

## Сведения об авторах

*Копылов Николай Петрович* – главный научный сотрудник, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, доктор технических наук, профессор, г. Балашиха, Российская Федерация; e-mail: fdv982@mail.ru

*Москвилин Евгений Александрович* – начальник сектора, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, кандидат технических наук, г. Балашиха, Российская Федерация; e-mail: fdv982@mail.ru

*Федоткин Дмитрий Вячеславович* – заместитель начальника отдела, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, кандидат технических наук, г. Балашиха, Российская Федерация; e-mail: fdv982@mail.ru

*Стрижак Павел Александрович* – профессор кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, доктор физико-математических наук, профессор, г. Томск, Российская Федерация; e-mail: pavelspa@tpu.ru

## Information about authors

*Kopylov Nikolay Petrovich* – Main Researcher The Badge of Honour Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection, Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, DSc in Engineering, Professor, Balashikha, Russian Federation; e-mail: fdv982@mail.ru

*Moskvilin Evgeny Alexandrovich* – Chief of the Sector, The Badge of Honour Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection, Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, PhD in Engineering, Balashikha, Russian Federation; e-mail: fdv982@mail.ru

*Fedotkin Dmitry Vyacheslavovich*<sup>1</sup> – Deputy Chief of the Department, The Badge of Honour Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection, Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, PhD in Engineering, Balashikha, Russian Federation; e-mail: fdv982@mail.ru

*Strizhak Pavel Alexandrovich* – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Heat and Power Process Automation, Tomsk National Research Polytechnic University, DSc of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Tomsk, Russian Federation; e-mail: pavelspa@tpu.ru

DOI:

УДК 630\*4+632

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАБЛЮДАЕМЫХ ЭФФЕКТОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ К УГРОЗЕ МАССОВЫХ РАЗМНОЖЕНИЙ ВРЕДИТЕЛЕЙ И БОЛЕЗНЕЙ ЛЕСА

доктор физико-математических наук **Т. С. Королева**<sup>1</sup>

кандидат сельскохозяйственных наук **А. В. Константинов**<sup>1</sup>

**Е. А. Кушнир**<sup>2</sup>

1 – ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

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

Целью проведения оценки воздействий изменения климата на устойчивость лесных экосистем является выявление уязвимости и рисков в сфере лесного хозяйства, понимание причинно-следственных связей для выработки стратегии, которая позволила бы избежать негативных последствий климатических изменений. Устойчивость – показатель, характеризующий способность системы сопротивляться воздействию неблагоприятных последствий изменения климата (угроз) и справиться с ними. В исследуемом случае устойчивость лесных экосистем является функцией изменения климата (то есть воздействия, которому она подвергается) и ее чувствительности. В работе впервые к задачам лесного хозяйства применена методика оценки устойчивости системы, разработанная в Германии. Рассчитаны показатели угрозы массовых размножений вредителей и болезней леса, обусловленные климатическими изменениями, и определены

величины устойчивости лесных экосистем в разрезе лесорастительных зон Российской Федерации. Установлено, что основная площадь лесов достаточно устойчива к воздействию исследованного фактора. Анализ данных по лесопатологической ситуации лесорастительных зон Российской Федерации показал, что в ряде регионов угроза гибели лесов от болезней и вредителей леса минимальна. Наиболее уязвимыми для насекомых-вредителей и болезней леса являются лесные территории Европейско-Уральской части России. Наблюдающийся линейный тренд повышения средних годовых аномалий температур у поверхности земли, а также осадков коррелирует с трендом увеличения площадей гибели лесов Российской Федерации от вредителей и болезней и может быть одним из факторов, способствующих снижению устойчивости лесных экосистем к данной угрозе. Своевременное проведение санитарно-оздоровительных мероприятий позволит минимизировать потери лесной растительности от болезней и вредных насекомых и в определенной степени нивелировать неблагоприятные эффекты климатической изменчивости.

**Ключевые слова:** лесные экосистемы, устойчивость системы, угрозы, ожидаемые климатические изменения, насекомые-вредители и болезни леса

### THE IMPACT OF CLIMATE VARIABILITY ON THE SUSTAINABILITY OF RUSSIAN FOREST ECOSYSTEMS FROM THREAT OF INCREASE PESTS AND DISEASES

DSc in Physical and Mathematical Sciences **T. S. Koroleva**<sup>1</sup>

PhD in Agriculture **A. V. Konstantinov**<sup>1</sup>

**E. A. Kushnir**<sup>2</sup>

1 – Federal State Budgetary Institution «Voyeykov Main geophysical Observatory», Saint-Petersburg, Russian Federation

2 – 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 purpose of the assessment of climate changes influence on the forest ecosystems stability is to identify vulnerabilities and risks in the field of study, understanding cause-effect relationships to develop a strategy against negative consequences. Sustainability – is the measure of the system's ability to resist of climate change effects (threats) and to cope with them. In this case forest ecosystems stability is a function of climate change and its sensitivity. For the first time, method of estimating system stability for investigation of the forestry problems, developed in Germany, was used. Threat indicators (mass outbreaks of pests and diseases) caused by climate change were calculated, and the value of forest ecosystem sustainability in Russian Federation is determined. It was found that the main forest area is sufficiently resistant to investigated factors. Data analysis on sanitary situation of forest vegetation zones of the Russian Federation indicated that, in some regions, the threat of loss because of forest diseases and pests in the forest is minimal one. Forest areas of the European-Ural part of Russia are the most vulnerable to insect pests and forest diseases. A linear trend of increasing average annual temperature anomalies at the surface and the average annual precipitation anomalies are correlates with the trend of forest destruction from pests and diseases. It could be one of the factors contributing to the decrease of forest ecosystems stability to this threat. Timely sanitary measures will minimize the loss of forest vegetation from diseases and pests and, to some extent, neutralize the adverse effects of climate variability.

**Keywords:** forest ecosystems, system stability, threats, expected climate changes, pests and forest diseases

#### Введение

Целью проведения оценки воздействий изменения климата на устойчивость лесных экосистем является выявление уязвимости и рисков в исследуемой сфере, понимание причинно-следственных связей для выработки стратегии, которая позволила бы в перспективе избежать негативных последствий климатических изменений.

Устойчивость системы – это степень, в которой система может сопротивляться воздействию неблагоприятных последствий изменения климата (угроз) и в состоянии справиться с ними. В данном случае устойчивость лесных экосистем является функцией изменения климата (т. е. воздействия, которому она подвергается) и ее чувствительности.

