

УДК 630*64

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.57

ПРОГНОЗ АДАПТИВНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ В СВЯЗИ С ВОЗМОЖНЫМИ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ

М.А. Семёнов, канд. биол. наук, зам. директора по научной и инновационной работе;
ResearcherID: [M-8712-2016](#), ORCID: [0000-0002-3709-1669](#)

А.А. Высоцкий, д-р с.-х. наук, ведущий науч. сотр.; ORCID: [0000-0001-9974-2482](#)

В.И. Пащенко, мл. науч. сотр.; ORCID: [0000-0002-3748-1886](#)

Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, ул. Ломоносова, д. 105, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: ilgis@lesgen.vrn.ru

Усиление антропогенного воздействия на биосферу в XX в. и в начале XXI в. привело к потеплению климата на планете, аридизации и опустыниванию территорий и снижению способности экосистем к саморегуляции и естественному восстановлению. В результате произошло значительное сокращение количества естественных и девственных лесов на планете и формирование на больших площадях производных низкокачественных насаждений. По данным Межправительственной группы экспертов ООН, потепление будет продолжаться и в дальнейшем. При этом в ближайшие 30–40 лет будет возрастать частота возникновения засух, а потери мировой экономики от трансформации климата к 2100 г. могут составить до 20 % от глобального валового продукта. В соответствии с палеонтологическими данными, климат на земном шаре никогда не был стабильным: периоды потепления и похолодания периодически сменяли друг друга. Современное потепление в отличие от предыдущих исторических периодов носит в основном антропогенный характер и в европейской части России происходит главным образом в холодное время года, поэтому амплитуда колебания среднегодовых показателей температуры уменьшается, что заметно снижает континентальность климата. Однако происходящее повышение среднегодовой температуры воздуха в Центрально-Черноземном и Поволжском регионах свидетельствует не об улучшении условий произрастания растений, а об усилении нестабильности климата: повысилась частота повторения засух, аномально суровых и аномально теплых зим, а растения все в большей степени стали подвергаться многократному воздействию стрессовых факторов. Результаты специальных исследований позволили сделать вывод о возможных значительных изменениях климата уже в обозримом будущем. Очевидно, что для минимизации последствий от этих процессов необходимо применять превентивные меры по адаптации к меняющимся климатическим условиям таких метеозависимых отраслей, как лесное хозяйство и агропромышленный комплекс. В случае непринятия необходимых мер изменение климата в лесостепном районе и районе степей Европейской России неизбежно отразится на состоянии лесных экосистем. При этом следует ожидать как изменения их породного состава и уровня биоразнообразия, так и повышения рисков возникновения лесных пожаров, массового распространения вредителей и болезней леса, увеличения частоты и силы экстремальных погодных явлений и ухудшения социально-экономических условий ведения лесного хозяйства. Исследования динамики климата проводились путем изучения температурного режима воздуха и количества выпадавших в регионе осадков за длительный период времени и анализа имеющихся литературных сведений отечественных и международных климатических организаций. Возможные изменения климата оценивали по методике, разработанной межправительственной группой экспертов ООН с учетом будущих выбросов парниковых газов и концентрации их в атмосфере. На основании выполненных исследований сделан вывод, что при развитии даже самого мягкого сценария в конце XXI в. в лесостепном районе и районе степей европейской части России произойдут значительные изменения климатических параметров, которые неиз-

бежно затронут состояние лесных экосистем. При этом ключевыми факторами, имеющими первостепенное значение в ответе управляемых лесов на эти изменения климата, будут лесные пожары, вредители и болезни леса и неблагоприятные погодные условия. В настоящее время лесные экосистемы располагают довольно высоким адаптационным потенциалом. Однако в связи с появлением перечисленных выше факторов риска потребуется проведение упреждающих и стратегических адаптационных мероприятий различной степени заблаговременности, направленных на снижение возможных негативных последствий, способных вывести экосистему из состояния равновесия. Использование только ситуационных и тактических мер не будет способствовать укреплению потенциала лесных экосистем и неизбежно приведет к значительным экономическим потерям.

Для цитирования: Семёнов М.А., Высоцкий А.А., Пащенко В.И. Прогноз адаптивных приспособлений в лесном хозяйстве в связи с возможными климатическими изменениями // Лесн. журн. 2019. № 5. С. 57–69. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.57

Ключевые слова: изменение климата, лесные экосистемы, адаптация, биосфера, вредители и болезни леса, экстремальные погодные факторы, саморегуляция, восстановление.

Введение

Потепление климата на планете как следствие человеческой деятельности привлекло внимание ученых еще в 60–70-е гг. XX в. Анализ результатов специальных исследований позволил сделать вывод о возможных негативных последствиях трансформации климата уже в обозримом будущем [2, 3, 14, 16].

