

## Оценка уязвимости лесного хозяйства лесостепной и степной зон Европейской части России к наиболее вероятным изменениям климата

М. А. Семёнов, О. В. Комарова ✉

Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии,  
Российская Федерация  
(394087, Воронеж, ул. Ломоносова, 105)

**Аннотация:** Цель – выявить основные текущие и наиболее вероятные тренды климатических изменений в лесостепной и степной зонах Европейской части России. В статье освещаются риски лесного сектора, связанные с изменениями климата и ключевые факторы уязвимости управляемых лесов.

**Материалы и методы.** Исследование проводилось на территории 11 субъектов РФ. Вычислялась относительная площадь гибели насаждений по основным факторам, негативно влияющим на леса, рассчитывался нормированный показатель и делался вывод об уязвимости системы.

**Результаты и обсуждение.** Выявлено 4 ключевых фактора уязвимости лесов региона: лесные пожары, энтомофиты, болезни леса и неблагоприятные погодные условия. Рассчитаны уязвимость и адаптационный потенциал каждого субъекта изучаемого региона РФ.

**Выводы.** В статье перечислены наиболее и наименее уязвимые области по каждому фактору. Дана комплексная оценка потенциально возможных изменений лесного хозяйства региона, в связи с возрастающей вероятностью данных рисков и связанной с ними угрозы смены породного состава. Исследование может быть использовано для разработки лесохозяйственного комплекса адаптационных мероприятий для смягчения негативных последствий изменения климата, связанных с ними материальных потерь и адаптацию лесного комплекса к меняющимся условиям окружающей среды.

**Ключевые слова:** климатические изменения, управляемые леса, уязвимость, факторы уязвимости, адаптация, адаптационный потенциал.

**Для цитирования:** Семёнов М. А., Комарова О. В. Оценка уязвимости лесного хозяйства лесостепной и степной зон Европейской части России к наиболее вероятным изменениям климата // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 3, с. 76-85. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/76-85>

### ВВЕДЕНИЕ

В результате технического прогресса последних десятилетий антропогенное воздействие на окружающую среду резко усилилось, что вылилось в ряд глобальных экологических проблем, в частности, привело к существенным климатическим изменениям. Поскольку леса играют ключевую роль в регулировании экосистемных процессов, выполняют средообразующие функции и являются крупнейшим накопителем углерода, их сохранение становится первостепенной задачей в борьбе с негативными последствиями хозяйственной деятельности человека.

В последнее время в результате деятельности человека леса претерпевают серьезный кризис. Существенно сокращаются площади естественных лесов, снижается видовое разнообразие насаждений, ослабляется их устойчивость и продуктивность. Антропогенные факторы влияют и на климат, приводят к аридизации и опустыниванию больших площадей, деградации почв, отражаются на состоянии лесных экосистем. Эти процессы влекут за собой серьезные экономические потери, размер которых во многом зависит от способности лесов приспосабливаться к текущим и потенциальным изменениям.

© Семёнов М. А., Комарова О. В., 2022

✉ Комарова Ольга Валерьевна, e-mail: [Olya34@mail.ru](mailto:Olya34@mail.ru)



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Данное исследование посвящено изучению основных трендов климатических изменений в лесостепной и степной зоне Европейской части России, оценке уязвимости лесного хозяйства данного региона к текущим и ожидаемым изменениям и прогнозированию связанных с ними рисков.

### **Обзор литературы**

По мнению ряда учёных, на большей части территории России в последние десятилетия наблюдается устойчивый тренд потепления климата, вызванный в первую очередь прогрессирующим увеличением выбросов парниковых газов [3]. По данным Росгидромета общее потепление за 100-летний период для России составило 1,0 °С, если рассматривать 1901-2000 годы, или 1,29 °С, если рассматривать период 1907-2006 годы. Данные значения превышают аналогичные показатели по земному шару (0,66 и 0,75 °С соответственно). При этом темпы потепления ускоряются. Так, в среднем по России за 70-летний период с 1976 по 2006 годы потепление составило 1,33 °С, что выше аналогичного показателя за сто лет.

