

УДК 630*561.24:630*176.322.6(574.11)

КЛИМАТОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ВНЕЗАПНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ХОДА РОСТА ДЕРЕВА

М. К. Сапанов

Институт лесоведения РАН

Россия, 143030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, Советская, 21

E-mail: sapanovm@mail.ru

Поступила в редакцию 16.10.2018 г., после доработки 14.11.2018 г., принята 27.12.2018 г.

Сапанов М. К. Климатогенные факторы внезапного изменения хода роста дерева // Поволжский экологический журнал. 2019. № 2. С. 253 – 263. DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-2-253-263>

Проведены сравнительные наблюдения динамики хода роста разных пород деревьев, выращиваемых в аридных условиях междуречья Волги и Урала, с современным изменением природно-климатических условий. Проанализированы условия и причины внезапного изменения скоростей роста деревьев в процессе их развития. Изучена динамика приростов взрослых экземпляров дуба черешчатого и ясеня пенсильванского, выращиваемых на глинистых типах почв, и сосны обыкновенной – на песчаных почвах. Были использованы результаты выявленной ранее зависимости ширины годичного кольца от гидротермических условий вегетационного сезона с учетом разной функциональной значимости в его ежегодном формировании воды весенней влагозарядки (осадков холодного периода года), осадков в период вегетации и грунтовых вод, а также лимитирующее влияние на прирост температурного режима воздуха в весенне-летний период. Показана возможность внезапного изменения хода роста дуба в результате влияния сильнейшей длительной почвенной и атмосферной засухи в экстремально засушливый год (1972 г.), когда деревья всех рангов развития в древостоях достоверно ухудшили прирост не только в этот год, но и в последующие 6 – 7 лет. Это может быть связано, например, с нарушением работы камбия или отмиранием большого количества ростовых и всасывающих корней деревьев. Также показано достоверное изменение скоростей роста деревьев при длительном климатогенном ежегодном опускании или подъеме уровня пресных грунтовых вод, когда нижняя граница корневых систем отрывается или, наоборот, насыщается влагой из капиллярной каймы, существенно изменяя влагообеспеченность растений. Полученные результаты могут объяснить причины внезапного изменения хода роста деревьев при исследованиях древесного кольца.

Ключевые слова: аридные регионы, лесонасаждения, радиальный прирост, засухи, уровень грунтовых вод.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-2-253-263>

ВВЕДЕНИЕ

Одним из объективных показателей изменения климатических условий является динамика радиального прироста ствола дерева. Климатогенная предрасположенность изменчивости приростов служит основой лесоэкологических, лесотаксационных, дендрохронологических, дендроклиматологических исследований. Наи-

более часто в работах представлено сопряженное сравнение приростов деревьев с инструментально фиксируемыми гидрометеорологическими и иными данными. Выявление основных лимитирующих прирост факторов по результатам современной изменчивости природных условий позволяет объяснить динамику приростов деревьев, реставрировать климат прошедших эпох и, отчасти, прогнозировать его будущее изменение. При этом существует достаточно много общепризнанных методов изучения особенностей формирования радиального прироста деревьев, которые, например, позволяют элиминировать возрастные изменения деревьев, конкурентные взаимоотношения в древостоях, лимитирующее воздействие условий среды обитания и цикличность (волнообразный характер) его динамики во времени (Битвинскас, 1974; Молчанов, 1976; Ловелиус, 1979; Сапанов, 2003; Слемнев и др., 2012; Матвеев, 2013).