В лесостепной зоне европейской части России (ЕЧР) среднегодовая температура воздуха за многолетний период с 1871 по 1996 г. возросла с 5,6 до 6,2 °С. Такого значительного повышения среднегодовой температуры в регионе не происходило за весь период метеорологических наблюдений [4, 6, 8, 17]. Для современного периода потепления характерно прохождение его главным образом в холодное время года, в результате чего уменьшается амплитуда колебаний среднегодовых показателей и заметно снижается континентальность климата. Однако происходящая трансформация свидетельствует не об улучшении условий произрастания растений, а об усилении нестабильности погодных условий: повышается частота повторения засух, аномально суровых и аномально теплых зим, а растения все в большей степени подвергаются многократному воздействию стрессовых факторов [8, 9].

Трансформация климата в настоящее время стала основной экологической проблемой планетарного масштаба. Мировое сообщество, с одной стороны, все больше осознает значение лесов в биосфере, с другой – необходимость усиления роли государств в совершенствовании долгосрочных правовых основ лесоправления и принятии превентивных мер воздействия.

Повышение среднегодовой температуры холодного периода года и увеличение продолжительности вегетации в разных экосистемах оказывают неоднозначное влияние на растения. В условиях короткого вегетационного периода, когда температура является лимитирующим фактором, а повышение концентрации углекислого газа в атмосфере активизирует процесс фотосинтеза, умеренное потепление климата позитивно воздействует на рост растений [8, 17, 18]. Однако положительное воздействие изменения климата на леса прекратилось практически еще в 50-е гг. XX в., когда усиление ростовых процессов сменилось угнетением в связи с температурными стрессами [9].

Для изучения динамики и причин деформации климата, влияния на природу и жизнь людей, возможности адаптации и снижения антропогенного воздействия на климатическую систему планеты Организацией Объединенных Наций (ООН) совместно с Всемирной метеорологической службой в 1988 г. создана Межправительственная группа экспертов по климату (МГЭИК).

Происходящие изменения климата активно изучаются и в нашей стране. Эти работы ведутся Научно-исследовательским институтом глобального климата и экологии, являющимся головным учреждением в международных программах и официальным представителем России в МГЭИК, а также научно-исследовательскими учреждениями системы Рослесхоза (СПбНИИЛХ, СевНИИЛХ, ВНИИЛГИСБиотех и др.).

Созданные структуры сыграли значительную роль в оказании помощи правительствам ряда стран по определению политики реагирования на изменения климата в соответствии с Рамочной конвенцией ООН (1992 г.), Киотским протоколом (2007 г.) и Парижским соглашением (2015 г.). Выполненные исследования показали, что выбросы углекислого газа в атмосферу с 1970 по 2004 г. увеличились почти на 80 %, а концентрация парниковых газов в настоящее время значительно превосходит показатели доиндустриального периода. Главным образом это связано с антропогенной деятельностью людей, сжигающих огромное количество ископаемых видов топлива и интенсивно вырубающих леса [2, 16]. Происходящие изменения климата влияют не только на состояние атмосферы и водных объектов, но и на образ жизни и здоровье людей. Это воздействие будет и дальше возрастать во всех регионах мира, а при возникновении экстремальных явлений будут увеличиваться сила и частота стрессов [4].

По мнению ученых, прогрессирующее потепление климата на преобладающей территории Российской Федерации является главным вектором наблюдаемых изменений погодных условий, который нельзя не учитывать в деятельности таких метеозависимых отраслей, как лесное хозяйство и агропромышленный комплекс. Поэтому основные направления адаптации к изменяющемуся климату в лесном хозяйстве и экологии – разработка и реализация превентивных мер, направленных на снижение негативных последствий [3, 16].

В 2015 г. на Парижском форуме по климату 195 государств-участников договорились осуществлять меры, направленные на усиление стоков и сокращение эмиссии углерода, чтобы не допустить роста средней температуры воздуха на планете к 2100 г. более чем на 2,0 °С по сравнению с доиндустриальным уровнем. Значительное повышение этого показателя, обусловленное выбросом в атмосферу парниковых газов, может привести к необратимым последствиям для экологии планеты.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в лесостепном районе и районе степей ЕЧР, представляющих собой особую ландшафтную зону с переходным от леса к степи теплым и сухим умеренно-континентальным климатом [15]. Средняя лесистость лесостепной зоны, куда входит и часть областей Центрального федерального округа, составляет 27,5 %, Центрально-Черноземного региона – только 8,7 %. Леса северной части лесостепной зоны представляют собой крупные лесные массивы естественных насаждений основных лесообразующих пород.

Сосновые боры и дубравы Центрального Черноземья – это относительно небольшие разрозненные лесные массивы, значительная часть которых объявлена заповедной. В степной зоне естественных лесных массивов нет, а искусственные насаждения представлены главным образом лесными полосами различного назначения [5].

Динамику температурного режима и количества выпадавших осадков в регионе изучали по материалам областных метеорологических станций, распространение энтомологических вредителей и болезней леса и состояние лесных экосистем в связи с изменяющимся климатом – по лесоустроительным и отчетным данным областных управлений лесного хозяйства и Рослесозащиты.

