болот (т. 10; 11; 12; 14). Это согласуется с результатами работы [10], в соответствии с которыми сосна в условиях повышенного эдафического увлажнения более чувствительна к осадкам в предыдущем году и в октябре. Положительная корреляция с осадками октября характерна для хронологии в условиях останца третьей надпойменной террасы (т. 1).

**Таблица 3.** Коэффициенты корреляции между приростом сосен из различных местообитаний Южной Мещеры и климатическими факторами

№ точки	Предыдущий год		Текущий год		Интегральные параметры
	Температура	Осадки	Температура	Осадки	
1	Nov( <b>0.17</b> )	Oct( <b>0.20</b> )	Jan( <b>-0.30</b> )	–	pCP–rd3Yrs( <b>0.22</b> )
2	Aug(0.17)	–	Jun(0.16); Jul( <b>0.27</b> ); Aug( <b>0.21</b> )	Jul( <b>-0.23</b> )	pYr <sub>-3</sub> (0.19); pCP–rd3Yrs(-0.18)
3	–	–	–	Jan( <b>0.24</b> ); Aug( <b>-0.21</b> )	tApr-Jul <sub>-1</sub> ( <b>-0.31</b> ); tYr <sub>-1</sub> ( <b>-0.20</b> ); t3Yrs( <b>-0.21</b> ); rdYr <sub>-1</sub> ( <b>0.21</b> ); rd2Yrs(0.18); rd3Yrs(0.20); rd4Yrs( <b>0.22</b> )
4	Nov( <b>-0.35</b> )	–	Jan( <b>0.52</b> ); Apr(0.33); May(-0.30)	–	rdYr(0.30)
5	Oct( <b>-0.27</b> )	Aug( <b>0.26</b> )	May( <b>-0.26</b> ); Aug( <b>-0.26</b> )	Jan( <b>-0.23</b> ); Apr(-0.21); May(0.21)	pJun-Aug( <b>0.25</b> ); pYr( <b>0.26</b> ); p2Yrs(0.21); rdYr <sub>-2</sub> (-0.23); rd4Yrs(-0.20)
6	Aug(0.23); Sep( <b>-0.38</b> )	–	Jan( <b>0.24</b> ); Feb( <b>0.38</b> )	May( <b>0.26</b> ); Jun(0.25);	pCP <sub>-1</sub> ( <b>-0.24</b> ); pYr(0.23); rdYr(0.24)
7	Oct(0.21); Dec(0.22)	Aug( <b>0.25</b> )	Apr( <b>0.25</b> )	May( <b>0.22</b> )	tYr( <b>0.27</b> ); pYr(0.22); pYr <sub>-2</sub> (0.19); p2Yrs( <b>0.25</b> ); p3Yrs( <b>0.29</b> ); p4Yrs( <b>0.27</b> ); t3Yrs(0.21)
8	Oct( <b>-0.22</b> ); Dec( <b>0.32</b> )	–	Jul( <b>-0.27</b> ); Aug(-0.20)	Apr( <b>-0.27</b> ); May( <b>0.22</b> )	pCP( <b>0.20</b> ); pYr( <b>0.26</b> ); p2Yrs( <b>0.25</b> )
9	Sep(-0.23); Dec( <b>0.25</b> )	–	Jan( <b>0.27</b> )	–	tYr(0.22); pYr( <b>0.30</b> ); p2Yrs(0.22);
10	Sep( <b>-0.23</b> ); Nov(-0.21)	Nov(-0.18)	–	Mar ( <b>0.25</b> )	pCP <sub>-1</sub> ( <b>-0.23</b> ); pYr <sub>-2</sub> ( <b>-0.24</b> ); pYr <sub>-3</sub> ( <b>-0.26</b> )
11	Oct(0.21)	Oct( <b>-0.22</b> )	Mar(0.21); Apr( <b>0.22</b> )	Jul( <b>-0.22</b> )	tApr-Jul <sub>-1</sub> ( <b>0.28</b> ); tYr( <b>0.24</b> ); tYr <sub>-1</sub> ( <b>0.22</b> ); t3Yrs( <b>0.31</b> ); pYr(-0.18); pCP–rdYr <sub>-1</sub> ( <b>-0.24</b> ); pCP–rd3Yrs( <b>-0.25</b> )
12	–	Sep(-0.23)	Jan(0.22)	Jun( <b>0.26</b> ); Jul(-0.23)	–
13	–	–	May( <b>-0.23</b> )	–	rdYr <sub>-2</sub> (-0.18); rdYr <sub>-3</sub> (-0.18); rd3Yrs(-0.17)
14	Aug( <b>-0.21</b> )	Oct( <b>-0.21</b> ); Nov(-0.19)	Jul( <b>-0.24</b> ); Aug(-0.19)	Jul( <b>0.24</b> )	pJun-Aug <sub>-1</sub> (0.19)
16	–	–	Apr(0.19)	–	pYr(0.17); p2Yrs(0.18); rdYr <sub>-2</sub> (-0.18); rdYr <sub>-3</sub> ( <b>-0.32</b> )

