



DOI 10.21178/2079-6080.2017.4.64
УДК 630+614.841.2+630.181

Анализ комплекса адаптационных мер к ожидаемым изменениям климата в лесном секторе Российской Федерации

© И.О. Торжков¹, Т.С. Королева¹, А.В. Константинов², Е.А. Куш-
нир¹

Economic efficiency analysis of the adaptation to climate change in forestry in Russia

I.O. Torzhkov, T.S. Koroleva, A.V. Konstantinov, E.A. Kushnir (Saint Petersburg Forestry Research Institute; The Voeikov Main Geophysical Observatory)

Expected climate change will have a severe impact on all areas of economic activity. In the forestry sector, they can manifest themselves in the long term, while being critical for forest biocoenosis. To identify and prevent possible adverse effects of climate change in forestry, development of adaptation measures that reduce the vulnerability of forest systems, taking into account long-term climate models and analysis of scenarios for the development of ecosystems, is required.

This study analyses the main classification indicators that characterise the adaptation measures for the forestry sector based on the time, duration, scale, responsibility and the specific purpose of each adaptation measure and strategy, and the degree of priority of the adaptation measures. Based on the assessment of risks caused by climate change, adaptation measures are proposed for four main factors of the vulnerability of forest ecosystems: forest fires, forest diseases, outbreaks of insect pests, extreme weather events. The study compares the vulnerability of forestry to these factors.

In work the methodology of economic efficiency calculation of forest management adaptation to predicted climate changes is offered. The method is based on the comparison of costs in the sphere of nature management to the implementation of adaptation measures and after their application, taking into account the simulated climate indices by the middle and the end of the century. On the example of fire control in forests, the economic efficiency of improving the system for detecting forest fires in the territory of the Moscow Region has been calculated. It was concluded the economic feasibility of introducing a video monitoring system as a measure of adaptation to the projected increase in the state of burning in the region.

Key words: forest ecosystems, adaptive capacity, economic efficiency, climate change

Анализ комплекса адаптационных мер к ожидаемым изменениям климата в лесном секторе Российской Федерации

Т.С. Королева, А.В. Константинов, Е.А. Кушнир, И.О. Торжков

Ожидаемые климатические изменения окажут серьезное воздействие на все сферы хозяйственной деятельности. В лесном секторе они могут проявиться в отдаленной перспективе, при этом носить критический характер для лесных биоценозов. Для выявления и предотвращения возможных негативных последствий изменения климата в лесном хозяйстве требуется разработка мер адаптации, снижающих уязвимость лесных систем, с учетом долгосрочных климатических моделей и анализа сценарных прогнозов развития экосистем.

В настоящем исследовании проанализированы основные классификационные показатели, характеризующие адаптационные меры для лесного сектора по признакам времени, продолжительности, масштаба, ответственности и конкретной цели каждого мероприятия и стратегии адаптации, а также степени их приоритетности. На основе оценки рисков, вызванных климатическими изменениями, предлагаются адаптационные меры по четырем главным факторам уязвимости лесных экосистем: лесные пожары, болезни леса, вспышки численности насекомых-вредителей, экстремальные погодные явления. В исследовании проводится сравнение степени уязвимости лесного хозяйства по указанным факторам.

В работе предложена методика расчёта экономической эффективности адаптации системы ведения лесного хозяйства к прогнозируемым изменениям климата. В основе методики – сравнение затрат в сфере природопользования до реализации адаптационных мер и после их внедрения с учётом моделируемых показателей климата к середине и концу века. На примере Московской области произведен расчёт экономической эффективности совершенствования системы обнаружения лесных пожаров, на основе которого сделан вывод о целесообразности внедрения системы видеомониторинга в качестве меры адаптации к прогнозируемому увеличению горимости на территории региона.

Ключевые слова: меры адаптации, лесное хозяйство, экономическая эффективность, изменение климата

Торжков Иван Олегович – начальник планово-экономического отдела
E-mail: ivantorzhkov@gmail.com

Королева Татьяна Станиславна – д-р физ.-мат. наук, ученый секретарь
E-mail: koroleva@spb-niilh.ru

Константинов Артем Васильевич – канд. с.-х. наук
E-mail: science@spb-niilh.ru

Кушнир Елизавета Андреевна – младший науч. сотр. сектора проблем изменения климата НИО мониторинга лесных экосистем
E-mail: elizavetta@mail.ru

¹ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
194021, Санкт-Петербург, Институтский пр., д. 21
Телефон: 8 (812) 552-80-21
E-mail: mail@spb-niilh.ru

²ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»
194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7
Телефон: 8 (812) 297-43-90

Введение

Лесной сектор экономики подвержен прямому воздействию климатических и метеорологических факторов. Меняющиеся климатические условия являются причиной рассогласования межвидовых взаимодействий в экосистемах, изменений продуктивности лесных экосистем, смещения границ лесорастительных зон, сдвигов сроков наступления фенологических событий [4]. Кроме того, изменение климата несет угрозу лесным экосистемам, экономике и инфраструктурным объектам лесного сектора. На степень подверженности лесного сектора климатическим изменениям оказывает влияние множество факторов, среди которых — экономические, социальные, политические и технологические. Анализ подобного комплекса неклиматических факторов позволяет оценить источники возникновения рисков нестабильности указанного сектора экономики, способствовать выработке мер по укреплению потенциала для адаптации.

