

УДК 630\*165.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.61

## ПРОГНОЗ И КОНТРОЛЬ ПАТОГЕНЕЗА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

*Ю.Ф. Арефьев, д-р биол. наук, проф.*

*М.М. Мамедов, канд. биол. наук, ассист.*

Воронежская государственная лесотехническая академия, ул. Тимирязева, д. 8,  
г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: arefjev@voronezh.net

Прогноз патогенеза в лесных, преимущественно гомогенных экосистемах в силу его многофакторности всегда вероятностный. Достаточно высокая степень детерминированности прогноза возможна в более сложных гетерогенных насаждениях. В сложных лесных экосистемах вероятностный прогноз патогенеза замещается на близкий к детерминированному прогноз, который может быть основой для контроля патогенеза. Для гомогенных лесных насаждений непредсказуемость эпифитотий, в то время как для гетерогенных насаждений характерны плавные достоверно предсказуемые флуктуации патогенеза. При этом патогены часто переходят к сапротрофному питанию. Этот феномен особенно характерен для высоко гетерогенных мозаичных насаждений. Иерархия целей исследований данной работы состоит в том, чтобы через достаточно детерминированный прогноз обеспечить эффективный контроль патогенеза и предложить концептуальные модели формирования устойчивых к патогенным организмам насаждений. Лесные насаждения как биологические системы характеризуются повышенной сложностью и динамичностью. Влияние на патогенез многих изменяющихся факторов создает хаотичность, широко распространенную в природе. Актуальная задача заключается в том, чтобы хаотичное поведение лесных экосистем преобразовать в регулируемый процесс. При этом долгосрочные прогнозы патогенеза должны стать менее зависимыми от внешних воздействий и определяться преимущественно внутренними факторами биосистемы. Методология исследований основана на приложении схемы трехфакторного анализа влияния исследуемых факторных групп на жизнеспособность (состояние здоровья) насаждений. Исследования проводились в различных по уровню гетерогенности насаждениях Среднерусской лесостепи в течение последних 10 лет. Установлено, что по силе влияния доминировала окружающая среда. Факторы влияния популяции патогена и популяции хозяйственных растений были модифицирующими. Чтобы долгосрочные прогнозы патогенеза стали менее зависимыми от внешних влияний и зависели больше от внутренних факторов биосистем, рекомендуется переходить от обычных в Среднерусской лесостепи гомогенных насаждений к гетерогенным.

*Ключевые слова:* контроль патогенеза, лесная экосистема, болезни леса.

### *Введение*

Патогенез, понимаемый как возникновение и развитие инфекционных болезней, в лесных экосистемах специфичен. Специфика заключена в характере

---

*Для цитирования:* Арефьев Ю.Ф., Мамедов М.М. Прогноз и контроль патогенеза в лесных экосистемах // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 61–69. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.61

отношений паразит–хозяин: резистентность древесных растений противостоит вирулентности патогена. В этой борьбе за жизнь лесные древесные растения проигрывают, поскольку наиболее значимые в настоящее время патогены – грибы – размножаются и сексуально, и асексуально, в то время как их хозяинные лесные древесные породы размножаются в природе только сексуально, т. е. в процессе смен фаз ядра. В этом различии – главное преимущество патогенных грибов.

Другое преимущество патогенных грибов заключается в том, что для них характерен быстрый темп смены генераций, в то время как у лесных древесных пород темп смены генераций медленный. В результате патогенные грибы по сравнению с древесными породами-хозяевами биологически более успешны – продуцируют и широко распространяют наиболее вирулентные штаммы. Чтобы этому успешно противостоять, необходимы прогноз и контроль патогенеза в лесных экосистемах. Патогенез в лесных экосистемах находится под воздействием трех основных групп факторов:

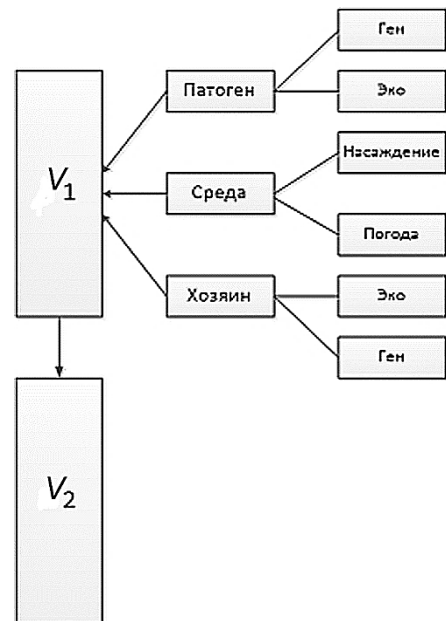
*A* – состояние популяции патогена;

*B* – состояние окружающей среды;

*C* – состояние популяции древесной породы хозяинного растения – хозяина (рис. 1).

