

УДК 630*181.2: 630*174.753

doi: 10.17223/19988591/31/9

В.П. Иванов¹, С.И. Марченко¹, Ю.В. Иванов²

¹Брянский государственный инженерно-технологический университет,
г. Брянск, Россия

²Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, г. Москва, Россия

Влияние погодных условий на женскую генеративную сферу сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке
Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 4.585.2011).

Исследовано влияние метеорологических условий 2006–2012 гг. на особенности строения и семенной продуктивности женских шишек сосны обыкновенной из естественных средневозрастных древостоев зоны хвойно-широколиственных лесов (Брянская область). Минимальные значения биометрических параметров и семенной продуктивности шишек отмечены в урожае 2012 г., а максимальные – в урожае 2011 г. Вариабельность линейных размеров шишки не превышала 15,5% (длина) и 14,3% (диаметр), в то время как изменчивость числа полнозернистых семян достигала 221,5%. Максимальное подавление развития шишек регистрировалось в 2012, а не в 2010 г., как ожидалось, и было связано с ростом средних температур воздуха и резким сокращением количества осадков в мае, июле 2012 г. Наилучшему развитию шишек в 2011 г. способствовали аккумуляция осадков за предшествующий невегетационный период и благоприятные погодные условия вегетационного периода 2011 г. Аномальные климатические условия лета 2010 г. явились основной причиной максимального роста смертности семяпочек, вызвавшей катастрофическое падение семенной продуктивности сосны обыкновенной в 2012 г. Доказана нецелесообразность использования биометрических параметров шишки для прогнозирования ее семенной продуктивности в связи с высокой вариабельностью значений признаков.

Ключевые слова: климат; аномальная жара; шишка; биометрические параметры; семенная продуктивность.

Введение

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) является одним из основных лесообразователей умеренного климатического пояса Северного полушария благодаря обширному ареалу, сформированному вследствие адаптации вида к местным климатическим условиям [1]. Многочисленные дендрологические и лесоводственные исследования, выполненные в первой половине XX в., позволили детально охарактеризовать влияние метеорологических

факторов на рост сосны обыкновенной и установить доминирующую роль температуры воздуха и количества осадков в продуктивности сосновых древостоев [1, 2]. Обнаружены тесные связи между характером роста деревьев сосны и их репродуктивной способностью [1], доказана экологическая детерминация изменчивости генеративных структур в зависимости от климатических и эдафических условий [1, 3].

Репродуктивный цикл сосны обыкновенной от заложения генеративных почек до полного созревания шишек занимает три года [4], поэтому развитие женской генеративной сферы в значительной степени подвержено воздействию неблагоприятных факторов различного генезиса [5]. В последние годы глобальные климатические изменения привели к увеличению числа и интенсивности региональных гидрометеорологических аномалий: удлинению безморозного периода, частой повторяемости засух и избыточно влажных лет [6–8]. Вследствие этого в Северном полушарии отмечается увеличение продолжительности вегетационного периода из-за смещения сроков его начала и окончания [9]. Эта тенденция наряду с увеличением вероятности распространения весенне-летних засух сохранится в европейской части России и в XXI в. [8], что требует дополнительных исследований устойчивости репродуктивной сферы сосны обыкновенной к меняющимся погодно-климатическим условиям.

Целью данной работы является анализ особенностей развития женских шишек и семенной продуктивности древостоев сосны обыкновенной, произрастающих в географическом центре Брянской области (зона хвойно-широколиственных лесов), в зависимости от погодных условий 2006–2012 гг.

Материалы и методики исследования

В работе использованы шишки сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) из лесных насаждений ГКУ «Почепское лесничество» Почепского района Брянской области. Сбор осуществляли ежегодно в конце марта года, следующего за созреванием шишек, в средневозрастных (III класс возраста) древостоях сосны (от 7 ед. сосны в составе), относительная полнота 0,6–0,7; типы леса: сосняк лещиновый, сосняк бруснично-черничный; типы лесорастительных условий: B_{2-3} , C_{2-3} . За пятилетний период (2009–2013 гг.) на 20 стационарных пробных площадях собрана и проанализирована 3 931 шишка урожая 2008–2012 гг.

Шишки, отобранные из центральной части кроны дерева, помещали в индивидуальный полиэтиленовый пакет. До определения биометрических параметров их хранили (не более трех суток) в холодильнике при +4°C для предотвращения раскрытия и искажения линейных размеров [10]. Длину и диаметр (в двух взаимно перпендикулярных направлениях) каждой шишки измеряли штангенциркулем с точностью до 0,1 мм, затем их помещали в индивидуальные маркированные пакеты из фильтровальной бумаги и раскладывали в один слой для просушивания в сухом хорошо проветриваемом помещении [11].

Разбор шишек проводили после их полного раскрытия. С помощью сепатора от основания к вершине шишки последовательно отделяли семенные чешуи, не допуская их механических повреждений. По завершении этой процедуры в соответствии с общепринятой методикой определяли число семенных чешуй и семян различных категорий [1]. Массы семенных чешуй в воздушно-сухом состоянии определяли на аналитических весах с точностью до 0,01 г, а массу семян – с точностью до 0,1 мг [11]. Для последующего анализа использованы наиболее информативные биометрические показатели шишки: масса, длина, средний диаметр, коэффициент формы (отношение длины к среднему диаметру), общее количество семенных чешуй и чешуй фертильного яруса [12, 13]. Семенную продуктивность шишки характеризовали по числу полнозернистых и пустых семян, смертности неоплодотворенных и оплодотворенных семяпочек, выходу семян и расчетной массе 1 000 полнозернистых семян [5]. Смертность неоплодотворенных семяпочек определяли отношением числа недоразвитых семян к потенциальному числу семян в шишке (удвоенное число семенных чешуй фертильного яруса), а смертность оплодотворенных семяпочек – отношением числа пустых семян к числу семян нормальных размеров [14, 15]. Выход семян рассчитывали отношением числа полнозернистых семян к потенциальному количеству семян в шишке [15].

