


Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/3>

УДК 630\*165:630\*174.754:630\*443.3



## СОСТОЯНИЕ ЖЕНСКОЙ ГЕНЕРАТИВНОЙ СФЕРЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ДЕЙСТВУЮЩЕМ ОЧАГЕ КОРНЕВОЙ ГУБКИ (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.)

Григорий А. Кистерный<sup>1</sup> ✉, [kisterniy@mail.ru](mailto:kisterniy@mail.ru)  0000-0002-0119-4279

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Брянский государственный инженерно-технологический университет, пр. Станке Димитрова, 3 г. Брянск, 241037, Россия

Оценка проявления реакции деревьев сосны обыкновенной на ослабляющее действие *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. актуальна с позиции потенциальных возможностей дальнейшего естественного возобновления леса. Основной причиной снижения биологической устойчивости соснового насаждения стало развитие очага корневой губки. За трехлетний период 2017-2019 гг. средневзвешенная категория санитарного состояния деревьев на пробной площади увеличилась с 2,21 до 2,52. Более устойчивыми в женской генеративной сфере оказались морфометрические показатели шишек. Значительнее вариабельность была отмечена для выхода полнозернистых семян и количества стерильных чешуй апекса. Относительно высокая сохранность семязачатков выявлена в первом и во втором вегетационных периодах развития в границах средних значений. Для деревьев разных категорий состояния за все время наблюдений она составила соответственно 70,60–81,77 и 79,07–88,35 %, что свидетельствовало о достаточном качестве опыления и выраженной совместимости мужских и женских генотипов, на фоне снижения жизнеспособности материнских деревьев. Сохранность эмбрионов в эксперименте достигла 63,44–81,48 %. Доказана чувствительность генеративной сферы сосны обыкновенной к стрессу, вызванному развитием заболевания. Подтверждено достоверное уменьшение средних длины и диаметра зрелых шишек и относительное увеличение показателей женской репродукции при ослаблении и отмирании деревьев сосны, зараженных корневой губкой. Возможность выделения отдельных периодов сохранности семязачатков на протяжении гаметофитного и эмбрионального циклов и ежегодная регулярность семеношения позволяют рекомендовать сосну обыкновенную для мониторинга состояния женской генеративной сферы и оценивать потенциальные возможности вида к выживанию при действии агрессивных стрессовых факторов, таких как *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, очаг корневой губки, категории состояния деревьев, семена, сохранность семязачатков и эмбрионов

**Благодарности:** Автор благодарит за помощь в сборе полевого материала инженера-лесопатолога первой категории Брянского филиала Калужского центра защиты леса Игоря А. Шепеля (г. Брянск), студента Артема Воскобойникова (БГИТУ, г. Брянск).


Автор благодарит рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

**Конфликт интересов:** автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Кистерный, Г. А. Состояние женской генеративной сферы сосны обыкновенной в действующем очаге корневой губки (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) / Г. А. Кистерный // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 4 (48). – С. 31–46 – Библиогр.: с. 43–46 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/3>.

Поступила 18.05.2022. Пересмотрена 11.12.2022. Принята 12.12.2022. Опубликовано онлайн 26.12.2022.

## THE STATE OF THE FEMALE GENERATIVE SPHERE OF SCOTS PINE IN THE ACTIVE FOCUS OF THE ROOT FUNGUS (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.)

Grigorii A. Kisternyi✉, kisterniy@mail.ru  0000-0002-0119-4279

<sup>1</sup> Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Bryansk State Engineering Technological University", Dimitrov Stanke Ave., 3, Bryansk city, 241037, Russian Federation, Russian Federation

### Abstract

Evaluation of the manifestation of Scots pine trees reaction to the weakening effect of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. is relevant from the perspective of the potential opportunities for further natural regeneration of the forest. The main reason for the decrease in the biological stability of the pine plantation was the development of the root sponge focus. Over the three-year period 2017-2019 the weighted average tree health category in the sample area increased from 2.21 to 2.52. The morphometric parameters of cones turned out to be more stable in the female generative sphere. Greater variability was noted for full-grain seed yield and the number of sterile apex scales. Relatively high preservation of seed ovules was found in the first and second vegetative periods of development within the boundaries of average values. For trees of different status categories during the whole period of observations it was 70.60-81.77 and 79.07-88.35% respectively, which indicated sufficient quality of pollination and marked compatibility of male and female genotypes against the background of reduced viability of mother trees. Embryo survival in the experiment reached 63.44-81.48%. The sensitivity of the generative sphere of Scots pine to the stress caused by the development of the disease has been proved. A significant decrease in the average length and diameter of mature cones and a relative increase in female reproduction rates were confirmed with the weakening and dying out of pine trees infected with root sponge. The possibility of identifying separate periods of preservation of ovules during gametophytic and embryonic cycles and the annual regularity of seed production allow us to recommend Scots pine for monitoring the state of the female generative sphere and assess the potential of the species to survive the action of aggressive stressors, such as *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.

**Keywords:** Scots pine, root sponge focus, tree condition categories, seeds, seed-bearing and embryo preservation.

**Acknowledgments:** The author thank engineer-forest pathologist of the first category of the branch of the Federal State Budgetary Institution "Roslesozashchita" - "Forest Protection Center of the Kaluga region" Igor A. Shepel (Bryansk), student Artem Voskoboynikov (Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk) for their help in collecting field material.

**Conflict of interest:** the author declares no conflict of interest.

**For citation:** Kisternyi G. A. (2022) The state of the female generative sphere of Scots pine in the active focus of the root fungus (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.). *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 12, No. 4 (48), pp. 31-46 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/3>.

**Received** 18.05.2022. **Revised** 11.12.2022. **Accepted** 12.12.2022. **Published online** 26.12.2022.

### Введение

В лесном фитоценозе часто развиваются события, приводящие к последовательному снижению и потере биологической устойчивости. В качестве дестабилизирующего фактора может высту-

пать *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. – наиболее опасный возбудитель заболевания сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – корневой губки [1–3].

Известно, что корневая губка расстраивает сосняки, и способна, в случае накопления инфек-

ционного начала, развиваться в эпифитотии, вызывая отмирание деревьев в зоне заражения достаточно быстро – при совместном действии со стволовыми вредителями [3, 4]. Установлена высокая патогенность некоторых генотипов возбудителя корневой губки, способных развиваться на молодых сеянцах сосны [2].

В ходе роста и развития сосна реагирует на все условия существования, но наиболее сильное воздействие оказывают факторы, ограничивающие процветание вида и сказывающиеся на внутривидовой изменчивости [5, 6, 7]. В нашем случае – это корневая губка, которая препятствует полноценному развитию насаждений сосны обыкновенной в России и в других странах [3, 4].

Сосну рекомендуют использовать как тестовую породу при мониторинге природных систем за негативными естественными и антропогенными процессами, при оценке жизненного состояния деревьев и отборе устойчивых продуктивных форм в насаждениях [8, 9]. По снижению семенной продуктивности судят о степени загрязнения местобитаний. Семенная продуктивность сосны обыкновенной может изменяться под влиянием аномальных погодных и антропогенных условий [7,8].

На качество шишек и семян видов сосен и их изменчивость оказывают влияние географическое положение объекта, высота над уровнем моря и климат региона [10–12]. Вместе с тем, имеется недостаточно сведений о состоянии генеративной сферы насаждений при поражении болезнями [13, 14].

Сосна обыкновенная – анемофильный вид, и поэтому эффективность опыления предопределяет дальнейшее развитие женского гаметофита. Семязачатки погибают при неопылении, образуя отделяемые и неотделяемые крылатки в зрелых шишках. Это явление характеризует первый вегетационный период, на второй год после закладки примордиев макросторобилов, когда неопыленные семязачатки прекращают развитие на начальной стадии нуклеарного гаметофита [15].