Трехуровневая система (с изменяющимися параметрами) регуляции патогенеза в лесных экосистемах всегда имеет вероятностный характер и зависит от начального состояния объекта ( $V_1$ ). Поведение такой биосистемы целесообразно изучать посредством дисперсионного анализа экспериментальных данных путем исследования значимости различий полученных средних значений.

Рис. 1. Трехуровневая система регуляции патогенеза в лесных экосистемах:  $V_1$  – жизнеспособность насаждений начальная;  $V_2$  – жизнеспособность тех же насаждений через некоторое время после воздействия трехуровневой системы регуляции



Иерархия целей исследований состоит в том, чтобы через прогноз патогенеза обеспечить его достаточно эффективный контроль и предложить концептуальные модели формирования насаждений, устойчивых к патогенным организмам в различных условиях произрастания. Лесные насаждения как биологические системы характеризуются повышенной сложностью и динамичностью. Влияние на патогенез многих изменяющихся факторов создает хаотичность, широко распространенную в природе. Задача заключается в том, чтобы хаотичное поведение лесных экосистем преобразовать в регулируемое. При этом долгосрочные прогнозы патогенеза должны стать менее зависимыми от внешних воздействий и определяться преимущественно внутренними факторами биосистемы.

*Объекты и методы исследования*

Исследования проводили в преимущественно искусственно созданных гомогенных и гетерогенных насаждениях Среднерусской лесостепи в течение 10 лет. Жизнеспособность деревьев и насаждений оценивали по 5-балльной шкале (табл. 1).

Таблица 1

**Шкала оценки состояния здоровья деревьев и насаждений**

Патологическая характеристика деревьев и насаждений	Жизнеспособность, балл
Здоровые деревья – без видимых признаков ослабления или повреждений	5
Ослабленные деревья – наблюдается небольшая ажурность крон или тусклость листвы (хвои); прирост нормальный для данной породы и условий произрастания	4
Больные деревья – ажурность крон значительна ( $\approx 30\%$ ), могут быть хорошо заметные следы смолоподтеков (у хвойных) или сокотечения (у лиственных пород)	3
Отмирающие деревья – живых элементов в кроне $\approx 75\%$ , на стволе могут быть следы жизнедеятельности стволовых насекомых, прежде всего короедов или златок; прирост отсутствует	2
Отмершие деревья – без признаков жизни; обычные следы жизнедеятельности стволовых насекомых	1

Примечание. Статистические данные достоверны при уровне значимости 0,05.

Оценку влияния факториальных групп на жизнеспособность насаждений проводили по схеме трехфакторного комплекса (табл. 2).

Таблица 2

## Схема трехфакторного дисперсионного анализа

Фактор <i>B</i> – окружающая среда	Фактор <i>A</i> – популяция патогена			
	<i>A</i> <sub>1</sub>		<i>A</i> <sub>2</sub>	
	Фактор <i>C</i> – популяция хозяйного растения			
	<i>C</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>2</sub>	<i>C</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>2</sub>
<i>B</i> <sub>1</sub>	<i>V</i> <sub>1-3</sub>	<i>V</i> <sub>4-6</sub>	<i>V</i> <sub>7-9</sub>	<i>V</i> <sub>10-12</sub>
<i>B</i> <sub>2</sub>	<i>V</i> <sub>13-15</sub>	<i>V</i> <sub>16-18</sub>	<i>V</i> <sub>19-21</sub>	<i>V</i> <sub>22-24</sub>
<i>B</i> <sub>3</sub>	<i>V</i> <sub>25-27</sub>	<i>V</i> <sub>28-30</sub>	<i>V</i> <sub>31-33</sub>	<i>V</i> <sub>34-36</sub>
<i>B</i> <sub>4</sub>	<i>V</i> <sub>37-39</sub>	<i>V</i> <sub>40-42</sub>	<i>V</i> <sub>43-45</sub>	<i>V</i> <sub>46-48</sub>

Примечание. *V* – жизнеспособность насаждения, определяемая в каждом варианте в трех повторностях.

## Результаты исследования и их обсуждение

Сравнительная сила влияния ( $\eta^2$ ) трех факториальных групп (рис. 1) на жизнеспособность насаждений представлена в табл. 3.

