



DOI 10.21178/2079–6080.2020.2.14
УДК 630*641

Методический подход к оценке адаптационного потенциала лесных экосистем Российской Федерации

© А.В. Константинов^{1,2}, С.М. Матвеев^{1,3}

Methodological approach to assessing the adaptive potential of forest ecosystems of the Russian Federation

A.V. Konstantinov (Saint Petersburg Forestry Research Institute, Voeikov Main Geophysical Observatory)

S.M. Matveev (Saint Petersburg Forestry Research Institute, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov)

A reliable system for assessing and forecasting the state of forest ecosystems is a necessary tool for an effective response to climate change. Despite the availability of numerous studies in the field of studying adaptive potential and developing approaches to its assessment, analysis of the criteria for assessing the adaptive potential of forest ecosystems in the face of climate change and an increase in anthropogenic pressure is not given sufficient attention. In assessing adaptation potential, the sustainable state of forest ecosystems is determined by the ability of forest ecosystems to adapt to changing environmental conditions and fulfill their multi-purpose role. We have proposed a methodological approach to assessing the adaptive potential of forest ecosystems based on determining the dynamics index of abiotic factors (climatic conditions), which determines the conditions for the potential adaptation of forest ecosystems and the adaptability index of forest ecosystems to the changing influence of abiotic and biotic factors. Thanks to the ranking of indices, it is possible to assess the conditions and level of manifestation of the adaptive potential, including the formation of the final assessment: stable (adaptation stable), unstable (adaptation unstable), degrading (unable to adapt, collapsing) complex of forest ecosystems. A matrix approach is proposed for positioning the state of regional forest ecosystems and their adaptation to the influence of adverse factors. The basic principles of forestry management in the Russian Federation should be built taking into account the adaptive potential of the complexes of forest ecosystems in the regions: high level – passive adaptation; medium

(potentially dangerous) level – active adaptation; low or absent level – crisis response. Using the proposed methodological approach allows us to move from stating changes in the state of forest systems to quantifying real changes in various regions, assessing environmental risks and preventive forestry management based on assessments of the adaptive potential of forest ecosystems.

Keywords: adaptive potential, regional complex of forest ecosystems, abiotic factors dynamic index, forest ecosystems adaptability index, square matrix

Методический подход к оценке адаптационного потенциала лесных экосистем Российской Федерации

А.В. Константинов, С.М. Матвеев

Достоверная система оценки и прогнозирования состояния лесных экосистем является необходимым инструментом для эффективных мер реагирования на изменения климата. Несмотря на наличие многочисленных исследований в области изучения адаптационного потенциала и разработку подходов к его оценке, анализу критериев оценки адаптационного потенциала лесных экосистем в условиях изменений климата и возрастания антропогенной нагрузки не уделяется достаточного внимания. В оценке адаптационного потенциала устойчивое состояние лесных экосистем определяется их способностью адаптироваться к меняющимся условиям внешней среды и выполнять свою многоцелевую роль. Нами предложен методический подход к оценке адаптационного потенциала лесных экосистем на основе определения индекса динамики абиотических факторов (климатических условий), определяющего условия потенциальной адаптации лесных экосистем, и индекса адаптивности лесных экосистем к изменяющемуся влиянию абиотических и биотических факторов. Благодаря ранжированию индексов представляется возможным оценить условия и уровень проявления адаптационного потенциала, включая формирование итоговой оценки: стабильный (адаптационно устойчивый), нестабильный (адаптационно неустойчивый), деградирующий (не способный адаптироваться, разрушающийся) комплекс лесных экосистем. Для позиционирования состояния региональных лесных экосистем и их адаптации к влиянию неблагоприятных факторов предлагается использовать матричный подход. Основные принципы управления в лесном хозяйстве Российской Федерации должны быть выстроены с учётом адаптационного потенциала комплексов лесных экосистем регионов: высокий уровень – пассивная адаптация; средний (потенциально опасный) уровень – активная адаптация; низкий или отсутствующий уровень – антикризисное реагирование. Использование предлагаемого методического подхода позволяет перейти от констатации изменений в состоянии лесных систем к количественной оценке реальных изменений в различных регионах с учетом экологических рисков, а также к превентивному управлению лесным хозяйством.

Ключевые слова: адаптационный потенциал, комплекс лесных экосистем региона, индекс динамики абиотических факторов, индекс адаптивности лесных экосистем, квадратная матрица

Константинов Артем Васильевич – канд. с.-х. наук, заместитель директора по научной работе

E-mail: konstantinov_a82@mail.ru

Матвеев Сергей Михайлович – д-р биол. наук, главный научный сотрудник сектора проблем изменения климата научно-исследовательского отдела мониторинга лесных экосистем

¹Федеральное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»

194021, Санкт-Петербург, Институтский пр., 21

Телефон: (812) 552-80-21

E-mail: mail@spb-niilh.ru

²Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»

194021, Санкт-Петербург, Карбышева ул., 7

Телефон: (812) 297-43-90

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

394087, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

Телефон: (473) 253-84-11

Введение

Леса играют чрезвычайно важную роль в укреплении здоровья населения, повышении устойчивости сельского хозяйства, улучшении качества воды, удовлетворении спроса на энергоносители, а их многочисленные положительные свойства проявляются в самых разнообразных экологических, экономических и социальных условиях. Несмотря на этот общеизвестный факт, результаты последней оценки Продовольственной и Сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций, в рамках выработки единой стратегии устойчивого развития территорий и сохранения лесов, свидетельствуют о том, что площади лесов в мире продолжают сокращаться [26].

В докладе о целях в области устойчивого развития, подготовленном Организацией Объединенных Наций, отмечается, что за период с 1990 по 2015 год площадь глобального лесного покрова продолжает сокращаться на 30,6 % общей площади суши, несмотря на то, что в последние годы темпы потери лесов существенно снизились [6].

В 2015 году в мире насчитывалось почти 4 млрд га лесов, из которых 93 % имели естественное происхождение. Значительная часть лесных площадей принадлежит России.

Следует отметить, что леса характеризуются крайней степенью подверженности прямому воздействию факторов различного порядка. Исследование проблемы ухудшающегося состояния лесных экосистем позволило аргументированно обосновать ключевую роль в ее генезисе факторов как абиотического, так и биотического характера, определяющих замедление физиологических и ростовых процессов, снижение устойчивости древостоев.

Наиболее мощно влияние этих групп факторов и их последствий для лесных экосистем проявляется в бореальных лесах Европейской России, на юге Западной Сибири, в Прибайкалье, Забайкалье и на северо-востоке Якутии [8].

Основной причиной рассогласования межвидовых взаимодействий в экосистемах,

изменений в продуктивности древостоев, смещения границ лесорастительных зон, сдвигов в сроках наступления фенологических событий являются изменяющиеся климатические условия [4]. При этом для оценки ответного влияния лесных экосистем на природно-климатические условия (многолетний режим погоды и динамику природных процессов и явлений) необходимы более совершенные методы и приемы [7].

В качестве основного условия эффективного функционирования лесного хозяйства и поддержания лесных экосистем на долгосрочную перспективу большинством исследователей определен переход на принципы устойчивого развития [18, 21]. Реализация этих принципов, включая минимизацию последствий изменения климата и экологических условий для эффективного выполнения средообразующих и климаторегулирующих функций, должна опираться на конкретные методы выявления, оценки и прогнозирования состояния лесных экосистем в определенных лесорастительных условиях. Лесной мониторинг призван охватывать в динамике комплекс факторов, влияющих на состояние лесов в их взаимосвязи. Достоверная система оценки и прогнозирования состояния лесных экосистем, в том числе в санитарном и лесопатологическом отношении, является дальнейшей предпосылкой для эффективных мер реагирования на изменения климата.