Опыленные семязачатки способны продолжить развитие во втором вегетационном периоде, т.е. на третий год развития женских репродуктивных структур. Он сопровождается возобновлением

свободноядерных делений в женском гаметофите, развитием архегониев, сингамией и ростом зародышей до полного созревания семян. Критические нарушения эмбриогенеза завершаются пустосянностью [15].

Отчетливое разделение роста семязачатков на гаметофитный и эмбриональный этапы, заметные различия в их размерах до и после оплодотворения, редкое явление партеноспермии делает возможным детальное исследование женской репродукции сосны обыкновенной с применением методики количественного анализа сохранности семязачатков и эмбрионов [16].

Выраженная регулярность семеношения выступает в качестве основания для проведения мониторинга состояния женской генеративной сферы.

Важна оценка проявления стресс-реакции деревьев на действие ослабляющего фактора по корневому типу с позиции потенциальных возможностей дальнейшего естественного возобновления сосны обыкновенной.

Цель исследования – оценка состояния женской генеративной сферы сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) и выявление ее чувствительности к стрессу при снижении устойчивости деревьев в очаге заболевания.

### Материалы и методы

Ведущим отрицательным лесопатологическим фактором в условиях эксперимента выступил действующий очаг корневой губки в квартале 18, выделе 5 участкового Водославского лесничества ГКУ Брянской области «Мглинское лесничество», в брусничном типе леса, с индексом лесорастительных условий В<sub>2</sub>. В границах выдела обнаружены окна из-за выпадения части соснового древостоя. Объект исследования – пробная площадь в лесных культурах состава 10С+Б в возрасте 70 лет, I класса бонитета с относительной полнотой – 0,7.

При сборе материала и последующего его сравнительного анализа с целью исключения дополнительных факторов, способных повлиять на размеры, число фертильных семенных чешуй и раскрываемость шишек, руководствовались выбором одного участка лесных культур с наличием деревьев разных категорий состояния (КС), однородным рельефом и абиотическими условиями.

Материал собирали осенью, в течение 3-х лет, определяя и уточняя КС 126 деревьев в трехкратной повторности, по комплексу лесопатологических признаков ослабления [17, 18]. У деревьев III и IV КС оценено состояние корневых лап на наличие плодовых тел *H. annosum (Fr.) Bref.* и комлевой гнили, а стволов и ветвей на признаки других заболеваний, заселенность вторичными стволовыми вредителями.

Оценивали показатели репродукции урожая шишек 2017–2018 гг., на примере 20 деревьев, в двукратной повторности, из первых четырех КС и в 2019 г. II, III, IV и V КС – 12 деревьев в пределах пробной площади. Проанализировали 237 шишек, по 4–6 шт. с каждого дерева. Длины и диаметры измеряли штангенциркулем. Коэффициент формы шишек определяли отношением их длины к диаметру.

Для установления показателей сохранности семязачатков сначала разрушали основания зрелых шишек, стерильные чешуи которых всегда исключаются из репродуктивного процесса. Далее последовательно отделяли чешуйки фертильной зоны от основания к апексу – и подсчитывали количество крылаток, мелких, пустых и выполненных семян под ними. Для точного определения факта пустосемянности и степени развития зародыша и эндосперма каждое семя, достигшее нормального размера, вскрывали.

Сохранность семязачатков первого вегетационного периода определяли отношением суммы полных пустых и недоразвитых семян к общему количеству семязачатков фертильной зоны вместе с крылатками для каждой шишки. Сохранность семязачатков во второй вегетации – отношением суммы полных и пустых семян к количеству семязачатков, доживших до оплодотворения. Сохранность эмбрионов находили как отношение количества выполненных семян к сумме пустых и полных, приходящихся на каждую шишку отдельно. Все показатели сохранности выражали в процентах [16].

Исследованию подвергли 10 показателей женской репродукции сосны обыкновенной. Экспериментальные данные анализировали, используя

стандартные статистические методы и прикладные пакеты программ в среде Microsoft Excel.

Сравнение различий между выборками осуществляли с помощью непараметрического U-критерия – Манна-Уитни. Оценку уровней изменчивости показателей репродукции проводили согласно существующим рекомендациям (Мамаев, 1974) [14].

### Результаты и обсуждение

В чистых лесных культурах дереворазрушающие грибы, способны быстро наращивать вегетативную массу и патогенность, получив конкурентное преимущество подавлять деятельность других участников микоценоза и приводить насаждения к преждевременному разрушению [2].

В нашем случае это – *H. annosum (Fr.) Bref.* – триггер, запускающий процессы распада древостоя, особенно быстро, когда в качестве мишени выступают доминанты-строители.

Средневзвешенная категория санитарного состояния (СКС) насаждений по числу стволов в 2017 г. составила 2,21. Отметим последовательное накопление сухостойных деревьев, как следствие – увеличение СКС: в 2018 до 2,33 и до 2,52 в 2019 гг. Весной 2018 г. началось активное заселение усыхающих деревьев анализируемой части насаждения сосновыми лубоедами. Произошло заметное ухудшение санитарной и лесопатологической ситуации в действующем очаге корневой губки. Процесс отмирания деревьев среди анализируемой части насаждения ускорился. Текущий и общий отпад по числу стволов в 2019 г. увеличился по сравнению с 2017 г. на 3,96 и 7,93% соответственно.

Доказано, что повреждение сосны обыкновенной, патогенными грибами приводит к снижению количественных показателей половой репродукции [13], а формирование полноценных семян сосны после успешного опыления и оплодотворения определяется большей частью факторами эндогенного характера. Обилие семеношения и качество семян зависит от физиологического состояния материнских деревьев. Особенности половой репродукции отмирающих сосен связаны с совпадением интенсивного увядания и соответствующей фазы развития женского гаметофита. Установлены изменения морфологии шишек в процессе ослабления

при поражении деревьев корневой губкой на примере средних внутригрупповых показателей. Последовательно, от I КС к IV, происходило уменьшение длины и диаметра шишек с деревьев сосны (табл. 1), что достоверно, например, при сравнении

выборок урожая 2018 г. I и IV КС как по длине, так и по диаметру ( $U_{\text{факт.}} = 56,5$  и  $35,4$   $U_{\text{ст.}} = 158$  при  $p = 0,01$  %). На фоне продолжающегося ослабления снижался выход семян – конечный результат женской репродукции (табл. 2).

Таблица 1

Морфометрические параметры и коэффициенты формы шишек деревьев сосны обыкновенной

Table 1

Morphometric parameters and shape coefficients of Scots pine cones

Категории состояния деревьев   Tree condition categories	Длина шишек, см   Cones length, cm		Диаметр шишек, см   Diameter of cones, cm		Коэффициент формы   Form factor	
	$M_x \pm m_{Mx}$	$C_x, \%$	$M_x \pm m_{Mx}$	$C_x, \%$	$M_x \pm m_{Mx}$	$C_x, \%$
2017 г.						
I	4,63±0,09	10,01	2,16±0,04	8,79	2,14±0,03	5,91
II	4,51±0,09	9,98	2,10±0,03	6,28	2,15±0,04	8,93
III	4,57±0,11	10,95	2,13±0,04	9,82	2,15±0,03	6,18
IV	4,18±0,10	11,94	2,04±0,03	8,22	2,05±0,04	9,33
2018 г.						
I	4,71±0,15	15,36	2,14±0,05	12,07	2,19±0,04	8,40
II	4,45±0,07	8,10	2,14±0,03	7,32	2,08±0,02	5,09
III	4,11±0,10	12,47	1,95±0,04	10,32	2,10±0,03	6,30
IV	3,53±0,08	11,16	1,73±0,04	9,73	2,05±0,04	8,50