Характеристика погодных условий получена из официального банка данных метеонаблюдений на сайте www.rp5.ru компании ООО «Расписание погоды» (Санкт-Петербург, Россия). Использованы данные ближайшего пункта сбора метеоданных № 26997 г. Трубчевска (Брянская область). Климатологические стандартные нормы (1961–1990 гг.) температуры и влажности воздуха получены на сайте Гидрометцентра России (www.meteoinfo.ru). Данные об относительной влажности воздуха за период 1955–2011 гг. получены из архива климатических данных (www.climatebase.ru).

Статистическая обработка результатов выполнена в программах Microsoft Excel 2007 и Tanagra 1.4.44. Из каждой выборки исключали значения параметров, выходящие за рамки $\pm 3\sigma$. Итоговые значения, представленные в таблицах, являются средней арифметической величиной \pm основной ошибкой средней арифметической величины. Оценку существенности различий средних величин проводили с использованием t-критерия Стьюдента, корреляционный анализ – на основании всего массива экспериментальных данных, оценку коэффициентов корреляции – в соответствии со шкалой Чеддока.

Результаты исследования и обсуждение

За весь период наблюдений минимальные значения анализируемых биометрических параметров шишек сосны обыкновенной отмечались в урожае 2012 г., а максимальные – в урожае 2011 г.: 2012 < 2010 < 2009 < 2008 <

< 2011 гг. (табл. 1). Различия между максимальным и минимальным значениями исследуемых параметров составляют ($p \leq 0,01$): длина – 15,5%, диаметр – 14,3%, коэффициент формы – 8,4%, масса – 43,2%, общее число семенных чешуй – 17,7%, число семенных чешуй фертильного яруса – 21,6% (см. табл. 1). Между длиной и диаметром шишек в течение всех лет наблюдений прослеживалась высокая корреляция ($r = 0,82$, $p < 0,001$), которая наряду с низкой вариацией коэффициента формы указывает на синхронные изменения процессов роста шишки. Установлено, что число семенных чешуй в шишке характеризуется ($p < 0,001$) высокой корреляцией с её диаметром ($r = 0,71$) и заметной корреляцией с её длиной ($r = 0,67$). Несмотря на широкую форму шишек (значения коэффициентов формы 2,0–2,5) [1], изменения их массы в большей степени зависели ($p < 0,001$) от диаметра ($r = 0,91$), чем от длины ($r = 0,87$).

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

Биометрические параметры шишек сосны обыкновенной
[Biometric characteristics of *Pinus sylvestris* female cones]

Год урожаея [Crop year]	Длина, см [Length, cm]	Диаметр, см [Diameter, cm]	Коэф- фициент формы [Form factor]	Масса, г [Weight, g]	Число семенных чешуй, шт. [Number of scales, pieces]	Число семенных чешуй фертильного яруса, шт. [Number of seed scales, pieces]
2008	4,35 ± 0,03 ^a	2,08 ± 0,01 ^a	2,10 ± 0,01 ^a	5,88 ± 0,10 ^a	50,58 ± 0,42 ^a	20,07 ± 0,19 ^a
2009	4,22 ± 0,02 ^b	2,01 ± 0,01 ^b	2,10 ± 0,01 ^a	5,85 ± 0,07 ^a	43,10 ± 0,33 ^b	17,38 ± 0,14 ^b
2010	3,81 ± 0,02 ^c	1,89 ± 0,01 ^c	2,02 ± 0,01 ^b	4,63 ± 0,07 ^b	46,51 ± 0,38 ^c	17,53 ± 0,15 ^b
2011	4,40 ± 0,02 ^a	2,01 ± 0,01 ^b	2,19 ± 0,01 ^c	6,43 ± 0,08 ^c	50,71 ± 0,34 ^a	21,13 ± 0,19 ^c
2012	3,83 ± 0,03 ^c	1,82 ± 0,01 ^d	2,12 ± 0,01 ^a	4,49 ± 0,08 ^b	44,70 ± 0,50 ^d	18,37 ± 0,24 ^d

Примечание. Буквами обозначены статистически значимые различия средних величин ($p \leq 0,01$).

[Note. Letters designate statistically reliable differences of the means ($p \leq 0.01$)].

Ранжирование параметров семенной продуктивности сосны (табл. 2) по годам урожая: 2012 < 2010 < 2008 < 2009 < 2011 гг. – выявляет сходную с биометрическими параметрами шишек тенденцию изменения признаков (см. табл. 1), однако характеризующуюся большей вариабельностью. В частности, различия между минимальным и максимальным значениями составляют ($p < 0,001$): смертность неоплодотворенных семян – 44,7%, смертность оплодотворенных семян – 283,8%, число полнотелых семян – 221,5%, масса 1 000 полнотелых семян – 32,5%, выход семян – 201,5% и число пустых семян – 165,6% (табл. 2).

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

Параметры семенной продуктивности сосны обыкновенной
[Parameters of *Pinus sylvestris* seed productivity]

Год урожая [Crop year]	Смертность неоплодот- воренных се- мяпочек, % [Mortality of unfertilized ovules, %]	Смертность оплодотво- ренных се- мяпочек, % [Mortality of fertilized ovules, %]	Число полно- зернистых семян, шт. [Number of plump seeds, pieces]	Масса 1 000 полно- зернистых семян, г [Weight per 1000 plump seeds, g]	Выход семян, % [Seed ef- ficiency, %]	Число пустых семян, шт. [Number of empty seeds, pieces]
2008	48,12 ± 1,03 ^a	16,62 ± 0,75 ^a	17,29 ± 0,41 ^a	6,81 ± 0,07 ^a	43,01 ± 0,91 ^a	3,52 ± 0,19 ^a
2009	40,73 ± 0,60 ^b	20,44 ± 0,60 ^b	17,33 ± 0,30 ^a	7,37 ± 0,04 ^b	47,70 ± 0,61 ^b	4,00 ± 0,12 ^b
2010	40,94 ± 0,73 ^b	28,18 ± 0,73 ^c	15,36 ± 0,30 ^b	6,33 ± 0,04 ^c	42,21 ± 0,68 ^a	6,07 ± 0,18 ^c
2011	44,70 ± 0,61 ^c	20,94 ± 0,66 ^b	19,29 ± 0,34 ^c	8,00 ± 0,05 ^d	44,27 ± 0,62 ^b	4,29 ± 0,13 ^b
2012	58,92 ± 0,99 ^d	63,78 ± 1,51 ^d	6,00 ± 0,33 ^d	6,04 ± 0,07 ^c	15,82 ± 0,79 ^c	9,35 ± 0,33 ^d

Примечание. Буквами обозначены статистически значимые различия средних величин ($p \leq 0,01$).