*Примечание:* номера точек см. на рис. 1 и в табл. 1. **Полужирным шрифтом** выделены коэффициенты корреляции с высоким уровнем значимости ( $p < 0.05$ ). Остальные коэффициенты корреляции значимы на уровне:  $0.05 < p < 0.1$ .

Факторы: Jan, Feb, Mar, Apr, May, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov, Dec – месяцы года с января по декабрь, соответственно. Интегральные параметры: tApr-Jul<sub>-1</sub>, tYr, tYr<sub>-1</sub>, t3Yrs – средняя температура за апрель–июль предыдущего года; за год, предыдущий год, за три года соответственно; pJun-Aug, pJun-Aug<sub>-1</sub>, pCP, pCP<sub>-1</sub> – сумма осадков за июнь–август текущего года, предыдущего года, за холодный период (ноябрь–март) текущего года, предыдущего года соответственно; pYr, pYr<sub>-1</sub>, pYr<sub>-2</sub>, pYr<sub>-3</sub> – сумма осадков за данный год; предшествующий год и т.д.; p2Yrs, p3Yrs, p4Yrs – сумма осадков за текущий и предыдущий годы; за текущий и два предыдущих года; за текущий и три предыдущих года; rdYr, rdYr<sub>-1</sub>, rdYr<sub>-2</sub>, rdYr<sub>-3</sub> – сток р. Гусь (*river discharge*) за год, за предыдущий год и т.д.; rd2Yrs, rd3Yrs, rd4Yrs – средний сток р. Гусь, дренирующей Мещерскую низину, за два, три и четыре года соответственно; pCP–rdYr<sub>-1</sub>, pCP–rd3Yrs – разность осадков холодного периода (ноябрь–март) и стока р. Гусь (за предыдущий год, среднее за 3 года соответственно).

Примечательно, что, несмотря на территориальную близость, приуроченность к одной морфоструктуре (Солотчинскому останцу) и к одному кластеру (см. рис. 2), останцовые хронологии (т. 1 и 2) коррелируют с различными факторами. Для сосны в т. 2 характерна положительная корреляция с температурой вегетационного периода и отрицательная – с осадками июля и с трехлетней разницей осадков холодного периода и стока. Аналогичные закономерности наблюдаются также в условиях влажной равнины на периферии обширного болотного массива (т. 11), где переувлажнение является ярко выраженным лимитирующим фактором роста. Прирост сосны в т. 1, напротив, положительно связан с трехлетней разницей осадков холодного периода и стока. На приросте сосны в т. 2 сказывается ее положение в контурах древней погребенной эрозионной формы, осложняющей склон Солотчинского останца и создающей условия для локальной аккумуляции влаги в почве (см. рис. 1). Для данной хронологии характерен большой прирост и меньшая средняя чувствительность, чем для хронологии в т. 1, где выраженные доплейстоценовые эрозионные формы отсутствуют и лимитирующим фактором выступает дефицит влаги.

В литературе неоднократно говорилось о положительной корреляции прироста сосны с зимними температурами для различных регионов Европы [10, 13, 14], что объясняется возможным повреждением деревьев (в том числе их корневых систем) морозами в случае холодных зим. Глубокое промерзание почвы при низких температурах февраля увеличивает период, необходимый для ее оттаивания весной. В условиях мягкого климата повышенные зимние температуры обеспечивают протекание фотосинтеза у хвойных пород (или более раннее возобновление камбиальной активности).