Таблица 3

## Сила влияния трех групп факторов на патогенез

Факториальная группа	$F_{\text{факт}}$	$\eta^2$
<i>A</i> – популяция патогена	56,24	0,16
<i>B</i> – окружающая среда	197,42	0,73
<i>C</i> – популяция хозяйного растения	147,50	0,09

Примечание. Критерий Фишера теоретический  $F_{05} = 4,17$ .

Как следует из табл. 3, по силе влияния за период исследований доминировала факториальная группа *B* – окружающая среда ( $\eta^2 \approx 0,73$ ). Другие группы факторов играли модифицирующую роль. Многообразие изменяющихся факторов влияния обуславливает вероятностный характер прогноза патогенеза. Детерминированность прогноза патогенеза достигалась в достаточно гетерогенных насаждениях и была вероятностной в гомогенных. В гетерогенных насаждениях активность патогенеза оставалась в период наблюдений стабильно низкой.

Практический вывод заключается в том, что в условиях Среднерусской лесостепи необходимо повсеместно переходить от наиболее распространенных гомогенных насаждений к гетерогенным. В зависимости от условий произрастания предлагаются два варианта формирования насаждений (рис. 2, 3).

Схема дубово-сосново-березовой квадруппы (рис. 2) рекомендуется для условий свежей судубравы *C*<sub>2</sub>. В таком насаждении подавляются популяции важнейших патогенных грибов – мучнистой росы (*Erisiphe alphitoides*) и корневой губки (*Heterobasidion annosum*). Совокупность квадруппы формирует мозаичность – по сути неоднородность лесной экосистемы, вызванную относительно равномерным расположением в сообществе двух или более типов парцелл. Каждая парцелла является структурной частью биогеоценоза, имеющего определенный состав компонентов, структуру, специфику связей.

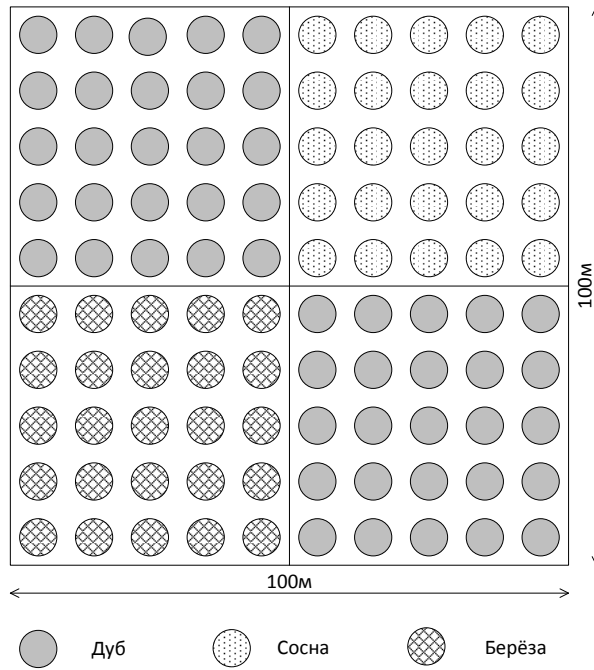


Рис. 2. Схема дубово-сосново-березовой квадрогруппы

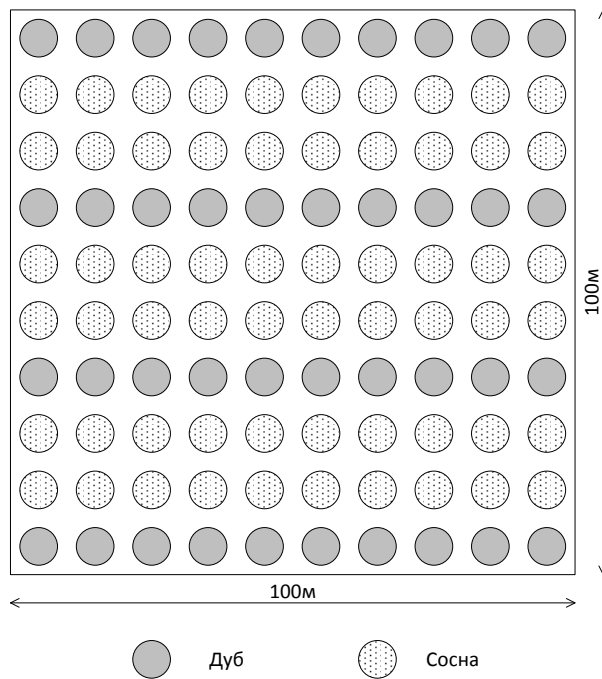


Рис. 3. Схема сосново-дубового насаждения

Парцеллярность способствует развитию авторегуляции в биологических системах, групповое размещение деревьев повышает биорезистентность насаждений [5], их устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды.