Проблема климатических изменений носит глобальный характер и угрожает биологическому разнообразию, здоровью населения, энергетической и продовольственной безопасности многих стран. Природу потепления пытались объяснить многие выдающиеся ученые. Так, шведский учёный Аррениус связывал температуру у поверхности земли с составом атмосферы. Он считал, что увеличение количества углекислого газа в 2,5-3 раза влечёт за собой повышение температуры воздуха на 8-9 °С, а снижение его концентрации на 38-45 % приводит к охлаждению на 4-5 °С [2]. Американские климатологи Манабе и Везеролд предполагали, что повышение концентрации CO<sub>2</sub> вдвое приводит к увеличению температуры приземного слоя воздуха на 2,9 °С [16]. Американский геолог Чемберлен объяснял глобальное потепление геологическими причинами: движениями литосферных плит и увеличением эрозии [13]. Немецкий метеоролог Мёллер связывал температуру с абсолютной влажностью воздуха, по его данным, увеличение абсолютной влажности способствует повышению температуры за счёт увеличения поглощения длинноволновой радиации, таким образом, увеличение концентрации CO<sub>2</sub> может быть скомпенсировано изменением абсолютной влажности воздуха [17]. Кроме того, часть учёных объясняет потепление климата изменением прозрачности воздуха, обусловленным вулканической активностью [2].

В последние годы особую роль в изменениях климата исследователи отводят воздействию человека на окружающую среду. О потенциальных серьёзных изменениях климата в будущем учёные заговорили ещё в 60-х годах 20 века [4]. Анализ литературы и текущей климатической ситуации на территории лесостепного и степного районов Европейской части РФ показывает, что в настоящее время установившаяся тенденция потепления климата усиливается: годовое количество суммарной радиации растёт, обновляются максимумы концентрации парниковых газов, всё новые регионы отмечают аномально тёплые температуры [6]. Причем, за последние 30 лет в изучаемом регионе среднегодовая температура воздуха повысилась на 0,6 °С, годовая амплитуда температур уменьшилась, то есть снизилась континентальность климата [7].

И хотя некоторые последствия глобального потепления могут положительно влиять на лесные экосистемы – вести к увеличению вегетационного периода, повышать теплообеспеченность и общую продуктивность лесных насаждений, благоприятно сказываясь на растительности [5], – это верно лишь для умеренного потепления и для районов с коротким периодом вегетации, то есть для тех экосистем, где лимитирующим фактором является недостаточный уровень эффективных температур. В остальных случаях повышение температуры ведёт к угнетению роста растений, поскольку влечёт за собой засухи и температурные стрессы [15]. В лесостепной и степной зонах Европейской части России главным лимитирующим фактором для древостоев здесь является дефицит влаги, поэтому для данного региона повышение температуры может стать серьёзной экологической проблемой.

В последние десятилетия в лесостепном и степном районах Европейской части РФ засушливость климата повышается, засухи возникают всё чаще, уровень грунтовых вод понижается. Из-за нестабильности погодных условий, растительность региона регулярно подвергается воздействию стрессовых факторов [11].

Текущая ситуация позволяет прогнозировать дальнейшее потепление, которое повлечёт за собой изменения состояния, породного состава, уровня биоразнообразия и продуктивности лесных экосистем. Большинство исследователей сходятся на том, что к 2050 году на территории лесостепной и степной зоны Европейской части РФ следует ожидать повышение температуры на

1,7-1,8 °С. К концу века среднегодовая температура приземного слоя воздуха может вырасти на величину от 1,9 до 6,3 °С в зависимости от сценария развития мировой экономики. Возможные сценарии зависят от варианта развития человечества, темпов роста численности населения Земли, интенсивности использования ископаемого топлива, объёмов выбросов парниковых газов в атмосферу и их ожидаемой концентрации в атмосфере.

При любом сценарии, даже самом «мягком», неизбежным выглядит увеличение аридности климата. Это подтверждается положительными трендами температуры и отрицательными трендами осадков в ходе вегетационного периода последних десятилетий [1]. Такие изменения ощутимо скажутся как на кустарниковых и травяных сообществах, так и на древостоях. В частности на большей части исследуемых территорий ожидается усиление деградации дубрав. Продолжится усыхание древостоев. От недостатка влаги особенно пострадают породы с поверхностной корневой системой. Значительное повышение температуры может привести к усилению процессов опустынивания. В то же время увеличится площадь осинников, возрастёт риск инвазии и распространения чужеродных видов. В целом следует ожидать снижения уровня биоразнообразия.

В случае значительного увеличения температуры воздуха в приземном слое атмосферы повысится вероятность возникновения лесных пожаров. Пожароопасный сезон станет длительнее. Кроме того, повысится риск массового размножения вредителей и возникновения болезней. Свою роль могут сыграть и экстремальные погодные явления, число и интенсивность которых значительно увеличилось в последние десятилетия. Всё это в совокупности ведёт к ослаблению насаждений.