Целью работы явилась разработка и апробация на конкретном регионе (объекте исследований) оригинальной авторской методики оценки адаптационного потенциала лесных экосистем Российской Федерации в условиях климатических изменений и возрастания антропогенной нагрузки.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования выступили лесные экосистемы Воронежской области, расположенные в малолесном регионе России, относящемся к лесостепной ландшафтной зоне, к Центральной климатической

области. Отличительной чертой региона являются неустойчивое увлажнение, весенние суховеи, периодически повторяющиеся засушливые вегетационные периоды, мягкие зимы. Кроме того, лесные экосистемы, расположенные в центральной части Русской равнины, испытывают высокую антропогенную нагрузку. Результаты исследований лесных экосистем Воронежской области в 2002–2016 годах выявили существенные изменения в состоянии компонентов лесных фитоценозов лесостепи в связи с наблюдающимися климатическими изменениями [15, 31].

Анализируемые лесные экосистемы значительно различаются в экологическом и лесоводственно-типологическом отношении, но их объединяют две характерные черты: повышенная уязвимость к изменению климата и возрастающая антропогенная нагрузка.

Для анализа были использованы данные Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства. Динамику температурного режима, количества выпадавших осадков и других характеристик климата Воронежской области изучали по материалам метеорологических станций [23]. Математическую обработку полученных результатов проводили методами статистики и матричного анализа с использованием технологий работы с большими массивами данных.

Результаты и их обсуждение

По данным ФАО, в период с 1996 по 2015 год в связи с опасными погодными явлениями (ураганы, тайфуны и т. п.) были уничтожены или пострадали более 800 млн га лесов, ущерб лесного хозяйства превысил 737 млн долл. США. Следствием упомянутых явлений нередко становились пожары, и за анализируемый период ежегодно от них страдало в среднем около 67 млн га, или 1,7 % лесных земель [37]. При этом наибольшие площади лесных пожаров были зарегистрированы в Южной Америке (35 млн га в год), Африке (17 млн га в год) и Океании (7 млн га в год).

Значительным остается влияние на лесные системы биотических факторов, площадь лесов, подверженных вспышкам вредителей и болезней за период с 2003 по 2015 год составила почти 100 млн га. Самые крупные лесные территории пострадали в Северной и Центральной Америке (58 млн га), при этом наибольший ущерб в этих районах был причинен жуком-короедом. Россия не является исключением, и за десятилетний период с 2007 по 2017 год лесное хозяйство не досчиталось по причине лесных пожаров и поражения вредными организмами 4,3 млн га лесов.

По данным Федерального агентства лесного хозяйства, суммарная площадь погибших лесов за период с 2013 по 2017 год увеличилась с 541,8 тыс. га до 1756,1 тыс. га, или в 3,2 раза, что вызвано в основном лесными пожарами [28]. При этом площадь лесных насаждений, поврежденных вредными организмами и болезнями леса, возросла с 1841,4 тыс. га до 4805,3 тыс. га, или в 2,6 раза. Площадь, пройденная огнем, увеличилась в 3,2 раза, составив в 2018 году 8,5 млн га, что по сопоставимости с территориями таких стран Европы, как Австрия, Сербия, Чехия. В целом площадь лесов, пострадавших от пожаров, составила 15,7 млн га, а нанесенный ущерб – 68,9 млрд руб. [36]. Наибольший ущерб лесным экосистемам был причинен в 2010 году, площадь погибших лесных насаждений превысила 750 тыс. га.

То, что в последние десятилетия происходят существенные изменения климата, имеющие глобальный характер, отмечают как отечественные, так и зарубежные исследователи [17, 32, 33]. Эти изменения затронули не только атмосферу, но и биосферу, гидросферу, криосферу и оказывают заметное влияние на лесные экосистемы.

Усиливающееся антропогенное воздействие на леса, загрязнение окружающей природной среды, глобальные изменения климата и химического состава атмосферы ведут к значительному сокращению и ухудшению состояния лесной растительности. Следует отметить, что в последние годы значительно

возрос интерес к осуществлению рекреационной деятельности на землях лесного фонда [35]. Безусловно, это привело к многократному увеличению нагрузки на лесные экосистемы и в будущем означает ускоренную потерю биоразнообразия и жизненно важных для человека экосистемных функций [29].

Неоднократно в трудах исследователей подчеркивается, что для предотвращения дальнейшей деградации лесов России необходима разработка соответствующих современным вызовам методов и технологий мониторинга [14, 20].

Адаптация – приспособление строения и функций организма, его органов и клеток к условиям внешней среды. Системы адаптивны, если при изменении в их окружении или внутреннем состоянии, снижающем их эффективность в выполнении своих функций, они реагируют или откликаются, изменяя своё собственное состояние или состояние окружающей среды так, чтобы их эффективность увеличилась [1].

В наиболее общем понимании, принятом в отечественной и зарубежной науке, биологическая адаптация представляет собой процесс приспособления биологических организмов к внешним условиям, обеспечивающий выживаемость в условиях конкретного местобитания, устойчивость к воздействию факторов абиотического и биологического характера, а также успех в конкуренции с другими видами, популяциями, особями.

При этом адаптированный биологический организм приобретает (развивает) определенные морфофизиологические свойства, связанные с условиями его абиотической и биотической среды. Эти свойства обеспечивают ему устойчивость и сохранение. В свою очередь, адаптационные свойства экосистем складываются как из адаптационных свойств и признаков составляющих её элементов (в том числе отдельных организмов), так и новых свойств, присущих, в соответствии с эффектом эмерджентности, экосистеме и не имеющихся у составляющих её элементов.

Вторая, не менее важная часть дефиниции – «адаптационный потенциал» – заложена в его сущности как совокупности всех имеющихся возможностей у организма или системы. В биологии потенциал определяется как способность популяции наращивать численность в условиях изменяющегося внешнего окружения [11]. Понятие этого потенциала основано на объективной закономерности изменения продуктивности растений в зависимости от основных климатических факторов [5].

Исследователи отмечают, что адаптационный потенциал – один из важнейших элементов, который будет определять будущее не только отдельных лесных экосистем, но и лесов в целом [25]. Подчеркнем, что наличие у биологических систем достаточного, высоко адаптационного потенциала должно обеспечить их жизнеспособность и устойчивость.

Рассмотренные выше теоретические основы понятия «адаптационного потенциала», изложенные в научной литературе в области экологии и лесоводства, положены в основу методического подхода к оценке адаптационного потенциала лесных экосистем в условиях изменения климата и возрастания антропогенной нагрузки.

Исследование базируется на теоретической позиции, сформулированной международным коллективом ученых, в первую очередь – профессорами А. Швиденко, С. Готье, П. Бернье, считающими, что адаптационный потенциал состоит в поддержании экосистемных функций, выполняемых бореальными лесами [34].

Известно, что статистические методы метеорологических прогнозов (как один из довольно эффективных методов прогнозирования) построены на общем принципе авторегрессии, который предполагает, что будущее состояние атмосферы определяется ее ближайшим состоянием в прошлом, точнее – определяется прошлым состоянием всей климатической системы и, возможно, внешними факторами [2].

В оценке адаптационного потенциала устойчивое состояние лесных экосистем определяется их способностью адаптироваться к меняющимся условиям внешней среды и выполнять свою многоцелевую роль. Следовательно, адаптационный потенциал лесов состоит в способности лесных экосистем приспособляться к климатическим изменениям и иным неблагоприятным факторам для сохранения экосистемных функций и поддержания иных целевых функций, в том числе — предоставления ресурсов и полезностей для общества.