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Таблица 2

Полнозернистые семена, фертильная и апикальная стерильная зоны шишек сосны обыкновенной

Table 2

Full-grained seeds, fertile and apical sterile zones of Scots pine cones

Категории состояния деревьев   Tree condition categories	Выход полнозернистых семян, шт.   Yield of full-grain seeds, pcs.		Фертильная зона, шт.   Fertile zone, pcs.		Стерильная зона апекса, шт.   Sterile zone apex, pcs.	
	$M_x \pm m_{Mx}$	$C_x, \%$	$M_x \pm m_{Mx}$	$C_x, \%$	$M_x \pm m_{Mx}$	$C_x, \%$
2017 г.						
I	17,04±1,23	35,40	40,75±1,07	12,85	2,29±0,14	30,12
II	17,92±1,39	37,89	38,92±1,36	17,13	2,67±0,17	30,62
III	18,05±0,86	22,39	38,41±1,33	16,24	2,05±0,15	35,31
IV	17,42±1,38	38,94	34,75±1,30	18,32	2,37±0,15	29,93
2018 г.						
I	18,26±1,76	46,27	40,00±1,66	19,89	2,26±0,16	33,25
II	18,21±1,45	39,04	38,29±1,73	22,18	2,25±0,12	27,02
III	17,46±1,05	30,79	36,15±1,34	18,84	2,38±0,10	20,81
IV	10,52±0,94	42,97	28,26±1,50	25,36	2,00±0,09	21,32

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Варьирование морфометрических параметров и коэффициентов формы шишек с деревьев разных КС находилось на низком и среднем уровне. Наибольшей стабильностью отличался коэффициент формы. Для деревьев первых трех КС ситуация с выходом нормальных семян более однозначная, чем для усыхающих. Среднее количество семян, приходящихся на одну шишку, составляло 17,61 в 2017 и 16,11 шт. в 2018 г. для всей совокупности исследованных КС. В очаге корневой губки количество полнозернистых семян не отличалось стабильностью и заметно варьировало по группам КС, что свидетельствовало о неустойчивом характере процесса созревания семян. Генеративная сфера сосны обыкновенной реагирует на действие стрессовых факторов [6]. Например, доказано наличие факта редукции полнозернистости в засушливые вегетационные периоды, сопровождающие этапы эмбриогенеза [12].

На объекте исследований наблюдали более выраженную однородность формирования фертильной зоны шишек сосны обыкновенной, за исключением IV КС, особенно по итогам оценки урожая 2018 г. Основание шишки всегда исключалось из репродуктивного процесса; часть семязачатков под чешуйками апекса также не развивалась, элиминируя в первой вегетации или не образуясь вовсе.

Стерильная зона апекса шишек характеризовалась, как правило, малым количеством недоразвитых чешуй – 1–3, реже 4–5, при этом варьирование признака выше среднего. Наиболее важные показатели женской генеративной сферы сосны обыкновенной связаны с сохранностью семязачатков и эмбрионов (табл. 3).

Таблица 3

Средние значения и коэффициенты вариации сохранности семязачатков и эмбрионов сосны обыкновенной, %

Table 3

Average values and coefficients of variation of seed and embryo preservation of Scots pine, %

Показатели сохранности   Safety indicators	Категории состояния деревьев   Tree condition categories			
	I	II	III	IV
2017 г.				
Сохранность семязачатков 1-го вегетационного периода   Preservation of ovules of the 1st growing season	$\frac{70,71 \pm 2,28}{15,77}$	$\frac{77,19 \pm 1,40}{8,88}$	$\frac{74,14 \pm 1,60}{10,15}$	$\frac{78,20 \pm 1,82}{11,38}$
Сохранность семязачатков 2-го вегетационного периода   Preservation of ovules of the 2nd growing season	$\frac{79,57 \pm 1,86}{11,47}$	$\frac{81,89 \pm 2,08}{12,44}$	$\frac{83,71 \pm 1,80}{10,08}$	$\frac{84,98 \pm 1,69}{9,72}$
Общая сохранность семязачатков   General safety of ovules	$\frac{56,59 \pm 2,52}{21,81}$	$\frac{63,23 \pm 2,02}{15,66}$	$\frac{62,16 \pm 2,00}{15,11}$	$\frac{66,76 \pm 2,40}{17,61}$
Сохранность эмбрионов   Embryo survival	$\frac{71,85 \pm 2,17}{14,81}$	$\frac{70,82 \pm 2,52}{17,41}$	$\frac{75,85 \pm 1,46}{9,02}$	$\frac{72,15 \pm 2,49}{16,94}$
2018 г.				
Сохранность семязачатков 1-го вегетационного периода   Preservation of ovules of the 1st growing season	$\frac{75,40 \pm 1,94}{12,36}$	$\frac{78,37 \pm 1,60}{9,99}$	$\frac{73,40 \pm 1,42}{9,84}$	$\frac{71,39 \pm 1,87}{12,54}$
Сохранность семязачатков 2-го вегетационного периода   Preservation of ovules of the 2nd growing season	$\frac{80,47 \pm 2,42}{14,41}$	$\frac{84,75 \pm 1,94}{11,19}$	$\frac{85,02 \pm 1,60}{9,58}$	$\frac{79,07 \pm 3,14}{19,03}$
Общая сохранность семязачатков   General safety of ovules	$\frac{61,01 \pm 2,72}{21,41}$	$\frac{66,43 \pm 2,13}{15,68}$	$\frac{62,53 \pm 1,89}{15,45}$	$\frac{56,91 \pm 2,97}{25,06}$
Сохранность эмбрионов   Embryo survival	$\frac{71,53 \pm 2,58}{17,32}$	$\frac{70,19 \pm 2,14}{14,95}$	$\frac{76,21 \pm 1,67}{11,18}$	$\frac{63,44 \pm 3,78}{28,58}$

Примечание. В знаменателе – коэффициенты вариации сохранности семязачатков и эмбрионов

Note. The denominator shows the coefficients of variation of semen and embryo preservation

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Именно этим объясняется конечный результат репродукции – выход полноценных семян, обеспечивающий естественное возобновление. Сохранность семязачатков первого вегетационного периода больше зависит от условий опыления, складывающихся в насаждении. Элиминация семязачатков и эмбрионов сосны обыкновенной – механизм естественного отбора на всех этапах развития женской генеративной сферы сосны – происходила из-за недоопыления и нарушений в ходе макрогаметофитогенеза и эмбриогенеза.

Относительно невысокая разница между средними параметрами сохранности в первый вегетационный период развития подчеркивала качественную стабильность опыления макростробилов деревьев всех КС как для урожая 2017 г., так и для 2018. Второй вегетационный период характеризовался более высокими показателями сохранности семязачатков, чем первый по всем вариантам опыта. Различия сохранности между деревьями II и IV КС в урожай 2018 г. составили 5,68%, что также явилось существенным ( $U_{\text{факт.}}=127,5$   $U_{\text{ст.}}=166$  при  $p=0,01\%$ ) Увеличилась соответственно разница общей сохранности между ними – до 9,52%, но при  $U_{\text{факт.}}=170,5$  нулевая гипотеза сохранилась.

Более высокие коэффициенты вариации ( $C_x$ ) сохранности семязачатков, как правило, характерны для деревьев I КС. Варьирование сохранности семязачатков по всей совокупности наблюдений значительно шире, чем у морфометрических показателей. Эти данные также подтвердили неоднородность выборок шишек по череззернице.