Воздействие является важным компонентом ус-

тойчивости, которое непосредственно связано с климатическими параметрами, то есть, характером, величиной и скоростью колебаний и изменением климата. Типичные факторы воздействия включают в себя температуру, осадки, испаряемость и климатическую составляющую водного баланса, а также экстремальные погодные явления (шквальный ветер, грозы, засухи, ливни, град). Изменение этих параметров может вызывать значительное дополнительное напряжение в системе.

Чувствительность – это степень положительной или отрицательной реакции системы на какое-то воздействие изменения климата. Прежде всего, она определяется природными и/или физическими свойствами системы, способностью противостоять различным неблагоприятным факторам. Чувствительность системы также зависит от деятельности человека, влияющей на ее физическое состояние, такой как способ ведения лесного хозяйства, управление водными ресурсами, истощение почвы, от демографического давления и др.

Необходимо отметить так называемое потенциальное воздействие на систему, которое определяется в сочетании двух факторов – воздействия и чувствительности при изменении климата. Например, сильный дождь (воздействие) в сочетании с крутыми склонами и грунтами с высокой вероятностью оползней и селей (чувствительность) приведет к эрозии (потенциальное воздействие).

В связи с ожидаемыми климатическими изменениями [2, 3, 5] прогнозируется проявление совокупности взаимосвязанных и взаимообусловленных угроз устойчивости лесных экосистем, таких как повышение вероятности возникновения пожаров, экстремальных погодных явлений и вспышек численности насекомых-вредителей.

Установление этих связей позволит объяснить механизмы влияния погодно-климатических и трофических факторов (количества и качества пищи) на развитие насекомых, а также погодных условий и вредных организмов на состояние насаждений. Понимая эти механизмы, признавая цикличность процессов, происходящих в природе, и зная тенденцию их развития, можно заблаговременно прогнозировать состояние популяций вредных организмов и санитарное состояние лесов в различных регионах России [6].

### Методика

Для оценки воздействия климатических изме-

нений на устойчивость лесных экосистем Российской Федерации в плане угрозы массовых размножений вредителей и болезней леса за основу был взят методологический подход, разработанный Федеральным министерством экономического сотрудничества и развития Германии [9]. Методика была апробирована в самой Германии для оценки внутренней уязвимости различных секторов экономики на различных административных уровнях, а также прошла апробацию в разных регионах Земного шара в области водного и фермерского хозяйства и показала свою действенность.

Авторы статьи впервые применили данную методику в сфере лесного хозяйства, учитывая при этом рекомендации, выработанные Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) [7].

В рамках выбранной методики имеющиеся статистические данные соотносятся (нормируются) по общей шкале устойчивости системы от «0» (оптимально, без необходимости или возможности улучшения) до «1» (критично, система больше не функционирует).

Если анализируемые данные относятся к метрическим величинам, они нормируются методом MIN-MAX. Данный метод преобразует все имеющиеся значения в диапазон от 0 до 1 с использованием следующей формулы:

$$X_{i,0-1} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

где  $X_i$  – отдельные точки данных для преобразования;

$X_{min}$  – наименьшее значение показателя;

$X_{max}$  – наибольшее значение показателя;

$X_{i,0-1}$  – новое вычисляемое значение, то есть нормированный показатель в диапазоне от 0 до 1.

Более низкие значения нормированных показателей отражают меньшую уязвимость, а более высокие значения – большую уязвимость системы.

На основе анализа различных подходов к оценке устойчивости какой-либо системы к климатическим воздействиям установлено, что чаще всего фактически принимается концепция, в которой устойчивость и уязвимость рассматриваются как два взаимосвязанных понятия. Для оценки устойчивости системы проводится инверсия полученных нормированных показателей. Показатель «устойчивость» является обратной величиной к показателю «уязвимость». То есть при повышении уязвимости снижается устойчивость системы.

### Результаты и обсуждение

Используя методику немецких исследователей

и впервые применив ее к задачам лесного хозяйства, проведены анализ, расчеты и разработана схема, содержащая причинно-следственные связи, с учетом факторов риска, обусловленных климатическими изменениями, позволяющие оценить ключевые факторы, определяющие угрозы.

Предлагаемая схема содержит так называемые «цепочки воздействия», которые построены на основе установленных закономерностей уязвимости лесного сектора от возможного изменения климата.

При создании цепочки воздействий было принято во внимание, что она, как любая модель, должна обеспечить логически наглядное представление рассматриваемой системы в упрощенном виде, поскольку, чем сложнее модель, тем труднее провести оценку и тем больше времени и ресурсов требуются для приведения всей системы в равновесие. В связи с этим при построении цепочки учитывались базовые компоненты, влияющие на устойчивость системы: воздействие, чувствительность, потенциальное воздействие и адаптационный потенциал (рис. 1).

На основе проведенного анализа установлено, что базовый компонент «Воздействие» включает большинство угроз в сфере лесопользования, связанных с изменением климата. Эти угрозы имеют стохастическую природу, определяющуюся высокой долей неопределенности действующих факторов (температура воздуха, а также влажность воздуха и почвы, напрямую зависящие от количества выпавших атмосферных осадков). Изменение указанных факторов (угроз) неизбежно повлечет за собой увеличение вероятности проявления основных факторов риска, которые влияют на чувствительность системы. К этим факторам относятся природные пожары, болезни и вредители леса, а также экстремальные погодные явления. Климатическая изменчивость может повлечь за собой изменение лесной продуктивности, биоразнообразия и породного состава (рис. 1).

Следует отметить комплексное воздействие негативных факторов (блок «Чувствительность») на снижение устойчивости лесов. Повышение температуры при изменении климата приведет к уменьшению влагообеспеченности территорий, покрытых лесом, усыханию растений и увеличению опасности возникновения лесных пожаров. В то же время с потеплением климата прогнозируется увеличение частоты возник-

новения ураганных ветров, приводящих к повреждению и гибели деревьев от ветровала. Ослабление лесной растительности неблагоприятными погодными условиями и высокие температуры воздуха создают условия для появления и массового расселения насекомых-вредителей на лесной территории, формированию новых очагов вредных организмов и снижению устойчивости древостоев к воздействию негативных факторов.

Эта тенденция, как показали исследования, в той или иной степени наблюдается во всех лесорастительных зонах Российской Федерации. В качестве примера рис. 2 приведена диаграмма динамика гибели лесных насаждений от основных факторов, в зависимости от климатических изменений, за период 1977-2014 годы в Северо-Западном федеральном округе. Этот регион включает три природно-территориальных зоны: Европейско-Уральская часть, северная тайга; Европейско-Уральская часть, средняя тайга и Европейско-Уральская часть, южная тайга.