Несмотря на наличие многочисленных исследований в области теории адаптации, адаптационного потенциала, методов его оценки, изучению факторов, определяющих адаптационный потенциал, анализу критериев оценки адаптационного потенциала лесных экосистем в условиях изменений климата и возрастания антропогенной нагрузки не уделяется достаточного внимания.

Нами предложен методический подход к оценке адаптационного потенциала лесных экосистем на основе определения двух ключевых индексов — индекса динамики абиотических факторов (климатических условий), определяющего условия потенциальной адаптации лесных экосистем, и индекса адаптивности лесных экосистем к изменяющемуся влиянию абиотических и биотических, в первую очередь — антропогенных факторов.

Благодаря ранжированию индексов представляется возможным оценить условия и уровень проявления адаптационного потенциала, включая формирование итоговой оценки: зеленая зона — стабильный (адаптационно устойчивый) комплекс лесных экосистем, желтая зона — нестабильный (адаптационно неустойчивый) комплекс лесных экосистем, красная зона — деградирующий (не способный адаптироваться, разрушающийся) комплекс лесных экосистем.

Каждый из двух индексов адаптивности декомпозируется на шесть критериев, отражающих, соответственно, региональное про-

явление динамики климатических факторов (первый индекс) и способность региональных лесных экосистем изменяться (адаптироваться) под влиянием изменяющихся абиотических и биотических факторов (второй индекс).

Индекс динамики абиотических факторов (I_{af}) определяется по совокупности следующих критериев:

- изменение среднегодовых температур воздуха;
- изменение сумм выпадающих атмосферных осадков;
- изменение относительной влажности;
- частота повторяемости опасных метеорологических явлений (шквал, смерч, ураган, жара, засуха, град, ледяной дождь и т. д.);
- динамика снежного покрова (даты образования и разрушения, продолжительность, высота);
- частота повторяемости крупных лесных пожаров, связанных с влиянием абиотических факторов.

Как сказано выше, данный индекс определяет условия, в которых востребован и проявляется адаптационный потенциал лесных экосистем.

Индекс адаптивности лесных экосистем ($I_{лз}$) определяется по совокупности следующих критериев:

- изменение лесистости региона;
- изменение площади лесных насаждений, погибших под воздействием вредных организмов;
- изменение площади лесных насаждений, погибших в результате крупных лесных пожаров;
- динамика продуктивности лиственных лесных экосистем;
- динамика продуктивности хвойных лесных экосистем;
- смещение географических ареалов древесных пород.

Данный индекс определяет результат проявления адаптационных возможностей (потенциала) региональных лесных экосистем к изменяющимся условиям.

Для расчета критериев целесообразно использовать количественные показатели, такие как изменение площадей, объёмов, повторяемости явлений.

Для оценки критериев используем следующий методический подход:

а) сопоставлением соответствующего значения критерия первого или второго индекса для отдельно взятого комплекса лесных экосистем региона за исходный период и за период, предшествующий исходному, определяется темп изменения (роста или падения) критерия для комплекса лесных экосистем отдельно взятого региона (субъекта) Российской Федерации;

б) положительно оценивается отсутствие изменения (роста или падения) значения критерия по сравнению с уровнем, достигнутым в период, предшествующий исходному периоду.

Если по какому-либо критерию отсутствует возможность оценки, данный критерий не учитывается при определении уровня адаптационного потенциала комплекса лесных экосистем региона.

В соответствии с рекомендациями Всемирной метеорологической организации, в качестве исходного периода целесообразно принимать 30-летний период климатического осреднения. Однако при увеличенных темпах изменений критериев, 10-летние интервалы (исходные периоды) могут быть даже более информативны.

Динамика критерия (темп изменения) устанавливается как для абиотических факторов региона, так и для комплекса лесных экосистем региона с градацией:

- стабильный (не имеющий динамики) – 1 балл;
- позитивный, негативный (имеющий, соответственно, положительную или отрицательную динамику) – 0 баллов.

Отсутствие динамики (положительной или отрицательной) характеризует стабильность колебаний климатических факторов (первый индекс) и основных характеристик комплекса лесных экосистем (второй индекс) относительно начала анализируемого (исходного) периода. Это позволяет оценивать адаптационный потенциал лесных экосистем в динамике, сравнивая характеристики (критерии) предыдущих исходному периодов с текущим.

Оценку уровня адаптационного потенциала отдельно взятого комплекса лесных экосистем региона целесообразно осуществлять по 6-балльной шкале (по количеству критериев).

Для определения уровня адаптационного потенциала отдельно взятого комплекса лесных экосистем региона следует суммировать (в соответствии с таблицей 1) баллы всех критериев отдельно первого и второго индексов, а затем – суммировать баллы по двум индексам.

Таблица 1
Аналитическая карта оценки уровня индекса динамики абиотических факторов (I_{af}) и индекса адаптивности лесных экосистем ($I_{лэ}$)

Количество критериев, имеющих динамику	Количество баллов по одному индексу	Качественное состояние индекса	Суммарное количество баллов по двум индексам
6	6	Максимальный уровень	6–12
5	5	Высокий уровень	5–10
4	4	Повышенный уровень	4–8
3	3	Средний уровень	3–6
2	2	Пониженный уровень	2–4
1	1	Низкий уровень	1–2
0	0	Минимальный уровень	0

Для позиционирования отдельно взятого комплекса лесных экосистем региона и определения уровня его адаптационного потенциала используется квадратная матрица, включающая три столбца, содержащих выстроенные по мере их возрастания значения балльной оценки уровня индекса динамики абиотических факторов, и три строки, содержащих по мере их возрастания значения балльной оценки адаптивности лесных экосистем.

Уровень адаптационного потенциала отдельно взятого комплекса лесных экосистем региона определяется на пересечении строк индекса динамики абиотических факторов и

индекса адаптивности лесных экосистем квадратной матрицы.

Каждому из суммарных значений баллов по двум индексам адаптационного потенциала отдельно взятого комплекса лесных экосистем региона соответствует одна из зон квадратной матрицы – зеленая, желтая, красная (рис. 1). Принадлежность отдельно взятого комплекса лесных экосистем региона к той или иной зоне квадратной матрицы устанавливается на основании следующей оценочной шкалы: $АП_1$ – 0 баллов, $АП_2$ – 1–2 балла, $АП_4$ – 3–4 балла, $АП_3$ – 5 баллов, $АП_5$ – 6 баллов, $АП_7$ – 7 баллов, $АП_6$ – 8 баллов, $АП_8$ – 9–10 баллов, $АП_9$ – 11–12 баллов.

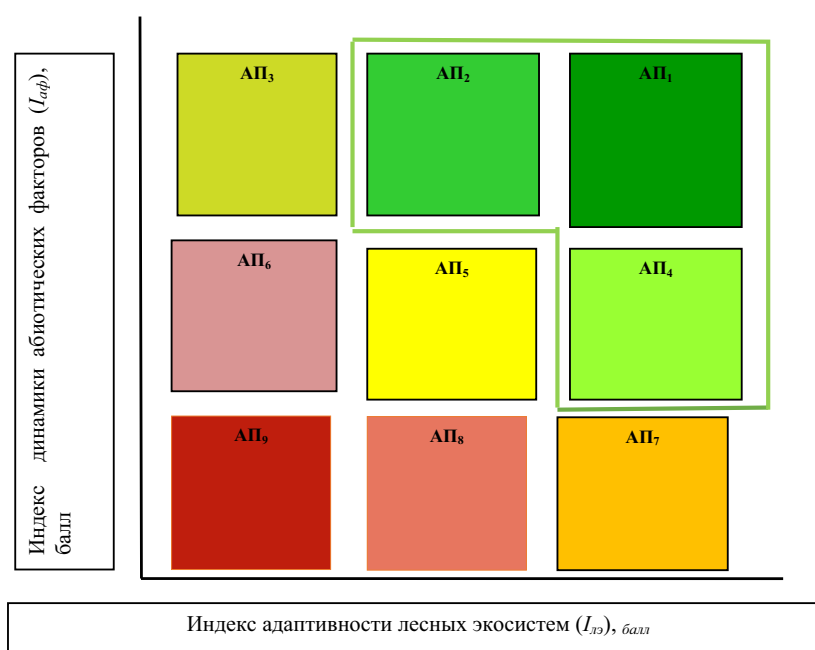


Рис. 1. Матрица позиционирования адаптационного потенциала отдельно взятого комплекса лесных экосистем региона (зеленая, желтая, красная зоны)

Зеленая зона, 0–4 балла (матрица: $АП_1$, $АП_2$, $АП_4$) соответствует устойчивому состоянию лесных экосистем, при котором не менее чем 8 критериев из 12 сохранили своё значение за исходный (анализируемый) период и характеризует высокий уровень адаптацион-

ного потенциала, низкий уровень экологического риска.