Несмотря на то, что леса являются гибкой, динамичной системой, способной приспособиться к переменам окружающей среды, скорость климатических изменений может превысить темпы адаптации биоценоза. Возникающие при этом стихийные бедствия могут приводить к масштабным негативным последствиям, что потребует больших усилий и затрат по их заблаговременному предотвращению и оперативной ликвидации. Климатические изменения также необходимо принимать во внимание, так как они могут сказаться на стоимости товаров из древесины и оказать влияние на рынок труда. В связи с этим важной задачей является определение прямых и косвенных угроз, возникающих вследствие изменения климата, их величины и силы воздействия, а также разработать меры по их смягчению и адаптации к ним лесных экосистем. Следует отметить, что изменение климата может оказать и позитивное воздействие на лесное хозяйство. В частности, оно может выражаться в увеличении длины вегетационного периода, что приведет к росту продуктивности насаждений.

При этом необходимо принимать во внимание экономическую целесообразность предпринимаемых адаптационных мер. Затраты на их реализацию не должны превышать ущерб от негативных последствий климатических изменений, для этого следует разработать методику расчёта экономической эффективности применения адаптационных мер к ожидаемым изменениям климата. Данной теме посвящена вторая часть настоящей статьи.

Настоящая публикация является частью цикла исследований, проводимых в рамках научного сотрудничества между Санкт-Петербургским научно-исследовательским институтом лесного хозяйства (Санкт-Петербург), Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова (Санкт-Петербург) и Всероссийским научно-исследовательским институтом сельскохозяйственной метеорологии (Обнинск), выполняемых за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00063). Целью исследований является оценка воздействий климатических изменений, рассчитанных на основе региональной климатической модели, на отрасли народного хозяйства и объекты инфраструктуры на территории России.

Результаты исследования

Актуальность задачи по оценке уязвимости экосистем и учету рисков, связанных с изменением климата, разработке и последовательной реализации мер по адаптации не вызывает сомнений у международного сообщества [6]. Формирование адаптационного потенциала в лесном хозяйстве должно опираться на продуманную и экономически обоснованную оценку мер, способствующих повышению устойчивости лесных экосистем к воздействию климатических изменений с учетом хозяйственной деятельности человека.

На территории России изменение климата может повлиять на производство древесины, как напрямую, так и косвенно. Непосредственное воздействие отражается на доступности и качестве древесины, продолжительности периода заготовки, трудозатратах. Косвенные воздействия могут

наблюдаться в производственной цепочке, поскольку спрос может меняться в связи с изменением доступного количества древесины. Кроме того, может потребоваться использование иных технологий с целью компенсации изменений качества древесины и доступности тех или иных пород.

Многофакторность воздействия климатических изменений и многообразие их последствий для лесных экосистем России предопределяют необходимость разработки и осуществления соответствующих отраслевых адаптационных программ.

Разработка и осуществление комплекса адаптационных мер должны быть основаны на следующих принципах:

- повышение устойчивости лесов к различным сценариям динамики климата за счет изменения породного состава и структуры лесных насаждений;

- реализация зонального и формационно-типологического подхода при разработке рекомендаций по составу будущих лесов;

- прогнозирование состава лесов на основе фактических материалов учета лесного фонда, нормативно-технической базы лесного хозяйства, а также собственно мер по адаптации;

- учет основных видов пользования, а также состояния вредных и полезных энтомокомплексов лесов, комплекса патогенов, как фактора, способного усилить негативное влияние климата;

- интеграция рекомендаций по адаптации в нормативную базу лесного хозяйства после их опытно-производственной проверки;

- изменение программ подготовки кадров лесного хозяйства с целью лучшего понимания роли климата для состояния и динамики лесов, обучения методам адаптации отрасли к изменению климата.

При этом необходимо принимать в расчет затраты на реализацию адаптационных мер, их экономическую эффективность. Экономическая эффективность рассчитывается путём соотношения экономического результата с затратами, осуществленными на его достижение.

Анализ экономической эффективности адаптации системы ведения лесного хозяйства к изменениям климата может быть

выполнен по следующему алгоритму:

1. Определение текущей устойчивости каждого субъекта РФ к факторам уязвимости.

2. Разработка мер по адаптации системы к воздействию каждого фактора уязвимости.

3. Оценка затрат на проведение адаптационных мер и их результативности.

4. Прогноз устойчивости регионов в долгосрочной перспективе с учётом моделирования вероятных изменений климатических показателей.

5. Расчёт экономической эффективности адаптационных мер с учётом изменения климата.

6. Сравнение адаптационных мер и подготовка рекомендаций по их применению.

7. Мониторинг реализации адаптационных мер.