После пожаров 1997-2003 годов, в 2004 году наблюдалось массовое размножение насекомых-вредителей. Ослабленные пожарами и вспышкой численности вредителей, леса оказались неустойчивы к воздействию неблагоприятных погодных условий, что в 2005 году привело к максимально высокой за весь рассматриваемый период гибели лесных насаждений.

При анализе причин, приводящих к усыханию лесов, следует учесть и влияние солнечной активности (рис. 2). Вспышки численности насекомых-вредителей леса коррелируют с максимумами чисел Вольфа, сопровождаемыми, как правило, засухой [5, 6]. В течение 3-4-х лет после засухи происходит увеличение численности популяций вредителей леса до уровня, при котором насаждениям могут быть нанесены фатальные повреждения. Это отчетливо видно на вкладке к рис. 2. Существование промежуточного периода (между засухой и гибелью древостоев при формировании крупных очагов вредителей леса) объясняется инерционностью лесной экосистемы.

Важным этапом в разработке цепочки воздействий явилось определение его потенциальной составляющей (рис. 1). Потенциальное воздействие климатических изменений (рисков) на уязвимость лесных экосистем проявляется в виде изменения лесных площадей, рисков в сфере использования и воспроизводства лесов, их охраны и защиты, в социально-экономичес-

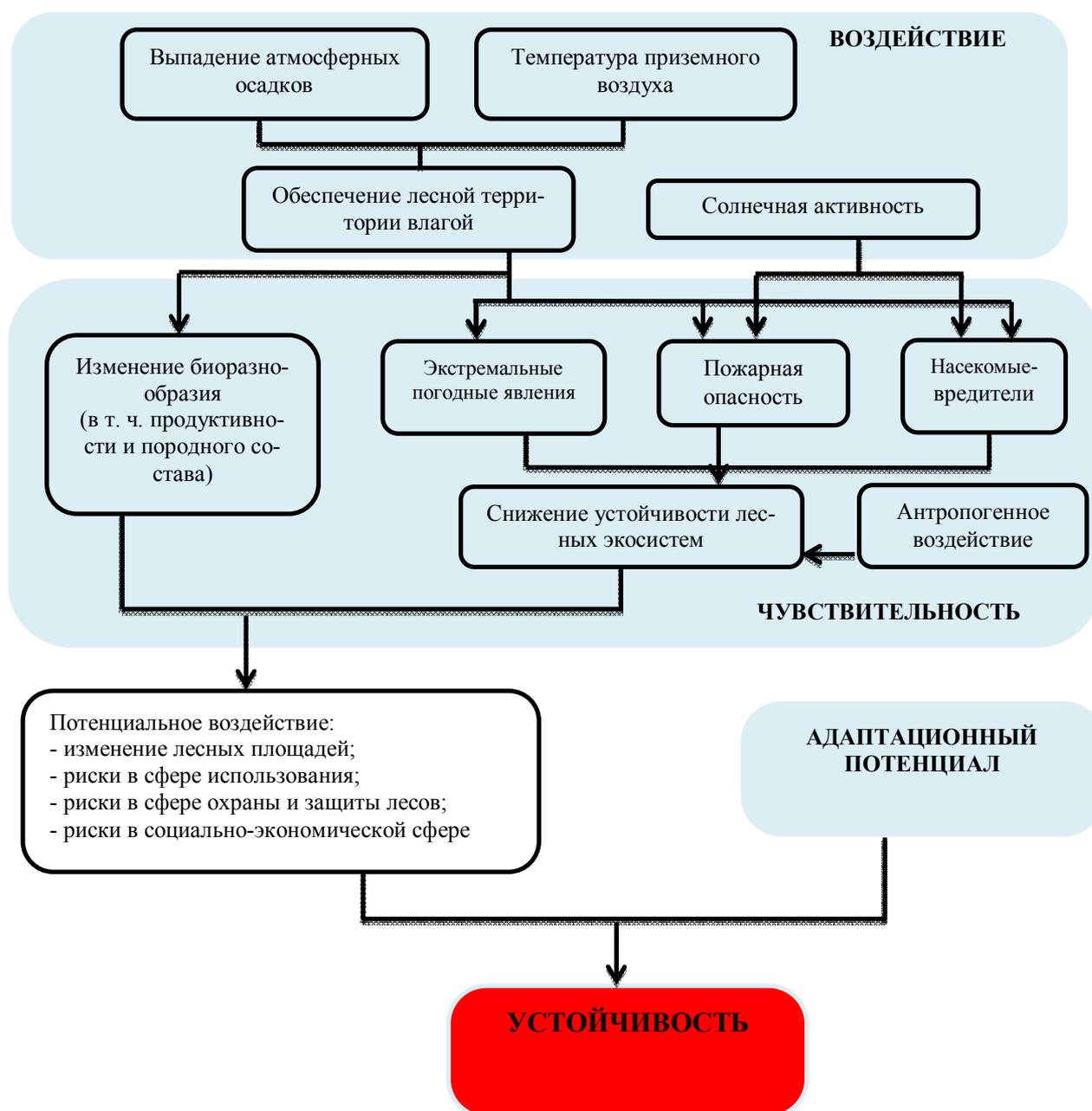


Рис. 1. Цепочки воздействия – влияние ожидаемых климатических изменений на устойчивость лесных экосистем с учетом возможных климатических рисков

кой сфере. В качестве потенциального воздействия риски возникновения пожаров, экстремальных погодных явлений и вспышек популяций насекомых-вредителей представляют угрозу снижения устойчивости лесов. Климатические изменения [1] могут повлечь за собой уменьшение продуктивности древостоев и биоразнообразия, смену породного состава. Неизбежно влияние климата на экономическую ситуацию региона, а также на социальный аспект [8].

**Насекомые-вредители – как фактор угрозы**

### устойчивости лесных экосистем

Насекомые-вредители являются одной из ключевых по значимости причин, вызывающих ослабление и усыхание древостоев.