Желтая зона, 5–7 баллов (матрица: $АП_3$, $АП_5$, $АП_7$) соответствует неустойчивому состоянию лесных экосистем, при котором сохранили своё значение за исходный период не

менее 5 и не более 7 критериев, характеризует средний (потенциально опасный) уровень адаптационного потенциала, допустимый уровень экологического риска.

Красная зона, 8–12 баллов (матрица: АП₆, АП₈, АП₉) соответствует деградирующим, разрушающимся лесным экосистемам, потерявшим способность к адаптации, при которой сохранили значение за аналитический период не более 4 критериев из 12, а также при растущей и негативной динамике характеризует низкий или отсутствующий уровень адаптационного потенциала, критический уровень экологического риска.

На основании позиционирования комплекса лесных экосистем региона в рамках матрицы, его адаптационному потенциалу присваивается определенный статус:

– «стабильный комплекс лесных экосистем», высокий уровень адаптационного потенциала (матрица: АП₁, АП₂, АП₄);

– «нестабильный комплекс лесных экосистем», средний (потенциально опасный) уровень адаптационного потенциала (матрица: АП₃, АП₅, АП₇);

– «деградирующий комплекс лесных экосистем», низкий или отсутствующий уровень адаптационного потенциала (матрица: АП₆, АП₈, АП₉).

Эффективность предложенной нами методики продемонстрируем на примере лесных экосистем Воронежской области.

Значимым изменением по среднегодовым температурам воздуха принимаем отклонение более чем на 0,5 °С от климатической нормы, представляющей собой среднюю величину метеорологического элемента, статистически полученную из многолетнего ряда наблюдений в данной местности (за период 1961–1990 гг.) [30].

При дивергенции температуры воздуха более чем на 5 % от средней в регионе будет снижаться продуктивность основных типов лесных экосистем, при этом увеличится частота повторения засух, нарушится устойчивое состояние биоценозов, продолжится деградация дубрав и усыхание березовых древостоев.

Для сельского хозяйства климатический прогноз чаще всего представляет интерес на период не более 5–10 лет, для капитального строительства — на несколько десятилетий и столетие, для лесопользования — на пятьдесят лет и больше.

При таком подходе точность климатических характеристик не должна оцениваться по отношению к единым нормам, вычисленным за 50–70-летний период, как это принято в настоящее время в климатологии. Наиболее точной следует считать климатическую характеристику, относительно которой дисперсия данных за отдельные годы на конкретном отрезке времени минимальна [24].

Учитывая, что значительное количество прикладных задач, связанных с обеспечением устойчивости функционирования лесных экосистем, требует определённых параметров климатических условий, авторами в данной работе предложен методический подход, позволяющий дать наиболее адекватную оценку сопряженной динамики абиотических факторов и состояния комплексов лесных экосистем регионов. Для идентификации динамики состояния экосистем за длительный период времени крайне важно выделение одинаковых условий в разрезе периодов.

Лесные земли в Воронежской области занимают площадь 464,6 тыс. га (по данным Формы № 3 ГЛР за 2017 год), в том числе покрытые лесом — 339,6 тыс. га, с общим запасом древесины чуть более 55 млн м³ и преобладанием твердолиственных пород. Лесные экосистемы располагаются преимущественно в лесостепной зоне (72,6 %) и занимают, соответственно, лесостепной район и район степей европейской части Российской Федерации.

При оценке состояния лесных экосистем лучшими индикаторами являются сами древостои [22], которые в Воронежской области характеризуются II,4 классом бонитета, полнотой 0,69, возрастом 57 лет и средним запасом на 1 га покрытых лесом земель 181 м³ и по своему целевому назначению относятся к защитным лесам.

Состояние древостоев, как и выполнение ими многочисленных функций, зависит от множества факторов. Утрата устойчивости лесной экосистемой может быть обусловлена влиянием негативных факторов: как абиотических – изменение условий среды, так и биотических – массовое размножение вредных организмов (в свою очередь, нередко спровоцированное изменением факторов абиотических), антропогенное воздействие.

Наиболее значимые для существования лесных экосистем абиотические факторы представлены в динамике с 1961 года в таблице 2. Как следует из приведенных данных, за период с 1961 г. факторы, оказывающие влияние на состояние лесных экосистем, существенно изменили свои значения, так, в частности, имели место:

- увеличение среднегодовой температуры воздуха с 5,8 до 8 °С;
- снижение относительной влажности воздуха;
- рост количества лесных пожаров;
- увеличение площади насаждений, поврежденных вредными организмами;
- накоплением спелых и перестойных лесов;
- снижением ежегодного прироста лиственных насаждений.

Такие показатели позволяют оценить состояние региональных лесных экосистем достаточно полно, характеризуют их устойчивость вследствие климатических изменений и возрастания антропогенной нагрузки.

Таблица 2

Динамика биотических и абиотических факторов в Воронежской области

Показатели	Периоды наблюдений						Норма
	1961– 1970	1971– 1980	1981– 1990	1991– 2000	2001– 2010	2011– 2019	
Средняя годовая температура воздуха, °С	5,8	6,0	6,4	6,6	7,6	8,0	6,1
Годовое количество осадков, мм	562,0	571,0	618,9	545,9	579,5	606,1	587,0
Относительная влажность, %	73,6	74,7	74,8	73,9	72,4	72,1	74,0
Количество опасных метеорологических явлений	7	9	11	74	16	6	9
Средняя высота снежного покрова, мм	17,1	14,5	14,9	16,1	20,6	17,1	15,8
Годовое количество крупных лесных пожаров	320	408	556	575	843	452	-
Лесистость, %	8,4	8,3	8,2	8,3	8,4	8,3	8,3/25*
Площадь лесных насаждений, погибших под воздействием вредных организмов, га	40,3	58,9	87,0	26,0	1565,0	4125,5	-
Площадь лесных насаждений, погибших в результате пожаров, га	88,0	56,0	159,1	265,0	2295,0	58,3	-
Запас спелых и перестойных насаждений по преобладающей породе, м ³ /га	214	187	202	175	215	218	201**
Средний ежегодный прирост хвойных пород, м ³ /га [19]	3,6	4,0	4,1	4,2	4,2	4,2	3,9**
Средний ежегодный прирост лиственных пород, м ³ /га [19]	3,2	2,	2,5	2,6	2,5	2,4	2,8**

Примечания. *Значение лесистости 8,3 % соответствует среднему значению за 30-летний период климатической нормы (1961–1990 годы), но не является оптимальным значением лесистости для лесостепной зоны, которое по расчётам специалистов [3, 13] составляет 25 %.