[Note. Letters designate statistically reliable differences of the means ($p \leq 0.01$)].

Анализ метеоданных за период 2006–2012 гг. (табл. 3) свидетельствует об увеличении средней температуры воздуха с мая по октябрь в среднем на 1,6°C (12,3%) по сравнению с климатологической стандартной нормой 1961–1990 гг. Наряду с ростом температуры за эти месяцы регистрировалось снижение количества атмосферных осадков на 8,7% (при увеличении числа дней с осадками на 31,9%) и падение влажности воздуха на 0,6%. Характерной особенностью периода явилось увеличение температуры воздуха в октябре на 1,3°C (23,1%) и количества осадков на 6,8% по сравнению с климатологической стандартной нормой 1961–1990 гг., что оказалось максимальным ростом среди всех исследованных месяцев (см. табл. 3).

Т а б л и ц а 3 [Table 3]

**Метеоданные по отдельным периодам формирования женской
генеративной сферы сосны обыкновенной в 2006–2012 гг.**

[Weather data for individual periods of *Pinus sylvestris* female cones development in 2006–2012]

Год [Year]	Месяц [Month]	Температура воздуха, °C [Atmospheric temperature, °C]			Влажность воздуха, % [Air humidity, %]		Атмосферные осадки [Atmospheric precipitation]	
		средняя [average]	min	max	средняя [average]	min	количе- ство, мм [rainfall, mm]	дни с осад- ками [precip- itation days]
2006	Май [May]	+12,5	–0,4	+24,1	75	31	68	15
	Июнь [June]	+17,6	–4,8	+29,3	82	50	75	16
	Июль [July]	+18,5	+2,2	+31,0	81	44	49	8
	Август [August]	+18,1	+8,0	+30,7	88	48	96	15
	Сентябрь [September]	+13,0	+1,5	+22,8	88	54	56	10
	Октябрь [October]	+7,8	–11,5	+19,0	87	54	104	13

Окончание табл. 3 [Table 3 end]

Год [Year]	Месяц [Month]	Температура воздуха, °C [Atmospheric temperature, °C]			Влажность воздуха, % [Air humidity, %]		Атмосферные осадки [Atmospheric precipitation]	
		средняя [average]	min	max	средняя [average]	min	количе- ство, мм [rainfall, mm]	дни с осад- ками [precip- itation days]
2007	Май [May]	+15,4	-1,6	+30,7	72	31	28	10
	Июнь [June]	+18,5	+9,1	+31,5	77	30	63	11
	Июль [July]	+18,6	+10,1	+30,3	82	46	61	14
	Август [August]	+19,8	+7,2	+33,9	74	29	59	9
	Сентябрь [September]	+12,4	+2,5	+26,7	79	34	70	11
	Октябрь [October]	+7,2	-2,0	+22,5	85	39	34	12
2008	Май [May]	+13,2	-2,7	+28,1	69	28	43	13
	Июнь [June]	+16,3	+4,4	+27,1	69	29	25	12
	Июль [July]	+19,2	+10,1	+30,3	76	41	103	17
	Август [August]	+19,0	+5,6	+34,5	71	27	51	11
	Сентябрь [September]	+12,2	+2,1	+30,1	78	28	31	14
	Октябрь [October]	+9,0	-1,4	+20,7	84	45	24	13
2009	Май [May]	+13,4	+1,5	+25,8	69	24	90	13
	Июнь [June]	+18,4	+6,9	+30,9	75	33	61	17
	Июль [July]	+19,2	+7,5	+31,9	77	41	66	12
	Август [August]	+16,0	+6,0	+28,5	77	38	27	12
	Сентябрь [September]	+14,5	+2,1	+27,2	79	32	39	10
	Октябрь [October]	+6,8	-4,0	+17,1	84	43	54	19
2010	Май [May]	+16,8	+6,3	+26,6	66	24	39	9
	Июнь [June]	+20,4	+7,8	+31,5	65	21	60	11
	Июль [July]	+24,0	+13,8	+37,3	65	14	48	12
	Август [August]	+22,5	+4,1	+38,4	62	18	39	9
	Сентябрь [September]	+12,8	+1,5	+25,1	78	22	66	11
	Октябрь [October]	+4,4	-4,8	+15,4	79	33	29	7
2011	Май [May]	+15,1	+6,0	+28,0	70	24	41	13
	Июнь [June]	+19,1	+10,3	+31,4	70	27	63	12
	Июль [July]	+21,4	+14,0	+31,5	78	37	128	14
	Август [August]	+17,5	+5,0	+29,1	81	32	133	13
	Сентябрь [September]	+12,4	+2,7	+21,4	83	39	28	11
	Октябрь [October]	+6,0	-4,4	+21,9	86	42	33	12
2012	Май [May]	+16,4	+4,0	+27,4	67	24	45	9
	Июнь [June]	+17,2	+4,6	+28,5	75	37	98	16
	Июль [July]	+21,0	+9,9	+31,7	71	27	40	11
	Август [August]	+18,5	+4,2	+34,0	74	22	60	13
	Сентябрь [September]	+13,7	+5,1	+25,4	76	31	55	11
	Октябрь [October]	+7,9	-3,2	+22,8	86	48	66	19

Примечание. Средние температуры воздуха за период 1961–1990 гг. составляли: 13,6°C; 16,6; 17,8; 16,8; 12,1 и 5,7°C в мае–октябре; влажность воздуха: 53,0 мм; 79,0; 89,0; 69,0; 55,0 и 46,0 мм; количество дней с осадками более 0,1 мм: 9, 11, 11, 9, 9, 8 соответственно с мая по октябрь. Средняя относительная влажность воздуха за период 1955–2011 гг. составляла 69,2%, 73,7; 76,6; 75,8; 81,4 и 84,7% с мая по октябрь.