Однако во многих случаях затруднено выявление причин внезапного изменения скоростей роста деревьев. По-видимому, это связано с тем, что не всегда учитываются биологические свойства деревьев и особенности механизмов их функционирования в тех или иных условиях местопроизрастания. В этой связи интересно показать биоэкологическую первопричину данного явления, которая может происходить как в результате кратковременного воздействия факторов среды, так и постепенного ухудшения или улучшения природных условий. Данный обзор направлен на объяснение некоторых конкретных случаев «неожиданного», т.е. внезапного периодического изменения скорости роста стволовой древесины взрослых деревьев в засушливых условиях Северного Прикаспия по материалам Джаныбекского стационара Института лесоведения РАН. Стационар расположен на Прикаспийской низменности в междуречье Волги и Урала в 30 км от оз. Эльтон.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Представлены материалы изучения динамики радиального прироста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Лесонасаждения дуба и ясеня произрастают на гидроморфных тяжелосуглинистых лугово-каштановых почвах локальных понижений рельефа, так называемых «больших падинах». Лугово-каштановые почвы отмыты от легкорастворимых солей, и под ними расположены линзы пресных грунтовых вод на глубине 5 – 7 м при мощности капиллярной каймы 2.5 – 3 м. Общая минерализация пресных линз менее 1 г/л. Эти культуры, в состав которых входят 65-летние дубы и ясени, расположены на территории Джаныбекского стационара. Отличительной особенностью влагопотребления изучаемых видов является то, что дуб использует на десукцию пресные грунтовые воды, образуя второй ярус корневой системы в капиллярной кайме, тогда как ясень не использует их, так как имеет поверхностную корневую систему мощностью 2.5 – 3 м, которая обычно не достает до верхней границы капиллярной каймы. Рассматриваются также ежегодные приросты ясеня, произрастающего на автоморфных мелиорированных солончаковых солонцах. Здесь корни распространены лишь в выщелоченной от легкорастворимых солей почвенно-грунтовой толще мощностью около 1.5 – 2 м (Роде, Польский, 1961; Чистые культуры..., 1961; Сапанов, 2003).

Сосновые колки расположены в котловинах выдувания Нарынских песков. Условия их местопроизрастания отличаются близким залеганием пресных грунтовых вод (менее 3 м) при мощности капиллярной каймы около 60 – 70 см. Сосна в таких условиях также образует второй ярус корней в капиллярной кайме (Сапанов, Сиземская, 2018).

Погодно-климатические условия представлены по данным Джаныбекской и Эльтонской метеорологических станций. Сезонная динамика уровня грунтовых вод определяется на изучаемой территории под разными элементами ландшафта 2 – 4 раза в месяц в постоянных наблюдательных скважинах в течение многих десятилетий. На Джаныбекском стационаре – собственными силами, в Нарынских песках – ТОО «Жайыкгидрогеология» (г. Уральск).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что основными лимитирующими рост деревьев факторами в аридных регионах являются дефицит влаги и высокие летние температуры, в гумидных – переизбыток влаги и недостаток тепла, в семиаридных – при полном положительном доволствии тепла и влаги отрицательным моментом являются, главным образом, неожиданные экстремальные засухи, реже – периодическое заболачивание территории из-за увеличения количества атмосферных осадков. Однако лучше всего влияние лимитирующих факторов среды проявляется в несвойственных для растений условиях, например, в культурах из пород, выращиваемых вне своих ареалов. Наибольшее количество таких лесонасаждений встречается на безлесных степных территориях.

В данной статье рассматриваются особенности функционирования древостоев в засушливых условиях Северного Прикаспия. Климат района исследований характеризуется как резкоконтинентальный с амплитудой температуры воздуха от -40°C зимой до +40°C в летний период. Годовое количество атмосферных осадков около 300 мм, в холодный период выпадает около 160 мм, в теплый – около 140 мм. Испаряемость более 900 мм. Регион отличается неустойчивостью осадков по месяцам, частыми засухами и суховеями, бесснежными зимами (Роде, 1959).

Лесонасаждения здесь вынуждены приспосабливаться к суровым условиям экологического и географического несоответствия включением адаптивных механизмов, например, уменьшением размеров листовой пластины и общей биологической массы, а в засушливый период – частичным уменьшением интенсивности транспирации, преждевременным сезонным сбросом части побегов с листьями, закрытием устьиц, уменьшением тургора в листьях и др. Такое поведение деревьев, по-видимому, должно сказываться на их радиальных приростах (Сапанов, 2003, 2010).