8. Корректировка мер по адаптации с учётом результатов мониторинга.

Текущая устойчивость лесных экосистем субъектов Российской Федерации к ожидаемым изменениям климата оценивалась по следующим факторам уязвимости: «лесные пожары», «вспышки численности насекомых-вредителей», «болезни леса» и «экстремальные погодные явления». В таблице 1 приведены результаты оценки уязвимости лесных экосистем, с указанием требуемых действий для увеличения устойчивости системы. Подробная методика оценки уязвимости приведена в работах Т.С. Королевой с соавт. [1, 2].

Под адаптационными мерами понимаются определённые действия, направленные на уменьшение уязвимости системы или повышение ее способности приспособиться к внешним воздействиям.

Классификация комплекса адаптационных мер может быть проведена в зависимости от времени, продолжительности, масштаба, ответственности и конкретной цели каждой меры и стратегии адаптации.

В отношении времени (сроков) проведения адаптационные меры могут быть:

- упреждающие, если они направлены на предотвращение воздействия и осуществляются до наступления неблагоприятного воздействия. Этот тип мер носит превентивный характер. Упреждающие меры основаны на оценке вероятных последствий и потенциальной уязвимости системы;

Таблица 1

Сравнение степени уязвимости для субъектов Российской Федерации [5]

Степень уязвимости	Фактор уязвимости	Субъект РФ
Лесные системы уязвимы и нуждаются в принятии дополнительных мер к существующим лесохозяйственным мероприятиям	Лесные пожары	Алтайский край, Забайкальский край, Камчатский край, Рязанская обл., Ростовская обл. (5 субъектов)
	Болезни леса	Калининградская область (1 субъект)
	Насекомые вредители	Московская область (1 субъект)
	Экстремальные погодные явления	Республика Калмыкия (1 субъект)
Лесные системы недостаточно устойчивы, их состояние удовлетворительно. Требуется наблюдение за состоянием системы, чтобы не допустить ее переход в состояние с большей уязвимостью	Лесные пожары	Свердловская обл., Воронежская обл., Липецкая обл., Волгоградская обл., Курганская обл., Томская обл., Иркутская обл., Сахалинская обл., Республика Коми, Республика Мордовия, Республика Алтай, Республика Тыва, Республика Саха (Якутия) (13 субъектов)
	Болезни леса	Алтайский край, Иркутская обл., Красноярский край, Пензенская обл., Тамбовская обл., Тверская обл., Тюменская обл., Хабаровский край (8 субъектов)
	Насекомые вредители	Иркутская обл., Забайкальский край, Сахалинская обл. (3 субъекта)
	Экстремальные погодные явления	Архангельская обл., Вологодская обл., Еврейская автономная обл., Забайкальский край, Иркутская обл.; Хабаровский край (6 субъектов)

- ситуативные, если эти меры реализуются в одно время с неблагоприятным воздействием;

- реактивные, если эти меры реализуются после того, как произошли или начали происходить неблагоприятные воздействия. Эти меры предназначены для того, чтобы компенсировать или возместить убытки, причиненные неблагоприятным влиянием. Поскольку реактивные меры осуществляются после того, как произошло негативное воздействие, их планирование в меньшей степени зависит от моделирования потенциальных воздействий.

В отношении продолжительности сроков проведения адаптационные меры могут быть:

- тактические, когда срок их осуществления и достижения результата наблюдаются в течение 5 лет;

- стратегические — если эти меры предназначены для реализации в средне- и долгосрочной перспективе, они, как правило, являются частью долгосрочных программ.

В соответствии с пространственным масштабом адаптационные меры могут быть:

- локализованные, если эти меры реализуются в конкретном экономическом секторе или географическом регионе. При-

менительно к лесам и лесному хозяйству, адаптационные меры могут быть локализованы в конкретном лесном районе или могут быть применены к отрасли в целом;

- рассредоточенные, если масштаб их осуществления непрерывен в географическом и секторальном отношении. Как правило, они направлены на решение нескольких общих задач. Рассредоточенные меры носят общий характер, к ним можно отнести деятельность в области образования, планирования и укрепления потенциала.

Кроме того, адаптационные меры могут осуществляться посредством как государственного, так и частного сектора.

Анализ основных классификационных признаков, характеризующих адаптационные меры для целей применения их к объекту исследования, а также степень их приоритетности представлены в таблице 2. В отношении комплекса адаптационных мер применена классификация приоритетности: высокий, средний и низкий приоритет.

Как следует из представленного анализа, наивысшим приоритетом при формировании и осуществлении стратегий и программ адаптации лесного хозяйства обладают упреждающие, стратегические и локализованные меры, осуществляемые государственным сектором. Это объясняется,

в первую очередь, особенностями структуры производства и потребления в указанном секторе экономики в России, а также длительным сроком реакции лесных экосистем на неблагоприятные климатические воздействия.

Принятие преимущественно ситуативных и тактических мер значительно снижает экономическую эффективность реализации стратегии адаптации в целом, а также не способствует укреплению потенциала в этой сфере.