**Норма запаса и прироста хвойных и лиственных пород взята как среднее значение за период климатической нормы (1961–1990 годы)

При апробации изложенной выше методики в расчетах использовались нижеследующие критерии:

а) для индекса динамики абиотических факторов (I_{af}) (первый индекс):

- средняя годовая температура воздуха;
- сумма осадков за год;
- средняя годовая относительная влажность;
- годовое количество опасных метеорологических явлений;
- средняя высота снежного покрова;
- годовое количество лесных пожаров.

б) для индекса адаптивности лесных экосистем ($I_{лэ}$) (второй индекс):

- лесистость;
- площадь лесных насаждений, погибших под воздействием вредных организмов;

– площадь лесных насаждений, погибших в результате пожаров;

– запас спелых и перестойных насаждений по преобладающей породе;

– средний ежегодный прирост хвойных пород;

– средний ежегодный прирост лиственных пород.

Теоретической основой для понимания явления адаптивности лесных экосистем к неблагоприятным факторам различного генезиса являются представления о взаимоотношениях древесных растений со средой обитания.

В этой части представленные в таблице индексы I_{af} отражают динамические изменения для рассматриваемой лесной экосистемы (табл. 3).

Таблица 3

Колебания индекса динамики абиотических факторов (I_{af}) по десятилетиям в период 1961–2019 гг.

Показатели	Индексы динамики абиотических факторов (I_{af}) по десятилетиям, баллы					
	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000	2001–2010	2011–2019
Средняя годовая температура воздуха	1	1	1	0	0	0
Сумма осадков за год	1	1	0	0	1	0
Относительная влажность	0	1	1	1	0	0
Годовое количество опасных метеорологических явлений	1	1	0	1	0	0
Годовое количество лесных пожаров	1	1	0	0	0	1
Средняя высота снежного покрова	1	0	0	0	1	1
ΣI_{af}	5	5	2	2	2	2

Многолетнее устойчивое повышение температуры воздуха и колебание количества выпадающих осадков на территории лесостепного района ведут к увеличению интенсивности и количества опасных гидрометеорологических явлений.

С течением времени динамика условий существования лесных экосистем приводит к изменению индекса адаптивности в целом за счет отдельных критериев этой группы (рис. 2, 3).

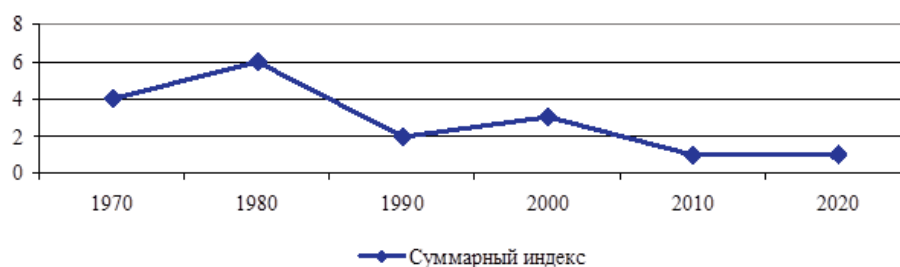
Рис. 2. Колебания индекса динамики абиотических факторов (I_{af}) в период 1961–2019 гг.

Рисунок 2 наглядно демонстрирует нисходящую динамику индекса динамики абиотических факторов (I_{af}) Воронежской области. Похожая ситуация складывается по результатам определения индекса адаптивности лесных экосистем ($I_{лэ}$) (табл. 4).

Таблица 4

Колебания индекса адаптивности лесных экосистем ($I_{лэ}$) по десятилетиям в период 1961–2019 гг.

Показатели	Индексы адаптивности лесных экосистем ($I_{лэ}$) по десятилетиям, баллы					
	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000	2001–2010	2011–2019
Лесистость	1	1	0	1	1	1
Площадь лесных насаждений, погибших под воздействием вредных организмов	1	1	1	1	0	0
Площадь лесных насаждений, погибших в результате пожаров	1	1	0	0	0	1
Запас спелых и перестойных насаждений по преобладающей породе	0	1	1	1	0	0
Средний ежегодный прирост хвойных пород	1	1	1	1	1	1
Средний ежегодный прирост лиственных пород	1	1	0	0	0	0
$\Sigma I_{лэ}$	5	6	3	4	2	3

Лесные экосистемы Воронежской области находятся в состоянии, близком к критическому, в последние десятилетия оно может расцениваться как дигрессия и распад. Старые по возрасту, ослабленные ввиду вспышек вредных организмов они несут катастрофические потери, результат чего – ветровалы, сухостой и рост захламленности лесных массивов, что приводит к выводу о необходимости проведения активных лесохозяйственных ме-

роприятий для сохранения и восстановления насаждений.

Предлагаемый нами матричный подход для позиционирования состояния лесных экосистем рассматриваемого региона и их адаптации к влиянию неблагоприятных факторов, позволяет в период с 1961 по 1980 год идентифицировать их состояние как «стабильный комплекс лесных экосистем», с высоким уровнем адаптационного потенциала (табл. 5).

Таблица 5

Динамика индексов оценки адаптационного потенциала лесных экосистем

Период наблюдений	ΣI_{af} , балл	ΣI_{le} , балл	Квадрат матрицы	Идентификация состояния
1961–1970	5	5	АП ₁	Стабильный комплекс лесных экосистем
1971–1980	5	6	АП ₁	Стабильный комплекс лесных экосистем
1981–1990	2	3	АП ₈	Деградирующий комплекс лесных экосистем
1991–2000	2	4	АП ₈	Деградирующий комплекс лесных экосистем
2001–2010	2	2	АП ₉	Деградирующий комплекс лесных экосистем
2011–2019	2	3	АП ₈	Деградирующий комплекс лесных экосистем

В последующий период, с 1981 по 2000 год адаптационный потенциал лесов региональной системы резко снижается, пока не дости-

гает критических отметок в период 2001–2010 годы, что соответствует статусу «деградирующий комплекс лесных экосистем».

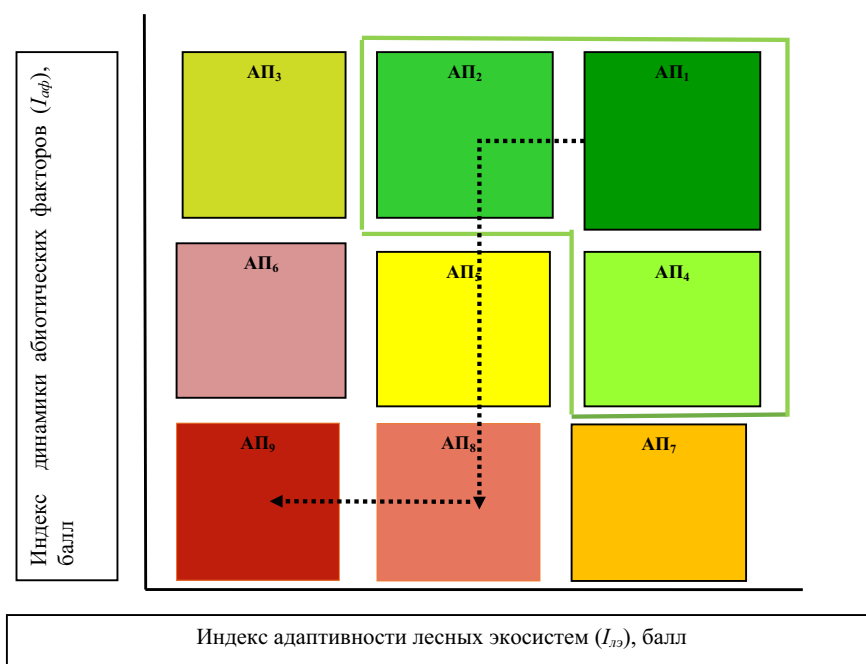


Рис. 3. Позиционирование динамики адаптивности комплекса лесных экосистем Воронежской области в период с 1961 по 2019 год

Заключение

Анализ влияния абиотических и биотических факторов на состояние и устойчивость региональных лесных экосистем показал, что первопричиной наблюдающихся изменений является динамика климатических факторов.