Наиболее полно изучена реакция на изменение природно-климатических условий дуба черешчатого. Выявлено, что ежегодное приращение биологической массы дерева (листьев, стволовой древесины) обусловлено потреблением из верхних горизонтов почвы воды весенней влагозарядки, накапливаемой за счет осенне-зимних осадков. Это вполне закономерно, так как эта влага используется растениями не только для обеспечения транспирации (и фотосинтеза), но и для раство-

рения минеральных веществ, сконцентрированных в этой зоне, которые необходимы растениям для построения биомассы. Осадки теплого периода года преимущественно оказывают опосредованное влияние на жизнедеятельность деревьев, препятствуя возникновению атмосферной засухи через понижение температуры воздуха, увеличение относительной влажности воздуха и уменьшение испаряемости. Грунтовые воды не участвуют в непосредственном приращении биомассы деревьев, а поддерживают растения на нормальном физиологическом уровне, формируя пул запасных веществ, обеспечивая транспирацию и фотосинтез во второй половине вегетационного сезона, часто при полном отсутствии доступной влаги в верхних горизонтах почвы. Расход из грунтовых вод составляет 45 – 70% (более 400 мм) от всей эвапотранспирации древостоев (Киссис, 1963; Лархер, 1978; Оловянникова, 1977; Сапанов, 2006).

Величина ежегодного радиального прироста дуба зависит также от температурного режима воздуха в период вегетации. Это подтверждается достоверным очень сильным отрицательным влиянием на прирост летних температур воздуха и испаряемости, а также достоверным положительным воздействием относительной влажности воздуха. Иными словами, минимальный ежегодный прирост ствола образуется при слабой весенней влагозарядке почв и раннем возникновении атмосферной засухи, и, наоборот, максимальный прирост формируется при полном весеннем влагонасыщении корнеобитаемого слоя и благоприятных условиях вегетационного сезона, в том числе за счет пониженной температуры воздуха и обильных летних осадков. В такие годы даже могут образовываться вторичные побеги (Сапанов, 2006).

Очевидно поэтому в наших условиях отмечается синхронная флуктуация (при разной величине и амплитуде) у деревьев дуба разных рангов развития на разных пробных площадках. Более того, идентичны также динамические явления в приростах разных видов деревьев (акация белая (*Robinia pseudoacacia* L.), берёза повислая (*Betula pendula* Roth.), дуб красный (*Quercus rubra* L), клён татарский (*Acer tataricum* L), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.) и др. Данное явление указывает на единый механизм формирования ежегодного прироста лиственных пород деревьев в зависимости от воздействия погодных условий гидрологического года (Сапанов, 2003).

С учетом вышеизложенного проанализируем примеры периодической изменчивости хода роста деревьев под влиянием краткосрочного, в течение одного сезона, и долговременного, в течение нескольких лет, воздействия лимитирующих факторов среды.

Влияние экстремально засушливого 1972 г. Рассмотрим влияние на прирост очень сильной засухи, которая произошла в 1972 г. Этот год характеризовался высокой температурой воздуха (20.6°C, при средней 18.3°C), максимальной испаряемостью (1509 мм) при минимальных осадках холодного периода (57 мм) и весенне-летних месяцев, например, за май – июль выпало 3, 11, 3 мм соответственно, а в августе дождей не было вовсе. На рис. 1 после этого года хорошо заметен характерный «излом» в ходе роста деревьев всех рангов развития в загущенном древостое дуба, что указывает на достоверное снижение приростов в после-

дующие 5 – 7 лет вне зависимости от гидрометеорологических условий вегетационных сезонов (Сапанов, 1984, 2003).

