

Сведения об авторах

Алейников Алексей Александрович – старший научный сотрудник Лаборатории структурно-функциональной организации и устойчивости лесных экосистем ФГБУН Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, кандидат биологических наук, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: aaacastor@gmail.com.

Балухта Леонид Петрович – доцент кафедры лесного дела ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», кандидат сельскохозяйственных наук, г. Брянск, Российская Федерация, e-mail: leonbalukhta@gmail.com.

Владимирова Надежда Алексеевна – заместитель директора заповедника «Денежкин Камень» по научной работе, г. Североуральск, Российская Федерация, e-mail: nadiopt@gmail.com.

Квашина Анна Евгеньевна – директор заповедника «Денежкин Камень», магистр наук, г. Североуральск, Российская Федерация e-mail: akvaanna@gmail.com.

Information about authors

Aleinikov Aleksey Aleksandrovich – Senior Researcher of Laboratory of structural and functional organization and resilience of forest ecosystems of Center for Problems of Ecology and Productivity of Forests Russian Academy of Sciences, PhD in Biology, Moscow, Russian Federation, e-mail: aaacastor@gmail.com.

Balukhta Leonid Petrovich – Assistant professor of the department of forestry of Federal State Budget Educational Institutional of Higher Education “Bryansk State Technological University of Engineering”, PhD in Agriculture, Bryansk, Russian Federation, e-mail: leonbalukhta@gmail.com.

Vladimirova Nadezhda Alekseevna – Deputy Director for Science in Denejkin Kamen federal preserve, Severouralsk, Russian Federation; e-mail: nadiopt@gmail.com.

Kvashnina Anna Evgenievna – Director of Denejkin Kamen federal preserve, master of sciences, Severouralsk, Russian Federation; e-mail: akvaanna@gmail.com.

DOI: 10.12737/article_5b97a20dd07530.21107185

УДК 630*182.3

АВТОРЕГУЛЯЦИЯ ПАТОГЕНЕЗА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

доктор биологических наук, профессор **Ю. Ф. Арфьев**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Биотическая авторегуляция, понимаемая как внутренний адаптивный процесс биологических систем, способствующий возврату нарушенных биосистем к устойчивому развитию, является одной из важнейших свойств биологических, в частности лесных, систем. В автохтонных лесах автоматическая регуляция наиболее полно выражена и проявляется как в устойчивой жизнеспособности лесных экосистем, так в естественной регенерации эволюционно сформированных древостоев. Массовое распространение рядовых (линейных) монокультур (однопородных и одновозрастных) привело к резкому снижению роли автоматической регуляции патогенеза в искусственно создаваемых лесных насаждениях. В результате возникла проблема защиты леса в условиях эпифитотий. Применение химических и биологических пестицидов не решает проблему. Цель данной работы – радикальное усиление роли автоматической регуляции патогенеза в искусственно создаваемых лесах. Данная цель достигается посредством активизации ключевых механизмов авторегуляции в лесных сообществах – конкуренции, естественного отбора, инбридинга. Механизмы авторегуляции активируются на основе факторов специфической композиции лесообразующих пород и мозаичной структуры насаждений. Автоматическая регуляция патогенеза радикально повышает эффективность превентивной защиты насаждений от патогенных организмов, исключает необходимость применения химических и биологических пестицидов.

Ключевые слова: биотические факторы, устойчивое развитие, лесные экосистемы, патогенные организмы, эффект группы, инбридинг, конкуренция, естественный отбор.

AUTHOREGULATION OF PATHOGENESIS IN FOREST ECOSYSTEMS

DSc in Biology, Professor **Yu. F. Arefev**¹

1 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

Abstract

The biotic autoregulation, understood as the internal adaptive process of biological systems, promoting return of the broken biosystems to sustainable development, is one of the most important properties of biological, in particular forest, systems. In the autochthonic woods automatic regulation is most fully expressed and is shown as in steady viability of forest ecosystems, so in natural regeneration of evolutionarily created forest stands. Mass distribution of monocultures led to minimization of a role of automatic regulation of pathogenesis in artificially created forest plantings. The problem was strongly complicated by sporadically arising epiphytotic. Use of chemical and biological pesticides does not solve a problem. The purpose of this work is to strengthen considerably a role of automatic regulation of pathogenesis in artificially created forests. This objective is achieved by means of activation of key mechanisms of autoregulation in forest communities – the competition, natural selection, inbreeding. Mechanisms of autoregulation are activated on the basis of specific composition of forest species and mosaic structure of plantings. Automatic regulation of pathogenesis considerably increases efficiency of preventive protection of forest plantings against pathogenic organisms, excludes need of use of chemical and biological pesticides.