Возможные изменения климата в XXI в. оценивали по методике МГЭИК ООН с учетом различных вариантов будущих выбросов парниковых газов и концентрации их в атмосфере.

Для расчетов уязвимости использовали методологический подход, разработанный немецкими учеными, который предварительно был апробирован специалистами СПбНИИЛХ [11, 12].

На основании полученных результатов исследований, проведенных ВНИИЛГИСБиотех в 2017–2018 гг., и с учетом опыта СПбНИИЛХ были выявлены ключевые факторы, имеющие первостепенное значение при прогнозировании ответа управляемых лесов лесостепного и степного районов ЕЧР на изменение климата: это лесные пожары, вредители леса, болезни леса, неблагоприятные погодные условия.

Нормированный показатель рассчитывали по следующей формуле:

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

где $X_{i,0-1}$ – нормированный показатель в диапазоне от 0 до 1; X_i – отдельные точки массива данных для преобразования; X_{\max} , X_{\min} – максимальное и минимальное значение данного показателя.

Способность к адаптации определяли как разницу между единицей и нормированным показателем.

Сценарии адаптации системы ведения лесного хозяйства в управляемых лесах лесостепного района и района степей ЕЧР разрабатывали путем подбора необходимых лесохозяйственных мероприятий и их комбинаций с учетом основополагающих принципов ведения лесного хозяйства [1, 7, 12].

Результаты исследования и их обсуждение

За 100-летний период (1900–2000 гг.) потепление в России составило 1,00 °С, на планете в целом – 0,66 °С, а с 1907 по 2006 г. этот показатель по России достиг 1,29 °С, что также выше, чем на земном шаре. Интенсивность потепления со временем нарастала как в целом по России, так и в Центральном регионе ЕЧР.

Многолетнее устойчивое повышение температуры воздуха и колебание количества выпадающих осадков на территории лесостепного района и района степей ЕЧР ведут к увеличению интенсивности и количества опасных гидрометеорологических явлений. При этом даже небольшие изменения средних величин могут приводить к значительным колебаниям экстремумов. В таких случаях в исследуемом районе следует ожидать изменений породного состава и уровня биоразнообразия основных типов лесных экосистем, повышения

риска возникновения лесных пожаров, массового распространения вредителей и болезней леса, увеличения частоты и силы экстремальных погодных явлений и ухудшения социально-экономических условий ведения лесного хозяйства.

При трансформации температуры воздуха более чем на 1,0 °С в регионе, скорее всего, будет снижаться продуктивность основных типов лесных экосистем, при этом увеличится частота повторения засух, нарушится равновесное состояние лесных экосистем и продолжится деградация дубрав и усыхание березовых древостоев.

В 2020–2030 гг. заметных сдвигов в положении экотопов не будет. Они будут возможны только во внутренней структуре сообществ. В 2050 г. при предполагаемом изменении температуры на 1,7...1,8 °С летом и особенно зимой повысится испаряемость влаги, в результате увеличится площадь осинников, которые по балкам и речным долинам будут продвигаться в степную зону.

Для лесохозяйственного производства особенно важно знать, насколько предсказуем климат планеты на десятилетия вперед.

Оценить предстоящие изменения климата можно только с учетом будущих выбросов парниковых газов и концентрации их в атмосфере. МГЭИК разработала набор сценариев возможных выбросов парниковых газов в атмосферу в XXI в., которые основаны на различных гипотезах о мировом развитии и определяются демографическими, экономическими и технологическими факторами и от которых зависят такие показатели, как интенсивность использования ископаемого топлива и объем выбросов в атмосферу парниковых газов. Сформированные модели выбросов углеродного цикла позволяют рассчитывать изменения концентрации парниковых газов, а по ним – климат на определенный период времени. Такие прогнозы, конечно, условны, так как зависят конкретно от того, какой из сценариев выберет человечество в будущем для своего развития.

Специальный доклад МГЭИК [7, 19] содержит набор из 40 сценариев, охватывающих широкий диапазон возможных в будущем выбросов и концентраций парниковых газов (CO₂, CH₄ и NO₂), которые объединены в 4 группы в зависимости от возможных вариантов изменения ситуации в будущем:

A₁ – объединяет сценарии с очень быстрыми темпами экономического роста, ускоренным внедрением более эффективных технологий, ростом народонаселения Земли с пиком этого показателя в середине века;

A₂ – описывает очень неоднородный мир, основополагающим признаком которого является самообеспечение и сохранение самобытности, экономическое развитие региональной направленности, а экономический рост более медленный, чем в других группах;

B₁ – соответствует единой для всего мира направленности развития, как и в группе A₁; главное внимание здесь уделяется глобальным решениям в сфере экономической устойчивости, но без дополнительных инициатив, связанных с климатом;

B₂ – аналогична группе A₂ и исходит из стратегии локальных решений проблемы экономической, социальной и экологической устойчивости. Мир с постоянно увеличивающимся глобальным населением и более низкими, чем в группе A₂, темпами роста, промежуточным уровнем развития и менее быстрыми и более разнообразными технологическими изменениями по сравнению с сюжетными линиями групп A₁ и B₁. Эта группа, как и B₁, ориентирована на охрану окружающей среды и социальную справедливость [7, 11, 12] (табл. 1).