На основе построенной цепочки воздействия ожидаемых климатических изменений на устойчивость лесного сектора проведены анализ и моделирование влияния этого фактора угрозы. При этом использованы данные Российского центра защиты леса за период 1990-2015 годы, расчеты выполнены по природно-

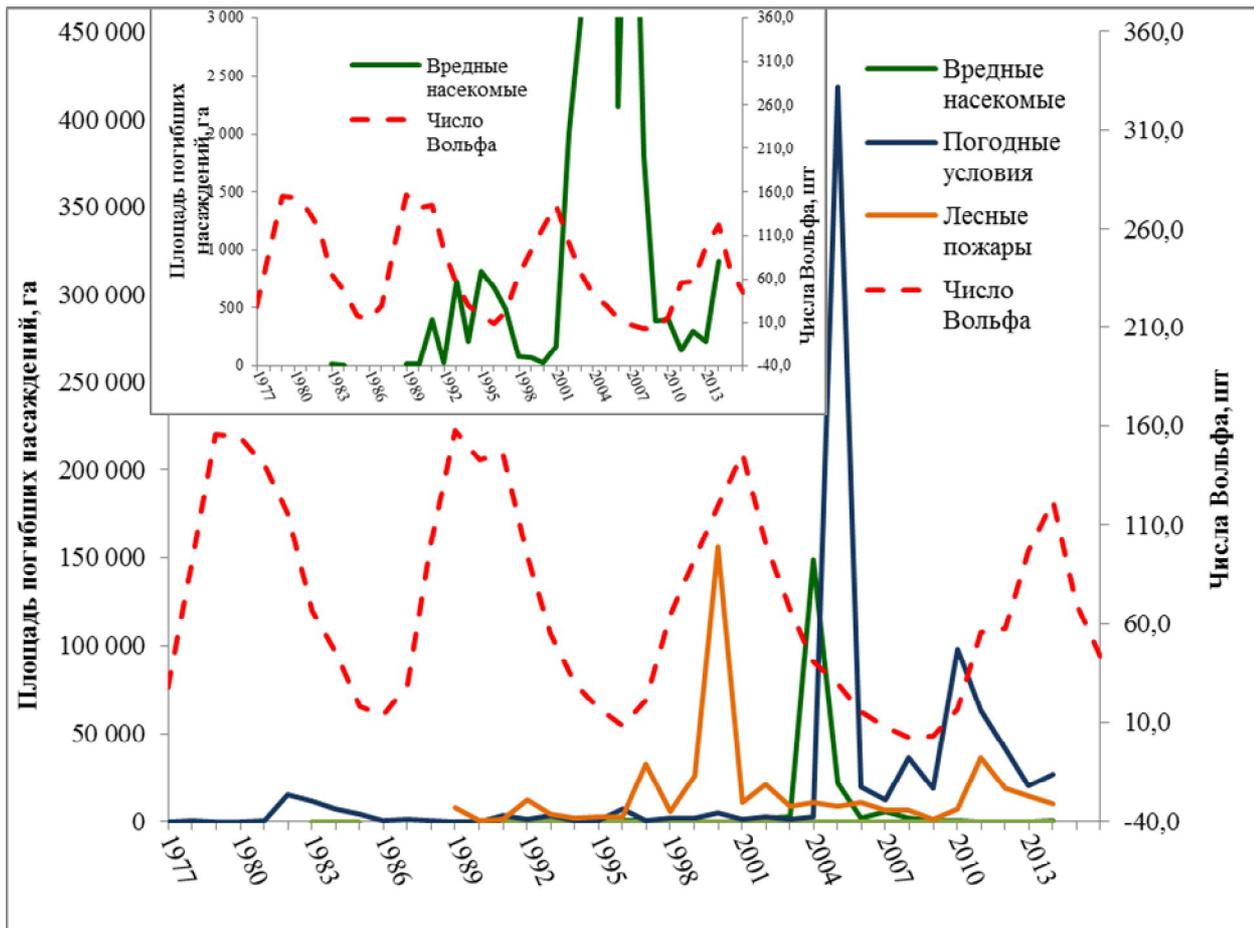


Рис. 2. Динамика основных причин, способствующих гибели лесов в СЗФО за 1997-2015 гг., и изменение солнечной активности (числа Вольфа)

географической дифференциации субъектов Российской Федерации.

Для каждой лесорастительной зоны определен среднегодовой показатель удельной площади земель лесного фонда с погибшими от болезней и насекомых-вредителей древостоями. Этот показатель представляет собой отношение площадей усохших насаждений (га) ко всей площади лесного фонда исследуемой территории (тыс. га). Диаграмма динамики среднегодового удельного показателя для лесорастительных зон Российской Федерации приведена на рис. 3. Для наглядности использована логарифмическая шкала.

Чем столбец диаграммы ниже уровня единицы, тем лучше лесопатологическая ситуация в регионе. Наиболее серьезное состояние – в лесах южной тайги Европейско-Уральской части страны.

Для качественной оценки устойчивости лесных экосистем в разных лесорастительных зонах РФ при массовом размножении вредителей и болезней леса

были использованы среднегодовые удельные показатели. В соответствии с выбранной методикой [9], полученные данные для всех лесорастительных зон нормированы по общей шкале устойчивости системы от «0» до «1». Как сказано выше, значения нормированных показателей соответствуют уязвимости системы. Для оценки устойчивости проведена инверсия полученных значений.

Одним из важных моментов при определении уязвимости описанным выше методом, является вопрос о пороговых значениях. В частности, для оценки фактической опасности гибели лесов от болезней и вредителей (которая может рассматриваться как реализованная природная опасность) необходимо определить состояние лесных территорий за прошлые годы. Этот критерий целесообразно положить в основу оценки опасности на ближайшую перспективу. Проведя дополнительные расчеты путем исключения «пороговых значений», получили уточненные данные устой-

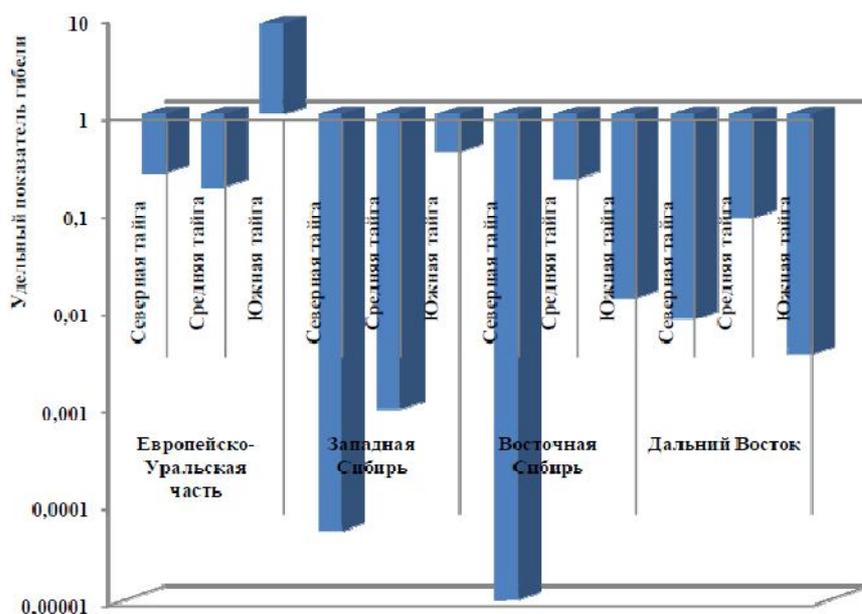


Рис. 3. Динамики среднегодового удельного показателя гибели лесов от болезней и насекомых-вредителей для лесорастительных зон Российской Федерации за период 1990-2015 гг.