[Note. The average air temperatures for the period of 1961–1990 was as follows: 13.6°C; 16.6; 17.8; 16.8; 12.1 and 5.7°C in May–October; air humidity: 53.0 mm; 79.0; 89.0; 69.0; 55.0 and 46.0 mm; precipitation days, exceeding 0.1 mm: 9, 11, 11, 9, 9, 8, respectively from May to October. The average air humidity for the period of 1955–2011 were as follows: 69.2%, 73.7; 76.6; 75.8; 81.4 and 84.7% from May to October].

Максимальные отклонения от климатологической нормы регистрировались в 2010 г. Средние температуры воздуха превышали норму на $+3,2^{\circ}\text{C}$ (23,5%) в мае, $+3,8^{\circ}\text{C}$ (22,9%) – в июне, $+6,2^{\circ}\text{C}$ (34,8%) – в июле, и $+5,7^{\circ}\text{C}$ (33,9%) – в августе. За это время выпало в среднем на 35,0% меньше осадков, а влажность воздуха снижалась на 12,4% (см. табл. 3). Причиной этому явилось установление на территории европейской части России малоподвижного блокирующего антициклона необычной интенсивности и длительности, появление которого в прошлом приводило к сильным засухам в 1972 и 2002 гг. [8].

Установление корреляционных связей биометрических параметров и семенной продуктивности шишек с воздействием метеорологических факторов сильно затруднено в связи с длительным репродуктивным циклом сосны обыкновенной и разобщенностью во времени отдельных его этапов. Например, рост шишки в длину и по диаметру зависит от погодных условий последнего вегетационного периода [1], параметры семенной продуктивности – от температуры и влажности воздуха мая–июня предшествующего года [16], а урожайность – от погодных условий июня–августа в год формирования генеративных почек, т.е. за два года до созревания урожая [2, 4].

Детального изучения урожайности шишек сосны в данном исследовании не проводилось, однако следует отметить, что урожай 2012 г. оказался минимальным за весь анализируемый период вследствие резкого сокращения числа шишек на деревьях. Аналогичные результаты получены при обследовании сосновых насаждений в лесосеменных плантациях и постоянных лесосеменных участках на территории Воронежской области [17]. Причиной критического падения урожайности шишек в обоих случаях явились аномальные климатические условия в период закладки женских генеративных органов, т.е. в июне–августе 2010 г., когда температура воздуха превышала норму на $+6,0^{\circ}\text{C}$ (34,4%), а количество осадков снижалось на 44,8% (см. табл. 3).

В связи с самой масштабной за последние 60 лет погодной аномалией 2010 г. [8] логично ожидать максимального подавления развития шишек сосны именно в этот год. Однако минимальные биометрические параметры характерны для шишек урожая 2012 г. (см. табл. 1), который за исследуемый период 2006–2012 гг. занимает второе место после 2010 г. по превышению средней температуры воздуха в мае–сентябре и лишь 5-е место по недостатку выпавших осадков (см. табл. 3). Анализ метеорологических данных за не-вегетационные периоды 2007–2012 гг. свидетельствует о минимальном количестве осадков, выпавших с 1 ноября 2011 г. по 30 апреля 2012 г. (на 15,3% ниже нормы). Это снижение наряду с незначительной высотой снежного покрова (табл. 4) могло вызвать развитие дефицита влаги в почве к началу вегетационного периода [18]. На этом фоне превышение средних температур воздуха на 20,6 и 18,0% в мае и июле 2012 г. с одновременным сокращением количества осадков на 15,1 и 55,1% соответственно (см. табл. 3) вызвало резкое торможение развития шишек.

Т а б л и ц а 4 [Table 4]

Метеоданные невегетационных периодов 2007–2012 гг.
[Weather data for off-seasons of 2007–2012]

Период [Period]	Средняя температура воздуха, °C [Average atmospheric temperature, °C]	Сумма осадков, мм [Precipitation total, mm]	Средняя высота снежного покрова, см [Snow cover depth, cm]	Самая поздняя дата наличия снежного покрова [Postdate of snow cover]
01.11.2007 – 30.04.2008	+0,5	231	7,5	20.03.2008
01.11.2008 – 30.04.2009	–0,3	229	12,6	27.03.2009
01.11.2009 – 30.04.2010	–2,3	229	29,2	30.03.2010
01.11.2010 – 30.04.2011	–1,8	223	21,8	02.04.2011
01.11.2011 – 30.04.2012	–1,1	210	10,3	01.04.2012

Примечание. Средняя температура воздуха за указанный период составляла в 1961–1990 гг. –3,0°C; сумма осадков – 248 мм.

[Note. The average air temperature for the stated period in 1961–1990 was –3.0°C; precipitation total – 248 mm].

Аномальные климатические условия лета 2010 г. (см. табл. 3) также явились причиной значительного подавления роста шишек сосны (см. табл. 1). Напротив, наилучшее развитие шишек отмечалось в 2011 г., чему способствовало выпадение с ноября 2010 г. достаточного количества осадков, аккумулярованных в снежном покрове относительно большой мощности, который продержался до начала апреля 2011 г. (см. табл. 4). С мая по июль 2011 г. установилась теплая погода (превышение нормы на +2,5°C (15,4%)), а некоторый недостаток (–21,5%) атмосферных осадков в начале вегетационного периода перекрылся значительным увлажнением в июле–августе 2011 г. (+68,3%) (см. табл. 3), что создало наиболее благоприятные условия для роста шишек.

Шишки урожаев 2008 и 2009 гг. характеризовались средними биометрическими параметрами по сравнению с урожаями 2011–2012 гг. (см. табл. 1). Это объясняется незначительным превышением средних температур воздуха с мая по сентябрь: +0,6°C (+3,4%) в 2008 г. и +0,9°C (+6,4%) в 2009 г. по сравнению с другими годами (см. табл. 3). Несмотря на то, что вегетационный период 2008 г. характеризовался значительным дефицитом выпавших осадков (–28,2%), сопоставимым с 2010 г., это не привело к критическому снижению влажности воздуха: 3,6% в 2008 г. против 10,8% в 2010 г. (см. табл. 3). Во-первых, это связано с замедленным испарением влаги из-за незначительного роста средней температуры воздуха, а во-вторых, с максимальным количеством осадков, выпавших за предшествующий невегетационный период (см. табл. 4).