Основными абиотическими факторами, определяющими снижение адаптационного потенциала лесных экосистем Воронежской области являются рост среднегодовых температур и снижение относительной влажности воздуха. Полученные результаты не противо-

речат исследованиям других авторов [9, 12, 16, 27] и потенциально дополняют методические рекомендации по оценке адаптационного потенциала лесных экосистем, представленные в специальном докладе МГЭИК [10].

Считаем, что наблюдаемые изменения климата, в том числе повышение среднегодовых температур воздуха и увеличение числа опасных погодных явлений, определяют региональные и локальные изменения погодных и лесорастительных условий, которые необходимо учитывать в лесохозяйственной практике.

Основные принципы управления в лесном хозяйстве Российской Федерации должны быть выстроены с учётом адаптационного потенциала комплексов лесных экосистем регионов в условиях климатических изменений и возрастания антропогенной нагрузки: стабильный (адаптационно устойчивый) комплекс лесных экосистем, высокий уровень адаптационного потенциала — требуются меры поддержания устойчивости, санитарного состояния и воспроизводства лесных экосистем (пассивная адаптация); нестабильный (адаптационно неустойчивый) комплекс лесных экосистем, средний (потенциально опасный) уровень адаптацион-

ного потенциала — необходимы меры активного лесохозяйственного реагирования, включающего научно обоснованные мероприятия по повышению лесистости, оптимизации породного состава, продуктивности древостоев, лесозащитные и противопожарные мероприятия (активная адаптация); деградирующий комплекс лесных экосистем, низкий или отсутствующий уровень адаптационного потенциала — требуются меры срочной целевой поддержки, в том числе научный анализ причин деградации, подбор оптимальных древесных пород и систем восстановления лесных насаждений, защита лесов от воздействия антропогенных факторов (антикризисное реагирование).

Использование предлагаемого методического подхода позволяет перейти от констатации ухудшения состояния лесных систем к количественной оценке реальных изменений в различных регионах, оценке экологических рисков и превентивному управлению лесным хозяйством на основе определения адаптационного потенциала лесных экосистем.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16–17–00063).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акофф, Р. О целеустремленных системах / Р. Акофф, Ф. Эмери. — М.: Советское радио, 1974. — 272 с.
2. Багров, Н.А. Долгосрочные метеорологические прогнозы / Н.А. Багров, К.В. Кондратович, Д.А. Педь, А.И. Угрюмов. — Л.: Гидрометеоздат, 1985. — 247 с.
3. Бугаёв, В.А. Перспективы повышения лесистости в малолесном ЦЧР / В.А. Бугаев // Динамика лесистости в малолесных районах европейской части России // Проблемы и перспективы: Материалы Всероссийской научно-технич. конф. — Воронеж: ВГЛТУ, 2003. — С. 6–9.
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. — М.: Росгидромет, 2014. — 60 с.
5. Гордеев, А.В. Биоклиматический потенциал России: теория и практика / А.В. Гордеев, А.Д. Клещенко, Б.А. Черняков, О.Д. Сиротенко. — М.: КМК, 2006. — 512 с.
6. Доклад о целях в области устойчивого развития, 2017 год [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2017/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2017_Russian.pdf (дата обращения: 27.03.2020).
7. Желдак, В.И. Методические вопросы усиления климаторегулирующей роли лесов лесоводственными мерами [Электронный ресурс] / В.И. Желдак, Т.В. Липкина, А.А. Кулагин // Известия ОГАУ. — 2013. —

- № 3 (41). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-voprosy-usileniya-klimatoreguliruyushey-rol-i-lesov-lesovodstvennymi-merami> (дата обращения: 27.03.2020).
8. Замолодчиков, Д.М. Леса России и изменение климата: сможем ли мы сохранить наши леса перед новой угрозой? // Устойчивое лесопользование. – 2011. – № 4. – С. 12–14.
 9. Каплина, Н.Ф. Динамика фитомассы листьев, состояния и развития крон деревьев нагорной дубравы Юго-Восточной лесостепи в неблагоприятных условиях последнего десятилетия [Электронный ресурс] / Н.Ф. Каплина, Н.Г. Жиренко // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2012. – № 2 (16). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-fitomassy-listiev-sostoyaniya-i-razvitiya-kron-dereviev-nagornoj-dubravj-yugo-vostochnoj-lesostepi-v-neblagopriyatnyh> (дата обращения: 25.03.2020).
 10. Кокорин, А.О. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК / А.О. Кокорин. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014. – 80 с.
 11. Константинов, А.В. Методология оценки уязвимости лесного сектора экономики в условиях изменения климата / А.В. Константинов // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2014. – № 3. – С. 73–77.
 12. Концепции экономической безопасности лесного хозяйства в условиях климатических изменений и возрастания антропогенной нагрузки / С.С. Морковина, Е.А. Яковлева, С.М. Матвеев, Е.А. Колесниченко, И.С. Зиновьева, А.В. Константинов, Ю.Н. Степанова. – М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ» – Воронеж, 2016. – 291 с.
 13. Лозовой, А.Д. Лесистость и её оптимальность для условий Центрального Черноземья / А.Д. Лозовой // Динамика лесистости в малолесных районах европейской части России. Проблемы и перспективы: Материалы Всероссийской научно-технич. конф. – Воронеж: ВГЛТУ, 2003. – С. 9–12.
 14. Лукина, Н.В. О концепции программы «Экологические и социально-экономические риски деградации лесов и пути их предотвращения» / Н.В. Лукина, А.С. Исаев // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всероссийской научной конференции. – М.: ЦЭПЛ РАН, 2014. – С. 15–16.
 15. Матвеев, С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи / С.М. Матвеев. – Воронеж: ВГУ, 2003. – 272 с.
 16. Матвеев, С.М. Некоторые направления и результаты дендроиндикации состояния лесных экосистем в Центральной лесостепи / С.М. Матвеев, В.И. Таранков, В.В. Акулов, Е.Е. Мельников // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 1 (64). – С. 45–50.
 17. Мозолевкая, Е.Г. Роль болезней и вредителей в ослаблении и усыхании пихты в Байкальском заповеднике в середине 80-х годов / Е.Г. Мозолевкая, Т.В. Галасьева, Э.С. Соколова // Лесной вестник. – 2003. – № 2. – С. 136–142.
 18. Моисеев, Н.А. О состоянии использования лесов и необходимости улучшения управления лесам [Электронный ресурс] / Н.А. Моисеев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 7. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-sostoyanii-ispolzovaniya-lesov-i-neobhodimosti-uluchsheniya-upravleniya-lesam> (дата обращения: 27.03.2020).
 19. Мусиевский, А.Л. Динамика лесистости и структуры лесного фонда Воронежской области / А.Л. Мусиевский // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 3 (11). – С. 13–21.
 20. Основы устойчивого лесопользования: Учеб. пособие для вузов / М.Л. Карпачевский, В.К. Тепляков, Т.О. Яницкая, А.Ю. Ярошенко. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2009. – 143 с.
 21. Писаренко, А.И. Лесное хозяйство России: национальное и глобальное значение / А.И. Писаренко, В.В. Страхов. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2011. – 600 с.