Таблица 1

**Возможные изменения климатических параметров на территории ЕЧР
по отношению к современному климату в начале (2011–2030 гг.),
середине (2041–2060 гг.) и конце (2080–2099 гг.) XXI в.**

Сценарий климатических изменений	Значение параметра* по периодам		
	2011–2030 гг.	2041–2060 гг.	2080–2099 гг.
B ₁	<u>1,2±0,4</u>	<u>2,1±0,7</u>	<u>3,0±1,1</u>
	4,9±3,2	5,8±2,7	9,1±3,3
A ₁ B ₁	<u>1,2±0,7</u>	<u>2,8±0,8</u>	<u>4,4±1,2</u>
	3,3±3,0	8,0±3,5	11,7±4,6
A ₂	<u>1,0±0,5</u>	<u>2,5±0,7</u>	<u>5,1±1,2</u>
	3,5±2,3	6,4±2,9	12,4±4,5

Как видно из табл. 1, к концу XXI в. среднегодовая температура воздуха на планете может повыситься от 1,9 до 6,3 °С, а суммарное количество осадков – от 6,3 мм до 16,9 мм в зависимости от того, какой сценарий на планете будет осуществляться человечеством. Значительные изменения климатических параметров в лесостепном районе и районе степей ЕЧР могут произойти при даже самом мягком сценарии, что неизбежно затронет состояние лесных экосистем.

Ожидаемое потепление климата в разных регионах Российской Федерации неоднозначно. К югу потепление будет меньше, за исключением самой южной части лесостепного района и района степей ЕЧР, но нигде на территории России не ожидается снижение температуры. Прогнозируется значительное повышение уже в первой половине XXI в.

Ожидаемый рост годового количества осадков в теплое время года на территории России будет происходить главным образом в северных регионах, где возможно увеличение повторяемости ливней и связанных с ними экстремальных режимов погоды. В южных регионах европейской части страны ожидается уменьшение количества летних осадков, рост среднего за год количества которых при потеплении климата обычно приводит к увеличению стока на большинстве водосборов [13].

Таким образом, при развитии даже самого мягкого сценария к концу XXI в. в лесостепном районе и районе степей ЕЧР произойдут значительные изменения климатических параметров, которые неизбежно затронут состояние лесных экосистем. При этом прогнозируемое изменение климата на территории ЕЧР будет происходить по сезонам года.

Уязвимость биологических систем к сопротивлению меняющимся факторам внешней среды определяли как адаптационный потенциал [12].

В ходе исследований выявлены ключевые факторы, имеющие первостепенное значение при прогнозировании ответа управляемых лесов на изменение климата: лесные пожары, вредители и болезни леса, неблагоприятные погодные условия.

По каждой из 11 исследованных областей лесостепного и степного регионов определены расчетные значения каждого из факторов для оценки способности экосистем к адаптации (табл. 2–5). Более низкие значения нормированных показателей в табл. 2–5 свидетельствуют о меньшей уязвимости. С повышением уязвимости снижается способность к адаптации.

Для оценки лесных площадей по фактической горимости (табл. 2) рассчитывали относительную площадь пожара, т. е. площадь пожара, которая приходится на единицу площади территории в среднем за сезон по многолетним данным. Для исследуемых областей определено отношение средней площади, пройденной пожарами за год, к общей площади лесов региона (за период с 2000 по 2017 г.).

Таблица 2

Расчетные значения ключевого фактора уязвимости «лесные пожары»

Область	Горимость лесов (относительная площадь пожаров за год), %	Нормированное значение показателя	Способность к адаптации
Белгородская	0,031	0,09	0,91
Волгоградская	0,150	0,44	0,56
Воронежская	0,314	0,92	0,08
Курская	0,009	0,02	0,98
Липецкая	0,322	0,95	0,05
Орловская	0,002	0,00	1,00
Пензенская	0,039	0,11	0,89
Ростовская	0,340	1,00	0,00
Самарская	0,045	0,13	0,87
Саратовская	0,096	0,28	0,72
Тамбовская	0,210	0,62	0,38

Видно, что наименее уязвимыми к пожарной опасности являются управляемые леса Белгородской, Курской, Орловской и Пензенской областей. Способность к адаптации лесов этих административных единиц находится в интервале 0,89–1,00. Наименее способны к адаптации и наиболее уязвимы управляемые леса Ростовской, Липецкой и Воронежской областей.

Расчет по ключевому фактору «вредители леса» (табл. 3) производили по областям, в которых в течение изучаемого периода были случаи гибели лесов от воздействия насекомых-вредителей.