Keywords: biotic factors, sustainable development, forest ecosystems, pathogenic organisms, effect of group, inbreeding, competition, natural selection.

Введение

Биотическая авторегуляция, понимаемая как внутренний адаптивный процесс биологических систем, способствующий возврату нарушенных биосистем к устойчивому развитию, является одной из важнейших свойств биологических, в частности лесных, систем [1, 2, 3].

В автохтонных лесах автоматическая регуляция наиболее полно выражена и проявляется как в устойчивой жизнеспособности лесных экосистем, так в естественной регенерации эволюционно сформированных древостоев. Массовое распространение рядовых (линейных) монокультур (однопородных, одновозрастных, с низким уровнем генетического разнообразия) привело к резкому снижению роли автоматической регуляции патогенеза в искусственно создаваемых лесных насаждениях [5, 6, 7].

В результате возникла проблема защиты леса в условиях спорадически повторяющихся эпифитотий. Применение химических и биологических пестицидов не решает проблему.

Цель данной работы – радикальное усиление роли автоматической регуляции патогенеза в искусственно создаваемых лесах. Данная цель достигается посредством активизации ключевых механизмов ав-

торегуляции в лесных сообществах: конкуренции, естественного отбора, инбридинга.

Вопросы *внутривидовой межвидовой конкуренции* как первичного фактора долговременных изменений в процессах отмирания/выживания, жизнеспособности и регенерации насаждений рассмотрены в п. 3.1. Особенности *естественного отбора* в лесных насаждениях как фактора дифференцированной приспособленности (*fitness*) исследуемых популяций обсуждаются в п. 3.2. Фактор *инбридинга* представлен как наиболее практичный в настоящее время регулятор патогенеза в искусственно создаваемых лесных насаждениях (п. 3.3).

Механизмы автоматической регуляции патогенеза в искусственно создаваемых лесных насаждениях активируются на основе специфической композиции лесобразующих пород и мозаичной структуры насаждений.

Автоматическая регуляция патогенеза радикально повышает эффективность превентивной защиты лесных насаждений от патогенных организмов, прежде всего от грибов, поскольку сформированные на основе спонтанного формирования лесного биоценоза насаждения неблагоприятны для чрезмерного размножения и распространения патогенных орга-

низмов. Достаточно эффективная защита лесных насаждений осуществляется без применения химических и биологических пестицидов. Формируемые на основе автоматической регуляции лесные насаждения обычно удовлетворяют не только экологическим, но и экономическим требованиям.

Методология исследования

Количественные оценки исследуемых параметров сравнивались в условиях спонтанного развития насаждений лесных монокультур. Основные формулы, использованные для количественных оценок:

$$IH = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i, \quad (1)$$

где IH – индекс гетерогенности,

i – элементы гетерогенности,

p_i – вероятность элементов гетерогенности,

n – число групп исследуемых элементов.

$$D = \frac{\sum(an)}{N} 100\%, \quad (2)$$

где D – развитие болезни, %;

a – число учтённых растений соответствующего балла,

b – балл учтённого растения,

N – общее количество учтённых растений.

$$ID_{ph} = \frac{d_1 - d_2}{d_1}, \quad (3)$$

где ID_{ph} – фенотипический индекс инбридинговой депрессии,

d_1 – развитие болезни в открытых насаждениях,

d_2 – развитие болезни в экологически изолированных насаждениях.

Модельные объекты: аскомицет *Erisiphe alphitoides* (мучнистая роса дуба) и базидиомицет *Heterobasidion annosum* (корневая губка). Оба патогена являются широко распространёнными и экономически значимыми.