В Южной Мещере положительные корреляции прироста со средними зимними температурами не характерны для типичных болотных местообитаний (т. 13; 14; 16) и влажных равнин (т. 10; 11), но встречаются в условиях останцов (т. 4), верей (т. 6) и равнинных участков с повышенной гидродинамикой (т. 9). Данные местообитания характеризуются более активным водообменом, чем т. 10, 11, 13, 14 и 16. При этом факторами, улучшающими дренаж и элиминирующими негативное влияние переувлажнения, являются особенности рельефа дневной поверхности и погребенных структур, а также положительный эффект осушительной мелиорации (см. табл. 1). Теплые зимы за счет высвобождения в почву влаги от подтаявшего снежного покрова создают вероятность избыточного увлажнения, которое не может быть благоприятным для биопродуктивности

гидроморфных местообитаний, а в условиях повышенного дренажа способствует увеличению прироста. Таким образом, возможное влияние зимних температур на биопродуктивность может быть связано с их влиянием на содержание почвенной влаги. Сходные данные получены I. Dauškane и D. Elferts [10] для сухих песчаных местообитаний Латвии.

Негативная реакция на майскую засуху – отрицательная корреляция с температурой мая для хронологий останцов и массивов остаточного рельефа (т. 4; 5) и положительная – с осадками мая для т. 5–8 (верей, равнины, приуроченные к Бельскому погребенному массиву, мелиорированные равнины) свидетельствует о высокой вероятности дефицита влаги в начале вегетационного периода в местообитаниях с повышенной гидродинамикой. X. Walker и J.F. Johnstone [20] в бореальных лесах Аляски и Юкона установили, что дальнейшее потепление в апреле и мае будет отрицательно влиять на прирост ели черной (*Picea mariana*) в широком спектре местообитаний, независимо от количества доступной почвенной влаги.

Отметим, что в условиях болот и влажных равнин связь радиального прироста с гидротермическими параметрами летних месяцев не всегда однозначна. Так, в переувлажненных местообитаниях, наряду с положительной реакцией на летнюю засушливость (т. 12), аналогичный ответ наблюдается также на увлажнение весенне-летнего периода (т. 12–14). Одна из возможных причин – достаточно узкая зона оптимума для поверхностной корневой системы, страдающей от флуктуаций уровня грунтовых вод, приводящих либо к ее высыханию, либо к затоплению и анаэробным условиям. Для туи западной (*Thuja occidentalis*), растущей на болотах, установлено снижение роста вследствие засухи (сочетания поверхностной корневой системы и снижения уровня грунтовых вод летом) [17].

Известно, что климатический сигнал сильнее выражен в хронологиях деревьев, произрастающих на минеральных почвах [13]. Закономерности прироста сосны на болотах сложнее. Показано, что прирост деревьев в условиях болот зависит от климатических флуктуаций в меньшей степени, чем на водоразделах [9, 12]. Информативный параметр в системе “прирост деревьев–климатические условия” – количество значимо коррелирующих с рядами прироста факторов. В работе А.К. Anning с соавт. [8] показано, что хронология дуба белого из засушливого местообитания значимо коррелировала с 13 климатическими параметрами, а из среднего по увлажненности и переувлажненного – с 10 и с 1 параметром соответственно. Как следует из материалов табл. 3, в Мещере хронологии болот также имеют мень-



ше значимых связей с климатическими параметрами. Так, сосны из заболоченных т. 13 и 16 коррелируют только с одним фактором (значимость  $p < 0.05$ ), в то время как в условиях минеральных почв может быть до 8 значимых на данном уровне корреляций.

Специфичными особенностями болот, влияющими на рост деревьев, являются высокий уровень грунтовых вод, плохая почвенная аэрация, дефицит питательных элементов [10]. Изменения температуры или осадков за месяц не вызывают заметных изменений, влияющих на прирост древостоя, в насыщенной водой торфяной толще. Медленные гидрологические ответы в условиях торфяных почв, не зависящие от краткосрочных погодных вариаций, обуславливают существование 2–4-летних лагов в реакции прироста деревьев на плювиальный сигнал [13]. Корреляция прироста с осадками и стоком за предыдущие годы в Южной Мещере характерна не только для болот, но и для хронологий сосны на минеральных почвах (см. табл. 3). Однако в условиях повышенной гидродинамики (т. 3; 5; 6; 8; 9) более значима связь (положительная) с интегральными параметрами увлажнения текущего года. Отрицательная связь прироста болотных сосен (т. 13; 16) с количеством осадков и стоком может проявляться с лагом 1–4 года.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ динамики радиально-го прироста сосны обыкновенной в различных топоэкологических условиях Южной Мещеры показал, что, несмотря на территориальную близость и относительно малоконтрастный рельеф, останцовые массивы московского возраста отличаются от соседних влажных равнин и болот закономерностями биопродуктивности древостоев. Средний прирост сосны по диаметру в пределах района исследований различается в 2.5 раза. При этом наиболее экстремальными местообитаниями являются верховые болота и участки останцов третьей надпойменной террасы. Для большинства болот и влажных равнин типичны средние значения приростов. Сходная динамика прироста наблюдается в местообитаниях, в которых под действием разных факторов (мелиорации, почв, особенностей рельефа дневной поверхности или коренных пород) создаются схожие условия для гидродинамики и, следовательно, близкие показатели влагообеспеченности. В заболоченных местообитаниях сосна, помимо воздействия климата, испытывает также сложное влияние локальных гидрологических условий.