По данным урожая 2017 г., среди деревьев IV КС преобладали шишки с низкой череззерницей –  $K_{\text{ср.}} = 0,91$ , соответственно низкочереззерных форм – 66,67%.

Шишки с деревьев остальных категорий имели  $K_{\text{ср.}}$  в границах 0,73–0,83, т.е. ниже установленного предела – 0,85, но достаточно близки к нему. В результате ослабления деревьев не происходило однозначное ухудшение женской репродукции. Так, для деревьев IV КС в урожай 2018 г. наблюдали некоторое снижение большинства показателей, по сравнению с предыдущим периодом.

Различия между гаметофитной сохранностью семязачатков I, II и III КС деревьев в урожае

2017 и 2018 гг. были не выражены, а для IV категории – заметны.

Между сохранностью семязачатков первого и второго вегетационных периодов отсутствовала достоверная связь, так как эти периоды характеризуют разные этапы формирования женского гаметофита. Так, для деревьев I КС в урожай 2018 г. уравнение регрессии приняло вид:  $y = 0,400x + 50,308$  при  $R^2 = 0,1034$  и количестве наблюдений –  $N=23$ . Тенденция прямой линейной связи наблюдалась между общей гаметофитной и эмбриональной сохранностью:  $y = 0,427x + 45,48$  при  $R^2 = 0,2025$ ,  $N=23$ . Коэффициент корреляции  $r = 0,45 \pm 0,195$ ,  $t_r = 2,31$ ,  $t_{\text{ст}} = 2,08$  при  $p = 0,05\%$ .

Большинство  $C_x$  изученных показателей находились на среднем уровне, что приемлемо для деревьев, оказавшихся в критическом состоянии из-за ослабления по корневому типу.

Изменчивость показателей женской репродукции усыхающих деревьев проявлялась неоднозначно. В урожай 2017 г. она выше, чем в 2018 г. за исключением деревьев III КС. Заметные колебания  $C_x$  подчеркивали нестабильность развития семязачатков у отмирающей части популяции в очаге корневой губки.

Более высокие  $C_x$  сохранности семязачатков сосны деревьев IV КС, чем II и III можно рассматривать как проявление стресс-реакции генеративной сферы на негативное изменение условий существования.

Приведенные данные подтвердили сложность оценки влияния экологических факторов на развитие женского гаметофита сосны обыкновенной. Чем длиннее период формирования структур женской репродукции, тем больше существует разнообразных факторов, способных повлиять на ход формирования семязачатков и семян. Используя существующие данные по качеству семян и размерах урожая, полученных на долгосрочной основе в районах с коротким вегетационным периодом, когда естественная регенерация ограничена, можно ожидать удовлетворительное возобновление леса, особенно в семенные годы. Потенциальные возможности женской генеративной сферы сосны обыкновенной в оптимальных климатических условиях хвойно-широколиственных лесов России

достаточны для естественного возобновления после проведения санитарно-оздоровительных мероприятий в очагах корневой губки.

Наблюдали относительно низкую пустосемянность деревьев сосны в действующем очаге заболевания.

В урожай 2018 г. сохранность эмбрионов максимальна для совокупности деревьев III КС и

минимальна для IV КС ( $U_{\text{факт.}} = 79$ ;  $U_{\text{ст.}} = 182$  при  $p = 0,01\%$ ).

Процессы формирования семязачтков в 2019 г. также отличаются нестабильностью (табл. 4).

Деревья, отмеченные как текущий отпад, успели образовать мелкие шишки с полнозернистыми семенами.

Таблица 4

Статистические показатели репродукции деревьев II–IV категорий состояния к концу вегетационного периода 2019 года

Table 4

Statistical indicators of reproduction of trees of the II–IV categories of condition by the end of the growing season of 2019

Показатели репродукции   Reproduction indicators	Категории состояния деревьев   Tree condition categories					
	II		III		IV	
	$M_x \pm m_{Mx}$	$C_x, \%$	$M_x \pm m_{Mx}$	$C_x, \%$	$M_x \pm m_{Mx}$	$C_x, \%$
Длина шишек, см   Cones length, cm	4,19±0,08	6,28	3,82±0,09	7,80	3,64±0,05	5,15
Диаметр шишек, см   Diameter of cones, cm	1,97±0,05	7,35	1,89±0,06	10,70	1,93±0,05	8,65
Коэффициент формы   Form factor	2,13±0,04	6,33	2,03±0,03	5,29	1,89±0,03	5,76
Фертильный ярус, шт.   Fertile tier, pcs.	30,20±1,1	11,87	30,83±1,24	13,96	35,77±1,27	12,82
Выход полнозернистых семян, шт.   Yield of full-grain seeds, pcs.	15,80±1,33	26,65	12,83±1,01	27,16	21,00±0,95	16,38
Количество стерильных чешуй апекса, шт.   Number of sterile apex scales, pcs.	1,50±0,17	35,14	2,25±0,22	33,50	2,23±0,20	32,50
Сохранность семязачтков 1-го вегетационного периода, %   Preservation of ovules of the 1st growing season, %	76,52±2,56	10,58	70,60±1,74	8,56	81,77±1,48	6,55
Сохранность семязачтков 2-го вегетационного периода, %   Preservation of ovules of the 2nd growing season, %	87,29±2,37	8,59	85,48±3,01	12,21	88,35±1,71	6,97
Общая сохранность семязачтков, %   General safety of ovules, %	66,85±2,97	14,05	60,67±3,13	17,86	72,41±2,33	11,62
Сохранность эмбрионов, %   Embryo survival, %	76,87±2,43	9,98	68,11±3,00	15,24	81,48±1,98	8,76

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations



Ослабление сосны обыкновенной в вегетационном периоде 2019 г. сопровождалось переходом ряда деревьев изученной части насаждения в КС более низкой жизненности. По периферии очага поражение затронуло здоровую часть насаждения. Слабо зараженные деревья были практически неотличимы от здоровых на основании оценки состояния кроны. Сначала происходило ухудшение кроны, что проявлялось в ее дехромации, усыхании отдельных ветвей при нарушении корневого питания, и в конечном итоге они погибали от инфекции [18]. Увеличилось количество деревьев II КС. Два дерева III КС перешли в разряд усыхающих, а три дерева IV КС утратили жизненность, вероятно, как отклик на развитие болезни и заселение их сосновыми лубоедами – *Blastophagus piniperda* (L.) и *Blastophagus minor* (Hart.). Ослабление и отмирание деревьев происходит быстрее в результате комплексного биотического воздействия, при сочетании заражения болезнью и нападении стволовых вредителей [19].

Редукция размеров шишек при ухудшении жизненности сосны обыкновенной по результатам урожая 2019 г. показана на рис. 1. Коэффициент формы шишек – стабильная величина. Наблюдалось частичное несоответствие между визуальной оценкой состояния деревьев V КС с реальной картиной полной утраты жизненности. На некоторых погибших деревьях сформировались мелкие шишки со средними: длиной  $3,26 \pm 0,12$  см, диаметром –  $1,63 \pm 0,04$  см, коэффициентом формы –  $2,00 \pm 0,06$ , фертильным ярусом –  $30,00 \pm 1,46$  и количеством зрелых семян, приходящихся на одну шишку –  $16,50 \pm 1,43$  шт. – в данном случае – значительным варьированием признака – 29,97%. Редукция размеров шишек возникает из-за чувствительности раннего эмбриогенеза к стрессу [7]. Относительно низкое варьирование наблюдалось для сохранности семязачатков первого и второго вегетационных периодов – 8,14 и 6,84% при средних значениях показателей –  $80,43 \pm 1,89$  и  $87,37 \pm 1,72$  соответственно.