Шкала оценки жизнеспособности (*viability*) деревьев и насаждений: 5 – здоровые деревья (без симптомов инфекционных болезней и механических повреждений), 4 – ослабленные деревья (крона изрежена на 10-15 % и (или) тусклая), 3 – деревья большие 1-й степени (возможно восстановление здоровья), 2 – деревья большие 2-й степени (восстановление здоровья маловероятно), 1 – отмирающие деревья (доминируют отмершие ветви, зелёные элементы кроны незначительны), 0 – отмершие деревья (признаков жизни нет).

Исследования проводились в насаждениях Учебно-Опытного лесхоза ВГЛТУ, Воронежского биосферного заповедника, Воронежского, Калачеевского, Воронцовского (Шипов лес) лесничеств в период 2008-2017 гг. Экспериментальные насаждения отбирались в условиях произрастания S_2 . Возраст насаждений 10-60 лет, в зависимости от характера исследований.

Статистический анализ. Оценка существенности разности выборочных средних проводилась по t -критерию при 5 % уровне значимости.

Результаты и их обсуждение

1. Биотическая конкуренция как первичный фактор долговременных изменений в лесной экосистеме.

В результате межвидовой и внутривидовой конкуренции в лесных экосистемах выживают наиболее приспособленные особи, изменяется рост и развитие древесных растений, формируются условия для естественной регенерации насаждений. Первым этапом в исследовании этого процесса является определение минимальной площади, на которой индекс гетерогенности насаждений стабилизируется (рис.).

Как следует из рисунка, индекс гетерогенности (IH) исследуемого насаждения стабилизируется при минимальной площади выборки 0,25 га. Данный размер минимальная площадь является базисным при исследовании процессов спонтанного развития насаждений.

Формирование гетерогенности насаждений в очаге корневой губки (*H. annosum*) в результате естественного зарастания очага под действием преимущественно межвидовой конкуренции в сравнении с гетерогенностью монокультур сосны обыкновенной (*P. sylvestris*) представлено в табл. 1.

Как следует из табл. 1, общая гетерогенность естественно сформированных насаждений в более, чем в 4 раза выше, чем общая гетерогенность монокультур. Поскольку высоко гетерогенные насаждения, сформированные спонтанно более устойчивы к изменениям окружающей среды, следует заключить, что биотическая конкуренция как первичный фактор долговременных изменений в лесной экосистеме, способствует устойчивому развитию лесных экосистем.