В таблице 3 приведены результаты изучения комплекса возможных адаптационных мер, связанных с основными факторами уязвимости лесов Российской Федерации, а также с учетом их классификационных признаков.

На основе предложенной структуры мер по адаптации системы ведения лесного хозяйства к воздействию факторов уязвимости проведены расчеты их экономической эффективности.

В секторах экономики, связанных с природоохранной деятельностью, прибыль равна сокращению ущерба от природопользования. Экономический эффект от реализации адаптационных мер к ожидаемым изменениям климата проявляется в сокращении расходов на предотвращение экономического ущерба и может быть рассчитан по формуле:

Таблица 2

Классификационные признаки комплекса адаптационных мер в отношении лесного сектора в условиях глобального изменения климата

Классификационный признак	Тип адаптационных мер	Приоритет в осуществлении адаптационных мер в отношении лесного сектора
Время (срок) проведения	Упреждающие	Высокий
	Ситуативные	Средний
	Реактивные	Низкий
Продолжительность проведения	Тактические	Низкий
	Стратегические	Высокий
Масштаб проведения	Локализованные	Высокий
	Рассредоточенные	Средний
Субъект воздействия	Государственный сектор	Высокий
	Частный сектор	Низкий

Таблица 3

Результаты изучения комплекса адаптационных мер в связи с наиболее вероятными изменениями в управляемых лесах Российской Федерации в условиях глобального изменения климата

Риск, вызванный климатическими изменениями	Адаптационная мера	Тип меры
<i>Продуктивность и породный состав</i>		
Снижение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества осадков	Корректировка документов лесного планирования с учетом значений снижения продуктивности лесов	Упреждающая/ стратегическая/ локализованная
	Корректировка Правил ухода за лесами с учетом значений снижения продуктивности лесов	Упреждающая/ стратегическая/ локализованная
	Корректировка длительности цикла лесовыращивания с учетом значений снижения продуктивности лесов	Упреждающая/ стратегическая/ локализованная
	Корректировка перечня пород, используемых в процессах лесовосстановления и лесоразведения	Упреждающая/ стратегическая/ локализованная
	Принятие мер по использованию запасов древесины погибших и поврежденных насаждений	Реактивная/ тактическая/ рассредоточенная
	Диверсификация целей лесопользования с целью производства иных лесных продуктов и услуг	Упреждающая/ стратегическая/ рассредоточенная
Повышение продуктивности лесов в связи с повышением средних значений температуры и количества осадков	Корректировка длительности цикла лесовыращивания	Упреждающая/ стратегическая/ локализованная
	Корректировка перечня пород, используемых в процессах лесовосстановления и лесоразведения	Упреждающая/ стратегическая/ локализованная
Изменения в видовом (породном) составе лесов	Корректировка документов лесного планирования с учетом прогнозируемых изменений в видовом (породном) составе лесов	Упреждающая/ стратегическая/ локализованная
	Ориентация на выращивание разновозрастных смешанных насаждений	Упреждающая/ стратегическая/ локализованная
	Использование в процессах лесовосстановления и лесоразведения видов древесных пород, адаптированных к прогнозируемым климатическим изменениям	Упреждающая/ стратегическая/ локализованная
	Создание (расширение) сети охраняемых природных территорий с целью консервации уязвимых видов и местообитаний	Ситуативная/ тактическая/ локализованная

Изменения в видовом (породном) составе лесов	Выявление и контроль численности инвазивных видов-лесообразователей	Реактивная/ тактическая/ локализованная
<i>Пожарная опасность</i>		
Увеличение частоты возникновения при-родных пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами	Повышение эффективности мер пожарной безопасности в лесах, в том числе мер по предупреждению лесных пожаров, мониторингу пожарной опасности в лесах и лесных пожаров	Упреждающая/ стратегическая/ рассредоточенная
	Корректировка планов тушения лесных пожаров	Ситуативная/ стратегическая/ локализованная
	Использование новых эффективных методов и средств тушения лесных пожаров	Упреждающая/ стратегическая/ рассредоточенная
<i>Вспышки болезней леса и насекомых вредителей</i>		
Увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	Совершенствование существующего лесозащитного районирования в связи с прогнозируемым увеличением частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	Упреждающая/ стратегическая/ рассредоточенная
	Совершенствование системы государственного лесопатологического мониторинга с целью раннего обнаружения вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	Упреждающая/ стратегическая/ рассредоточенная
	Совершенствование мер по предупреждению распространения вредных организмов (включая корректировку объемов санитарно-оздоровительных мероприятий в лесах), а также ликвидации очагов вредных организмов в лесах	Ситуативная/ стратегическая/ локализованная
<i>Экстремальные погодные явления</i>		
Увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах	Корректировка длительности цикла лесовыращивания с целью минимизации рисков ветровала и бурелома в лесах	Упреждающая/ стратегическая/ рассредоточенная
	Применение технологий заготовки древесины, обеспечивающих минимизацию рисков ветровала и бурелома в лесах, в том числе снижение доли сплошных рубок	Ситуативная/ стратегическая/ локализованная
	Формирование разновозрастных смешанных и многоярусных насаждений	Ситуативная/ стратегическая/ локализованная

$$EE = EEL - FOC \quad (1)$$

где EE (Economic effect) – экономический эффект;

EEL (Expected Economic Loss) – ожидаемый экономический ущерб;

FOC (Final Overall Cost) – ожидаемый экономический ущерб с учётом применения мер по адаптации.