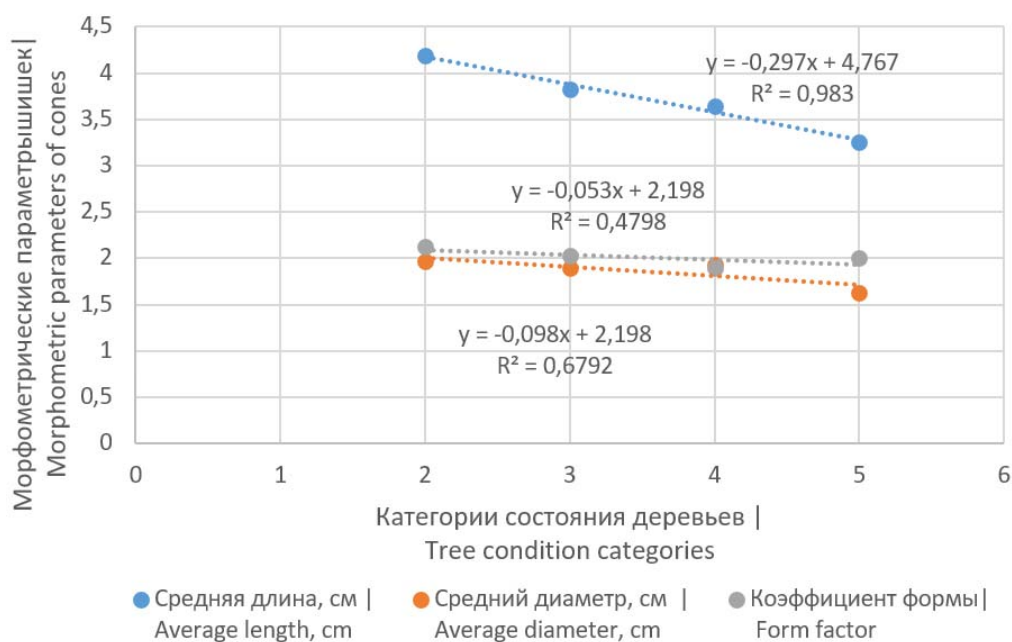


Рис. 1 Морфометрические параметры шишек у деревьев сосны различных категорий состояния  
 Figure 1 Morphometric parameters of cones in pine trees of various categories of condition

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Средняя арифметическая зависит от всей совокупности значений вариационного ряда, поэтому для характеристики важнейших показателей женской репродукции использованы медианы и квар-

тили – структурные характеристики рядов распределения вариант, приведенные на рис. 2-4.

Общая сохранность семязачатков сосны обыкновенной количественно характеризует весь

прогамный период женской репродукции. Сравнение показателей общей сохранности деревьев III КС за три года наблюдений позволяет определиться насколько стабильны эндогенные процессы, протекающие в женском гаметофите до начала оплодотворения, если произошло опыление семязачатков фертильной пылью у деревьев, еще сохраняющих

жизненность. Рис. 2 иллюстрирует колебания общей сохранности семязачатков для деревьев III КС за все годы наблюдения. Отмечаем стабильность репродуктивного процесса с относительно лучшей общей сохранностью семязачатков в вегетационный период 2018 г.

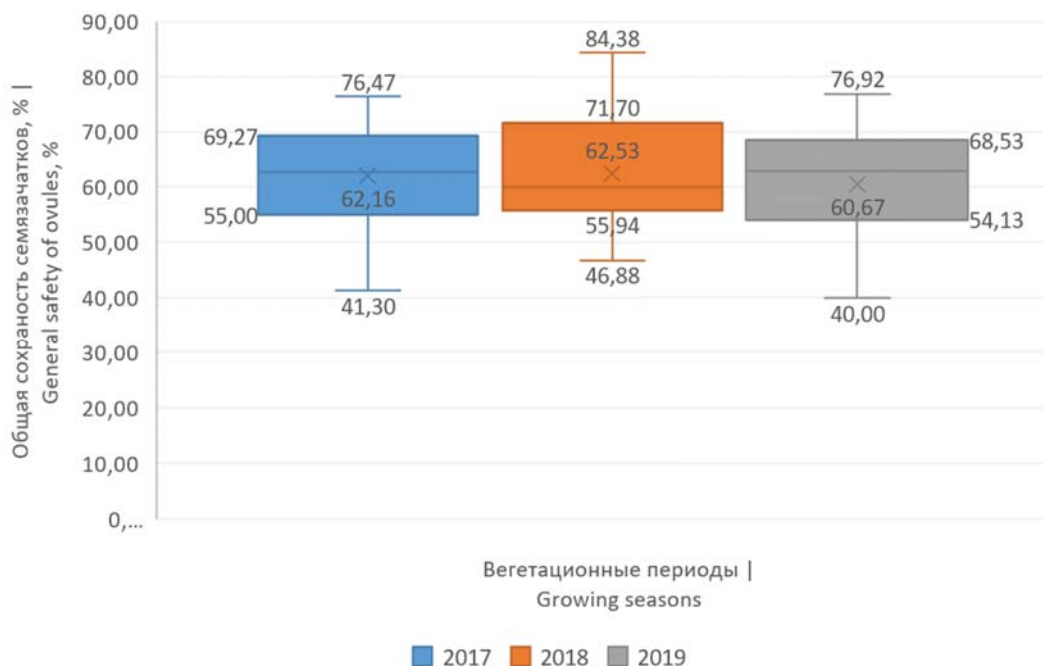


Рис. 2 Общая сохранность семязачатков у деревьев третьей категории состояния  
Figure 2 General safety of ovules of ovules in trees of the third category of condition

Источник: собственная композиция автора  
Source: author's composition

Общая сохранность семязачатков деревьев IV КС снизилась при увеличении размаха колебаний по сравнению с деревьями III КС (рис. 3), а в 2019 г., наоборот, увеличилась.

Выбор деревьев III и IV КС для сравнения изменений в женской генеративной сфере объясняется наступлением критических событий в жизни растений, связанных с потерей их устойчивости, привлекательностью для заселения сосновыми лубодами, ускоряющими процесс отмирания в очаге болезни.

В вегетационный период 2019 г. отчетливо проявились процессы дестабилизации в исследуемой части соснового насаждения. Целесообразно сравнить общую гаметофитную сохранность семязачатков за текущий, более стрессовый период, с предыдущим – 2018 г. для деревьев двух категорий состояния – третьей и четвертой. Из рисунка видно,

что в 2018 общая сохранность семязачатков для усыхающих деревьев оказалась ниже, а в 2019 г. – значительно выше по сравнению с сильно ослабленными деревьями. Это обстоятельство можно считать проявлением стресс реакции на системную потерю жизненности. Линии между средними значениями показывают увеличение или уменьшение данного показателя от одного периода к другому. Это свидетельствует о неоднородности процессов, протекающих в женской репродуктивной сфере на фоне ослабления деревьев. Все параметры сохранности находятся в границах квартилей, точки выбросов отсутствуют. Размах рядов сузился. Разница между минимальными и максимальными значениями составила для деревьев III КС в 2018 г. – 37,50 и в 2019 г. – 36,92% при последовательном снижении показателей, а для IV КС – 58,33 и 27,77% соответственно, при их росте от года к году.

Также неоднороден процесс формирования эмбрионов (рис. 4), сохранность которых в среднем

для деревьев III КС – снижалась в вегетационном периоде 2019 г. по сравнению с предыдущим.