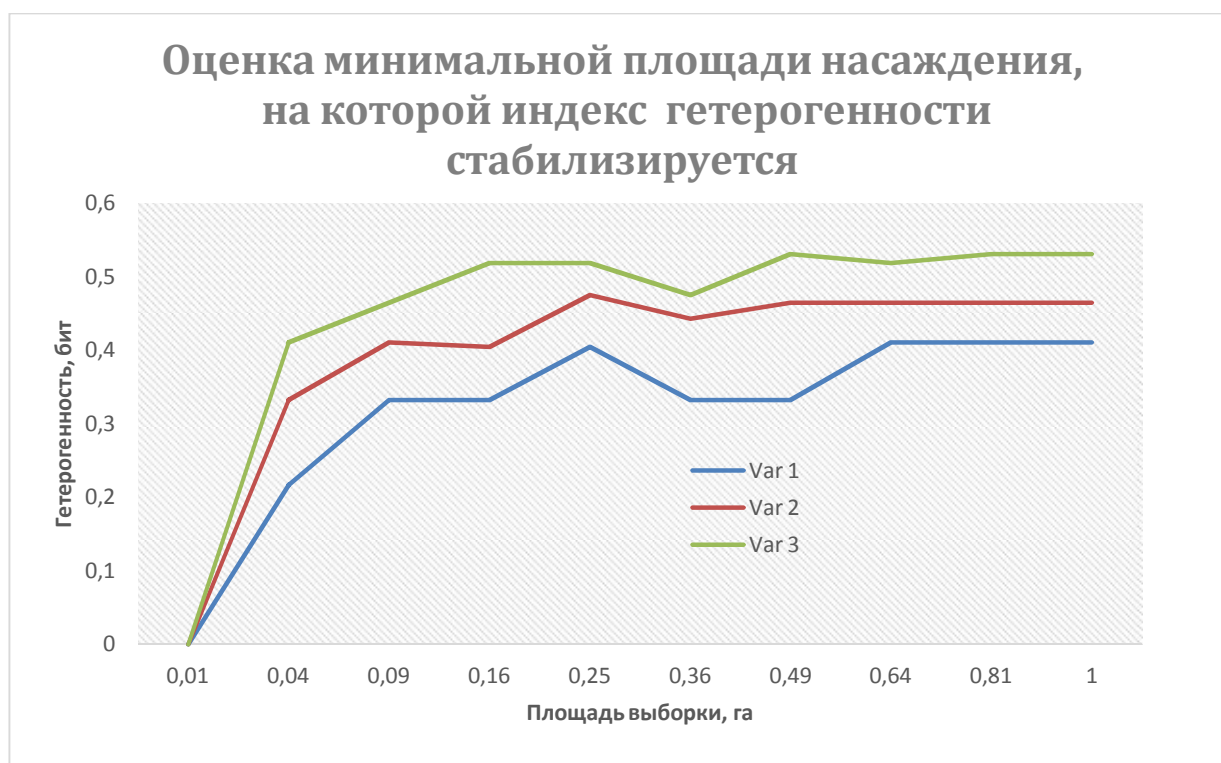


Рис. Динамика индекса гетерогенности насаждения в зависимости от величины выборки

Таблица 1

Гетерогенность естественно сформированных насаждений в очаге корневой губки (*H. annosum*) и монокультур сосны (*P. sylvestris*)

Насаждения в очаге корневой губки	Комплексы растений				Общая гетерогенность, бит
	Древо-стой	Под-рост	Подлесок	Травяной покров	
Естественно сформированные насаждения	1,68	1,84	1,91	1,36	6,97
Монокультуры сосны	0,72	0	0	0,92	1,64

2. Естественный отбор как ключевой механизм адаптации биологических популяций через смену генераций.

Поиск ключевых механизмов адаптации в лесных экосистемах основан на знании механизмов автохтонных или естественных лесов в относительно сходных экологических условиях. Таким образом, задача не в копировании лесных экосистем прошлых эпох, но в свободе функционирования механизмов биотической регуляции лесных сообществ.

Естественный отбор, действуя на наследуемые признаки и свойства растений, способствует выживанию наиболее приспособленных особей.

Адаптивность даёт популяциям шанс на выживание в изменяющемся мире. По существу, фенотипическая селекция формирует устойчивые лесные экосистемы через смену генераций. В зависимости от характера насаждений доминирует направленный, дизруптивный или стабилизирующий естественный отбор.

Автоматической регуляции патогенеза наиболее соответствует дизруптивный (разрывающий) естественный отбор на два или более предпочитаемых направлений. Основой дизруптивного отбора является достаточно высокий уровень биоразнообразия. Дизруптивный отбор особенно характерен для естественно сформированных экосистем. Срав-

нительное развитие инфекционных болезней в спонтанно сформированных насаждениях и монокультурах дуба черешчатого изучалось на примере мучнистой росы (табл. 2).

Как следует из табл. 2, развитие мучнистой росы в монокультурах дуба черешчатого значительно выше, чем в спонтанно сформированных насаждениях с участием дуба черешчатого. Таким образом, спонтанное развитие насаждений как основа естественного отбора, является одним из ключевых механизмов регуляции патогенеза в исследуемых лесных экосистемах

3. Инбридинг как регулятор патогенеза в лесных экосистемах.

Инбридинг, являясь результатом сексуального размножения близкородственных особей, обычен в дикой природе и широко используется в селекционной работе. Сущность инбридинга в повышении гомозиготности потомств, что может снижать приспособленность особей, в частности, патогенных для древесных растений организмов.

В данной работе определялся фенотипический эффект инбридинговой депрессии патогена

E. alphitoides на экологически изолированных участках площадью $\approx 0,25$ га дуба черешчатого. Экологическая изоляция исследуемых участков достигалась мозаичной структурой насаждений. Определялись параметры развития патогена (табл. 3).

Как следует из табл. 3, развитие мучнистой росы дуба в экологически изолированных насаждениях более чем в три раза меньше, чем в открытых в открытых насаждениях. Данный феномен показывает, что группа патогена в пределах ограниченного участка ($\approx 0,25$ га) ослаблена. Об этом же свидетельствуют фрагменты морфологических параметров и фенотипической индекс инбридинговой депрессии ($ID_{ph} = 0,28$).