Структура (наполнение) комплексных расходов FOC и ожидаемого экономического ущерба зависят от факторов уязвимости, против которых направлены адаптационные меры. Ожидаемый экономический ущерб до реализации мер по адаптации можно рассчитать по формуле:

$$EEL = DC = IC \quad (2)$$

где EEL (Expected Economic Loss) – ожидаемый экономический ущерб;

DC (Direct Costs) – прямой ущерб от фактора уязвимости;

IC (Indirect Costs) – косвенный ущерб от фактора уязвимости.

Комплексные расходы FOC определяются с учётом реализации планируемых мер адаптации:

$$FOC = IC = ASC = (EEL - ECR) \quad (3)$$

где FOC (Final Overall Cost) – ожидаемый экономический ущерб с учётом применения мер по адаптации;

IC (Investment Costs) – капитальные затраты на реализацию адаптационных мер;

ASC (Average System Costs) – среднегодовые затраты на реализацию и поддержание адаптационных мер;

ECR (Expected Cost Reduction) – ожидаемое сокращение экономического ущерба с учётом применения мер по адаптации.

В случае, когда EEL в расчёте на 1 га больше FOC , можно сделать вывод, что применение адаптационных мер экономически целесообразно.

Поскольку капитальные затраты на внедрение IC амортизируются в течение продолжительного периода, наиболее рационально устанавливать срок амортизации IC по двум основаниям:

- срок полезного использования объектов основного фонда (в случае капитальных затрат на объекты инфраструктуры и

оборудования);

- ожидаемый срок эффективного действия капитальных затрат до срока необходимости произведения дополнительных затрат того же характера.

В качестве примера рассмотрена оценка экономической эффективности реализации адаптационных мер к увеличению пожарной опасности в лесу. На рисунке 1 видно, что по всем федеральным округам России к середине и концу XXI века ожидается рост температуры приземного слоя воздуха.

Ожидается, что пожарная опасность в лесах, определяемая по классам пожарной опасности Нестерова, возрастёт в 70 регионах к середине века и в 75 регионах к концу века (рис. 2).

С учётом прогнозируемого увеличения горимости по подавляющему большинству регионов к середине и концу века существует вероятность возникновения большого количества лесных пожаров на территории этих районов. Разработку конкретных адаптационных мер необходимо проводить для каждого региона индивидуально, с учётом следующего перечня:

- совершенствование системы предупреждения, обнаружения и тушения лесных пожаров и ликвидации их последствий;

- оптимизация кадрового обеспечения лесопожарных служб;

- развитие системы наземного, авиационного и космического мониторинга пожарной опасности в лесах;

- техническое переоснащение специализированных лесопожарных служб;

- создание лесных дорог, предназначенных для охраны лесов от пожаров;

- прокладка просек, противопожарных разрывов, устройств противопожарных минерализованных полос.

Величину ожидаемого экономического ущерба от увеличения количества лесных пожаров можно рассчитать по формуле:

$$EEL = AFFC + DFFC + IFFC \quad (4)$$

где EEL (Expected Economic Loss) – ожидаемый экономический ущерб;

$AFFC$ (Average Fire Forest Costs) – ожидаемое увеличение затрат на борьбу с лесными пожарами;

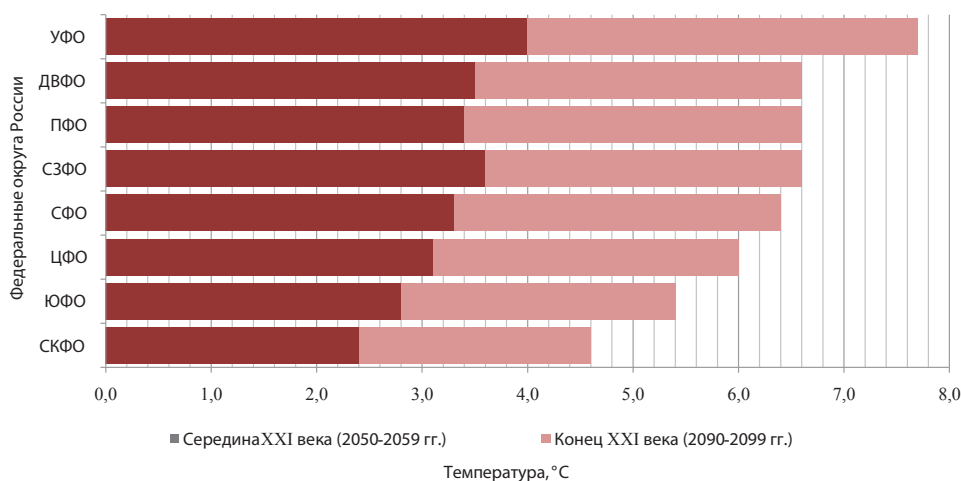


Рис. 1. Изменение температуры приземного слоя воздуха по федеральным округам России к середине и к концу XXI века