При этом господствующие деревья из высших рангов развития снижают свой прирост намного больше, чем угнетенные, что заметно по разному изменению коэффициента угла наклона линейных регрессий, характеризующих изменение скорости приращения древесины (таблица).

Иными словами, после экстремально засушливого 1972 г. на длительный период ухудшился рост деревьев, идентифицируемый по характерному «излому» его хода роста. Механизм совокупного воздействия атмосферной и почвенной засухи на прироста может быть связан с различными причинами, например отмиранием значительной части проводящих и всасывающих корней вследствие почвенной засухи, нарушением деятельности камбиального слоя из-за перегрева ствола и другими обратимыми изменениями на клеточном и организменном уровнях.

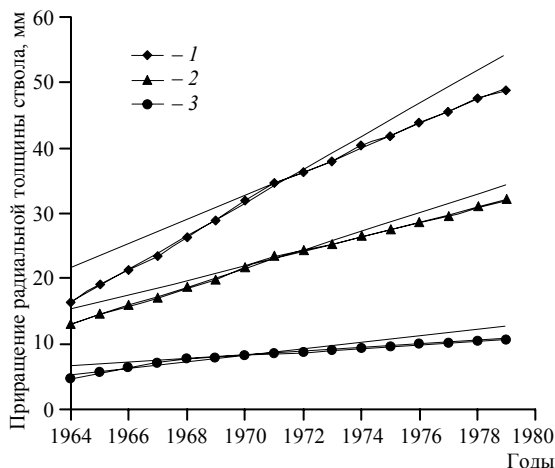


Рис. 1. Ход роста дуба по диаметру ствола до и после 1972 г. в загущенном древостое у деревьев максимального, среднего и низшего рангов развития (1, 2, 3 соответственно) и их линейные тренды

Коэффициенты уравнений линейной регрессии радиального приращения ствола деревьев дуба разных рангов развития в загущенном древостое до и после 1972 г. ($R^2 > 0.99$)

Ранг развития деревьев	Коэффициент угла наклона		Свободный коэффициент	
	до 1972 г.	после 1972 г.	до 1972 г.	после 1972 г.
Высший	2.5402	1.8276	4972.6	3567.7
Средний	1.4282	1.1068	2792.0	2158.6
Низший	0.4928	0.2788	962.71	541.13

Влияние на прирост дерева изменения уровня грунтовых вод. Как отмечалось выше, доступность пресных грунтовых вод для деревьев имеет важное значение. При постоянном уровне и неизменной степени минерализации их влияние на прирост дерева достаточно трудно выявить. Кроме этого, для сравнительных наблюдений необходим длительный мониторинг уровня грунтовых вод. Наиболее наглядно влияние грунтовых вод на ростовые процессы у деревьев проявляется при климатогенном ежегодном подъеме их уровня с выходом капиллярной каймы в корнеобитаемый слой почвы или, наоборот, его опусканием, вызывающем постепенный отрыв от этой влаги корневых систем растений. Разберем два этих сценария.

Реакция деревьев на повышение уровня грунтовых вод. Наблюдения в лесонасаждениях Джаныбекского стационара за развитием ясеня пенсильванского выявили интересные закономерности (рис. 2).