В квадрогруппе затрудняется перемещение спор патогенных грибов. Случайно возникающие микроочаги патогенов локальны и постепенно затухают, поскольку в них формируется инбридинг [2]. Подавление популяций патогенных организмов в условиях макробиогрупп отмечено в работах А.К. Артюховского и др. [4], Б.М. Алимбека [1], Ю.А. Арефьева [6].

В прогалинах между биогруппами дуба, сосны и березы формируется естественный биоценоз, повышающий общее биоразнообразие [3, 7], а следовательно, и устойчивость насаждений. Прогалины и предложенный состав древесных пород способствуют микоризообразованию. Микоризные древесные растения более устойчивы к инфекционным болезням, недостатку воды и питания.

Схема сосново-дубовых линейных насаждений (рис. 3) рекомендуется для борových условий  $A_2$ . Данная структура древостоя надежно защищает сосну от корневой губки (*H. annosum*). Мощные корневые системы дуба черешчатого переплетают поверхностные корневые системы сосны обыкновенной, удерживают деревья сосны от раскачивания, способствуют заживлению язв корневой губки (рис. 4).

Расстояния между деревьями в квадрогруппах преимущественно 120 см, но могут изменяться в зависимости от конкретных условий произрастания. Густота посадки также может значительно варьировать, но остается в пределах 5...6 тыс. шт. / га.



Рис. 4. Переплетение корней сосны (слева) и дуба (справа), способствующее выживанию сосны в очагах корневой губки

*Заключение*

Экотонный характер насаждения способствует развитию и распространению эктомикоризных грибов, естественному микоризообразованию. Экотонны – реальные дискретные структуры растительного покрова, имеющие специфические свойства. В их пределах могут формироваться особые, часто со сложной мозаичной экологической структурой, типы местообитания. Эти особенности обуславливают формирование видовых комплексов и группировок. В экотонах изменяются популяционные характеристики биологических видов. В сосново-дубовых экотонах корни дуба, переплетаясь с корнями сосны, формируют общую корневую систему, удерживают деревья сосны от расшатывания ветром и ветровала.

Предложенные модели формирования насаждений древесных растений создают основу для автоматического контроля системного патогенеза. Поведение сложных динамических лесных экосистем контролируется прежде всего составом древесных пород и структурой насаждения. Особенно чувствительны такие биосистемы к их начальному состоянию.

Таким образом, проблема контроля патогенеза в лесных динамических экосистемах решается через формирование гетерогенных насаждений, устойчивых к внешним и внутренним изменениям. В гомогенных насаждениях патогенез практически непредсказуем и трудно контролируем.

Изложенный подход к формированию лесных насаждений прошел многолетнюю апробацию в условиях Среднерусской лесостепи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алимбек Б.М.* Механизированные равномерно-групповые рубки как средство улучшения состояния и продуктивности дубрав Казанского Поволжья // Состояние и пути улучшения дубрав РСФСР. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 1975. С. 70–84.
2. *Арефьев Ю.Ф.* Инбридинг как фактор регуляции патогенеза в лесных экосистемах // Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы биологии, нанотехнологий и медицины». Ростов н/Д., 2013. С. 422–433.
3. *Арефьев Ю.Ф.* Энтропия как мера биоразнообразия в лесных экосистемах // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2013. № 5. С. 341–344.
4. *Артюховский А.К., Скрыпников В.Н., Арефьев Ю.Ф.* К вопросу создания в очагах корневой губки сосновых насаждений, устойчивых к грибной инфекции // Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования: сб. ст. Воронеж: Воронеж. лесотехн. ин-т, 1993. С. 76–78.
5. *Харченко Н.А., Арефьев Ю.Ф.* Эффект группы в повышении биорезистентности насаждений // Лесн. журн. 1999. № 6. С. 18–21. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Arefjew Yu.F.* Genetisch-ökologische Aspekte des Forstschutyes // Der Wald. 1995. Vol. 7. S. 238–239.
7. *Ramos R.G., Olden K.* Gene-Environment Interactions in the Development of Complex Disease Phenotypes // Int. J. Environ. Res. Public. Health. 2008. Vol. 5(1). Pp. 4–11.