В свете текущих и потенциальных климатических изменений лесное хозяйство остро нуждается в мерах по обеспечению устойчивого развития в условиях меняющегося климата.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данное исследование сосредоточено в лесостепной и степной зоне Европейской части России. Проводилось оно на территории 11 субъектов РФ, а именно Белгородской, Волгоградской, Воронежской, Курской, Липецкой, Орловской, Пензенской, Ростовской, Самарской, Саратовской и Тамбовской областей. Данный регион характеризуется благоприятными для произрастания лесных насаждений условиями, умеренно-континентальным климатом с тёплым летом и мягкой

зимой. Среднегодовая температура воздуха в исследуемом регионе – +5,6 °С. Длительность вегетационного периода – 100-180 дней. Среднегодовое количество осадков находится в пределах от 580 мм (Курская область) до 400 мм (Саратовская область), в среднем по 11 изучаемым областям оно составляет 520 мм. Многолетняя оценка гидротехнического коэффициента свидетельствует о небольшой засушливости климата. На территории исследуемых областей преобладают сосна, дуб и берёза.

Чтобы оценить уязвимость лесов к неблагоприятным факторам, связанным с изменениями климата, мы опирались на методику, разработанную учёными из Великобритании и Германии [12, 14]. Этот подход применялся также в работах Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства и Всероссийского научно-исследовательского института лесной генетики, селекции и биотехнологии [8, 9].

На основании применённой методики мы выявили 4 основных фактора, негативно влияющих на леса лесостепной и степной зоны Европейской части России (лесные пожары, энтомофиты, болезни леса и неблагоприятные погодные условия).

Для каждого из данных факторов вычислялась относительная площадь гибели насаждений, то есть отношение площади насаждений, погибших от данного фактора в среднем по многолетним данным, к общей площади лесов региона. Так, например, для расчетов по фактору «лесные пожары» за основу бралась «горимость», представляющая из себя процент лесов, пройденных пожарами за расчетный период, от всей площади лесов рассматриваемых субъектов РФ. Класс горимости определялся по общепринятой шкале [8].

К рассчитанным значениям применялось нормирование по методике максимального-минимального значения:

$$X_{i,0-1} = \frac{X_i - X_{Min}}{X_{Max} - X_{Min}} \quad X_{i,0-1} = \frac{X_i - X_{Min}}{X_{Max} - X_{Min}} \quad (1)$$

Где  $X_{i,0-1}$  – нормированный показатель (возможные значения от 0 до 1);

$X_i$  – точки массива данных для преобразования;

Данная формула позволяла преобразовать данные в формат так называемого нормированного показателя, значения которого изменяются от 0 до 1. Этот показатель позволял судить об уязвимости системы: низкие значения свидетельствовали о хорошей способности системы к адаптации и её

небольшой уязвимости, с повышением показателя способность к адаптации снижается, а уязвимость повышается.

Помимо четырёх ключевых факторов, влияющих на реакцию управляемых лесов изучаемого региона на изменение климата, оценивался адаптационный потенциал по фактору изменения породного состава. Для этого использовался метод экспертной оценки [8]. Класс уязвимости оценивался по пятибалльной шкале категорий: от 1 («оптимальный») до 5 («критический»).

Для всех расчётов использованы официальные данные Федерального агентства лесного хозяйства.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе работы, на основе принятой методики, мы выявили факторы, от которых зависит реакция насаждений исследуемого региона на климатические изменения. 4 ключевых фактора: лесные пожары, энтомофитовредители, болезни леса и неблагоприятные погодные условия.

Расчёты по фактору «лесные пожары» (значения нормированных показателей и данные о способности лесов региона к адаптации) представлены в таблице 1. Высокому классу горимости насаждений присвоен знак «+», среднему – знак «±», слабому – знак «-».