чивости лесных экосистем в разных лесорастительных зонах при массовом размножении вредителей и болезней леса (табл.), которые использовались при составлении карты (рис. 4).

Анализ данных по лесопатологической ситуации в Российской Федерации показал, что в основном лесная площадь занята достаточно устойчивыми к воздействию исследованного фактора насаждениями. В наибольшей мере это относится к территории лесорастительных зон северной и средней тайги Западной Сибири, северной тайги Восточной Сибири, северной и южной тайги Дальнего

Востока. В северной тайге Западной Сибири за рассматриваемый период времени только в 2003 году наблюдался случай гибели лесов от болезней, впоследствии очаг был ликвидирован. Периодические небольшие вспышки болезней леса и численности насекомых-вредителей наблюдаются в Западной Сибири (средняя тайга) и на Дальнем Востоке (южная тайга). Это может свидетельствовать о потенциальной угрозе для лесов данных лесорастительных зон, хотя в настоящее время они имеют хороший запас устойчивости.

Наиболее уязвимыми для насекомых-вреди-

Таблица

Расчетные значения устойчивости лесных экосистем при массовом размножении вредителей и болезней леса в разных лесорастительных зонах РФ

Природно-географическая дифференциация		Нормированный показатель угрозы	Значение для оценки устойчивости
Европейско-Уральская часть	Северная тайга	0,029	0,972
	Средняя тайга	0,021	0,980
	Южная тайга и более южные зоны	1,000	0,000
Западная Сибирь	Северная тайга	0	1,000
	Средняя тайга	0	1,000
	Южная тайга и более южные зоны	0,049	0,952
Восточная Сибирь	Северная тайга	0	1,000
	Средняя тайга	0,025	0,975
	Южная тайга и более южные зоны	0,001	0,999
Дальний Восток	Северная тайга	0,001	1,000
	Средняя тайга	0,010	0,991
	Южная тайга и более южные зоны	0	1,000



I – Европейско-Уральская часть, северная тайга, II – Европейско-Уральская часть, средняя тайга, III – Европейско-Уральская часть, южная тайга и более южные зоны, IV – Западная Сибирь северная тайга, V – Западная Сибирь, средняя тайга, VI – Западная Сибирь, южная тайга и более южные зоны, VII – Восточная Сибирь, северная тайга, VIII – Восточная Сибирь, средняя тайга, IX – Восточная Сибирь, южная тайга и более южные зоны, X – Дальний Восток, северная тайга, XI – Дальний Восток, средняя тайга, XII – Дальний Восток, южная тайга и более южные зоны

Рис. 4. Степень устойчивости лесных экосистем при массовом размножении вредителей и болезней леса в разных лесорастительных зонах РФ

телей и болезней леса являются лесные территории Европейско-Уральской части России. Среднегодовые показатели удельной площади земель лесного фонда, погибших от болезней и насекомых-вредителей леса, дифференцированные по субъектам Российской Федерации, нанесены на карту (рис. 5).

Негативным последствием наблюдаемого потепления климата является смещение границ ареалов и зон массового размножения вредителей и распространения возбудителей болезней леса в ставшие более пригодными для обитания северные и восточные регионы России. Происходит также увеличение агрессивности и вредоносности отдельных представителей вредных организмов, связанное с изменением их экологических особенностей [4].

Прямой зависимости между максимальными средними значениями приземной температуры воздуха и увеличением гибели лесов от вредителей и болезней не наблюдается. Тем не менее, долговременное воздействие высоких температур создает благоприятные условия для их массового размножения. Нами проанализированы вспышки массовых размножений хвоелистогрызущих насекомых, стволовых вредителей и бо-

лезней леса в Российской Федерации начиная с 90-х годов XX века (рис. 6).

Наблюдающийся линейный тренд повышения средних годовых аномалий температур у поверхности земли, а также осадков [1, 3] может быть одним из критических факторов, способствующих нарастанию численности целого ряда опасных для леса видов вредных насекомых и болезней. В частности, массовое размножение и увеличение площадей очагов вредителей леса в начале 2000-х годов могло быть обусловлено наложением двух факторов – климатического и социального (отсутствие своевременного проведения или снижение интенсивности проведения лесозащитных мероприятий). На рис. 7 представлен тренд увеличения лесных площадей с очагами насекомых-вредителей и болезней.

Увеличение очагов хвоелистогрызущих насекомых, стволовых вредителей и болезней леса влечет за собой ослабление устойчивости и гибель лесных насаждений (рис. 8).

Гибель лесов, как и большинство биологических процессов, носит выраженный циклический характер. Это, по мнению ряда учёных, обусловлено, в