Поступила 30.01.17

UDC 630\*165.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.61

### Prediction and Control of Pathogenesis in Forest Ecosystems

*Yu.F. Aref'ev, Doctor of Biological Sciences, Professor*

*M.M. Mamedov, Candidate of Biological Sciences, Assistant*

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: arefjev@voronezh.net

The pathogenesis prognosis in the forest, mainly homogeneous ecosystems, is always probabilistic due to its multifactorial nature. A sufficiently high degree of the forecast determinancy is possible in more complex heterogeneous plantations. In the complex forest ecosystems, the probabilistic forecast of pathogenesis is replaced by a prediction that is close to the deterministic one, which can be the basis for the pathogenesis controlling. The epiphytotic unpredictability is characteristic for homogeneous forest plantations, while smooth predictably pathogenesis fluctuating is typical for heterogeneous plantations. In this case, pathogens often pass to saprotrophic nutrition. This phenomenon is especially characteristic for highly heterogeneous mosaic plantations. The hierarchy of goals of this work is to ensure the effective control of pathogenesis through a sufficiently deterministic forecast and to suggest conceptual models for the formation of plantations resistant to pathogenic organisms. Forest plantations as the biological systems are characterized by increased complexity and dynamism. The influence of many changing factors on the pathogenesis creates the state of chaos, widespread in nature. The relevant objective is to transform the chaotic behavior of forest ecosystems into a regulated process. The long-term pathogenesis predictions should become less dependent on external influences and be determined mainly by internal factors of the biosystem. The research methodology is based on the application of a three-factor analysis of the effect of the studied factorial groups on the viability of plantations. The studies were carried out in stands of the various heterogenetic level in the Middle Russian forest steppe during the last 10 years. The environment dominated according to the influence strength. Factors of influence of the pathogen population and the host plants population were modifying. We recommend to change the conventional homogeneous plantations in the Central Russian forest-steppe for heterogeneous ones to make the long-term pathogenesis predictions less dependent on external influences but more on internal factors of biosystems.

*Keywords:* pathogenesis control, forest ecosystem, forest disease.

### REFERENCES

1. Alimbek B.M. Mekhanizirovannye ravnomerno-gruppovyye rubki kak sredstvo uluchsheniya sostoyaniya i produktivnosti dubrav Kazanskogo Povolzh'ya [Mechanized Group Cutting as a Means of Improving the Condition and Productivity of the Oak Forests in the Kazan Volga Region]. *Sostoyanie i puti uluchsheniya dubrav RSFSR* [The Condition and Ways to Improve the Oak Forests of the RSFSR]. Voronezh, 1975, pp. 70–84.

---

*For citation:* Aref'ev Yu.F., Mamedov M.M. Prediction and Control of Pathogenesis in Forest Ecosystems. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 61–69. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.61



2. Aref'ev Yu.F. Inbriding kak faktor regulyatsii patogeneza v lesnykh ekosistemakh [Inbreeding as a Regulation Factor of Pathogenesis in Forest Ecosystems]. *Materialy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Aktual'nye problemy biologii, nanotekhnologiy i meditsiny»* [Proc. 5th Intern. Sci. Prac. Conf. "Actual Problems of Biology, Nanotechnology and Medicine"]. Rostov-on-Don, 2013, pp. 422–433.

3. Aref'ev Yu.F. Entropiya kak mera bioraznoobraziya v lesnykh ekosistemakh [Entropy as a Measure of Biodiversity of the Forest Ecosystems]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Analysis and Synthesis of Complex Systems in Nature and Technology], 2013, no. 5, pp. 341–344.

4. Artyukhovskiy A.K., Skrypnikov V.N., Aref'ev Yu.F. K voprosu sozdaniya v ochagakh kornevoy gubki osnovnykh nasazhdeniy, ustoychivyykh k gribnoy infektsii [On the Issue of Creating of Pine Plantations Resistant to Fungus Infection in the Centers of Pine Fungus]. *Sosnovye lesa Rossii v sisteme mnogotselevogo lesopol'zovaniya* [Pine Forests of Russia in the System of Multipurpose Forest Management]. Voronezh, 1993, pp. 76–78.

5. Kharchenko N.A., Aref'ev Yu.F. Effekt gruppy v povyshenii biorezistentnosti nasazhdeniy [The Group Effect in Increasing the Bio-Resistance of Plantations]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1999, no. 6, pp. 18–21.

6. Aref'ev Ju.F. Genetisch-ökologische Aspekte des Forstschutyes. *Der Wald*, 1995, vol. 7, pp. 238–239.

7. Ramos R.G., Olden K. Gene-Environment Interactions in the Development of Complex Disease Phenotypes. *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, 2008, vol. 5(1), pp. 4–11.

Received on January 30, 2017

---