Таблица 1

Значения фактора уязвимости «лесные пожары» лесостепного и степного районов ЕЧР по областям  
 [Table 1. Values of "forest fires" vulnerability factor in the forest-steppe and steppe areas of the European part of Russia divided by regions]

Субъект РФ / Regions of the Russian Federation	Белгородская область / Belgorod region	Волгоградская область / Volgograd region	Воронежская область / Voronezh region	Курская область / Kursk region	Липецкая область / Lipetsk region	Орловская область / Orjol region	Пензенская область / Penza region	Ростовская область / Rostov region	Самарская область / Samara region	Саратовская область / Saratov region	Тамбовская область / Tambov region
Площадь земель лесного фонда, тыс. га / Area of forest fund lands, ha	230,4	667,4	416	237,1	180,1	101,4	915,3	334,4	582,8	671,1	374,7
Горимость, % / Percentage of forests affected by fire, %	0,03	0,15	0,31	0,01	0,32	0,00	0,04	0,34	0,05	0,10	0,21
Нормированный показатель / Normalized parameter	0,09	0,44	0,92	0,02	0,95	0,00	0,11	1,00	0,13	0,28	0,62
Способность к адаптации / Ability to adapt	0,91	0,56	0,08	0,98	0,05	1,00	0,89	0,00	0,87	0,72	0,38
Класс горимости / Fire danger class	±	+	+	-	+	-	±	+	±	±	+

Установлено, что наиболее уязвимы к данному фактору управляемые леса Ростовской области. Их способность к адаптации минимальна, а горимость максимальна. За ними следуют насаждения Липецкой и Воронежской областей со способностью к адаптации 0,05-0,08, их горимость также крайне высокая. При существенном изменении климата насаждения трёх данных областей окажутся наиболее уязвимыми. Наименее уязви-

мыми оказались управляемые леса Орловской, Курской, Белгородской, Пензенской и Самарской областей со способностью адаптации 0,87-1,0, их горимость – низкая.

Расчёты по фактору «воздействие насекомых-вредителей» сведены в таблицу 2. Данные представлены только для тех субъектов, где за рассматриваемый год отмечалась гибель лесов от энтомофитовредителей.

Таблица 2

Расчётные значения фактора уязвимости «энтомовредители» лесостепного и степного районов ЕЧР по субъектам РФ

[Table 2. Calculated values of "pests" vulnerability factor in the forest-steppe and steppe areas of the European part of Russia divided by regions]

Субъект РФ / Regions of the Russian Federation	Воронежская область / Voronezh region	Курская область / Kursk region	Липецкая область / Lipetsk region	Орловская область / Oryol region
Относительная площадь погибших от вредителей насаждений, % / Percentage of forests affected by pests	0,001	0,011	0,001	0,029
Нормированный показатель / Normalized parameter	0,03	0,38	0,03	1,00
Способность к адаптации / Ability to adapt	0,97	0,62	0,97	0,00

Установлено, что леса Орловской области наиболее уязвимы в отношении энтомовредителей. При значительном воздействии климатических изменений этот регион потерпит наибольший ущерб. Леса Курской области занимают промежуточное положение по реакции на воздействие энтомовредителей.

Насаждения же Воронежской и Липецкой областей наиболее устойчивы к воздействию энтомовредителей. В других областях рассматриваемого региона гибель насаждений от вредителей леса не отмечена.

Расчёты по фактору «болезни леса» приведены в таблице 3.

Таблица 3

Расчётные значения фактора уязвимости «болезни леса» лесостепного и степного районов ЕЧР по областям

[Table 3. Calculated values of "diseases" vulnerability factor in the forest-steppe and steppe areas of the European part of Russia divided by regions]

Субъект РФ / Regions of the Russian Federation	Белгородская область / Belgorod region	Волгоградская область / Volgograd region	Воронежская область / Voronezh region	Курская область / Kursk region	Липецкая область / Lipetsk region	Орловская область / Oryol region	Пензенская область / Penza region	Ростовская область / Rostov region	Самарская область / Samara region	Саратовская область / Saratov region	Тамбовская область / Tambov region
Относительная площадь погибших от болезней насаждений, % / Percentage of forests affected by diseases, %	0,03	0,00	0,04	0,02	0,07	0,01	0,04	0,00	0,01	0,00	0,01
Нормированный показатель / Normalized parameter	0,26	0,00	0,41	0,15	0,70	0,05	0,40	0,02	0,08	0,03	1,00
Способность к адаптации / Ability to adapt	0,74	1,00	0,59	0,85	0,30	0,95	0,60	0,98	0,92	0,97	0,00

Наиболее уязвимы к воздействию болезней леса управляемые леса Тамбовской области, они обладают минимальным адаптационным потенциалом. На втором месте – Липецкая область. Также достаточно подвержены болезням насаждения Липецкой области, где способность к адаптации не превышает 0,3, в то время как высокой устойчи-

востью отличаются насаждения Ростовской, Саратовской, Самарской и Орловской областей, где этот показатель выше 0,9. Насаждения Волгоградской области наиболее устойчивы, их адаптационный потенциал равен 1,00, то есть максимален.