22. Плужников, А.А. Экологические последствия сокращения пригородных лесов г. Воронежа в условиях сильного атмосферного загрязнения / А.А. Плужников, А.Л. Мусиевский // Лесоуправление, лесоустройство и лесозащита – настоящее, будущее. – Брянск: БГИТА, 2012. – С. 133–137.
23. Погода и климат – Климат Воронежа [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pogoda.ru.net/climate/34123.htm> (дата обращения: 27.01.2020).
24. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами / Под ред. д-ра географ. наук, проф. Н.В. Кобышевой. – СПб., 2008. – 336 с.
25. Семёнов, М.А. Прогноз адаптивных приспособлений в лесном хозяйстве в связи с возможными климатическими изменениями / М.А. Семёнов, А.А. Высоцкий, В.И. Пашенко // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2019. – № 5 (371). – С. 57–69.
26. Состояние лесов мира 2018 – Пути к достижению устойчивого развития с учетом значения лесов. ФАО. 2018, Рим. – 119 с.
27. Тимашук, Д.А. Лесоводственная оценка сосновых насаждений в зоне рекреационного воздействия в Воронежской области [Электронный ресурс] / Д.А. Тимашук, Э.Н. Потапова // Лесотехнический журнал. – 2016. – № 1 (21). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/lesovodstvennaya-otsenka-sosnovyuh-nasazhdeniy-v-zone-rekreatsionnogo-vozdeystviya-v-voronezhskoy-oblasti> (дата обращения: 25.03.2020).
28. Торжков, И.О. Оценка влияния ожидаемых изменений климата на лесное хозяйство / И.О. Торжков, Е.А. Кушнир, А.В. Константинов, Т.С. Королева, С.В. Ефимов, С.М. Школьник // Метеорология и гидрология. – № 3. – 2019. – С. 40–50.
29. Харченко, Н.Н. Биологическое разнообразие как показатель устойчивости лесных сообществ / Н.Н. Харченко, М.А. Семенов // Разработка комплекса технологий рекультивации техногенно нарушенных земель: материалы международной молодежной конференции, Воронеж, 4–6 июля 2012 г. / науч. ред. М.В. Драпалюк, В.И. Михин; ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж – 2012. – С. 261–264.
30. Хлебникова, Е.И. Изменение показателей экстремальности термического режима в XXI в.: ансамблевые оценки для территории России / Е.И. Хлебникова, Ю.Л. Рудакова, И.А. Салль, С.В. Ефимов, И.М. Школьник // Метеорология и гидрология. – № 3. – 2019. – С. 11–24.
31. Чендев, Ю.Г. Почвы и растительность юга среднерусской возвышенности в условиях меняющегося климата / Ю.Г. Чендев, М.Г. Лебедева, С.М. Матвеев, А.Н. Петин, А.В. Долгих, Л.Г. Смирнова, А.Б. Соловьев, Н.С. Кухарук, О.В. Крымская, А.Г. Нарожная, Э.А. Терехин, В.Д. Березуцкий, А.Н. Гологвин, В.А. Сарапулкин, Т.В. Сарапулкина, И.В. Федюнин, Польшина М.А., Митряйкина А.М., Калугина С.В., Полякова Т.А. и др. // Белгород: КОНСТАНТА, 2016. – 326 с.
32. Cowie, A.L. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality / A.L. Cowie, A.L. Orrb, Sanchez V.M., Castillo et al. Environmental Science and Policy, 2017.79 (2018): 25–35.
33. Fisher, M. Do forests help rural households adapt to climate variability? Evidence from Southern Malawi / M. Fisher, M. Chaudhury, B. McCusker // World Development. – 2010. – 38 (9). – pp. 1241–1250.
34. Gauthier, S. Boreal forest health and global change / S. Gauthier, P. Bernier, T. Kuuluvainen, A.Z. Shvidenko and, D.G. Schepaschenko // Science. – vol. 349. – issue 6259. – pp. 819–821.
35. Kharchenko, N.N Forest ecosystem services in the system of sustainable forest use of sparsely forested regions of Russia / N.N. Kharchenko, S.S. Morkovina, D.Y. Kapitonov, O.S. Lisova / Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2018, T. 13. – № 10. – С. 3567–3572.
36. Torzhkov, I.O. The economic consequences of future climate change in the forest sector of Russia [Электронный ресурс] / I.O. Torzhkov, E.A. Kushnir, A.V. Konstantinov, T.S. Koroleva, S.V. Efimov, I.M. Shkolnik //

IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 226 (2019). Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/226/1/012032/pdf> (дата обращения: 27.03.2020).

37. Van Lierop, P. Global forest area disturbance from fire, insect pests, diseases and severe weather events / P. Van Lierop, E. Lindquist, S. Sathyapala, G. Franceschini // *Forest Ecology & Management*. – 2015. – 352 (7). – pp. 78–88.

REFERENCES

1. Akoff R., Emeri F. O tselestremennykh sistemakh. Moscow, 1974, 272 p. (In Russian)
2. Bagrov N.A., Kondratovich K.V., Ped' D.A., Ugrumov A.I. Dolgosrochnye meteorologicheskie prognozy. Leningrad, 1985, 247 p. (In Russian)
3. Bugaev V.A. Perspektivy povysheniya lesistosti v malolesnom TsChR. *Dinamika lesistosti v malolesnykh raionakh evropeiskoi chasti Rossii. Problemy i perspektivy: Materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnich. konf.* Voronezh, 2003, pp. 6–9. (In Russian)
4. Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Obshchee rezyume. Moscow, 2014, 60 p. (In Russian)
5. Gordeev A.V., Kleschenko A.D., Chernyakov B.A., Sirotenko O.D. Bioklimaticheskii potentsial Rossii: teoriya i praktika. Moscow, 2006, 512 p. (In Russian)
6. Doklad o tselyakh v oblasti ustoichivogo razvitiya, 2017 god. URL: https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2017/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2017_Russian.pdf (data obrashcheniya: 27.03.2020). (In Russian)
7. Zheldak V.I., Lipkina T.V., Kulagin A.A. Metodicheskie voprosy usileniya klimatoreguliruyushchei roli lesov lesovodstvennymi merami. *Izvestiya OGAU*. 2013, no. 3 (41). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-voprosy-usileniya-klimatoreguliruyushchei-roli-lesov-lesovodstvennymi-merami> (data obrashcheniya: 27.03.2020). (In Russian)
8. Zamolodchikov D.M. Lesa Rossii i izmenenie klimata: smozhem li my sokhranit' nashi lesa pered novoi ugrozoi? *Ustoichivoe lesopol'zovanie*. 2011, no. 4, pp. 12–14. (In Russian)
9. Kaplina N.F., Girenko N.G. Dinamika fitomassy list'ev, sostoyaniya i razvitiya kron derev'ev nagornoj dubravy Yugo-Vostochnoi lesostepi v neblagopriyatnykh usloviyakh poslednego desyatiletia. *Vestnik PGTU. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*. 2012, no. 2 (16). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-fitomassy-listiev-sostoyaniya-i-razvitiya-kron-dereviev-nagornoj-dubravy-yugo-vostochnoy-lesostepi-v-neblagopriyatnykh> (data obrashcheniya: 25.03.2020). (In Russian)
10. Kokorin A.O. Izmenenie klimata: obzor Pyatogo otsenochnogo doklada MGEIK. Moscow, 2014, 80 p. (In Russian)
11. Konstantinov A.V. Metodologiya otsenki uyazvimosti lesnogo sektora ekonomiki v usloviyakh izmeneniya klimata. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaistva*. 2014, no. 3. pp. 73–77. (In Russian)
12. Morkovina S.S., Yakovleva E.A., Matveev S.M., Kolesnichenko E.A., Zinov'eva I.S., Konstantinov A.V., Stepanova Yu.N. Kontseptsii ekonomicheskoi bezopasnosti lesnogo khozyaistva v usloviyakh klimaticheskikh izmenenii i vozrastaniya antropogennoi nagruzki. Voronezh, 2016, 291 p. (In Russian)
13. Lozovoi A.D. Lesistost' i ee optimal'nost' dlya uslovii Tsentral'nogo Chernozem'ya. *Dinamika lesistosti v malolesnykh raionakh evropeiskoi chasti Rossii. Problemy i perspektivy: Materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnich. konf.* Voronezh, 2003, pp. 9–12. (In Russian)
14. Lukina N.V., Isaev A.S. O kontseptsii programmy «Ekologicheskie i sotsial'no-ekonomicheskie riski degradatsii lesov i puti ikh predotvrashcheniya». *Nauchnye osnovy ustoichivogo upravleniya lesami: Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii*. Moscow, 2014, pp. 15–16. (In Russian)