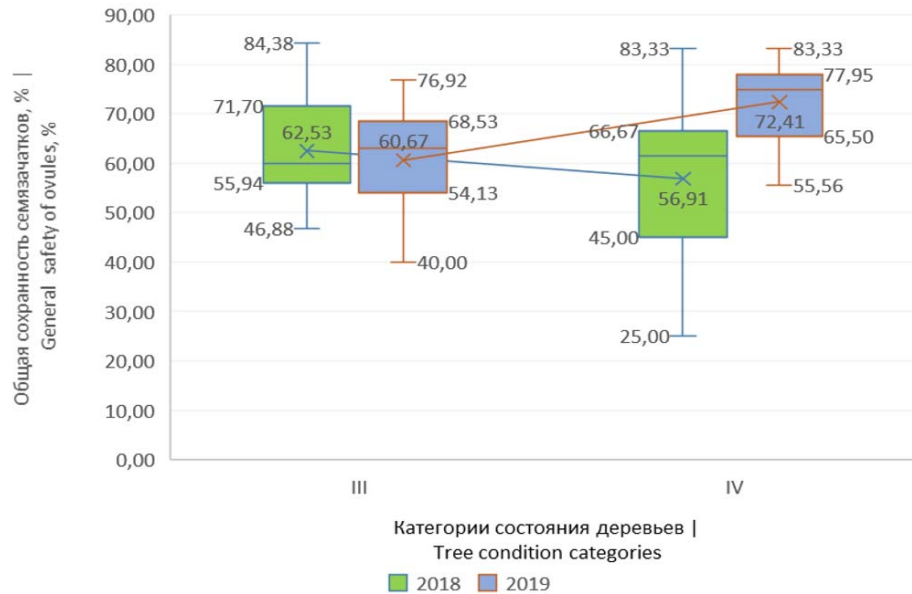


Рис. 3. Общая сохранность семязачатков у деревьев третьей и четвертой категорий состояния в урожае 2018 и 2019 гг.

Figure 3. Overall safety of ovules in trees of the third and fourth categories of condition in the harvest of 2018 and 2019

Источник: собственная композиция автора

Source: author's composition

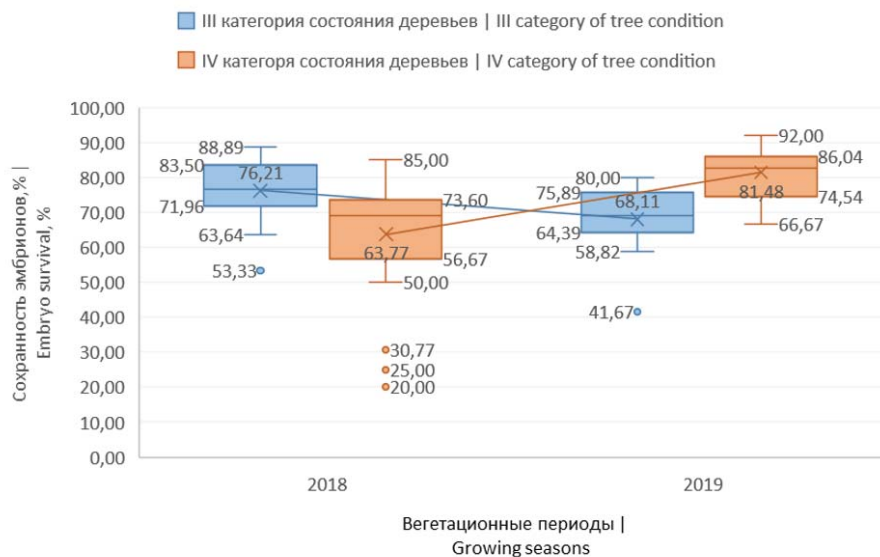


Рис. 4. Сохранность эмбрионов у деревьев сосны обыкновенной третьей и четвертой категорий состояния в урожае 2018 и 2019 гг.

Figure 4 Preservation of embryos in common pine trees of the third and fourth categories of condition in the harvest of 2018 and 2019

Источник: собственная композиция автора

Source: author's composition

Во время эмбриогенеза удаляется часть генетически нарушенных, инбредных генотипов [7]. Для деревьев IV КСв урожай 2018 г. значительно увеличилась разница между минимальным и максимальным значением сохранности эмбрионов и составила – 65,00%. Появились точки выбросов – за пределами первого квартиля. В 2019 г. показатель эмбриональной сохранности выше, но размах данных значительно меньше – 25,33%.

Медиана, иногда практически совпадала со средней арифметической, например, для сохранности эмбрионов в вегетационный период 2018 г.

Отмечалось отсутствие точек выбросов за пределами четвертого квартиля для всех рядов распределения. Сохранность эмбрионов деревьев IV КС заметно возросла в вегетации 2019 г. и составила  $77,66 \pm 3,64$  при  $C_x = 9,80\%$ .

В целом на сохранность эмбрионов линейно не влияли другие показатели репродукции (рис. 5), за исключением выхода полнозернистых семян:  $y = 0,233x - 1,591$  при  $R^2 = 0,3527$  при  $N=12$ . Наблюдалась устойчивая тенденция прямой линейной связи. Коэффициент корреляции  $r = 0,59 \pm 0,254$ ,  $t_r = 2,23$ ,  $t_{st} = 2,33$  при  $p = 0,05\%$ .

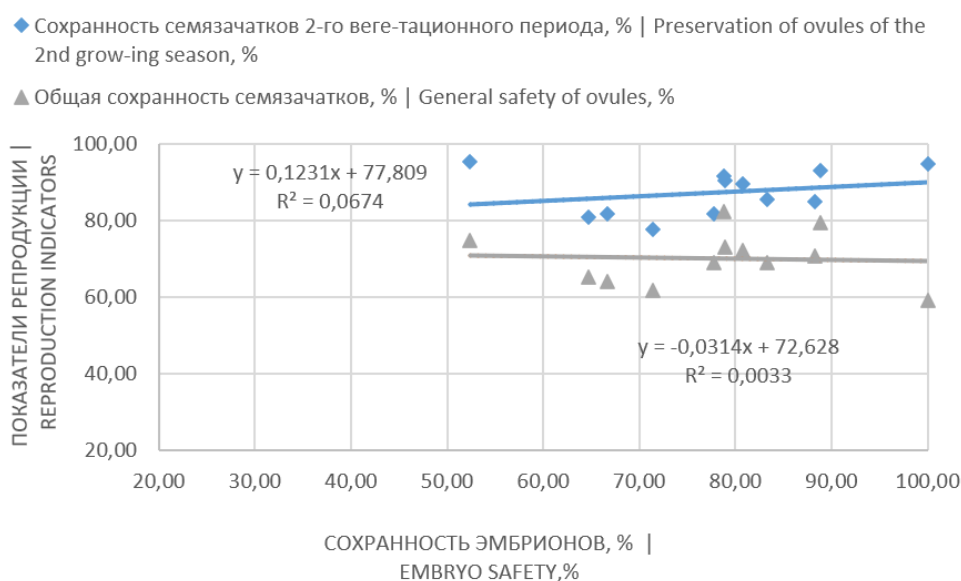


Рис. 5. Регрессионные линии связи сохранности эмбрионов и некоторых показателей репродукции для деревьев V категории состояния в урожае 2019 года

Figure 5 Regression lines of communication between the survival of embryos and some indicators of reproduction for trees of the V categories of condition in the harvest of 2019

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Наиболее значителен показатель фертильной зоны шишек для деревьев IV КС. Также в этой группе более выражена сохранность семязачтков и эмбрионов по сравнению с III и V КС, в основном при более низких уровнях изменчивости. Разница общей сохранности семязачтков для деревьев IV и V КС незначительна ( $U_{факт.} = 57,5$ ;  $U_{ст.} = 51$  при  $p = 0,05\%$ ) и достоверна – для III и V КС ( $U_{факт.} = 32$ ).