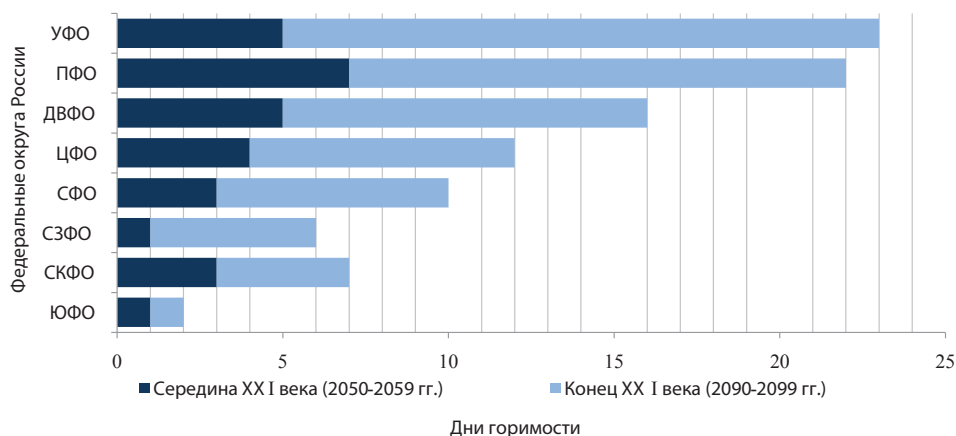


Рис. 2. Увеличение числа дней горимости по федеральным округам РФ к концу XXI века

DFFC (Direct Fire Forest Costs) – ожидаемое увеличение прямого ущерба от лесных пожаров;

IFFC (Indirect Fire Forest Costs) – ожидаемое увеличение косвенного ущерба от лесных пожаров.

Для оценки экономического ущерба от лесных пожаров – прямого и косвенного расходов *DFFC* и *IFFC* – воспользуемся методикой [3], которая учитывает следующие составляющие:

- стоимость потерь древесины, которая определяется путем умножения средней ставки одного обезличенного кубометра кор-

- невого запаса древесины на величину потерь;
- ущерб от повреждения молодняков, определяемый на базе нормативов затрат на выращивание 1 га молодняков до возраста смыкания крон;

- ущерб от повреждения ресурсов побочного пользования, рассчитываемый как сумма ущербов, определенных по каждому поврежденному ресурсу побочного пользования путем произведения трех сомножителей – ставки лесных податей, взимаемых за единицу лесного ресурса, величины эксплуатационного урожая на 1 га и эксплуатацион-

ной площади, на которой поврежден соответствующий ресурс;

- расход на тушение лесных пожаров – может быть рассчитан как произведение средних расходов по тушению пожаров на 1 га и среднего значения выгоревшей площади;

- стоимость сгоревших объектов инфраструктуры и готовой продукции в лесу;

- расходы на расчистку горельников и дополнительные санитарные рубки;

- ущерб от снижения почвозащитных, санитарно-гигиенических, водоохраных и других средообразующих функций, определяемый умножением суммы ущербов от потерь древесины на корню и от повреждения молодняков на коэффициент экологической значимости лесов;

- ущерб от загрязнения воздушной среды продуктами горения;

- ущерб от гибели животных и растений.

В качестве примера мер по адаптации к изменениям климата можно предложить совершенствование системы обнаружения лесных пожаров с использованием видеомониторинга.

В 2010 г. ФБУ «СПбНИИЛХ» были проведены работы по внедрению комплексной системы видеомониторинга, видеоконфе-

ренцсвязи и системы оперативного управления лесопожарными соединениями на территории Ленинградской области. В результате внедрения средняя площадь пожаров за период 2010–2017 гг. уменьшилась в среднем на 45% по отношению к 2009 г. (табл. 4).

На основе проведенного ранее исследования [7] был рассчитан ущерб от увеличения дней горимости для всех регионов РФ к середине (2050–2059 гг.) и к концу века (2090–2099 гг.). В связи с тем, что Ленинградская область не относится к регионам, где ожидается сокращение числа дней горимости к концу века, в качестве примера рассмотрим эффект от внедрения системы видеомониторинга на территории Московской области.

Площадь Московской области, покрытая лесной растительностью, составляет 1917 тыс. га. К концу века здесь ожидается незначительное увеличение количества дней горимости до 8 (6% от проектных норм, содержащихся в лесном плане региона) и связанный с этим пропорциональный рост расходов на тушение лесных пожаров в размере 3398 тыс. руб. в год в ценах 2016 года, что составляет 1,77 руб./га.

В 2013 г. ФБУ «СПбНИИЛХ» было выполнено внедрение комплексной системы видеомониторинга, видеоконференцсвязи

Таблица 4

Уменьшение средней площади пожаров на территории Ленинградской области за период 2010–2017 гг.