Следует принимать во внимание, что число семенных чешуй в шишке не связано с метеорологическими условиями в год созревания урожая, поскольку

ку закладка женских генеративных почек происходит за два года до него [2]. Анализ связи числа семенных чешуй в шишках урожаев 2008–2012 гг. (см. табл. 1) с метеорологическими условиями вегетационных периодов 2006–2008 гг. (см. табл. 3) выявляет зависимость ($p > 0,05$) данного параметра от температуры ($r = -0,78$, $t_r = 2,17$) и влажности ($r = 0,69$, $t_r = 1,67$) воздуха в августе и от количества осадков в октябре ($r = 0,74$, $t_r = 1,89$). Однако для надежного доказательства этой тенденции требуется проведение исследований в течение более длительного периода времени, так как считается, что в августе женская генеративная почка только закладывается, а ее дифференциация происходит в сентябре–октябре [4].

Изменение параметров семенной продуктивности сосны по годам (см. табл. 2) обусловлено воздействием большого числа факторов, так как зависит от успешности опыления в первый год развития шишки и ее оплодотворения на второй год. Закладка генеративных почек является первым критическим периодом в формировании будущего урожая семян и связаны, прежде всего, с климатическими условиями конца июня – начала июля (формирование мужских генеративных органов) и августа (формирование женских генеративных органов) [19]. В начале следующего вегетационного периода (вторая половина мая) наступает второй критический этап – опыление шишек, чувствительный к воздействию заморозков, ветра и осадков [1]. Развитие мужского гаметофита (прораствание пыльцы, рост пыльцевых трубок) начинается через несколько дней после опыления и продолжается до конца июня, после чего он переходит в состояние покоя [20], а развитие женского гаметофита значительно замедляется [4]. До конца вегетационного периода происходит естественный опад макростробилов (20–50%), усиливающийся в случае их недоопыления [21]. В следующем году с началом вегетационного периода мужской гаметофит выходит из состояния покоя, возобновляется рост семяпочек и в июне происходит их оплодотворение, в результате которого к окончанию сезона формируются семена [1, 4].

Минимальные значения показателей семенной продуктивности сосны обыкновенной, отмеченные в урожае шишек 2012 г. (см. табл. 2), можно было бы объяснить неблагоприятными условиями последнего вегетационного периода (см. табл. 3) по аналогии с развитием шишек (см. табл. 1). Однако синхронное увеличение смертности неоплодотворенных и оплодотворенных семяпочек в шишках урожая 2012 г. указывает на воздействие повреждающих факторов в прошлые годы. Подтверждением этому является то, что показатели смертности оплодотворенных семяпочек характеризуют условия последнего вегетационного периода, а смертности неоплодотворенных семяпочек – вегетационного периода в год опыления шишки [21]. Поскольку максимальные значения смертности семяпочек в 2012 г. совпали с минимальным урожаем шишек, можно утверждать, что основной причиной этих явлений явились аномальные климатические условия лета 2010 г., вызвавшие нарушения в развитии микрогаметофита и формирование некондиционной пыльцы.

Повышенная смертность оплодотворенных семяпочек в шишках сосны урожая 2010 г. связана, с одной стороны, с аномально высокими температурами воздуха в период выхода мужского гаметофита из состояния покоя, а с другой – со значительным увеличением средней температуры воздуха в октябре 2008 г. (+3,3°C (57,9%)) (см. табл. 3) [22]. Отмечаемый в последние годы рост средних температур воздуха в октябре является причиной смещения микроспорогенеза сосны на более ранние сроки, в результате чего формируется пыльца с высоким содержанием пыльцевых зерен, не завершивших гаметофитогенез и не способных формировать пыльцевые трубки [23]. Подтверждением этому являются повышенные показатели смертности неоплодотворенных семяпочек сосны в шишках урожаев 2008 и 2011 гг. (см. табл. 2), развитие микрогаметофита которых происходило при превышении средних температур в октябре – на 36,8% в 2006 г. и на 19,3% – 2008 г. (см. табл. 3).

Выход семян из шишки традиционно используется в семеноводстве для оценки семенной продуктивности насаждений [13]. Изменения данного показателя тесно связаны со смертностью семяпочек, а также количеством семенных чешуй фертильного яруса (см. табл. 1, 2). Для урожаев шишек 2008–2011 гг. средний выход семян составлял 44,3% (с вариациями по годам не более 7,7%), а в 2012 г. снизился в 2,8 раза – до 15,8%. При этом число полнозернистых семян в шишках уменьшилось в 2,8 раза, а пустых – увеличилось в 2,1 раза (см. табл. 2). Совокупность этих показателей свидетельствует о нарушении в 2010 г. развития микрогаметофита вследствие аномальных погодных условий летнего периода.

Увеличение числа пустых семян в шишках урожая 2010 г. происходило за счет роста смертности оплодотворенных семяпочек, а не из-за уменьшения выхода семян (см. табл. 2). Последствия засухи 2001 г. также выражались в снижении урожая семян сосны за счет увеличения пустосемянности [24]. Тем не менее число пустых семян в шишке само по себе не является надежным индикатором воздействия метеорологических факторов в период их развития, поскольку сильно зависит от условий опыления [1, 16]. Например, на лесосеменных плантациях сосны, где самоопыление преобладает над перекрестным опылением, число пустых семян в шишке превышало число полнозернистых на 31,3% [15].

Использование биометрических параметров шишки для оценки ее семенной продуктивности, предлагаемое в ряде работ [4, 15, 19], представляется нам необоснованным. Например, высокая корреляция ($r = 0,75$, $p < 0,001$) длины шишки с числом полнозернистых семян в ней рассматривается как надежный показатель для прогнозирования урожая семян [19]. Однако проведенный нами анализ свидетельствует о высокой изменчивости по годам коэффициента корреляции длины шишки с количеством полнозернистых семян ($p < 0,001$): от $0,42 \pm 0,04$ в 2008 г. до $0,63 \pm 0,03$ в 2010 г. Усредненное значение коэффициента корреляции за весь период наблюдений составило $0,56 \pm 0,03$ ($p < 0,001$): 2008 < 2012 < 2009 < 2011 < 2010 гг. Более значимая

корреляция за анализируемый период обнаруживалась между средним диаметром шишки и числом полнозернистых семян ($r = 0,63 \pm 0,03$, $p < 0,001$), однако размах изменчивости оказался еще выше: от $0,44 \pm 0,05$ в 2012 г. до $0,73 \pm 0,03$ в 2010 г.: $2012 < 2008 < 2009 < 2011 < 2010$ гг. Таким образом, высокая вариабельность значений признаков свидетельствует о нецелесообразности их использования для прогнозирования урожайности семян сосны обыкновенной.