Таблица 3

Расчетные значения ключевого фактора уязвимости «вредители леса»

Область	Относительная площадь насаждений, погибших от вредителей, %	Нормированное значение показателя	Способность к адаптации
Воронежская	0,001	0,034	0,966
Курская	0,011	0,379	0,621
Липецкая	0,001	0,034	0,966
Орловская	0,029	1,000	0,000

Наименее уязвимы к вредителям леса насаждения Воронежской и Липецкой областей. При значительных изменениях климата неблагоприятная ситуация по этому ключевому фактору может сложиться в Орловской области.

Наибольшим адаптационным потенциалом к ключевому фактору уязвимости «болезни леса» (табл. 4) обладают управляемые леса Волгоградской, Ростовской, Саратовской и Курской областей, наименьшим – Тамбовской области.

Таблица 4

Расчетные значения ключевого фактора уязвимости «болезни леса»

Область	Относительная площадь насаждений, погибших от болезней, %	Нормированное значение показателя	Способность к адаптации
Белгородская	0,026	0,255	0,754
Волгоградская	0,001	0,000	1,000
Воронежская	0,041	0,408	0,592
Курская	0,016	0,153	0,847
Липецкая	0,070	0,704	0,296
Орловская	0,006	0,051	0,049
Пензенская	0,040	0,398	0,602
Ростовская	0,003	0,020	0,980
Самарская	0,009	0,082	0,918
Саратовская	0,004	0,031	0,969
Тамбовская	0,099	1,000	0,000

Из табл. 5 видно, что к ключевому фактору «неблагоприятные погодные условия» наименее уязвимы лесные насаждения Белгородской, Курской, Пензенской и Воронежской областей. Наименьшим адаптационным потенциалом в этом отношении располагают управляемые леса Орловской и Тамбовской областей.

Таблица 5

Расчетные значения ключевого фактора уязвимости «неблагоприятные погодные условия»

Область	Относительная площадь насаждений, погибших от неблагоприятных погодных условий, %	Нормированное значение показателя	Способность к адаптации
Белгородская	0,004	0,000	1,000
Волгоградская	0,081	1,000	0,000
Воронежская	0,014	0,130	0,870
Курская	0,004	0,001	0,999
Липецкая	0,040	0,468	0,532
Орловская	0,011	0,090	0,010
Пензенская	0,009	0,065	0,935
Ростовская	0,023	0,247	0,753
Самарская	0,070	0,857	0,143
Саратовская	0,018	0,177	0,823
Тамбовская	0,080	0,987	0,013

В лесостепном районе и районе степей ЕЧР за 20-летний период с 1997 по 2017 г. по состоянию на 01.01.2017 г. в сравнении с 1997 г.:

увеличилась площадь лесных земель, занятых сосной обыкновенной, за исключением Воронежской, Орловской и Самарской областей;

увеличилась площадь насаждений низкоствольной формы дуба и снизилась площадь, занятая дубом высокоствольным, в Воронежской, Липецкой и Самарской областях;

увеличилась площадь насаждений дуба высокоствольного и уменьшилась площадь низкоствольной формы дуба в Белгородской и Пензенской областях;

уменьшилась общая площадь дубовых насаждений в Ростовской области; отмечено усыхание березовых и деградация дубовых насаждений по всем областям.

На основании качественной оценки уязвимости сделан вывод, что лесные экосистемы лесостепного района и района степей ЕЧР располагают довольно высоким адаптационным потенциалом. Однако по таким факторам риска, как лесные пожары, вредители и болезни леса и неблагоприятные погодные условия, требуется проведение адаптационных мероприятий различной степени заблаговременности, направленных на снижение возможных негативных последствий, способных вывести экосистему из состояния равновесия [1].

Наибольшим приоритетом при формировании и осуществлении стратегий и программ адаптации лесного хозяйства лесостепного района и района степей ЕЧР обладают упреждающие и стратегические меры, осуществляемые органами государственной власти. Использование только ситуативных и тактических мер не будет способствовать укреплению адаптационного потенциала лесов, оно будет только снижать экономическую эффективность реализации стратегии адаптации в целом [19].

Практическое осуществление комплекса адаптационных мероприятий в соответствии с предусмотренным типом и приоритетностью позволит оптимизировать структуру лесов, повысить устойчивость их к насекомым-вредителям и болезням, сохранить и приумножить ресурсы побочного пользования, снизить пожарную опасность в лесах и потери от экстремальных погодных условий, сократить эмиссию углекислого газа в атмосферу.

Разработанные сценарии адаптации системы ведения лесного хозяйства лесостепного района и района степей ЕЧР следует рассматривать как первоначальный этап при выборе стратегии лесопользования, на основании которого будут создаваться адаптационные программы [10, 11]. В них предусмотрено применение сортов сосны обыкновенной селекции ВНИИЛГИСбиотех: «Красавица» (повышенной смолопродуктивности и устойчивости к корневой губке) и «Острогжская» (повышенной засухоустойчивости).