Расчёты по фактору «неблагоприятные погодные условия» сведены в таблицу 4.

Расчётные значения фактора уязвимости «неблагоприятные погодные условия» лесостепного и степного районов ЕЧР по областям

[Table 4. Calculated values of "adverse weather conditions" vulnerability factor in the forest-steppe and steppe areas of the European part of Russia divided by regions]

Субъект РФ / Regions of the Russian Federation	Белгородская область / Belgorod region	Волгоградская область / Volgograd region	Воронежская область / Voronezh region	Курская область / Kursk region	Липецкая область / Lipetsk region	Орловская область / Orjol region	Пензенская область / Penza region	Ростовская область / Rostov region	Самарская область / Samara region	Саратовская область / Saratov region	Тамбовская область / Tambov region
Относительная площадь погибших от неблагоприятных погодных условий насаждений, % / Percentage of forests affected by adverse weather conditions, %	0,00	0,08	0,01	0,00	0,04	0,01	0,01	0,02	0,07	0,02	0,08
Нормированный показатель / Normalized parameter	0,00	1,00	0,13	0,00	0,47	0,09	0,07	0,25	0,86	0,18	0,99
Способность к адаптации / Ability to adapt	1,00	0,00	0,87	1,00	0,53	0,91	0,94	0,75	0,14	0,82	0,01

По данному фактору наибольшей угрозе подвержены насаждения Волгоградской области. Их способность к адаптации минимальна, то есть при значительных изменениях климата именно они потерпят максимальный ущерб. За ними идут насаждения Тамбовской области с адаптационным потенциалом 0,01, они также находятся под серьёзной угрозой. Насаждения Белгородской и Курской областей обладают максимальным адаптационным потенциалом – 1,00. Достаточно устойчивы также леса Пензенской, Орловской, Воронежской, Саратовской и Ростовской областей.

Помимо рассмотренных выше ключевых факторов, ещё одним серьёзным следствием климатических изменений может стать изменение породного состава лесных насаждений. Согласно современным исследованиям, значительное повышение температуры может привести к сдвигу растительных зон, смене пород и снижению биоразнообразия. В частности, на территории 11 изучаемых областей происходит увеличение площади насаждений сосны обыкновенной, уменьшение площади насаждений дуба черешчатого, отмечена тенденция усыхания берёзовых насаждений [10]. Однако проведённые исследования позволили установить, что насаждения на изучаемой территории характеризуются вторым классом уязвимости, то есть угроза смены породного состава для них в данный момент низкая.

В таблице 5 представлены результаты комплексной оценки уязвимости изучаемых областей к воздействию всех рассмотренных выше факторов. Высокой способности к адаптации, т.е. значения в пределах от 0,7 до 1,0, был присвоен знак «+», средней (в пределах от 0,3 до 0,7) – знак «±», слабой (менее 0,3) – знак «-».

Комплексный анализ полученных данных свидетельствует о достаточно высокой способности к адаптации насаждений района лесостепей и степей Европейской части России к меняющимся климатическим условиям. Однако, в ряде субъектов РФ по отдельным ключевым факторам уязвимости могут потребоваться некоторые меры адаптации. Так, по фактору «лесные пожары» меры могут быть необходимы в Воронежской, Липецкой и Ростовской областях, где устойчивость насаждений в этом отношении снижена. По фактору уязвимости «вредители леса» дополнительные адаптационные меры могут потребоваться в Орловской области. К фактору «болезни леса» наиболее уязвимы управляемые леса Липецкой и Тамбовской областей. По фактору «неблагоприятные погодные условия» уязвимыми являются леса Волгоградской, Самарской и Тамбовской областей. Угроза смены породного состава насаждений на изучаемой территории в данный момент низкая.