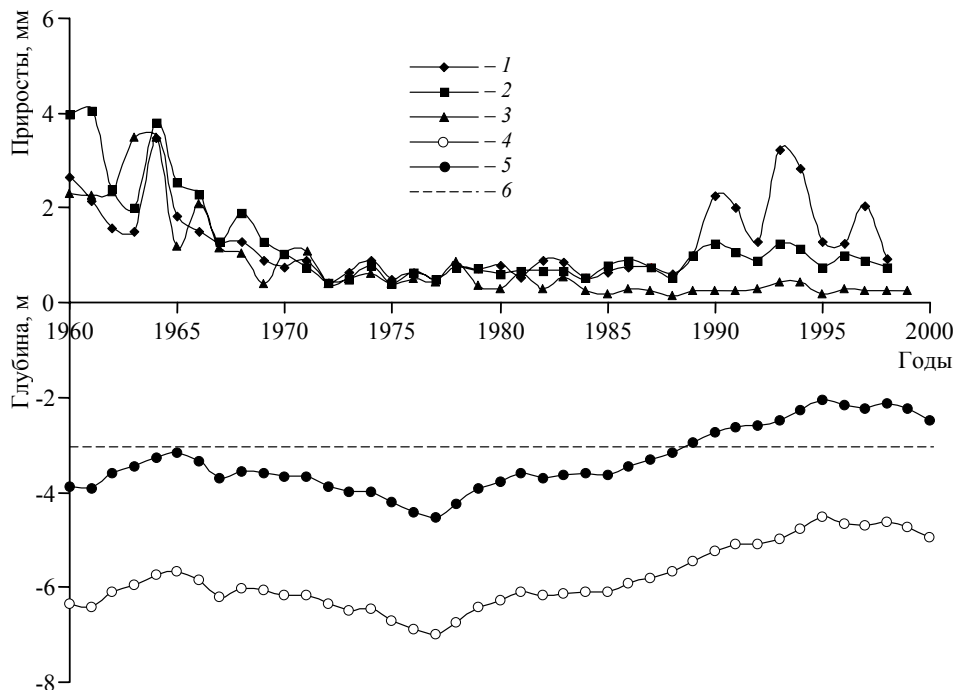


Рис. 2. Изменения ежегодных радиальных приростов у ясеня пенсильванского и уровней грунтовых вод в Северном Прикаспии: деревья, растущие на лугово-каштановой почве (1, 2) и на мелиорированном солонце (3); уровень грунтовых и верхняя граница капиллярной каймы (4, 5); нижняя граница распространения корневых систем деревьев (6)

Во-первых, обнаружено ухудшение на многие годы радиальных приростов деревьев ясеня, как и дуба (см. выше), после экстремального по засухе 1972 года. Во-вторых, приросты ясеня на лугово-каштановой почве неожиданно увеличились по амплитуде и величине, начиная с 1989 г. Очевидно, это связано с тем, что в 1978 – 1994 гг. произошел подъем уровня грунтовых вод (пресной линзы) более чем на 2 м и к 1989 г. капиллярная кайма поднялась до корнеобитаемого слоя почвы. Влагообеспеченность ясеня существенно улучшилась, что, очевидно, вызвало продление срока транспирации листьев. Необходимо отметить, что в средние по увлажненности годы ясень здесь исчерпывает всю доступную влагу из почвы уже к середине вегетационного сезона, вследствие чего происходит полное отмирание листовой массы. Однако эта порода настолько пластична, что, очевидно, успевает накопить достаточное количество запасных веществ для дальнейшего дыхания ствола и начала вегетации в следующем году. По-видимому, именно поэтому он засухоустойчив (Цельникер, 1955).

Ясень, выращиваемый на мелиорированном солонце, не изменил динамику приростов (см. рис. 2). По-видимому, это связано с тем, что его корневая система расположена выше и покоится на солевом почвенном экране, увеличение влажности в котором при подъеме капиллярной каймы засоленных грунтовых вод никак не влияет на влагообеспеченность деревьев. Этот экран образовывается на глубине около 2 м за счет мелиоративного выщелачивания легкорастворимых солей из верхних слоев почвы (Сиземская, 2013).

Реакция деревьев на понижение уровня грунтовых вод. Наиболее ярко ухудшение роста деревьев можно было проследить в культурах сосны обыкновенной, выращиваемых в котловинах Нарынских песков. Здесь в последнее десятилетие (2006 – 2016 гг.) отмечено общее постепенное опускание уровня грунтовых вод почти на 100 см из-за ухудшения погодно-климатических условий (рис. 3).