На основании проведенной оценки уязвимости управляемых лесов лесостепного района и района степей ЕЧР с учетом основных параметров климатических прогнозов разработаны следующие сценарии адаптации системы ведения лесного хозяйства в управляемых лесах региона [11, 12]:

- сценарий A_1 текущего, или «наблюдаемого» изменения климата;
- сценарий B_1 SRES (Special report on emission scenarios);
- сценарий A_2 SRES (Special report on emission scenarios).

Для каждого сценария предложен комплекс адаптационных мер по всем ключевым факторам.

При развитии событий по сценарию A_1 текущего, или наблюдаемого, изменения климата леса лесостепного и степного районов ЕЧР будут адаптационно устойчивы. Адаптационные меры могут быть применимы лишь для некоторых областей. Дополнительные меры адаптации по ключевому фактору уязвимости «лесные пожары» могут потребоваться в Воронежской, Белгородской, Липецкой и Тамбовской областях; по ключевому фактору «неблагоприятные погодные условия» – в Волгоградской, Самарской и Тамбовской областях.

При развитии событий по сценарию B₁ SRES лесные экосистемы в большинстве областей будут иметь достаточную устойчивость ко всем ключевым факторам угроз. Их адаптационная способность оценена как удовлетворительная. Применительно к ним потребуется лишь непрерывный мониторинг за состоянием систем и применение адаптационных мер, в том числе полномасштабных лесохозяйственных мероприятий, чтобы не допустить переход систем в состояние более низкой адаптационной способности.

Развитие событий по жесткому сценарию A₂ SRES предполагает, что система будет нуждаться в принятии дополнительных мер, кроме тех, что будут применяться по сценарию B₁ SRES.

Таким образом, влияние постоянно меняющегося климата на лесные экосистемы лесостепного района и района степей ЕЧР может быть снижено за счет совершенствования системы противопожарного мониторинга и организационно-управленческой структуры охраны леса, борьбы с лесными пожарами, своевременного проведения санитарно-оздоровительных мероприятий и организационно-просветительской работы с населением.

Заключение

Многолетнее устойчивое повышение температуры воздуха и колебание количества выпавших осадков на территории лесостепного района и района степей европейской части России определяют неустойчивость климата, интенсивность и количество экстремальных и опасных гидрометеорологических явлений.

При развитии любого, даже самого мягкого, сценария в регионе произойдут значительные изменения климата, которые неизбежно затронут состояние лесных экосистем.

Лесные экосистемы располагают довольно высоким адаптационным потенциалом. Однако по таким факторам риска, как лесные пожары, вредители и болезни леса и неблагоприятные погодные условия, потребуется проведение мероприятий различной степени заблаговременности, направленных на снижение возможных негативных последствий, способных вывести экосистему из состояния равновесия.

Для снижения негативного влияния постоянно меняющихся климатических факторов на лесные экосистемы необходимо: увеличивать покрытую лесом площадь и проводить лесовосстановление на селекционно-генетической основе; своевременно осуществлять уборку ветровалов и горельников, совершенствовать систему мониторинга, профилактировать появление корневых гнилей в лесных культурах и молодняках; проводить карантинные мероприятия при переработке семян и выращивании посадочного материала; регулировать популяции копытных животных; строго соблюдать лесохозяйственные правила расположения и сроки примыкания лесосек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Адаптация лесов к изменению климата: глобальный обзор последствий изменения климата для лесов и людей и варианты адаптации. IUFRO, 2009. 24 с. Режим доступа: https://www.iufro.org/download/file/26209/4496/Policy_brief_RU_pdf (дата обращения: 12.02.2019). [*Forest Adaptation to Climate Change: A Global Overview of the Impacts of Climate Change on Forests and People and Adaptation Options*. IUFRO, 2009. 24 p.].

2. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 352 с. [Budyko M.I. *Past and Future Climate*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980. 352 p.]

3. Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. О динамике агроклиматических показателей условий сева, зимовки и формирования урожая основных зерновых культур // Тр. Гидрометеорол. науч.-исслед. центра РФ. 2016. Вып. 360. С. 45–78. [Vilfand R.M., Strashnaya A.I., Bereza O.V. About the Dynamics of the Agroclimatic Indicators of Conditions of Sowing, Wintering and Formation of the Yield of the Main Grain Crops. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiyskoy Federatsii* [Proceedings of Hydrometcentre of Russia], 2016, iss. 360, pp. 45–78].

4. Гальцов А.П., Чаплыгина А.С. Второе совещание по проблеме преобразования климата // Изв. АН СССР. Сер.: География. 1962. № 5. С. 184–186. [Gal'tsov A.P., Chaplygina A.S. Second Meeting on Climate Change. *Izvestiya AN SSSR. Seriya: Geografiya*, 1962, no. 5, pp. 184–186].

5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации в 2016 году. М.: Росгидромет, 2017. 70 с. [A Report on Climate Features on the Territory of the Russian Federation in 2016. Moscow, Roshydromet Publ., 2017. 70 p.]