Комплексная оценка способности к адаптации по пяти факторам уязвимости для изучаемых областей лесостепного района и степного района Европейской части России

[Table 5. Integrated assessment of the ability to adapt for five vulnerability factors in the forest-steppe and steppe areas of the European part of Russia]

Субъект РФ / Regions of the Russian Federation	Белгородская область / Belgorod region	Волгоградская область / Volgograd region	Воронежская область / Voronezh region	Курская область / Kursk region	Липецкая область / Lipetsk region	Орловская область / Orjol region	Пензенская область / Penza region	Ростовская область / Rostov region	Самарская область / Samara region	Саратовская область / Saratov region	Тамбовская область / Tambov region
Лесные пожары / Forest fires	+	±	-	+	-	+	+	-	+	+	±
Вредители леса / Pests	+	+	+	±	+	-	+	+	+	+	+
Болезни леса / Diseases	+	+	±	+	-	+	±	+	+	+	-
Неблагоприятные погодные условия / Adverse weather conditions	+	-	+	+	±	+	+	+	-	+	-
Изменение породного состава / Changes in forest tree species composition	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании выявлены четыре ключевых фактора, которые могут сыграть определяющую роль при значительных изменениях климата лесостепного района и степного района Европейской части России. К ним относятся «лесные пожары», «энтомовредители», «болезни леса» и «неблагоприятные погодные условия». При прогнозировании реакции насаждений по данным факторам уязвимости рассчитаны уязвимость и адаптационный потенциал каждого субъекта изучаемого региона РФ.

По фактору подверженности лесным пожарам наиболее уязвимыми оказались леса Воронежской, Липецкой и Ростовской областей. К энтомовредителям особенно уязвимы леса Орловской области. К болезням леса – леса Тамбовской области. К неблагоприятным погодным условиям – леса Волгоградской и Тамбовской областей. Дополнительно был рассмотрен фактор возможных изменений породного состава, сделан вывод о невысокой уязвимости исследуемых лесных насаждений к данному фактору. Комплексная оценка уязвимости насаждений показала, что леса лесостепной и степной зон Европейской части России в целом обладают достаточным потенциалом, позволяющим им успешно адаптироваться к потенциальным изменениям климата, однако в ряде субъектов РФ по от-

дельным ключевым факторам могут потребоваться адаптационные мероприятия.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов Л. М., Владимиров Д. Р., Григорьевская А. Я. Тенденции изменения флоры луговых степей Центрального Черноземья в условиях современного состояния климата // *Материалы международной научной конференции «Региональные эффекты глобальных изменений климата (причины, последствия, прогнозы)»*, 2012, с. 275-278.
2. Будыко М. И. *Климат в прошлом и будущем*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. 352 с.
3. Вильфанд Р. М., Страшная А. И., Береза О. В. О динамике агроклиматических показателей условий сева, зимовки и формирования урожая основных зерновых культур // *Труды Гидрометцентра России*, 2016, вып. 360, с. 45-78.
4. Гальцов А. П., Чаплыгина А. С. Второе совещание по проблеме преобразования климата // *Известия АН СССР. Серия географическая*, 1962, № 5, с. 184-186.
5. Груза Г. В., Ранькова Э. Я., Платова Т. В. Оценка сезонных особенностей региональных проявлений изменения глобального климата // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, 2010, № 23, с. 11-22.
6. *Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год*. Москва: Росгидромет, 2017. 70 с.
7. Матвеев С. М. *Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи*. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. 269 с.

8. Разработка сценариев адаптации системы ведения лесного хозяйства в управляемых лесах Северо-Запада Европейской части России в связи с ожидаемыми изменениями климата. Оценка наиболее вероятных изменений в лесном покрове, требующих применения адаптационных мер разной степени заблаговременности: Заключительный отчет о НИИР. Санкт-Петербург: СПбНИИЛХ, 2016. 116 с.

9. Разработка сценариев адаптации системы ведения лесного хозяйства в управляемых лесах лесостепного района и района степей Европейской части РФ в связи с ожидаемыми изменениями климата: Заключительный отчет о НИИР. Воронеж: ВНИИЛ-ГИСБиотех, 2018. 90 с.

10. Разработка сценариев адаптации системы ведения лесного хозяйства в управляемых лесах лесостепного района и района степей Европейской части РФ в связи с ожидаемыми изменениями климата»: Промежуточный отчет о НИИР. Воронеж: ВНИИЛ-ГИСБиотех, 2017. 169 с.

11. Харченко Н. А., Арефьев Ю. Ф., Мартовецкий О. В. Лесозащитный аспект формирования культур сосны в южной лесостепи Центрального Черноземья // Тезисы докладов научной конференции, 2000, с. 30-31.

12. Brooks N., W.N. Adger, and P.M. Kelly. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the na-

tional level and the implications for adaptation // *Global Environmental Change*. 2005, pp.151–163.