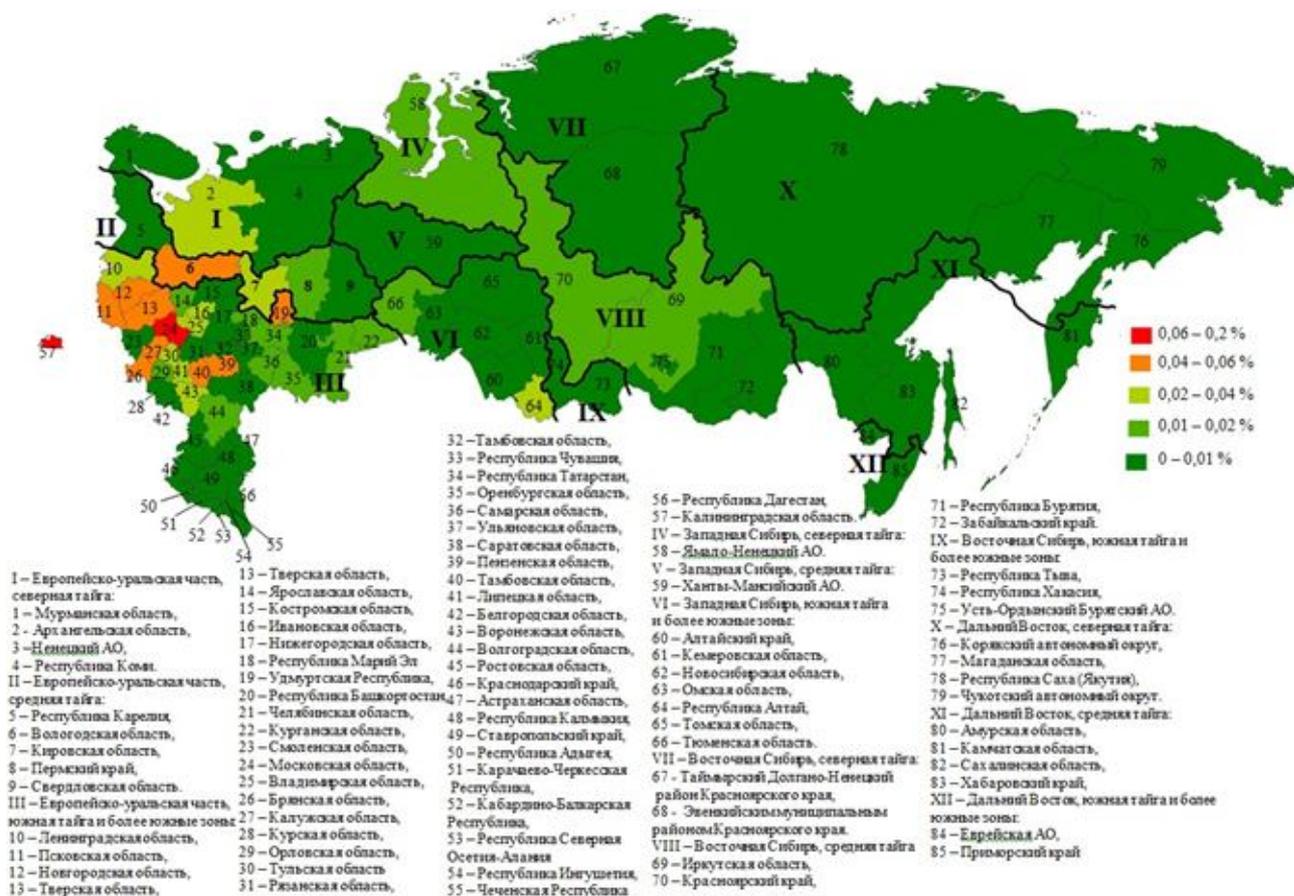


Рис. 5. Среднегодовые показатели удельной площади насаждений лесного фонда, погибших от болезней и насекомых-вредителей леса за период с 1990 по 2015 г.

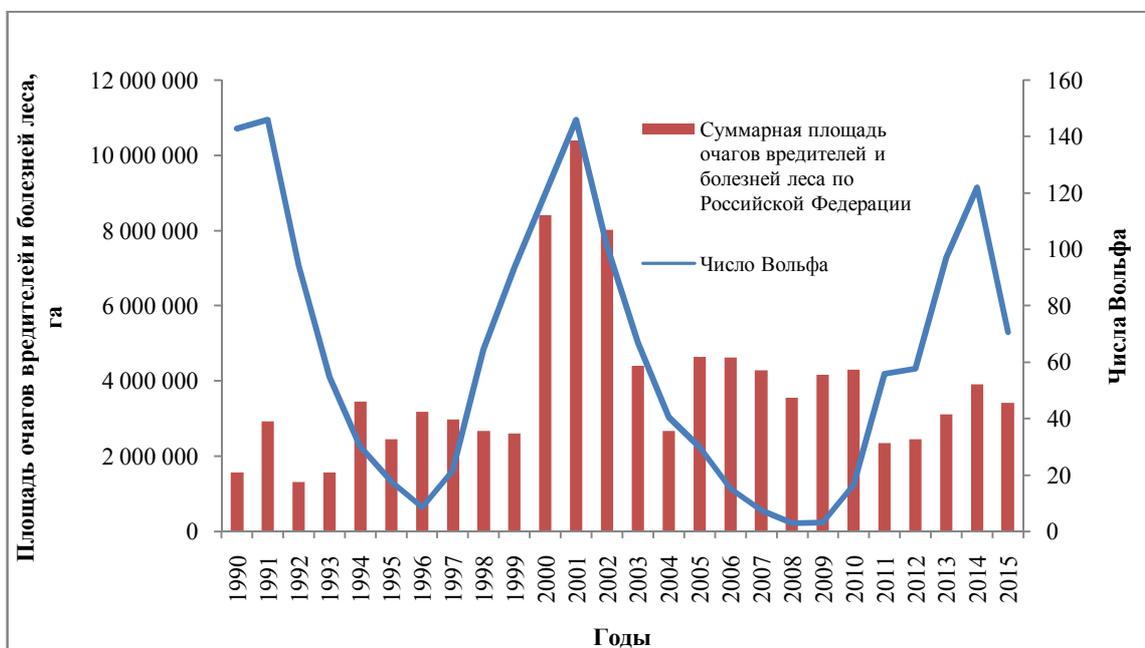


Рис. 6. Динамика площади очагов хвоелистогрызущих насекомых и вторичных вредителей в лесах Российской Федерации и пики солнечной активности за период 1990-2015 гг.

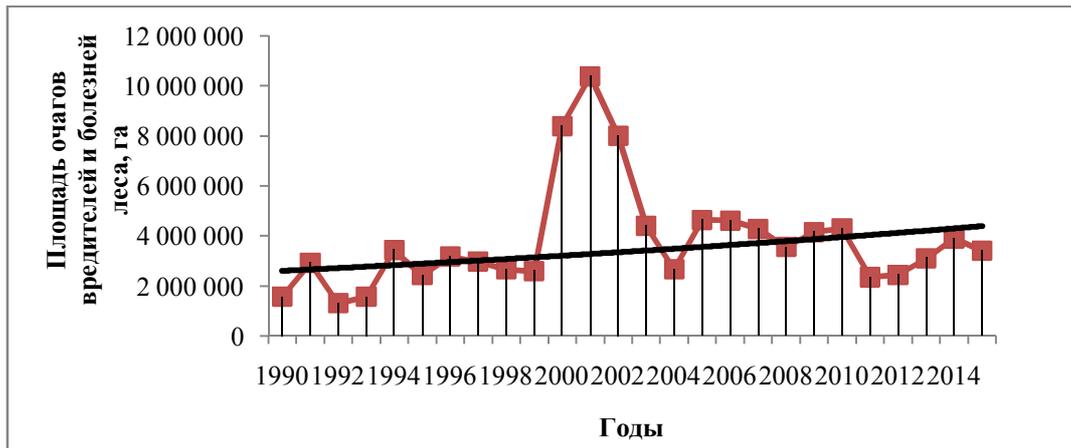


Рис. 7. Тренд изменения площадей очагов вредителей и болезней леса за период 1990-2015 гг.