Изменчивость массы 1 000 полнозернистых семян – косвенной характеристики богатства лесорастительных условий [1, 16], значительно меньше по сравнению с другими параметрами семенной продуктивности (см. табл. 2). Максимальные значения данного показателя регистрировались в 2011 г., а минимальные – в 2012 г. Идентичные данные получены при изучении посевных качеств семян из насаждений сосны обыкновенной на территории Ленинградской области [25], что исключает влияние фактора географической изменчивости. Кроме того, установлено, что аномально высокие температуры вегетационного периода 2010 г. вызвали сильное снижение посевных качеств семян [25] вследствие увеличения нерепарированных повреждений хромосомного материала и цитогенетической нестабильности клеточных популяций [26].

Анализ связи числа полнозернистых семян в шишке с их массой, выполненный за весь период наблюдений, выявляет весьма высокую корреляцию ($r = 0,93$; $p < 0,001$). Это свидетельствует о том, что увеличения массы семян при уменьшении их числа в шишке не происходило и ее изменчивость обусловлена только погодными условиями в период созревания семян.

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о многообразии влияния погодно-климатических факторов 2006–2012 гг. на развитие шишек и семенную продуктивность сосны обыкновенной. Установлен тренд повышения средней температуры воздуха с мая по октябрь на $+1,6^\circ\text{C}$ (12,3%) и снижения количества атмосферных осадков на 8,7% по сравнению с климатологической стандартной нормой 1961–1990 гг. Показано, что вариация линейных размеров шишек по годам не превышала 14,3% по диаметру и 15,5% по длине, а по массе шишки достигала 43,2%. При этом размах изменчивости числа полнозернистых семян в шишке составлял 221,5% из-за варьирования смертности неоплодотворенных (44,7%) и оплодотворенных (283,8%) семян. Несмотря на масштабную погодную аномалию 2010 г., минимальные значения биометрических параметров шишек и их семенной продуктивности регистрировались в 2012 г., хотя были обусловлены различными причинами. В то время как торможение роста шишек в 2012 г. было связано со значительным дефицитом осадков в начале вегетационного периода, катастрофическое падение урожайности и семенной продуктивности шишек произошло в связи с ано-

мальной жарой и засухой во время закладки женских и мужских генеративных почек (2010 г.). Обнаружена высокая изменчивость по годам корреляций биометрических параметров шишки с показателями семенной продуктивности, что не позволяет использовать их для прогнозирования урожая семян сосны. Установлено, что изменчивость массы 1 000 полнозернистых семян может рассматриваться как надежный индикатор воздействия погодно-климатических условий в последний год развития шишки сосны обыкновенной.

Литература

1. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М. : Наука, 1964. 192 с.
2. Молчанов А.А. Лес и климат. М. : Наука, 1961. 280 с.
3. Седельникова Т.С., Пименов А.В., Ефремов С.П., Муратова Е.Н. Особенности генеративной сферы сосны обыкновенной болотных и суходольных популяций // Лесоведение. 2007. № 4. С. 44–50.
4. Philipson J.J. Predicting cone crop potential in conifers by assessment of developing cone buds and cones // Forestry. 1997. Vol. 70, № 1. P. 87–96.
5. Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н., Паничева Д.М., Иванов Ю.В. Формирование женских шишек и семян *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в зоне воздействия выбросов цементного производства (Брянская обл.) // Растительные ресурсы. 2013. Т. 49, № 4. С. 547–557.
6. Переведенцев Ю.П., Гоголь Ф.В., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2007. № 2. С. 5–12.
7. Базыкина Г.С., Бойко О.С. Влияние аномальных погодных условий последних десятилетий на водный режим типичных черноземов Заповедной степи (Курская область) // Почвоведение. 2008. Т. 41, № 7. С. 833–844.
8. Мохов И.И. Особенности формирования летней жары 2010 г. на Европейской территории России в контексте общих изменений климата и его аномалий // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47, № 6. С. 709–716.
9. Минин А.А., Воскова А.В. Гомеостатические реакции растений на современные изменения климата: пространственно-фенологические аспекты // Онтогенез. 2014. Т. 45, № 3. С. 162–169.
10. Иванов В.П., Марченко С.И., Зайцева Л.В., Иванов Ю.В. Методологические аспекты определения биометрических параметров шишек сосны обыкновенной // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2012. № 1 (84). С. 42–46.
11. Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н., Нартов Д.И., Иванов Ю.В. Использование показателей развития женской генеративной сферы сосны обыкновенной в экологическом мониторинге // Экология и промышленность России. 2012. № 8. С. 56–59.
12. Marcysiak K. Scots pine (*Pinaceae*) from the Crimea compared to the species variation in Europe on the basis of cone traits // Phytologia Balcanica. 2006. Vol. 12(2). P. 203–208.
13. Sivacioglu A., Ayan S. Evaluation of seed production of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) clonal seed orchard with cone analysis method // African Journal of Biotechnology. 2008. Vol. 7 (24). P. 4393–4399.
14. Романовский М.Г. Гаметофитная смертность семян сосны обыкновенной // Генетика. 1989. Т. 25, № 1. С. 99–108.