Этот процесс вызвал уменьшение влагообеспеченности сосны вследствие увеличения из года в год периодов почвенной засухи за счет все более раннего сезонного отрыва капиллярной каймы в процессе ее сезонной флуктуации от почвенного горизонта, в котором распространен второй ярус корневых систем деревьев. Увеличивающийся водный дефицит вызвал уменьшение прироста ствола и ухудшение физиологического состояния деревьев. Впрочем, этот процесс вполне может остановиться, например при постепенном климатогенном восстановлении оптимального режима уровня грунтовых вод.

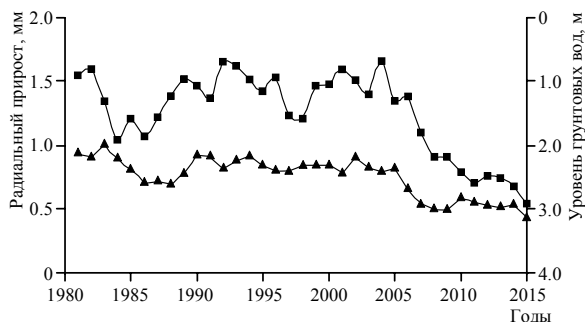


Рис. 3. Изменения ежегодного уровня грунтовых вод от поверхности почвы в котловинах Нарынских песков (■) и среднего ежегодного истинного радиального прироста старовозрастных сосен (▲) (Сапанов, Сиземская, 2018)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Взрослые деревья достаточно часто «внезапно» меняют скорость своего роста. Исследование этой проблемы проведено сопряженным изучением динамики радиальных приростов стволов деревьев в аридных регионах их выращивания с лимитирующими факторами природно-климатических условий. Такой метод позволяет понять не только особенности их биологии, но и пределы адаптивных реакций на существенное изменение условий их развития.

Показано, что скорость роста деревьев может уменьшаться на долгие годы после экстремально засушливого года (например, 1972 г.). Механизм такого совокупного воздействия атмосферной и почвенной засух на приросты может быть связан с отмиранием части проводящих и всасывающих корней, нарушением дея-

тельности камбиального слоя или другими обратимыми изменениями на клеточном и организменном уровнях.

Длительная депрессия в ходе роста деревьев также может происходить на гидроморфных почвах при постепенном климатогенном ежегодном опускании уровня пресных грунтовых вод и, наоборот, повышение приростов отмечается при его подъеме. Это связано с тем, что нижняя граница корневых систем деревьев отрывается или, наоборот, насыщается влагой капиллярной каймы грунтовых вод, существенно изменяя влагообеспеченность растений, тем самым корректируя ежегодный прирост.

Полученные результаты могут быть применены при лесотаксационных исследованиях для объяснения причин тех или иных изменений в ходе роста деревьев, например, ухудшения или улучшения их состояния и перехода в древостоях из одного ранга развития в другой, а при дендрохронологическом анализе климата прошлых лет позволяет находить экстремально неблагоприятные периоды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-04-00246).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Битвинскас Т. Т.* Дендроклиматические исследования. Л. : Гидрометеиздат, 1974. 172 с.
- Киссис Т.Я.* Водный режим темноцветной черноземовидной почвы большой падьины под древесным насаждением // Водный режим почв полупустыни. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1963. С. 84 – 126.
- Лархер В.* Экология растений. М. : Мир, 1978. 186 с.
- Ловеллус Н. В.* Изменчивость прироста деревьев. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1979. 231 с.
- Матвеев С. М.* Циклическая динамика солнечной активности, климата и прироста деревьев // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика. 2013. № 5. С. 368 – 373.
- Молчанов А. А.* Дендроклиматические основы прогнозов погоды. М. : Наука, 1976. 168 с.
- Оловянная И. Н.* Баланс влаги в черноземовидной почве под насаждением вяза мелколиственного // Почвоведение. 1977. № 12. С. 77 – 87.
- Роде А. А.* Климатические условия района Джаныбекского стационара // Сообщ. Лаборатории лесоведения. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1959. Вып. 1. С. 3 – 40.
- Роде А. А., Польский М. Н.* Почвы Джаныбекского стационара, их морфологические свойства, механический и химический состав и физические свойства // Тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 1961. Т. 56. С. 3 – 214.
- Сапанов М. К.* Влияние погодных условий на радиальный прирост дуба в полупустыне Северного Прикаспия // Лесоведение. 1984. № 2. С. 59 – 64.
- Сапанов М. К.* Экология лесных насаждений в аридных регионах. Тула : Гриф и К, 2003. 248 с.
- Сапанов М. К.* Роль атмосферных осадков и грунтовых вод в жизнедеятельности лесных насаждений аридных регионов // Лесоведение. 2006. № 4. С. 12 – 20.
- Сапанов М. К.* Возобновление и сохранность деревьев и кустарников в лесонасаждениях аридных регионов // Поволж. экол. журн. 2010. № 2. С. 177 – 184.
- Сапанов М. К., Сиземская М. Л.* Причины гибели сосны обыкновенной в старовозрастных культурах Нарынских песков // Лесоведение. 2018. № 5. С. 381 – 388.

КЛИМАТОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ВНЕЗАПНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ХОДА РОСТА ДЕРЕВА

Сиземская М. Л. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2013. 276 с.

Слемнев Н. Н., Шереметьев С. Н., Гамалей Ю. В., Степанова А. В., Чеботарева К. Е., Цогт З., Цоож Ш., Ярмишко В. Т. Изменчивость радиальных приростов деревьев и кустарников Монголии в связи с динамикой климата // Бот. журн. 2012. Т. 97, № 7. С. 852 – 871.

Цельникер Ю. Л. Водный режим листьев дуба и ясеня пушистого в Деркульской степи и влияние на него полива // Тр. Ин-та леса АН СССР. 1955. Т. 27. С. 29 – 45.

Чистые культуры древесных пород на больших падинах Прикаспийской низменности / под ред. А. А. Роде. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1961. 178 с.

М. К. Сапанов

Climatic Factors of a Sudden Change of Tree Growth

Mamay K. Sapanov, sapanovm@mail.ru

*Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences
21 Sovetskaya St., Uspenskoe, Moscow Region 143030, Russia*

Received 16 October 2018, revised 14 November 2018, accepted 27 December 2018

Sapanov M. K. Climatic Factors of a Sudden Change of Tree Growth. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2019, no. 2, pp. 253–263 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-2-253-263>

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Comparative observations of the growth dynamics of various trees planted in the arid conditions between the Volga and the Urals were carried out taking into account the current change of natural and climatic conditions. The conditions and causes of sudden changes of the growth rates of trees were analyzed. The growth rates of adult species of the oak and the Pennsylvanian ash cultivated on clay soils, and those of the Scots pine cultivated on sandy soils were studied. The results were utilized of the previously revealed correlation between the width of annual tree rings and the hydrothermal conditions of the vegetation period, with due account of different functional significance in its annual formation of spring water recharge (precipitation in the cold season), the precipitation during the vegetation period and groundwater level, as well as the limiting influence of air temperature in the spring and summer on the gain. The possibility of a sudden change of the oak growth dynamics caused by strong long-term soil and atmospheric drought during an extremely dry year (1972) is shown, when the trees of all ranks had significantly suppressed growth not only in this year but in the next 6–7 ones. This may happen due to, for example, malfunction of the cambium or the death of a large number of lateral and absorbing roots. A significant change of the growth rates of trees during long-term annual climatogenic lowering or raising of the fresh groundwater level is shown, when the lower boundary of the root systems separates from the capillary border or saturates with moisture from it, significantly changing the moisture provision of plants. The obtained results could explain the causes of the sudden change of tree growth during studies of tree rings.

Keywords: arid regions, afforestation, radial increment, drought, groundwater level.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-2-253-263>

Acknowledgments: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-04-00246).