Рис. 8. Динамика площадей насаждений, погибших от вредителей и болезней на всей территории Российской Федерации за период 1990-2015 гг.

том числе, солнечной активностью, которая воздействует на климат и погоду, определяя величины основных метеорологических показателей: температуры и влажности воздуха, осадков, числа гроз, наводнений, засух. Погода, в свою очередь, влияет на устойчивость насаждений к воздействию неблагоприятных факторов, формирование годичного прироста насаждений и урожая семян лесных растений, а также развитие популяций многих видов насекомых-вредителей и агрессивность возбудителей болезней леса. Жаркая и сухая погода во многих случаях способствует размножению вредителей, поскольку, с одной стороны, увеличивает выживаемость насекомых за счёт усиления работы иммунной системы вредителей и улучшения условий

их питания на ослабленных засухой древесных растениях, а с другой – снижает сопротивляемость деревьев к заселению вредными насекомыми, повышает привлекательность растения-хозяина для вредителей леса, улучшая питательные достоинства листьев кормовых пород [6].

На рисунке 8 прослеживается тренд увеличения площадей гибели лесов Российской Федерации, из-за распространения вредителей и болезней. Здесь же отчетливо видна корреляция цикличности процессов усыхания насаждений и солнечной активности.

Повышенная гибель лесов вследствие массового размножения вредителей леса, начавшаяся почти через два десятилетия после фиксируемых климатиче-

ских аномалий (конец 70-х годов XX века) может быть объяснена запаздыванием реакции лесных экосистем на неблагоприятные факторы окружающей среды.

### Выводы

1. Лесной сектор экономики характеризуется высокой степенью подверженности прямому воздействию климатических и метеорологических факторов, тесно связанному в свою очередь с экономическими, социальными, политическими и технологическими условиями.

2. На основе проведенного анализа динамики лесного фонда Российской Федерации за последние десятилетия определены угрозы в сфере лесопользования, связанные с изменением климата, разработаны цепочки воздействий и предложена схема, содержащая причинно-следственные связи, с учетом факторов риска, обусловленных влиянием климата. Анализ полученной схемы позволяет обеспечить понимание уязвимости лесных экосистем в разрезе лесорастительных зон Российской Федерации и оценить их устойчивость к негативным климатическим воздействиям.

3. Проведена оценка влияния угрозы вспышки численности насекомых-вредителей и болезней леса на устойчивость лесных экосистем под действием наблюдаемых эффектов климатической изменчивости. Для этой цели впервые в сфере лесного хозяйства была применена методика, разработанная в Германии, с учетом рекомендаций, выработанных МГЭИК.

4. Анализ данных по лесопатологической ситуации лесорастительных зон Российской Федерации показал, что в ряде регионов вероятность гибели лесов от болезней и вредителей леса минимальна, в северной тайге Восточной и Западной Сибири эта угроза практически отсутствует. Периодические небольшие вспышки болезней леса и численности насекомых-вредителей наблюдаются в Западной Сибири (средняя тайга) и на Дальнем Востоке (южная тайга). Это может свидетельствовать о потенциальной угрозе для лесов данных лесорастительных зон, хотя в настоящее время они имеют хороший запас устойчивости. Наиболее уязвимыми являются лесные территории Европейско-

Уральской части России.

5. Наблюдающийся линейный тренд повышения средних годовых аномалий температур у поверхности земли, а также осадков может быть одним из критических факторов, способствующих нарастанию численности целого ряда опасных для леса видов вредных насекомых и болезней. В частности, массовое размножение и увеличение площадей очагов насекомых-вредителей леса в начале 2000-х годов могло быть обусловлено наложением двух факторов – климатического и социального (отсутствие своевременного проведения или снижение интенсивности проведения лесозащитных мероприятий).

6. Отчетливо прослеживается тренд увеличения площадей усыхания лесов Российской Федерации из-за распространения вредителей и болезней, а также корреляция цикличности процессов гибели и солнечной активности.

7. Влияние климатических изменений на уязвимость лесных экосистем по причине угрозы массовых размножений вредителей и болезней леса – один из немногих факторов, силу влияния которого можно уменьшить путем своевременного проведения лесозащитных мероприятий. Отмеченный выше факт запаздывания во времени пика гибели лесов от массового размножения вредителей леса даёт возможность заблаговременно выявлять рост численности популяций вредителей и принимать меры к недопущению формирования очагов их массового размножения.

8. Своевременное проведение санитарно-оздоровительных мероприятий позволит минимизировать потери лесной растительности от болезней и вредных насекомых и в некоторой степени нивелировать неблагоприятные эффекты климатической изменчивости. Здоровые леса более устойчивы к неблагоприятным погодным условиям.

Авторы благодарят сотрудника ФБУ «Рослесозащита» А.Г. Бобурина за полезные консультации.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00063).

### Библиографический список

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. 2014. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://voeikovmgo.ru/download/2014/od/od2.pdf>.

2. Груза, Г.В. О современных изменениях климата [Электронный ресурс] / Г. В. Груза, Э.Я. Ранькова. – Режим доступа: [http://climatechange.igce.ru/images/chitalniy\\_zal/geo-clim.pdf](http://climatechange.igce.ru/images/chitalniy_zal/geo-clim.pdf), и [http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=36&Itemid=65&lang=ru](http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid=65&lang=ru)
3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2015 год [Текст] – Росгидромет. – М., 2016. – 68 с.
4. Обзор «Состояние лесов Российской Федерации в 2015 году и прогноз на 2016 год». ФБУ «Рослесозащита». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.rosleshoz.gov.ru/activity/no-fire/docs/projects/8/obzor\\_chasty1-min.pdf](http://www.rosleshoz.gov.ru/activity/no-fire/docs/projects/8/obzor_chasty1-min.pdf).
5. Оценка макроэкономических последствий изменения климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу [Текст] / под общ.ред. д-ра В.М. Катцова, Б.Н. Порфирьева; Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – М. : Д`АРТ, 2011. – 252 с.
6. Прогноз состояния лесов Российской Федерации, расположенных на землях лесного фонда, и основные мероприятия по улучшению их состояния на 2015 год. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rcfh.ru/userfiles/files/kratkiy%20sanobzor.pdf>.
7. Europe IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Chapter 23. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
8. Konstantinov, A.V. Theoretical and Methodological Foundations of Provision of Well-Balanced Development of Forest Sector of Economy under the Conditions of Climatic Changes and Increase of Anthropogenic Stress [Text] / A.V. Konstantinov, O.I. Vasilyev, T.S. Koroleva, E.A. Shunkina // European Research Studies. – 2016. – Vol. 19. – Issue 2, Special Issue. – pp. 228-238.
9. The Vulnerability Sourcebook Concept and guidelines for standardized vulnerability assessments. [Text] Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ), Special unit «Climate». Germany. – 2014. – 180 p.