15. *Sivacioglu A.* Genetic variation in seed and cone characteristics in a clonal seed orchard of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) grown in Kastamonu-Turkey // *Romanian Biotechnological Letters*. 2010. Vol. 15, № 6. P. 5695–5701.
16. *Forshell C.P.* Seed development after self-pollination and cross-pollination of Scots pine, *Pinus sylvestris* L. // *Studia Forestalia Suecica*. Stockholm. 1974. № 118. 37 p.
17. *Беспаленко О.Н.* Влияние климатических аномалий на семеношение сосны обыкновенной // *Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений*. 2014. Т. 17, № 17. С. 9–12.
18. *Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н., Нартов Д.И., Соболева Л.М.* Изменения в биогеоценозах центральной части Брянской области после летней жары 2010 года // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование*. 2013. № 1 (17). С. 25–35.
19. *Mukassabi T.A., Polwart A., Coleshaw T., Thomas P.A.* Scots pine seed dynamics on a waterlogged site // *Trees*. 2012. Vol. 26. P. 1305–1315.
20. *Свинцова В.С., Кузнецова Н.Ф., Пардаева Е.Ю.* Влияние засухи на генеративную сферу и жизнеспособность пыльцы сосны обыкновенной // *Лесоведение*. 2014. № 3. С. 49–57.
21. *Хромова Л.В., Романовский М.Г.* Режим опыления и выживаемость семян сосны в условиях промышленного загрязнения воздуха цементной пылью // *Лесоведение*. 2002. № 3. С. 3–11.
22. *Пименов А.В., Седельникова Т.С., Ефремов С.П.* Морфология и качество пыльцы сосны обыкновенной в контрастных экотопах Хакасии // *Лесоведение*. 2014. № 1. С. 57–64.
23. *Носкова Н.Е., Третьякова И.Н.* Репродукция сосны обыкновенной в условиях глобального изменения климата и стратегические пути сохранения вида // *Хвойные бореальной зоны*. 2011. Вып. XXVIII, № 1–2. С. 41–46.
24. *Кузнецова Н.Ф.* Чувствительность генеративной сферы сосны обыкновенной к засухе // *Лесоведение*. 2010. № 6. С. 46–53.
25. *Алексеев В.М., Буцев Д.С.* Влияние метеорологических факторов на посевные качества семян хвойных пород в условиях таежной зоны северо-запада европейской части России // *Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства*. 2014. № 3. С. 43–55.
26. *Пардаева Е.Ю., Машкина О.С., Кузнецова Н.Ф.* Состояние генеративной сферы сосны обыкновенной как биоиндикатора устойчивости лесов на территории Центрально-Черноземного района в связи с глобальным изменением климата // *Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства*. 2013. № 2. С. 16–21.

Поступила в редакцию 24.04.2015 г.; повторно 25.06.2015 г.; принята 15.07.2015 г.

Авторский коллектив:

Иванов Валерий Павлович – д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой лесоводства Брянского государственного инженерно-технологического университета (г. Брянск, Россия).

E-mail: ivpinfo@mail.ru

Марченко Сергей Иванович – канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения Брянского государственного инженерно-технологического университета (г. Брянск, Россия).

E-mail: mars_bryansk@mail.ru

Иванов Юрий Валерьевич – канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории физиологических и молекулярных механизмов адаптации Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (г. Москва, Россия).

E-mail: ivanovinfo@mail.ru

Ivanov VV, Marchenko SI, Ivanov YV. The impact of weather conditions on the development of female cones of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2015;3(31):114-129. doi: 10.17223/19988591/31/9. In Russian, English summary

Valery P. Ivanov¹, Sergey I. Marchenko¹, Yuri V. Ivanov²

¹Bryansk State Technological University of Engineering, Bryansk, Russian Federation

²Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

The impact of weather conditions on the development of female cones of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)

Due to global climate change, the average annual temperature and growing season length have increased in the Northern hemisphere in recent years. In this respect, research of potential changes in seed crop of forest-forming species has become a major problem. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is one of the main forest-forming species in the Northern hemisphere. The aim of this work was to study the weather effect in 2006-2012 on the seed cone biometric parameters and seed productivity of Scots pine middle-aged forest stands in mixed coniferous-broad leaved forests (Bryansk region). During the five-year period (2009-2013) about 4 thousands female cones, initiated in 2006-2010, were collected and analyzed. The period of 2006-2012 was characterized by an increase by 12.3% (+1,6°C) in average air temperature from May to October and in the reduction of rainfall by 8.7%, compared to 1961-1990 normal. Through this period in 2010 and 2012 were severe droughts; furthermore, heat wave of 2010 was the strongest during the past 60 yrs. The minimum values of biometric parameters of female cones were observed in the crop of 2012, but not in 2010, as one could expect: 2012<2010 <2009 <2008 <2011. Differences between maximum and minimum values of biometric parameters were ($p \leq 0.01$): length - 15.5%; diameter - 14.3%; form factor - 8.4%; weight - 43.2%; number of scales - 17.7%; number of seed scales - 21.6%. Ranking of parameters of seed productivity: 2012<2010 <2008 <2009 <2011 revealed similar trend to cone's biometric parameters. However, ranges of variability between the minimum and maximum values were significantly higher ($p \leq 0.001$): mortality of unfertilized ovules - 44.7%; mortality of fertilized ovules - 283.8%; number of plump seeds - 221.5%; weight per 1000 plump seeds - 32.5%; seed efficiency - 201.5% and the number of empty seeds - 165.6%. Strong growth inhibition of female cones in 2012 was associated with intense saturation deficit due to the reduction of rainfall in antecedent off-season and droughty weather in May and June 2012. In contrast, the best development of cones in 2011, contributed to the accumulation of a sufficient amount of precipitation in snowpack and warm humid weather during the growing season in 2011. Synchronous increase in mortalities of unfertilized and fertilized ovules in the crop of 2012, together with minimal crop of cones was associated with abnormal climatological conditions of summer 2010. We showed the futility of using biometric parameters for forecasting of seed productivity due to the high variability of correlation rate for each year. We found out that the cones weight and the weight per 1000 plump seeds are dependable indicators of climatic factors impact in the final year of maturation of Scots pine cones.

The article contains 4 Tables, 26 References.

Key words: climate; heat wave; strobilus; biometric characteristics; seed productivity.