6. Климат Воронежа: справ. / под ред. Ц.А. Швер, С.А. Павлова. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 104 с. [Climate of Voronezh: A Handbook. Ed. by Ts.A. Shver, S.A. Pavlova. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1968. 104 p.]

7. Мелешко В.П., Голицын Г.С., Говоркова В.А., Демченко П.Ф., Елисеев А.В., Катцов В.М., Малевский-Малевич С.П., Мохов И.И., Надежина Е.Д., Семенов В.А., Спорышев П.В., Хон В.Ч. Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 38–49. [Meleshko V.P., Golitsyn G.S., Govorkova V.A., Demchenko P.F., Eliseev A.V., Kattsov V.M., Malevsky-Malevich S.P., Mokhov I.I., Nadyozhina E.D., Semenov V.A., Sporyshev P.V., Khan V.Ch. Anthropogenic Climate Changes in Russia in the 21st Century: An Ensemble of Climate Model Projections. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russian Meteorology and Hydrology], 2004, no. 4, pp. 38–49].

8. Олссон Р. Использовать или охранять? Бореальные леса и изменение климата // Устойчивое лесопользование. 2013. № 2(35). С. 36–45. [Olsson R. Use or Guard? Boreal Forests and Climate Change. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye*, 2013, no. 2(35), pp. 36–45].

9. О стратегических оценках последствий изменений климата в ближайшие 10–20 лет для природной среды и экономики Союзного государства: докл. 2009. 19 с. Режим доступа: http://www.primgidromet.ru/news/rosgidromet_opublikoval_doklad (дата обращения: 12.02.2019) [On Strategic Assessments of the Impact of Climate Change in the Next 10–20 Years on the Environment and Economy of the Union State: A Report. 2009. 19 p.]

10. Оценка влияния лесохозяйственных мероприятий на цикл углерода и разработка сценариев адаптации системы ведения лесного хозяйства в управляемых лесах северной и средней тайги европейско-уральской части России в связи с ожидаемыми изменениями климата: заключ. отчет о НИР / Федеральное агентство лесного хозяйства. Архангельск: СЕВНИИЛХ, 2016. 299 с. [Assessment of the Impact of Forest Management Activities on the Carbon Cycle and Development of Adaptation Scenarios of the Forest Management System in the Managed Forests of the Northern and Middle Taiga of the European-Ural Part of Russia in Connection with the Expected Climate Changes: Final Report on Scientific Research Activity. Arkhangelsk, SEVNILKh Publ., 2016. 299 p.]

11. Разработка сценариев адаптации системы ведения лесного хозяйства в управляемых лесах лесостепного района и района степей европейской части Российской Федерации в связи с ожидаемыми изменениями климата: промежуточ. отчет о НИР / Федеральное агентство лесного хозяйства. Воронеж: ВНИИЛГИСбиотех, 2017. 169 с. [Development of Adaptation Scenarios of the Forest Management System in the Managed Forests of the Forest-Steppe and Steppe Regions of the European Part of the Russian Federation in Connection with the Expected Climate Changes: Final Report on Scientific Research Activity. Voronezh, VNIILGISbiotekh Publ., 2017. 169 p.]

12. 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: заключ. отчет о НИР / Федеральное агентство лесного хозяйства. СПб.: СПбНИИЛХ, 2016. 116 с. [*Development of Adaptation Scenarios of the Forest Management System in the Managed Forests of the North-West of the European Part of Russia in Connection with the Expected Climate Change. Assessment of the Most Likely Changes in Forest Cover that Require Adaptation Measures of Varying Degrees of Advance: Final Report on Scientific Research Activity.* Saint Petersburg, SPbNIIKKh Publ., 2016. 116 p.].

13. Результаты исследований изменений климата для стратегий устойчивого развития Российской Федерации. Росгидромет, 2005. 178 с. Режим доступа: <http://www.meteorf.ru/upload/iblock/e5b/3380-Verstka-19-may-2006-A4-compr.pdf> (дата обращения: 19.05.2016) [*Results of Climate Change Studies for Sustainable Development Strategies of the Russian Federation.* Rosgidromet, 2005. 178 p.].

14. Сазонов Б.И. Природа современных изменений климата // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии: тез. докл. 5-го Всесоюз. совещ. по вопросам дендрохронологии, 29–31 мая 1990 г. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. С. 122. [Sazonov B.I. Nature of Modern Climate Change. *Issues of Dendrochronology and Dendroclimatology: Abstracts of the 5th All-Union Meeting on Issues Related to Dendrochronology.* Sverdlovsk, UrO AN SSSR Publ., 1990, p. 122].

15. Физико-географическое районирование центральных черноземных областей / под ред. Ф.Н. Милькова. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1961. 261 с. [*Physical and Geographical Zoning of the Central Chernozem Regions.* Ed. by F.N. Mil'kov. Voronezh, VGU Publ., 1961. 261 p.].