15. Matveev S.M. Dendroindikatsiya dinamiki sostoyaniya sosnovykh nasazhdenii Tsentral'noi lesostepi. Voronezh, 2003, 272 p. (In Russian)
16. Matveev S.M., Tarankov V.I., Akulov V.V., Mel'nikov E.E. Nekotorye napravleniya i rezul'taty dendroindikatsii sostoyaniya lesnykh ekosistem v Tsentral'noi lesostepi. *Vestnik MGUL – Lesnoi vestnik*. 2009, no. 1 (64), pp. 45–50. (In Russian)
17. Mozolevkaya E.G., Galas'eva T.V., Sokolova E.S. Rol' boleznei i vreditelei v oslablenii i usykhanii pikhty v Baikalskom zapovednike v seredine 80-kh godov. *Lesnoi vestnik*. 2003, no. 2, pp. 136–142. (In Russian)
18. Moiseev N.A. O sostoyanii ispol'zovaniya lesov i neobkhodimosti uluchsheniya upravleniya lesam. *Vestnik MGUL – Lesnoi vestnik*. 2011, no. 7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-sostoyanii-ispolzovaniya-lesov-i-neobkhodimosti-uluchsheniya-upravleniya-lesam> (data obrashcheniya: 27.03.2020). (In Russian)
19. Musievskii A.L. Dinamika lesistosti i struktury lesnogo fonda Voronezhskoi oblasti. *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2013, no. 3 (11), pp. 13–21. (In Russian)
20. Karpachevskii M.L., Teplyakov V.K., Yanitskaya T.O., Yaroshenko A.Yu. Osnovy ustoichivogo lesoupravleniya: Ucheb. posobie dlya vuzov. Moscow, 2009, 143 p. (In Russian)
21. Pisarenko A.I., Strakhov V.V. Lesnoe khozyaistvo Rossii: natsional'noe i global'noe znachenie. Moscow, 2011, 600 p. (In Russian)
22. Pluzhnikov A.A., Musievskii A.L. Ekologicheskoe posledstviya sokrashcheniya prigorodnykh lesov g. Voronezha v usloviyakh sil'nogo atmosfernogo zagryazneniya. *Lesoupravlenie, lesoustroistvo i lesozashchita – nastoyashchee, budushchee*. Bryansk, 2012, pp. 133–137. (In Russian)
23. Pogoda i klimat – Klimat Voronezha. URL: <http://www.pogoda.ru.net/climate/34123.htm> (data obrashcheniya: 27.01.2020). (In Russian)
24. Rukovodstvo po spetsializirovannomu obsluzhivaniyu ekonomiki klimaticheskoi informatsiei, produktsiei i uslugami. Saint Petersburg. 2008, 336 p. (In Russian)
25. Semenov M.A., Vysotskii A.A., Pashchenko V.I. Prognoz adaptivnykh prispособlenii v lesnom khozyaistve v svyazi s vozmozhnymi klimaticheskimi izmeneniyami. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*. 2019, no. 5 (371), pp. 57–69. (In Russian)
26. Sostoyanie lesov mira 2018 – Puti k dostizheniyu ustoichivogo razvitiya s uchetom znacheniya lesov. FAO. 2018, Rome, 119 p. (In Russian)
27. Timashchuk, D.A., Potapova E.N. Lesovodstvennaya otsenka sosnovykh nasazhdenii v zone rekreatsionnogo vozdeystviya v Voronezhskoi oblasti. *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2016, no. 1 (21). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lesovodstvennaya-otsenka-sosnovykh-nasazhdeniy-v-zone-rekreatsionnogo-vozdeystviya-v-voronezhskoy-oblasti> (data obrashcheniya: 25.03.2020). (In Russian)
28. Torzhkov I.O., Kushnir E.A., Konstantinov A.V., Koroleva T.S., Efimov S.V., Shkol'nik S.M. Otsenka vliyaniya ozhidaemykh izmenenii klimata na lesnoe khozyaistvo. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2019, no. 3, pp. 40–50. (In Russian)
29. Kharchenko N.N., Semenov M.A. Biologicheskoe raznoobrazie kak pokazatel' ustoichivosti lesnykh soobshchestv. *Razrabotka kompleksa tekhnologii rekul'tivatsii tekhnogenno narushennykh zemel': materialy mezhdunarodnoi molodezhnoi konferentsii*. Voronezh, 2012, pp. 261–264. (In Russian)
30. Khlebnikova E.I., Rudakova Yu.L., Sall' I.A., Efimov S.V., Shkol'nik I.M. Izmenenie pokazatelei ekstremal'nosti termicheskogo rezhima v XXI v.: ansamblevye otsenki dlya territorii Rossii. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2019, no. 3, pp. 11–24. (In Russian)
31. Chendev Yu.G., Lebedeva M.G., Matveev S.M., Petin A.N., Dolgikh A.V., Smirnova L.G., Solov'ev A.B., Kukharuk N.S., Krymskaya O.V., Narozhnyaya A.G., Terekhin E.A., Berezutskii V.D., Golotvin A.N., Sarapulkin V.A., Sarapulkina T.V., Fedyunin I.V., Pol'shina M.A., Mitryaikina A.M., Kalugina S.V.,

- Polyakova T.A. i dr. Pochvy i rastitel'nost' yuga srednerusskoi vozvyshehnosti v usloviyakh menyayushchegosya klimata. Belgorod, 2016, 326 p. (In Russian)
32. Cowie A.L., Orrb A.L., Sanchez V.M, Castillo, Chasek P., Crossman N.D., Erlewein A., Louwagieg G., Maron M., Metternicht G.I., Minelli S., Tengberg A.E., Walter S., Welton S. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science and Policy*, 2017.79 (2018): 25–35.
33. Fisher M., Chaudhury M., McCusker B. Do forests help rural households adapt to climate variability? Evidence from Southern Malawi. *World Development*, 2010, 38 (9), pp. 1241–1250.
34. Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A.Z., Schepaschenko D.G. Boreal forest health and global change. *Science*, vol. 349, issue 6259, pp. 819–821.
35. Kharchenko N.N., Morkovina S.S., Kapitonov D.Y., Lisova O.S. Forest ecosystem services in the system of sustainable forest use of sparsely forested regions of Russia. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2018, T. 13, no. 10, pp. 3567–3572.
36. Torzhkov I.O., Kushnir E.A., Konstantinov A.V., Koroleva T.S., Efimov S.V., Shkolnik I.M. The economic consequences of future climate change in the forest sector of Russia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 226 (2019). URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/226/1/012032/pdf> (27.03.2020).
37. Van Lierop P., Lindquist E., Sathyapala S., Franceschini G. Global forest area disturbance from fire, insect pests, diseases and severe weather events. *Forest Ecology & Management*, 2015, no. 352 (7), pp. 78–88.

Статья поступила в редакцию 14.04.2020