13. Chamberlin T. C. Climate Change and Cosmogony // *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* 31B, 3 (2000), pp. 293-308.

14. Füssel H. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research // *Global Environmental Change*, 2007, pp.155–167.

15. Lloyd A. H., Bunn A. G. Responses of the circumpolar boreal forest to 20th century climate variability // *Environmental research letters*, 2007, vol. 2, pp.13.

16. Manabe S., Wetherald R. T Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity // *J. Atm. Sci.* 1967, vol. 24, no. 3, pp. 241-259.

17. Möller F. On the influence of changes in the CO<sub>2</sub> concentration in air on the radiation balance at the Earth's surface and on climate // *J. Geophys. Res.*, 1963, vol. 68, no. 13, pp. 3877-3896.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 13.10.2021

Принята к публикации 05.09.2022

UDC 630.64:630.181.2

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/76-85>

## Assessing the Vulnerability of Forestry in the Forest-Steppe and Steppe Areas of European Russia to the Most Likely Climate Change

M. A. Semenov, O. V. Komarova ✉

All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology  
(105, Voronezh, Lomonosov St., 394087)

**Abstract:** The purpose is to identify the main current and most likely climate change trends in the forest-steppe and steppe zones of European Russia. The article highlights forest sector risks associated with climate change and key vulnerabilities of managed forests.

**Materials and methods.** The study was conducted on the territory of 11 regions of the Russian Federation. The relative area of plantation death by the main factors negatively affecting forests was calculated, a normalised indicator was calculated and a conclusion was drawn about the vulnerability of the system.

**Results and discussion.** Four key factors of forest vulnerability in the region were identified: forest fires, entomaceous pests, forest diseases and unfavourable weather conditions. Vulnerability and adaptation potential of each entity of the study region of the Russian Federation were calculated.

**Conclusions.** The article lists the most and least vulnerable regions for each factor. A comprehensive assessment of potential changes in forestry in the region, due to the increasing probability of these risks and the associated threat of change in species composition, is given. The study can be used to develop a set of forestry

© Semenov M. A., Komarova O. V., 2022

✉ Olga V. Komarova, e-mail: Olya34@mail.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

adaptation measures to mitigate the negative effects of climate change, related material losses and adaptation of the forestry complex to changing environmental conditions.

**Key words:** climate change, managed forests, vulnerability, vulnerability factors, adaptation, adaptive capacity.

**For citation:** Semenov M. A., Komarova O. V. Assessing the Vulnerability of Forestry in the Forest-Steppe and Steppe Areas of European Russia to the Most Likely Climate Change. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija. Geoekologija*, 2022, no. 3, pp. 76-85 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/76-85>