Корреляционный анализ индексов прироста сосны с климатическими параметрами пока-

зал, что доступная почвенная влага в условиях Южной Мещеры является ключевым фактором, влияющим на биопродуктивность древостоев. При этом лимитировать прирост могут как дефицит влаги (на останцовых массивах), так и переувлажнение (в условиях болот и влажных равнин). Между местообитаниями избыточного и недостаточного увлажнения наблюдаются принципиальные различия в наборе значимо влияющих на прирост метеопараметров. В переувлажненных местообитаниях наблюдается положительная корреляция прироста с температурой и отрицательная – с осадками осени предыдущего года, в засушливых – положительная корреляция с осадками осени, мая и с температурой зимы. Отрицательная связь прироста болотных сосен с количеством осадков и стоком может проявляться с лагом 1–4 года. В условиях относительно повышенной гидродинамики более значима положительная связь с интегральными параметрами увлажнения текущего года.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анненская Г.Н., Мамай И.И., Цесельчук Ю.Н.* Ландшафты Рязанской Мещеры и возможности их освоения. М.: Изд. Моск. ун-та, 1983. 246 с.
2. *Битвинская Т.Т.* Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 172 с.
3. *Железнова О.С., Тобратов С.А.* Опыт ландшафтного анализа пространственных закономерностей продуктивности зональных экосистем Южной Мещеры // Изв. РАН. Сер. геогр. 2017. № 6. С. 47–62. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0373244417060056>
4. *Коломыц Э.Г.* Региональная модель глобальных изменений природной среды. М.: Наука, 2003. 371 с.
5. *Рысин Л.П., Савельева Л.И.* Сосновые леса России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 289 с.
6. *Соломина О.Н., Кузнецова В.В., Мацковский В.В., Долгова Е.А.* От чего зависит ширина годовых колец деревьев в центральной части Восточно-Европейской равнины? // Изв. РАН. Сер. геогр. 2016. № 3. С. 47–64. DOI: <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-3-47-64>
7. *Тишин Д.В.* Влияние природно-климатических факторов на радиальный прирост основных видов деревьев Среднего Поволжья. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань: Институт экологии природных систем АН РТ, 2006. 151 с.
8. *Anning A.K., Rubino D.L., Sutherland E.K., McCarthy B.C.* Dendrochronological analysis of white oak growth patterns across a topographic moisture gradient in southern Ohio // *Dendrochronologia*. 2013. № 31 (2). P. 120–128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2012.10.002>
9. *Bijak S.* Tree growth – climate response in relation to habitat type in spruce stands of the Borecka Prime-