Различия в сохранности эмбрионов существенны только между III и IV КС ( $U_{факт.} = 19$ ;  $U_{ст.} = 39$  при  $p = 0,01\%$ ). Деревья IV КС в 2019 г. имели показатели выхода полноценных семян и сохранно-

сти эмбрионов более высокие по сравнению со всеми вариантами текущего и предшествующих периодов. Сравнительно небольшой объем фертильной зоны, несколько меньший выход полнозернистых семян определялся малыми размерами шишек.

Количество чешуй фертильной зоны, приходящихся на единицу длины средней шишки, составило – 9,20 шт./см, а количество зрелых семян – 5,06 шт./см, при лучших показателях деревьев сосны без признаков ослабления в урожае 2018 г. – 8,49 шт. и 3,88 шт./см соответственно. Если в

предшествующий вегетационный период осуществлялось опыление сформированных без отклонений семязачатков, то в последующем на фоне отмирания деревьев завершалось созревание семян. В перспективе остается открытым вопрос о разработке эффективных мер борьбы против вирулентных и агрессивных штаммов возбудителя корневой губки, способных поражать сосну обыкновенную в ювенильном возрасте [2, 20].

### Заключение

Увядание деревьев, при заражении *H. annosum* (Fr.) Bref., системно детерминировано, носит необратимый характер и, на наш взгляд, провоцирует развитие стресс-реакции со стороны женской генеративной сферы при переходе деревьев из состояния высокой жизнеспособности (I КС) последовательно к ее полной утрате (V КС).

Наблюдаемые негативные изменения в насаждении, связанные со снижением биологической устойчивости, оказывают некоторое положи-

тельное влияние на конечный результат репродукции – сохранность эмбрионов и образование семян.

Выход полноценных семян сосны обыкновенной в очаге болезни потенциально достаточен для успешного естественного возобновления, несмотря на явное деструктивное состояние древесного яруса, но нормальное развитие соснового фитоценоза в данных условиях возможно лишь при проведении комплекса оздоровительных мероприятий, ограничивающих распространение корневой губки.

Особенность репродуктивного процесса сосны обыкновенной может стать основой для проведения мониторинга состояния женской генеративной сферы с определением способности вида к выживанию в очагах корневой губки. Актуален поиск новых естественных мер борьбы с заболеванием. Начальный этап – оценка репродуктивного потенциала сосны в очагах и выявление генотипов, наиболее устойчивых к действию патогена в них.

### Список литературы

1. Высоцкий А. А., Корчагин О. М. Корневая губка в насаждениях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Проблемы и пути решения. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018; 224: 176-192. DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2018.224.176-192>.
2. Piri T., Vainio E. J., Nuorteva H., Hantula J. High Seedling Mortality of Scots Pine Caused by *Heterobasidion annosum* s.s. Forests. 2021; 12(9): 1289. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12091289>.
3. Арефьев Ю. Ф., Сенф В. А. Корневая губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) в сосновых насаждениях среднерусской лесостепи и Флориде – особенности контроля патогена. Лесотехнический журнал. 2017; 2: 6-11. DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_5967e851486a54.19241386](https://doi.org/10.12737/article_5967e851486a54.19241386).
4. Сазонов А. А., Звягинцев В. Б. Анализ структуры лесозащитных мероприятий в очагах сосновой корневой губки. Труды БГТУ. 2019; 1(2): 126-131. URL: [https://elibr.belstu.by/bitstream/123456789/30291/1/Sazonov\\_Analiz\\_struktury.pdf](https://elibr.belstu.by/bitstream/123456789/30291/1/Sazonov_Analiz_struktury.pdf).
5. Иванов В. П., Марченко С. И., Глазун И. Н., Нартов Д. И. Оценка влияния морфометрических параметров шишек на качество семенного материала сосны обыкновенной. Лесной журнал. 2018; 4: 19-30. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.4.19>.
6. Кузнецова Н. Ф., Клушевская Е. С. Смена жизненного состояния как способ выживания *Pinus sylvestris* L. на техногенно загрязненной территории. Принципы экологии. 2020; 2: 40-47. DOI: <https://doi.org/10.15393/j1.art.2020.10322>.
7. Кузнецова Н. Ф., Клушевская Е. С., Аминова Е. Ю. Высокопродуктивные сосновые леса в условиях изменения климата. Лесной журнал. 2021; 6: 9-23. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-6-9-23>.
8. Карасев В. Н., Карасева М. А., Мухортов Д. И. Диагностика физиологического состояния хвойных деревьев по биоэлектрическим и температурным показателям // Лесоведение. 2020; 2: 162-174. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0024114820010088>.

9. Kuznetsova N. F., Semenov M. A., Sautkina M. Yu. Pine Forests of East European Plain: Distribution Trends, Functions and Development Problems. *Pinus: Growth, Distribution and Uses*. New York, Nova Science Publishers, Inc. 2019: 1–47.
10. Чупров А. В., Наквасина Е. Н., Прожерина Н. А. Изменчивость шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в географических культурах Архангельской области. *Лесной вестник [Forestry Bulletin]*. 2021; 25 (3): 24-33. DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-3-24-3>.
11. Balekogu S., Calinskan S., Dirik H. Effects of geoclimatic factors on the variability in *Pinus pinea* cone, seed, and seedling traits in Turkey native habitats. *Ecological Processes*. 2020; 9: 55. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00264-3>.
12. Кузнецова Н. Ф., Клушевская Е. С. Механизмы выживания *Pinus sylvestris* L. в засуху на техногенно загрязненной территории. *Принципы экологии*. 2022; 2: 68-77. URL: <http://есорги.ru>.
13. Кукунова Т. А., Кистерный Г. А. Особенности женской репродукции в ослабленных насаждениях Учебно-опытного лесхоза БГИТУ. *Актуальные вопросы техники, науки, технологий* : сб. науч. тр. национальной науч. конф. (Брянск, 05-09 февраля 2019 г.) ; Брян. гос. инженер.-технол. ун-т. Брянск, 2019 С. 57-60. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37185942>.
14. Кистерный Г. А. Женская репродуктивная сфера сосны обыкновенной при воздействии ослабляющих лесопатологических факторов в насаждениях Брянской области. *Лесной журнал*. 2016; 4: 89-99. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.4.89>.
15. Сурсо М. В. Фенология репродуктивных циклов и качество семян хвойных (Pinaceae, Cupressaceae) в северной тайге. *Arctic Environmental Research*. 2017; 17(4): 355-367. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8416.2017.17.4.355>.
16. Кукунова Т. А., Кистерный Г. А. Женская репродуктивная сфера деревьев сосны обыкновенной различных категорий состояния. *Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная* : матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. (Брянск, 23-25 апреля 2020 г.) ; Брян. гос. инженер.-технол. ун-т. Брянск, 2020. С. 39-43. Режим доступа: [http://bgitu.ru/upload/iblock/304/Sbornik\\_2020\\_sreda.pdf](http://bgitu.ru/upload/iblock/304/Sbornik_2020_sreda.pdf).
17. Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах. Постановление Правительства РФ от 9 декабря 2020 г. N 2047. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313#6540IN> (датаобращения: 14.02.2022).
18. Pitkänen T. P., Piri T., Lehtonen A., Peltoniemi M. Detecting structural changes induced by *Heterobasidion* root rot on Scots pines using terrestrial laser scanning. *Forest Ecology and Management*. 2021; 492: 10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119239>.
19. Pavlov I. N. (et al.). Mass Reproduction of *Polygraphus proximus* Blandford in Fir Forests of Siberia Infected with Root and Stem Pathogens: Monitoring, Patterns, and Biological Control (2020). *Contemporary Problems of Ecology*. 2020; 13(1): 71-84. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995425520010060>.
20. Marchiulynas A. (et al.). Resistance of Scots pine half-sib families to *Heterobasidion annosum* in progeny field trials. *Silva Fennica*. 2020; 54(4): 1-17. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.10276>.