Заключение

Автоматическая регуляция патогенеза в лесных экосистемах достигается в результате активации природных механизмов биотической интеграции – межвидовой и внутривидовой конкуренции, естественного отбора, инбридинга. Активация интеграционных механизмов происходит на специфической основе композиции и структуры насаждений.

Таблица 2

Развитие мучнистой росы (*E. alphitoides*) на листьях дуба черешчатого в спонтанно сформированных насаждениях и монокультурах в очаге корневой губки

Насаждения в очаге корневой губки	Развитие болезни, %
Монокультуры дуба черешчатого	83,6
Спонтанно сформированные насаждения с 30-45 % участием дуба черешчатого	12,7

Таблица 3

Развитие мучнистой росы на листьях дуба черешчатого в открытых и экологически изолированных насаждениях

Насаждения	Развитие болезни, %	Размер конидий, μm		Параметры клейстотеций	
		Длина	Ширина	Диаметр, μm	Плотность, n/cm^2
Открытые насаждения	78	32	18	99	64
Экологически изолированные насаждения	16	24	13	74	8

Библиографический список

1. Арефьев, Ю. Ф. Инбридинг как фактор регуляции патогенеза в лесных экосистемах [Текст] / Ю. Ф. Арефьев // Матер. V Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы биологии, нанотехнологий и медицины». – Ростов н/Д., 2013. – С. 422-433.
2. Артюховский, А. К. К вопросу создания в очагах корневой губки сосновых насаждений, устойчивых к грибной инфекции [Текст] / А. К. Артюховский, В. Н. Скрыпников, Ю. Ф. Арефьев // Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования : сб. статей. – Воронеж, 1993. – С. 76-78.
3. Acek, S. V. Minimum area of forests left to spontaneous development in protected areas [Text] / S. V. Acek // Journal of forest science. – 2003. – Vol. 49. – No. (8). – P. 349-358.
4. Arefjev, Yu. F. Entropy as a measure of biodiversity of the forest ecosystems [Text] / Yu. F. Arefjev // Analysis and synthesis of complex systems in nature and technology. – 2013. – P. 341-344.
5. Shannon, C. E. A mathematical theory of communication [Text] / C. E. Shannon // The Bell System Technical Journal, 27. – 1948. – P. 379-423, 623-656.

References

1. Arefyev Yu. F. *Inbreeding kak faktor regulyatsii patogeneza v lesnykh ekosistemakh* [Inbreeding as a factor in the regulation of pathogenesis in forest ecosystems] *Mat-ly V Mezhdunar. Nauchno-prakt. konf. «Aktualnyye problemy biologii. nanotekhnologii i meditsiny»* [Materials of the V Intern. Scientific Practical conf. "Actual problems of biology, nanotechnology and medicine]. Rostov-on-Don, 2013, pp. 422-433.
2. Artyukhovskiy A. K., Skrypnikov V. N., Arefyev Yu. F. *K voprosu sozdaniya v ochagakh kornevoy gubki sosnovykh nasazhdeniy. ustoychivykh k gribnoy infektsii* [On the creation of pine stands resistant to fungal infection in the foci of the root sponge] *Sosnovyye lesa Rossii v sisteme mnogotsелеvogo lesopolzovaniya: Sb. statey.* [Pine forests of Russia in the system of multi-purpose forest management: Sat. articles] Voronezh, 1993, pp. 76-78.
3. Acek S. V. Minimum area of forests left to spontaneous development in protected areas. *Journal of forest science*, 49, 2003 (8), pp. 349-358.
4. Arefjev Y. F. Entropy as a measure of biodiversity of the forest ecosystems. *Analysis and synthesis of complex systems in nature and technology*, 2013, pp. 341-344.
5. Shannon C. E. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27 – 1948, pp. 379-423, 623-656.

Сведения об авторе

Арефьев Юрий Фёдорович – профессор кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор биологических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: arefjev@voronezh.net.

Information about author

Arefev Yuriy Fedorovich – Professor, Department of ecology, forest protection and forest hunting management of Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc in Biology, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: arefjev@voronezh.net