## REFERENCES

1. Akimov L. M., Vladimirov D. R., Grigor'evskaja A. Ja. Tendencii izmenenija flory lugovyh stepej Central'nogo Chernozem'ja v uslovijah sovremennogo sostojanija klimata [Trends in the meadow steppes flora changes in the Central Chernozem region under current climate conditions]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Regional'nye jeffekty global'nyh izmenenij klimata (prichiny, posledstvija, prognozy)»*, 2012, pp. 275-278. (In Russ.)
2. Budyko M. I. *Klimat v proshlom i budushhem* [Climate in the past and in the future]. Leningrad: Gidrometizdat, 1980. 352 p. (In Russ.)
3. Vil'fand R. M., Strashnaja A. I., Bereza O. V. O dinamike agroklimaticheskikh pokazatelej uslovij seva, zimovki i formirovanija urozhaja osnovnyh zernovyh kul'tur [On the dynamics of agro-climatic indicators of sowing, wintering and harvest formation conditions of the main grain crops]. *Trudy Gidrometcentra Rossii*, 2016, vol. 360, pp. 45-78. (In Russ.)
4. Gal'cov A. P., Chaplygina A. S. Vtoroe soveshhanie po probleme preobrazovanija klimata [The second meeting on the problem of climate transformation]. *Izvestija AN SSSR. Serija geograficheskaja*, 1962, no. 5, pp. 184-186. (In Russ.)
5. Gruza G. V., Ran'kova Je. Ja., Platova T. V. *Ocenka sezonnyh osobennostej regional'nyh pojavlenij izmenenija global'nogo klimata* [Assessment of seasonal characteristics of regional manifestations of global climate change]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovanija ekosistem*, 2010, no. 23, pp. 11-22. (In Russ.)
6. *Doklad ob osobennostjah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2016 god* [Report on the climate characteristics in Russia for 2016]. Moscow: Rosgidromet, 2017. 70 p. (In Russ.)
7. Matveev S. M. *Dendroindikacija dinamiki sostojanija sosnovykh nasazhdenij Central'noj lesostepi* [Dendroindication of the dynamics of the state of pine plantations in the Central forest-steppe]. Voronezh: Izdatel'stvo VGU, 2003. 269 p. (In Russ.)
8. *Razrabotka scenarijev adaptacii sistemy vedenija lesnogo hozjajstva v upravljaemyh lesah Severo-Zapada Evropejskoj chasti Rossii v svjazi s ozhidaemymi izmenenijami klimata. Ocenka naibolee verojatnyh izmenenij v lesnom pokrove, trebujushhij primenenija adaptacionnyh mer raznoj stepeni zablago vremennosti: Zakljuchitel'nyj otchet o NIR* [Development of the forest management system adaptation scenarios in the managed forests of the North-West of the European part of Russia in connection with expected climate changes. Assessment of the most likely changes in the forest cover that require the early adaptation measures: The final research report]. Sankt-Peterburg: SPbNILH, 2016. 116 p. (In Russ.)
9. *Razrabotka scenarijev adaptacii sistemy vedenija lesnogo hozjajstva v upravljaemyh lesah lesostepnogo rajona i rajona stepej Evropejskoj chasti RF v svjazi s ozhidaemymi izmenenijami klimata: Zakljuchitel'nyj otchet o NIR* [Development of the forest management system adaptation scenarios in the managed forests of the forest-steppe region and the steppe region of the European part of Russia in connection with expected climate changes: The final research report]. Voronezh: VNIILGISbiotech, 2018. 90 p. (In Russ.)
10. *Razrabotka scenarijev adaptacii sistemy vedenija lesnogo hozjajstva v upravljaemyh lesah lesostepnogo rajona i rajona stepej Evropejskoj chasti RF v svjazi s ozhidaemymi izmenenijami klimata: Promezhutochnyj otchet o NIR* [Development of the forest management system adaptation scenarios in the managed forests of the forest-steppe region and the steppe region of the European part of Russia in connection with expected climate changes: The interim research report]. Voronezh: VNIILGISbiotech, 2017. 169 p. (In Russ.)
11. Harchenko N. A., Aref'ev Ju. F., Martoveckij O. V. Lesozashhitnyj aspekt formirovanija kul'tur sosny v juzhnoj lesostepi Central'nogo Chernozem'ja [Forest protection aspect of the formation of pine plantations in the southern forest-steppe of the Central Chernozem region]. *Tezisy dokladov nauchnoj konferencii*, 2000, pp. 30-31. (In Russ.)
12. Brooks N., W. N. Adger, and P. M. Kelly. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 2005, pp. 151-163.
13. Chamberlin T. C. Climate Change and Cosmogony. *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics 31B*, 3 (2000), pp. 293-308.
14. Füssel H. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 2007, pp. 155-167.
15. Lloyd A. H., Bunn A. G. Responses of the circumpolar boreal forest to 20th century climate variability. *Environmental research letters*, 2007, vol. 2, pp. 13.
16. Manabe S., Wetherald R. T. Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity. *J. Atm. Sci.*, 1967, vol. 24, no. 3, pp. 241-259.
17. Möller F. On the influence of changes in the CO<sub>2</sub> concentration in air on the radiation balance at the Earth's surface and on climate. *J. Geophys. Res.*, 1963, vol. 68, no. 13, pp. 3877-3896.

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

*Received: 13.10.2021*

*Accepted: 05.09.2022*

Семёнов Михаил Александрович

кандидат биологических наук, заместитель директора по научной и инновационной работе Всероссийского научно-исследовательского института лесной генетики, селекции и биотехнологии, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-3709-1669, e-mail: otbio-vniilgis@yandex.ru

Комарова Ольга Валерьевна

научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института лесной генетики, селекции и биотехнологии, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-8230-4651, e-mail: Olya34@mail.ru

Mikhail A. Semenov

Cand. Sci. (Biol.), Deputy Director for scientific and innovation work of the All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-3709-1669, e-mail: otbio-vniilgis@yandex.ru

Olga V. Komarova

Researcher of the All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-8230-4651, e-mail: Olya34@mail.ru