### References

1. Vy`soczkij A.A., Korchagin O.M. Kornevaya gubka v nasazhdeniyax sosny` oby`knovennoj (*Pinus sylvestris* L.). *Pro-blemy` i puti resheniya. Izvestiya Sankt- Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2018; 224: 176-192. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2018.224.176-192>.
2. Piri T., Vainio E. J., Nuorteva H., Hantula J. High Seedling Mortality of Scots Pine Caused by *Heterobasidion annosum* s.s. *Forests*. 2021; 12(9): 1289. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12091289>.
3. Aref`ev Yu. F., Senf V. A. Kornevaya gubka (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) v sosnovy`x nasazhdeniyax srednerusskoj lesostepi i Floride – osobennosti kontrolya patogena. *Lesotekhnicheskij zhurnal*. 2017; 2: 6-11. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_5967e851486a54.19241386](https://doi.org/10.12737/article_5967e851486a54.19241386).

4. Sazonov A. A., Zvyaginets V. B. Analiz struktury` lesozashhitny`x meropriyatij v ochagax sosnovoj kornevoj gubki. Trudy BGTU. 2019; 1(2): 126-131. (In Russ.). URL: [https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/30291/1/Sazonov\\_Analiz\\_struktury.pdf](https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/30291/1/Sazonov_Analiz_struktury.pdf).
5. Ivanov V. P., Marchenko S. I., Glazun I. N., Nartov D. I. Ocenka vliyaniya morfometricheskix parametrov shishek na kachestvo semennogo materiala sosny obyknovnoy. Lesnoj zhurnal. 2018; 4: 19-30. (Izv. vy`ssh. ucheb. zavedenij). (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.4.19>.
6. Kuznetsova N. F., Klushevskaya Ye. S. Smena zhiznennogo sostoyaniya kak sposob vyzhivaniya *Pinus sylvestris* L. na tekhnogenno zagryaznennoy territorii. Printsipy ekologii. 2020; 2: 40-47. DOI: <https://doi.org/10.15393/j1.art.2020.10322>.
7. Kuznecova N. F., Klushevskaya E. S., Amineva E. Yu. Vy`sokoproduktivny`e sosnovy`e lesa v usloviyax izmeneniya klimata. Lesnoj zhurnal. 2021; 6: 9-23. (Izv. vy`ssh. ucheb. zavedenij). (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-6-9-23>.
8. Karasev V. N., Karaseva M. A., Mukhortov D. I. Diagnostika fiziologicheskogo sostoyaniya khvoynykh derev'yev po bioelektricheskim i temperaturnym pokazatelyam. Lesovedeniye. 2020; 2: 162-174. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0024114820010088>.
9. Kuznetsova N. F., Semenov M. A., Sautkina M. Yu. Pine Forests of East European Plain: Distribution Trends, Functions and Development Problems. Pinus: Growth, Distribution and Uses. New York, Nova Science Publishers, Inc. 2019: 1-47.
10. Chuprov A. V., Nakvasina Ye. N., Prozherina N. A. Izmenchivost' shishek sosnyobyknovnoy (*Pinus sylvestris* L.), proizrastayushchey v geograficheskikh kul'turakh Arkhangel'skoy oblasti. Lesnoj vestnik [Forestry Bulletin]. 2021; 25(3): 24-33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-3-24-3>.
11. Balekogu S., Calinskan S., Dirik H. Effects of geoclimatic factors on the variability in *Pinus pinea* cone, seed, and seedling traits in Turkey native habitats. Ecological Processes. 2020; 9: 55. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00264-3>.
12. Kuznetsova N. F., Klushevskaya Ye. S. Mekhanizmy vyzhivaniya *Pinus sylvestris* L. v zasukhu na tekhnogenno zagryaznennoy territorii. Printsipy ekologii. 2022; 2: 68-77. (In Russ.). URL: <http://ecopri.ru>.
13. Kukurina T. A., Kisternyy G. A. Osobennosti zhenskoy reproduksii v oslablyayushchikh Uchebno-opytного leskhoza BGTU. Aktual'nyye voprosy tekhniki, nauki, tekhnologii: Sb. nauch. tr. natsional'noy nauch. konf. (Bryansk, 05-09 fevralya 2019 g.). Bryansk. gos. inzhener.-tekhrol. un-t. Bryansk. 2019:57-60. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37185942>.
14. Kisternyy G. A. Zhenskaya reproduktivnaya sfera sosny obyknovnoy pri vozdejstvii oslablyayushchikh lesopatologicheskikh faktorov v nasazhdeniyakh Bryanskoj oblasti // Lesnoj zhurnal. 2016; 4: 89-99. (Izv. vyssh. ucheb. zavedenij). (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.4.89>.
15. Surso M. V. Mikrofenologiya zhenskogo reproduktivnogo cikla i struktura urozhayev semyan sosny obyknovnoy v severnoj tajge. Lesnoj zhurnal. 2015; 2: 50-60. (Izv. vyssh. ucheb. zavedenij). (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8416.2015.2.50-60>.
16. Kukurina T. A., Kisternyy G. A. Zhenskaya reproduktivnaya sfera derev'yev sosny obyknovnoy razlichnykh kategoriy sostoyaniya. Sreda, okruzhayushchaya cheloveka: prirodnyaya, tekhnogennaya, sotsial'naya: Mater. IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Bryansk, 23-25 aprelya 2020 g.). Bryansk. gos. inzhener.-tekhrol. un-t. Bryansk. 2020: 39-43. (In Russ.). URL: [http://bgitu.ru/upload/iblock/304/Sbornik\\_2020\\_sreda.pdf](http://bgitu.ru/upload/iblock/304/Sbornik_2020_sreda.pdf).
17. Ob utverzhdenii Pravil sanitarnoj bezopasnosti v lesakh. Postanovlenie Pravitelstva RF ot 9 dekabrya 2020 g. N 2047. (In Russ.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313#6540IN>(accessed 14.02.2022).
18. Pitkänen T. P., Piri T., Lehtonen A., Peltoniemi M. Detecting structural changes induced by Heterobasidion root rot on Scots pines using terrestrial laser scanning. Forest Ecology and Management. 2021; 492: 10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119239>.

19. Pavlov I. N. (et al.). Mass Reproduction of *Polygraphus proximus* Blandford in Fir Forests of Siberia Infected with Root and Stem Pathogens: Monitoring, Patterns, and Biological Control (2020). Contemporary Problems of Ecology. 2020; 13(1): 71-84. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995425520010060>.

20. Marchiulynas A. (et al.). Resistance of Scots pine half-sib families to *Heterobasidion annosum* in progeny field trials. Silva Fennica. 2020; 54(4): 1-17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.10276>.

### Сведения об авторе

✉ *Кистерный Григорий Анатольевич* – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры Лесное дело ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», пр. Станке Димитрова, 3, г. Брянск, Российская Федерация, 241037, e-mail: [kisterniy@mail.ru](mailto:kisterniy@mail.ru).

### Information about the author

✉ *Grigorii A. Kisternyi* – Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor of the Department of Forestry, Bryansk State Engineering Technological University, Dimitrov Stanke Ave., 3, Bryansk city, Russian Federation, 241037, e-mail: [kisterniy@mail.ru](mailto:kisterniy@mail.ru).

✉ Для контактов/Corresponding author