### References

1. *Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii*. [The second assessment report Hydromet about climate change and their impact on the territory of the Russian Federation]. Available at: [http://downloads.igce.ru/publications/OD\\_2\\_2014/v2014/pdf/resume\\_ob.pdf](http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014/pdf/resume_ob.pdf) (In Russian).
2. Gruza G.V., Ran'kova Je.Ja. *O sovremennyh izmenenijah klimata* [About modern climate change]. Available at: [http://climatechange.igce.ru/images/chitalniy\\_zal/geo-clim.pdf](http://climatechange.igce.ru/images/chitalniy_zal/geo-clim.pdf) (In Russian).
3. *Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2015 god*. [Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2015]. Available at: <http://meteoinfo.ru/media/climate/rus-clim-annual-report.pdf>. (In Russian).
4. *Obzor "Sostojanie lesov Rossijskoj Federacii v 2015 godu i prognozna 2016 god" FBU "Roslesozashhita"* [Status of the Russian Federation of forests in 2015 and forecast for 2016]. Available at: [http://www.rosleshoz.gov.ru/activity/no-fire/docs/projects/8/obzor\\_chasty1-min.pdf](http://www.rosleshoz.gov.ru/activity/no-fire/docs/projects/8/obzor_chasty1-min.pdf) (In Russian).
5. Katcov V.M. *Ocenka makroekonomicheskikh posledstvij izmenenija klimata na territorii Rossijskoj Federacii na period do 2030 g. i dal'nejshuju perspektivu* [Evaluation of the macroeconomic impact of climate change on the territory of the Russian Federation for the period till 2030]. Moscow, 2011, 252 p. (In Russian).
6. *Prognoz sostojanija lesov Rossijskoj Federacii, raspolozhennyh na zemljah lesnogo fonda, i osnovnye meroprijatija po uluchsheniju ih sostojanija na 2015 god* [The forecast of the Russian Federation state forests located on lands of the forest fund, and the main activities to improve their status for 2015]. Available at: <http://www.rcfh.ru/userfiles/files/kratkiy%20sanobzor.pdf> (In Russian).
7. Europe IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Official website of IPCC. Available at: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
8. Konstantinov A.V., Vasilyev O.I., Koroleva T.S., Shunkina E.A. Theoretical and Methodological Foundations of Provision of Well-Balanced Development of Forest Sector of Economy under the Conditions of Climatic Changes and Increase of Anthropogenic Stress., European Research Studies, 2016, Vol. 19, Issue 2, Special Issue, pp. 228-238.
9. The Vulnerability Sourcebook Concept and guidelines for standardized vulnerability assessments. Federal Ministry for Economic Cooperation and Development. Special unit "Climate". Germany, 2014, 180 p.

## Сведения об авторах

*Королева Татьяна Станиславна* – ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», доктор физико-математических наук, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: koroleva@spb-niilh.ru.

*Константинов Артем Васильевич* – ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», кандидат сельскохозяйственных наук, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: science@spb-niilh.ru.

*Кушнир Елизавета Андреевна* – сотрудник ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства» г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, аспирант ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: elizavetta@mail.ru.

## Information about authors

*Koroleva Tatjana Stanislavna* – Federal State Budgetary Institution «Voyeykov Main geophysical Oservatory», DSc in Physical and Mathematical Sciences Saint-Petersburg, Russian Federation; e-mail: koroleva@spb-niilh.ru.

*Konstantinov Artem Vasilevich* – Federal State Budgetary Institution «Voyeykov Main geophysical Oservatory», PhD in Agriculture, Saint-Petersburg, Russian Federation; e-mail: science@spb-niilh.ru.

*Kushnir Elizaveta Andreevna* – Employee Saint Petersburg Forestry Research Institute, post-graduate student of Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation; elizavetta@mail.ru.

DOI:

УДК 630\*182

## ДУБ ЧЕРЕШЧАТЫЙ И НАСЕКОМЫЕ-ФИЛЛОФАГИ КАК ОБЪЕКТ ИЗУЧЕНИЯ БИОЦЕНОТИЧЕСКИХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ В ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ТЕЛЛЕРМАНОВСКОЙ ДУБРАВЫ

доктор биологических наук, доцент **В. В. Рубцов**<sup>1</sup>

кандидат биологических наук, доцент **И. А. Уткина**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук, с.п. Успенское, Московская обл.,  
Российская Федерация

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (№ 15-04-05592)**

Представители рода *Quercus* относятся к предпочитаемым кормовым породам для многих видов насекомых. Вспышки их массового размножения, в сочетании с другими неблагоприятными абиотическими и биотическими факторами, способствуют ослаблению, а иногда приводят к гибели насаждений. Различные виды дуба и филлофагов, потребляющих их листву, являются удобными объектами для изучения биоценологических взаимоотношений в экосистеме. Особенности современного климата оказывают большое влияние на растения и насекомых и их взаимосвязи. Это подтверждают исследования специалистов из многих стран мира. Наши длительные наблюдения в Теллермановской дубраве (Воронежская обл.) показали, что в течение последних десятилетий вследствие изменения климата произошли существенные изменения в динамике численности многих насекомых-филлофагов. Установлено, что ростовые процессы поглощающих микоризных корней дуба тесно связаны с состоянием листвы в кроне дерева и активно реагируют на ее потерю, причем эта реакция неодинакова у деревьев разного класса роста и зависит от интенсивности и повторностей дефолиаций. Сравнение результатов наших исследований с литературными данными позволяет сделать вывод, что до сих пор недостаточно изучены процессы, протекающие в лесных биогеоценозах при вспышках массового размножения филлофагов. Особенно это касается взаимодействия надземных и подземных органов деревьев при разной степени и кратности повреждения крон. Нет четкого понимания причин варьирования площади листовой поверхности в отсутствие сильной дефолиации, не поняты в деталях механизмы компенсационных реакций деревьев, зависящие от одновременного действия комплекса внешних и внутренних факторов. Поскольку многие процессы в лесных экосистемах весьма инерционны, а сформировавшиеся биоценологические взаимоотношения между компонентами прочны, требуются длительные наблюдения на постоянных объектах, чтобы выявить и достоверно оценить тенденции и уровень происходящих изменений под действием меняющихся внешних факторов.

**Ключевые слова:** биогеоценоз, дуб черешчатый, насекомые-филлофаги.