Год	Площадь территории лесного фонда, пройденная огнем, га	Средняя площадь пожаров, га	По отношению к 2009 г., %
2009	Нет данных	1,20	-
2010	Нет данных	1,00	17
2011	Нет данных	0,50	58
2012	28,2	0,40	67
2013	103,5	0,70	58
2014	594,8	1,18	98
2015	84,2	0,38	32
2016	57,7	0,35	29
2017	17,64	0,24	20
Среднее значение	188,6	0,66	55

и системы оперативного управления лесопожарными соединениями на территории Московской области. Суммарная стоимость работ составила 55000 тыс. руб., затраты на проектирование – 14500 тыс. руб.

Капитальные затраты оцениваются в 36,25 руб./га. В проекте предлагалось использовать максимальный срок окупаемости в пределах трёх лет в связи с применением к оборудованию, используемому в работе, норм амортизации по второй группе (имущество со сроком полезного использования свыше 2 лет до 3 лет включительно) в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 1 от 01 января 2002 года.

С учётом срока службы аппаратного обеспечения сроком 3 года можно суммировать капитальные расходы и затраты на проектирование в размере 12,1 руб./га в год.

Проектные среднегодовые затраты на поддержание системы видеомониторинга прогнозировались на уровне 33915,8 тыс. руб., что равняется 17,69 руб./га. Суммарные среднегодовые расходы на систему видеомониторинга составили 29,79 руб./га.

Средняя площадь лесных пожаров за период 2009-2012 гг. равнялась 6439,64 га, стоимость среднегодовой деловой древесины на 1 га с учётом среднего состава и индексации на 2013 год – 26161,20 руб. Косвенный ущерб от пожаров на территории Московской области в 2013 г. составил 168468,7 тыс. руб. или 87,88 руб./га.

По данным за 2008-2012 гг. (с учётом индексации до уровня цен 2016 года) среднегодовые затраты на тушение пожаров равняются 69378 тыс. руб./год или 36,19 руб./га. Расходы на наземное патрулирование в 2013 году составили 30419,7 тыс. руб. в год или 15,87 руб./га, на авиапатрулирование – 23175,6 тыс. руб. или 12,09 руб./га. Стоимость лесовосстановления до возраста смыкания крон рассчитана в размере 82,9 тыс. руб./га или 0,04 руб./га площади Московской области, покрытой лесной растительностью.

Воспользуемся формулой 4 для определения ожидаемого экономического ущерба к 2090-2099 гг. без применения адаптационных мер и с учетом роста ущерба от лесных пожаров и затрат на их тушение на 6% в год, начиная с 2050 года:

$$EEL = (87,88 + 4,30) + (36,19 + 1,77) + 15,87 + 12,09 + 0,04 = 158,14 \text{ руб./га}$$

В результате применения системы видеомониторинга ожидается уменьшение ущерба от лесных пожаров и расходов на их тушение на 45% в результате своевременного обнаружения, также должно произойти сокращение расходов на наземное патрулирование на 6,72 руб./га.

Затраты с учётом применения системы видеомониторинга составят (формула 3):

$$FOC = [(36,19 - 45\%) + 1,77] + [(87,88 - 45\%) + 4,30] + 15,87 - 6,72 + 12,09 + 0,04 + 29,79$$

$$FOC = 21,67 + 52,63 + 9,15 + 12,09 + 0,04 + 29,79 = 125,37 \text{ руб./га.}$$

Сокращение расходов на предотвращение экономического ущерба рассчитывается по формуле 1:

$$EE = 158,14 - 125,37 = 32,77 \text{ руб./га.}$$

Как видим, применение системы видеомониторинга в качестве меры по адаптации к ожидаемым изменениям климата по фактору уязвимости «Лесные пожары» является экономически целесообразным.

Расчет экономической эффективности адаптационных мер по факторам «Болезни леса», «Насекомые вредители» и «Экстремальные погодные явления» предлагается выполнять аналогичным образом.

Выводы

На основе проведённого анализа и классификации был сделан вывод о том, что существуют различные меры адаптации, применимые в сфере природопользования. Наилучшие результаты в лесном хозяйстве могут обеспечить упреждающие, стратегические и локализованные меры, реализуемые органами государственной власти и государственными организациями в связи с особенностями структуры производства и потребления в этом секторе экономики, а также длительным сроком реакции лесных экосистем на неблагоприятные климатические воздействия. Принятие преимущественно ситуативных и тактических мер значительно снижает экономическую эффективность реализации

стратегии адаптации в целом, а также не способствует укреплению потенциала в этой сфере. На основе проведенного исследования можно сделать вывод, что в отношении лесного хозяйства система адаптационных мер направлена на поддержание, улучшение и/или восстановление экосистемных функций лесов, что составляет основу устойчивого управления этим сектором экономики.