- val Forest // TRACE – Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology: Proc. of the Dendrosymposium 2006, April 20<sup>th</sup> – 22<sup>nd</sup> 2006, Tervuren, Belgium. 2007. № 5. P. 54–59.
10. Dauškane I., Elferts D. Influence of climate on Scots pine growth on dry and wet soils near Lake Engure in Latvia // *Estonian J. of Ecol.* 2011. № 60 (3). P. 225. DOI: <https://doi.org/10.3176/eco.2011.3.05>
  11. Dũthorn E., Holzkãmpfer S., Timonen M., Esper J. Influence of micro-site conditions on tree-ring climate signals and trends in central and northern Sweden // *Trees*. 2013. № 27 (5). P. 1395–1404. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-013-0887-8>
  12. Edvardsson J., Hansson A. Multiannual hydrological responses in Scots pine radial growth within raised bogs in southern Sweden // *Silva Fennica*. 2015. № 49 (4), article id 1354. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.1354>
  13. Edvardsson J., Rimkus E., Corona C., Šimanauskienė R., Kažys J., Stoffel M. Exploring the impact of regional climate and local hydrology on *Pinus sylvestris* L. growth variability – A comparison between pine populations growing on peat soils and mineral soils in Lithuania // *Plant and Soil*. 2015. № 392 (1–2). P. 345–356. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2466-9>
  14. Feliksik E., Wilczyński S. The effect of climate on tree-ring chronologies of native and nonnative tree species growing under homogenous site conditions // *Geochronometria*. 2009. № 33 (1). P. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10003-009-0006-4>
  15. Friedrichs D.A., Büntgen U., Esper J., Frank D.C., Neuwirth B., Löffler J. Complex climate controls on 20th century oak growth in Central-West Germany // *Tree Physiology*. 2008. № 29 (1). P. 39–51. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpn003>
  16. Fritts H. *Tree Rings and Climate*. London, NY, San Francisco: Academic Press, 1976. 576 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-268450-0.X5001-0>
  17. Housset J.M., Carcaillet C., Girardin M.P., Xu H., Tremblay F., Bergeron Y. In situ comparison of tree-ring responses to climate and population genetics: the need to control for local climate and site variables // *Frontiers in Ecol. and Evolution*. 2016. № 4. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00123>
  18. Latte N., Lebourgeois F., Claessens H. Increased tree-growth synchronization of beech (*Fagus sylvatica* L.) in response to climate change in northwestern Europe // *Dendrochronologia*. 2015. № 33. P. 69–77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.01.002>
  19. Oberhuber W., Kofler W. Topographic influences on radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at small spatial scales // *Plant Ecology*. 2000. № 146 (2). P. 229–238. DOI: <https://doi.org/10.1023/a:1009827628125>
  20. Walker X., Johnstone J.F. Widespread negative correlations between black spruce growth and temperature across topographic moisture gradients in the boreal forest // *Env. Res. Lett.* 2014. № 9 (6). DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/6/064016>
  21. Zhang Y., Wilking M., Gou X. Changing relationships between tree growth and climate in Northwest China // *Plant Ecol.* 2008. № 201 (1). P. 39–50. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2795-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2795-5_4)

## REFERENCES

1. Annenskaya G.N., Mamay I.I., Tselchuk Y.N. *Landshafty Ryazanskoi Meshchery i vozmozhnosti ikh osvoeniya* [The Landscapes of the Ryazan Meshchera and the Capabilities of Their Development]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1983. 246 p.
2. Bitvinskis T.T. *Dendroklimateiskie issledovaniya* [Dendroclimatic Studies]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1974. 172 p.
3. Zheleznova O.S., Tobratov S.A. Landscape analysis experience of spatial patterns of zonal ecosystems productivity: a case study of subtaiga forests of Southern Meshchera. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2017, no. 6, pp. 47–62. (In Russ.).
4. Kolomyts E.G. *Regional'naya model' global'nykh izmenenii prirodnoi sredy* [Regional Model of Global Changes in the Natural Environment]. Moscow: Nauka Publ., 2003. 371 p.
5. Rysin L.P. Savel'eva L.I. *Sosnovye lesa Rossii* [Pine Forests of Russia]. Moscow: KMK Publ., 2008. 289 p.
6. Solomina O.N., Kuznetsova V.V., Matskovskii V.V., Dolgova E.A. What determines the width of annual tree-rings in the Central Part of East-European Plain? *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2016, no. 3, pp. 47–64. (In Russ.).
7. Tishin D.V. Influence of climatic factors on the radial growth of the main tree species in the Middle Volga region. *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*. Kazan: Inst. Nat. Syst. Ecol., Tatarstan Acad. Sci., 2006. 151 p.
8. Anning A.K., Rubino D.L., Sutherland E.K., McCarthy B.C. Dendrochronological analysis of white oak growth patterns across a topographic moisture gradient in southern Ohio. *Dendrochronologia*, 2013, vol. 31, no. 2, pp. 120–128. doi 10.1016/j.dendro.2012.10.002
9. Bijak S. Tree growth – climate response in relation to habitat type in spruce stands of the Borecka Primeval Forest. *TRACE – Tree Rings in Archaeol., Climatol. and Ecol.*, 2007, no. 5, pp. 54–59.
10. Dauškane I. and Elferts D. Influence of climate on Scots pine growth on dry and wet soils near Lake Engure in Latvia. *Estonian J. Ecol.*, 2011, vol. 60, no. 3, pp. 225–235. doi 10.3176/eco.2011.3.05
11. Dũthorn E., Holzkãmpfer S., Timonen M., Esper J. Influence of micro-site conditions on tree-ring climate signals and trends in central and northern Sweden. *Trees*, 2013, vol. 27, no. 5, pp. 1395–1404.
12. Edvardsson J., Hansson A. Multiannual hydrological responses in Scots pine radial growth within raised bogs in southern Sweden. *Silva Fennica*, 2015, vol. 49, no. 4, pp. 1–14. doi 10.14214/sf.1354
13. Edvardsson J., Rimkus E., Corona C., Šimanauskienė R., Kažys J., Stoffel M. Exploring the impact of regional climate and local hydrology on *Pinus sylvestris* L. growth variability – A comparison between pine populations growing on peat soils and mineral soils in Lithuania. *Plant Soil*, 2015, vol. 392, nos. 1–2, pp. 345–356.
14. Feliksik E., Wilczyński S. The effect of climate on tree-ring chronologies of native and nonnative tree species growing under homogenous site conditions. *Geochronometria*, 2009, vol. 33, no. 1, pp. 49–57.