16. Callendar G.S. The Artificial Production of Carbon Dioxide and Its Influence on Temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1938, vol. 64, iss. 275, pp. 223–240. DOI: [10.1002/qj.49706427503](https://doi.org/10.1002/qj.49706427503)

17. Lloyd A.H., Bunn A.G. Responses of the Circumpolar Boreal Forest to 20th Century Climate Variability. *Environmental Research Letters*, 2007, vol. 2, no. 4. 13 p. DOI: [10.1088/1748-9326/2/4/045013](https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/4/045013)

18. Rahmstorf S. Shifting Seas in the Greenhouse? *Nature*, 1999, vol. 399, pp. 523–524. DOI: [10.1038/21066](https://doi.org/10.1038/21066)

19. Strandberg G. *Baltic Challenges and Chances for Local and Region Development Generated by Climate Change.* Centre for Climate Science and Policy Research (CSPR). Stockholm, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, 2010. 20 p.

ADAPTATION SCENARIOS IN FOREST MANAGEMENT DUE TO THE POSSIBLE CLIMATE CHANGES

M.A. Semenov, Candidate of Biology, Deputy Director for Scientific Research and Innovation; ResearcherID: [M-8712-2016](https://orcid.org/0000-0002-3709-1669), ORCID: [0000-0002-3709-1669](https://orcid.org/0000-0002-3709-1669)

A.A. Vysotskiy, Doctor of Agriculture, Leading Research Scientist; ORCID: [0000-0001-9974-2482](https://orcid.org/0000-0001-9974-2482)

V.I. Pashchenko, Junior Research Scientist; ORCID: [0000-0002-3748-1886](https://orcid.org/0000-0002-3748-1886)

All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, ul. Lomonosova, 105, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: ilgis@lesgen.vrn.ru

The increased human impact on the environment in the 20th and the beginning of the 21st centuries has resulted in global warming, aridization, desertification and reduced ability of ecosystems to adapt to changes and recover from disturbances. As a result, the world natural virgin forests have receded drastically and been replaced by lower quality second-growth forests over large areas. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of the United Nations the warming will continue even further, which will lead to

increased drought frequency in the next 30–40 years; as a result by the end of the century the world economy can lose up to 20 % of the global gross product. The paleontological data indicate that the climate on our planet has never been stable: periods of warming have always been followed by periods of cooling and vice versa. Modern warming, in contrast to previous historical periods, is anthropogenic and in the European part of Russia occurs mainly in the cold season. Therefore, the amplitude of oscillation in the average annual temperature decreases, which significantly reduces the climate continentality. However, the increased mean annual air temperature in the Central Chernozem and Volga regions reflects the climate instability rather than the improved growth conditions. Thus, droughts are becoming increasingly frequent as well as abnormally warm and abnormally cold winters. Consequently, plants are suffering from increased influence of multiple stress factors. The results of the special studies enable us to conclude that the climate may significantly change in the foreseeable future. The need for preventive measures in order to minimize the effects of climate changes is indisputable, as only well-conceived actions can help such weather-dependent industries as forestry and agriculture to adapt to changing climatic conditions. It is obvious, that if we fail to take swift actions in this regard, climate changes in the forest-steppe and steppe zones of European Russia will inevitably have serious consequences for the state of forest ecosystems. These consequences might include changes in the species composition and biodiversity level of the forest ecosystems, increased risks of forest fires and mass spread of pests and forest diseases, increased frequency and intensity of extreme weather events and deterioration of economic conditions for forest management. Our studies of trends and patterns in climate were carried out by observation of the air temperature regime and the amount of precipitation in the region over a long period of time. We relied on the available literature of Russian and international climate research organizations. The assessment of possible climate change was carried out using the IPCC methodology. We also took into account future greenhouse gas emissions and their concentration in the atmosphere. The study concluded that in the forest-steppe and steppe zones of the European part of Russia any scenario, even the mildest one, would lead to significant changes in climatic parameters by the end of the 21st century, which would inevitably affect the state of forest ecosystems. Forest fires, pests and forest diseases will become the key stress factors, which will have a paramount impact on managed forests. Currently, forest ecosystems have a fairly high adaptive capacity. However, in order to reduce the potential negative impact of unfavourable factors we need to implement a variety of prevention and adaptation measures with different time frames for the implementation. Appropriate preventive actions timely made can reduce the possible negative effects of climate changes and help to keep the ecosystems balanced. It is important to note that sheer situational and tactical measures cannot increase the adaptive capacity of forest ecosystems and will, therefore, inevitably lead to significant economic losses.

For citation: Semenov M.A., Vysotskiy A.A., Pashchenko V.I. Adaptation Scenarios in Forest Management Due to the Possible Climate Changes. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 5, pp. 57–69. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.57

Keywords: climate change, forest ecosystems, adaptation, biosphere, pests, forest diseases, extreme weather factors, self-regulation, regeneration.

Поступила 12.02.19 / Received on February 12, 2019