REFERENCES

Bitvinskas T. T. *Dendroklimatecheskie issledovaniia* [Dendroclimatic Studies]. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 172 p. (in Russian).

- Kissis T. Ya. Water regime of the dark-colored chernozem-like soil of the great valley under tree planting. In: *Vodnyi rezhim pochv polupustyni* [Water regime of semi-desert soils]. Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR, 1963. pp. 84–126 (in Russian).
- Larcher W. *Okologie der pflanzen*. Moscow, Mir Publ., 1978. 186 p.
- Lovelius N. V. *Izmenchivost' prirosta derev'ev* [Variability of Tree Growth]. Leningrad, Nauka Publ., 1979. 231 p. (in Russian).
- Matveev S. M. Cyclical dynamics of solar activity, climate and tree growth. *Aktual'nye napravleniia nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriia i praktika*, 2013, no. 5, pp. 368–373 (in Russian).
- Molchanov A. A. *Dendroklimaticheskie osnovy prognozov pogody* [Dendroclimatic Basis of Weather Forecasts]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 168 p. (in Russian).
- Olovyannikova I. N. Moisture balance in chernozem under Chinese elm plantations. *Pochvovedenie*, 1977, no. 12, pp. 77–87 (in Russian).
- Rode A. A. Climate Conditions of the Region of Dzhanibek Research Station. *Soobshcheniya Laboratorii Lesovedeniya Akad. Nauk SSSR*, 1959, iss. 1, pp. 3–40 (in Russian).
- Rode A. A., Pol'skii M. N. Soils of the Dzhanibek Station: Their Morphological Structure, Texture, Chemical Composition, and Physical Properties. *Proceedings of the V. V. Dokuchaev Soil Science Institute*, 1961, vol. 56, pp. 3–214 (in Russian).
- Sapanov M. K. Influence of Weather Conditions on Oak Radial Increment in Semi-Desert of the Northern Caspian Sea Region. *Lesovedenie*, 1984, no. 2, pp. 59–64 (in Russian).
- Sapanov M. K. *Ecology of Forest Plantations in Arid Regions*. Tula, Grif i K Publ., 2003. 248 p. (in Russian).
- Sapanov M. K. The Role of Atmospheric Precipitation and Groundwater in Growth of Forest Plantations in Arid Regions. *Lesovedenie*, 2006, no. 4, pp. 12–20 (in Russian).
- Sapanov M. K. Renewal and conservation of trees and shrubs in artificial forests in arid regions. *Povolzhskiy J. of Ecology*, 2010, no. 2, pp. 177–184 (in Russian).
- Sapanov M. K., Sizemskaya M. L. Causes of Mortality of the Scots Pine in Old-Growth Plantations of the Ryn Desert. *Russian J. of Forest Science*, 2018, no. 5, pp. 381–388 (in Russian).
- Sizemskaya M. L. *The Modern Natural-anthropogenic Transformation of the Soils of the Semidesert of the Northern Caspian*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2013. 276 p. (in Russian).
- Slemnev N. N., Sheremetiev S. N., Gamalei Yu. V., Stepanova A. V., Chebotareva K. E., Tsogt Z., Tsooj Sh., Yarmishko V. T. Growth Variability Trees and Shrubs in Mongolia Under Climate Dynamics. *Botanicheskii Zhurnal*, 2012, vol. 97, no. 7, pp. 852–871 (in Russian).
- Cel'niker Ju. L. Water oak and ash leaves regime fluffy Derkul in the wilderness, and the effect on him of watering. *Trudy Instituta Lesa Akademii Nauk SSSR*, 1955, vol. 27, pp. 29–45 (in Russian).
- Chistye kul'tury drevesnykh porod na bol'shikh padinakh Prikaspiiskoi nizmennosti*. Pod red. A. A. Rode [A. A. Rode, ed. Pure tree species in the large valleys of the Caspian lowland]. Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR, 1961. 178 p. (in Russian).