15. Friedrichs D.A., Büntgen U., Esper J., Frank D.C., Neuwirth B., Löffler J. Complex climate controls on 20th century oak growth in Central-West Germany. *Tree Physiol.*, 2008, vol. 29, no. 1, pp. 39–51.
16. Fritts H. *Tree Rings and Climate*. London: Academic Press, 1976. 582 p. doi 10.1016/B978-0-12-268450-0.X5001-0
17. Housset J.M., Carcaillet C., Girardin M.P., Xu H., Tremblay F., Bergeron Y. In situ comparison of tree-ring responses to climate and population genetics: the need to control for local climate and site variables. *Front. Ecol. Evol.*, 2016, no. 4. doi 10.3389/fevo.2016.00123
18. Latte N., Lebourgeois F., Claessens H. Increased tree-growth synchronization of beech (*Fagus sylvatica* L.) in response to climate change in northwestern Europe. *Dendrochronologia*, 2015, no. 33, pp. 69–77.
19. Oberhuber W., Kofler W. Topographic influences on radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at small spatial scales. *Plant Ecol.*, 2000, vol. 146, no. 2, pp. 229–238. doi 10.1023/a:1009827628125
20. Walker X., Johnstone J.F. Widespread negative correlations between black spruce growth and temperature across topographic moisture gradients in the boreal forest. *Environ. Res. Lett.*, 2014, vol. 9, no. 6. doi 10.1088/1748-9326/9/6/064016
21. Zhang Y., Wilmking M., Gou X. Changing relationships between tree growth and climate in Northwest China. In *Forest Ecology*. Van der Valk A.G., Ed. Dordrecht: Springer, 2008, pp. 39–50. doi 10.1007/978-90-481-2795-5\_4

## Influence of Climate on Radial Growth of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Different Habitats of Meshchera Lowland

O. S. Zheleznova\* and S. A. Tobratov

Ryazan State University named for S. Yesenin, Ryazan, Russia

\*e-mail: Zheleznova\_rzn@mail.ru

Received April 30, 2018; revised January 25, 019; accepted April 4, 2019

This paper is devoted to the patterns of radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in various topoecological conditions of the Meshchera lowland (Ryazan region, the East European plain). The generalized tree-ring chronologies are constructed for 16 habitats differing in features of a relief of a day surface and a bedrock surface. Despite the relatively low-contrast relief of Meshchera, the average radial pine increment within the study area differs by 2.5 times (1.5–3.9 mm per year). The correlation and cluster analyses revealed that the key factor influencing the width of annual tree rings of pine is the amount of the available soil moisture. Its surplus (in wetlands) and deficiency (in conditions of sandy outliers) negatively affects the radial pine increment. It is established that in the waterlogged habitats positive correlation of the radial pine increment with temperature and negative – with precipitation of autumn of the previous year is observed. The positive correlation of the radial increment with precipitation of autumn, May and with winter temperature is typical for a pine from arid habitats. The negative relationship between the pines' growth and amount of precipitation and river discharge may occur with a lag of 1–4 years in conditions of wetlands. The positive relationship of the radial pine increment with the integral parameters of the current year's moisture is more significant in conditions of relatively high hydrodynamics (for example, in conditions of sandy outliers).

**Keywords:** dendrochronology, Scots pine, tree rings, topoecological conditions, soil moisture, climatic factors, relief of a bedrock surface.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019567-77>