References

1. Pravdin LF. Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya [Scots pine. Variability. Intraspecific systematics and breeding]. Moscow: Nauka Publ.; 1964. 192 p. In Russian
2. Molchanov AA. Les i klimat [Forest and climate]. Moscow: Nauka Publ.; 1961. 280 p. In Russian
3. Sedel'nikova TS, Pimenov AV, Efremov SP, Muratova EN. Specific features of the generative sphere in Scots pine of bog and dry valley populations. *Lesovedenie*. 2007;4:44-50. In Russian
4. Philipson JJ. Predicting cone crop potential in conifers by assessment of developing cone buds and cones. *Forestry*. 1997;70:87-96. doi: [10.1093/forestry/70.1.87](https://doi.org/10.1093/forestry/70.1.87)
5. Ivanov VP, Marchenko SI, Glazun IN, Panicheva DM, IvanovYuV. The development of female cones and seeds in *Pinus sylvestris* (Pinaceae) in the emission zone of cement factory (Bryansk region). *Rastitel'nye resursy*. 2013;49(4):547-557. In Russian
6. Perevedentsev YuP, Gogol FV, Naumov EP, Shantalinskiy KM. Global and regional climate changes on the boundary of the XXth and XXIst centuries. *Vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya – Proceedings of Voronezh State University. Geography. Geoecology*. 2007;2:5-12. In Russian
7. Bazykina GS, Boiko OS. Impact of weather anomalies in recent decades on the water regime of typical chernozems of the reserved steppe area in Kursk oblast. *Eurasian Soil Science*. 2008;41(7):731-743. doi: [10.1134/S1064229308070077](https://doi.org/10.1134/S1064229308070077)
8. Mokhov II. Specific features of the 2010 summer heat formation in the European territory of Russia in the context of general climate changes and climate anomalies. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2011;47(6):653-660. doi: [10.1134/S0001433811060119](https://doi.org/10.1134/S0001433811060119)
9. Minin AA, Voskova AV. Homeostatic responses of plants to modern climate change: Spatial and phonological aspects. *Russian Journal of Developmental Biology*. 2014;45:127-133. doi: [10.1134/S1062360414030023](https://doi.org/10.1134/S1062360414030023)
10. Ivanov VP, Marchenko SI, Zaitseva LV, Ivanov YuV. Methodological aspects of Scots pine cones biometrics determination. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*. 2012;84:42-46. In Russian
11. Ivanov VP, Marchenko SI, Glazun IN, Nartov DI, IvanovYuV. Application of indicators of Scotch pine's female generative sphere development in environmental monitoring. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2012;8:56-59. In Russian
12. Marcysiak K. Scots pine (*Pinaceae*) from the Crimea compared to the species variation in Europe on the basis of cone traits. *Phytologia Balcanica*. 2006;12:203-208.
13. Sivacioglu A, Ayan S. Evaluation of seed production of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) clonal seed orchard with cone analysis method. *African Journal of Biotechnology*. 2008;7:4393-4399.
14. Romanovskii MG. Gametophyte mortality of Scots pine ovules. *Soviet Genetics*. 1989;25:74-81.
15. Sivacioglu A. Genetic variation in seed and cone characteristics in a clonal seed orchard of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) grown in Kastamonu-Turkey. *Romanian Biotechnological Letters*. 2010;15:5695-5701.
16. Forshell CP. Seed development after self-pollination and cross-pollination of Scots pine, *Pinus sylvestris* L. *Studia Forestalia Suecica*. Stockholm; 1974. № 118. 37 p.
17. Bespalenko ON. Vliyanie klimaticheskikh anomalii na semenoshenie sosny obyknovennoy [Influence of climatic anomalies on the seed production of Scots pine]. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy*. 2014;17:9-12. In Russian
18. Ivanov VP, Marchenko SI, Glazun IN, Nartov DI, Soboleva LM. Biogeocenosis changes in central part of the Bryansk region after hot summer-2010. *Vestnik Povolzhskogo*

- gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. 2013;1:25-35. In Russian, English Summary
19. Mukassabi TA, Polwart A, Coleshaw T, Thomas PA. Scots pine seed dynamics on a waterlogged site. *Trees*. 2012;26:1305-1315. doi: [10.1007/s00468-012-0706-7](https://doi.org/10.1007/s00468-012-0706-7).
 20. Svintsova VS, Kuznetsova NF, Pardaeva EYu. Drought impact on regenerative sphere and sustainability of Scots pine pollen. *Lesovedenie*. 2014;3:49-57. In Russian
 21. Khromova LV, Romanovsky MG. Pollination and viability of pine ovules under air pollution with cement dust. *Lesovedenie*. 2002;3:3-11. In Russian
 22. Pimenov AV, Sedel'nikova TS, Yefremov SP. Morphology and quality of pollen of Scotch pine in contrast ecotopes from Khakassia. *Lesovedenie*. 2014;1:57-64. In Russian
 23. Noskova NE, Tret'yakova IN. Reproduktsiya sosny obyknovennoy v usloviyakh global'nogo izmeneniya klimata i strategicheskie puti sokhraneniya vida [Scots pine reproductive process under global climate change and strategy for species preservation]. *Khvoynye boreal'noy zony*. 2011;28:41-46. In Russian
 24. Kuznetsova NF. Sensivity of Scotch pine generative sphere to drought. *Lesovedenie*. 2010;6:46-53. In Russian
 25. Alekseev VM, Burtsev DS. The influence of meteorological factors on softwood seeding qualities in the conditions of the taiga zone of the North-West European part of Russia. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva*. 2014;3:43-55. In Russian
 26. Pardayeva EYu, Mashkina OS, Kuznetsova NF. State of Scots pine generative sphere as bioindicator of forest sustainability in the Central Chernozem region due to global climate change. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva*. 2013;2:16-21. In Russian

Received 24 April 2015;

Revised 25 June 2015;

Accepted 15 July 2015

Authors info:

Ivanov Valery P, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Chief of Department of Forestry, Faculty of Forestry, Bryansk State Technological University of Engineering, 3 Stanke Dimitrova Str., Bryansk 241037, Russian Federation.

E-mail: ivpinfo@mail.ru

Marchenko Sergey I, Cand. Sci. (Agricultural), Assistant Professor, Department of Artificial Stands and Soil Sciences, Faculty of Forestry, Bryansk State Technological University of Engineering, 3 Stanke Dimitrova Str., Bryansk 241037, Russian Federation.

E-mail: mars_bryansk@mail.ru

Ivanov Yuriy V, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Physiological and Molecular Mechanisms of Adaptation, Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, 35 Botanicheskaya Str., Moscow 127276, Russian Federation.

E-mail: ivanovinfo@mail.ru