Анализ уязвимости лесов к изменениям климата по фактору «Лесные пожары» прогнозирует ее повышение. В связи с этим были предложены меры по адаптации и разработана методика расчёта экономического эффекта от их реализации, которая включает весь комплекс

расходов по тушению лесных пожаров и ликвидации их последствий. Приведен расчёт экономической эффективности при совершенствовании системы обнаружения лесных пожаров – введении системы видеонаблюдения – на примере Московской области, с учётом прогнозируемого увеличения дней горимости в этом регионе. Сделан вывод об экономической целесообразности применения системы видеонаблюдения за лесными массивами в качестве адаптационной меры к ожидаемым изменениям климата.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00063).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королева, Т.С. Оценка влияния наблюдаемых эффектов климатической изменчивости на устойчивость лесных экосистем Российской Федерации к угрозе массовых размножений вредителей и болезней леса / Т.С. Королева, А.В. Константинов, Е.А. Кушнир // Лесотехнический журнал. – 2016. – № 4. – С. 67-79. – ISSN 2222-7962.
2. Королева, Т.С. Результаты стандартизированной оценки уязвимости лесного сектора Российской Федерации в условиях наблюдаемых эффектов климатической изменчивости / Т.С. Королева, А.В. Константинов, Е.А. Кушнир, И.О. Торжков // Тр. СПбНИИЛХ. – 2017. – № 3. – С. 13-22. – ISSN 2079-6080.
3. Моисеева, Е.Е. Экономическая эффективность противопожарных мероприятий / Е.Е. Моисеева, Д.В. Южаков // Инвестиционные ресурсы / Научная электронная библиотека «Киберленинка». – Электрон. ресурс. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-effektivnost-protivopozharnyh-meropriyatiy>. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 25.10.2017.
4. Разработка сценариев адаптации системы ведения лесного хозяйства в управляемых лесах Северо-Запада европейской части России в связи с ожидаемым изменением климата: отчет о НИР (промежут.) / ФБУ «СПбНИИЛХ»; рук. Константинов А.В.; исполн.: Королева Т.С., Васильев О.И., Сергиенко В.Г., Корныльева Ю.А., Кушнир Е.А. – СПб., 2015. – 255 с. – Библиогр.: с. 182-206. – № ГР 01201459231.
5. Разработка сценариев адаптации системы ведения лесного хозяйства в управляемых лесах Северо-Запада европейской части России в связи с ожидаемым изменением климата: отчет о НИР (промежут.) / ФБУ «СПбНИИЛХ»; рук. Константинов А.В.; исполн.: Королева Т.С., Сергиенко В.Г., Кушнир Е.А. – СПб., 2016. – 116 с. – Библиогр.: с. 101-105. – № ГР 01201459231.
6. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата // Официальный сайт Организации Объединенных Наций / ООН. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/rus/09a01r.pdf#page>. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 25.08.2016.
7. Константинов, А.В. Оценка экономических последствий наблюдаемых и ожидаемых климатических изменений с учётом долгосрочных прогнозов сценариев развития лесного сектора /

А.В. Константинов, Т.С. Королева, Е.А. Кушнир, И.О. Торжков // Лесотехнический журнал. – 2017. – № 4. (В печати).

REFERENCES

1. Koroleva T.S., Konstantinov A.V., Kushnir E.A. The impact of climate variability on the sustainability of Russian forest ecosystems from threat of increase pests and diseases. *Lesotexnicheskij zhurnal*, 2016, no. 4, pp. 67-79. ISSN 22227962. (In Russian)
2. Koroleva T.S., Konstantinov A.V., Kushnir E.A., Torzhkov I.O. Results of standardized vulnerability assessment of forestry in Russia in the impact of climate variability. *Trudy SPbNIILKh*, 2017, no. 3, pp. 13-22. ISSN 22227962. (In Russian)
3. Moiseev E.E. Juzhakov D.V. Cost-effectiveness of fire prevention measures, *Cyberleninka*. <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-effektivnost-protivopozharnyh-meropriyatiy>.
4. Konstantinov A.V., Koroleva T.S., Vasil'ev O.I., Sergienko V.G., Kornyl'eva Yu.A., Kushnir E.A. Development of scenarios for the adaptation of the forest management system in the managed forests of the North-West of the European part of Russia in connection with the expected change climate. St. Petersburg, 2015, 255 p., no. State Registration 01201459231. (In Russian, unpublished)
5. Konstantinov A.V., Koroleva T.S., Sergienko V.G., Kushnir E.A. Development of scenarios for the adaptation of the forest management system in the managed forests of the North-West of the European part of Russia in connection with the expected change climate. St. Petersburg, 2016, 116 p., no. State Registration 01201459231. (In Russian, unpublished)
6. United Nations Framework Convention on Climate Change. *Official website of The United Nations*. Mode of access: <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/rus/09a01r.pdf#page>.
7. Konstantinov A.V., Koroleva T.S., Kushnir E.A., Torzhkov I.O. Estimation of economic consequences of observed and expected climate changes using long-term forecast scenarios of forestry development. *Lesotexnicheskij zhurnal*, 2017, no. 4, is in print. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 5.12.2017