

ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО

FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE

УДК 614.841.42:630(476)

П. Н. Гоман¹, А. А. Бойко²

¹Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным
ситуациям Республики Беларусь

²Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь

КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Проблема лесных пожаров продолжает оставаться одной из наиболее актуальных в природоохранном комплексе ряда стран мира, несмотря на значительный опыт борьбы с огнем. В условиях глобального потепления увеличивается количество и площадь лесных пожаров, вследствие чего погибают люди, уничтожаются населенные пункты, наносится вред окружающей среде. Для повышения эффективности системы лесопожарной защиты актуальным является систематизация результатов научных исследований в данной области и разработка на их основе комплексных методов охраны лесов от пожаров, адаптированных для условий аномальной засухи.

В статье представлена концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь, которая включает этап пожарной профилактики, направленный на заблаговременное определение необходимого объема противопожарных мероприятий, этап реагирования на пожар и управления силами и средствами пожаротушения, позволяющий произвести оценку требуемого количества сил и средств и смоделировать способы тушения пожара, а также этап расследования пожара, направленный на повышение эффективности установления причин возгораний. Разработанная концепция предназначена для использования в деятельности государственной лесной охраны и комиссий по чрезвычайным ситуациям всех уровней с целью предотвращения возникновения и ограничения развития лесных пожаров в Республике Беларусь.

Ключевые слова: лесной пожар, лесной горючий материал, воспламенение, пожарная профилактика, мониторинг, прогнозирование, концепция.

Для цитирования: Гоман П. Н., Бойко А. А. Концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 29–38.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-4.

P. N. Goman¹, A. A. Boyko²

¹University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus

²Ministry of Forestry of the Republic of Belarus

THE CONCEPT OF COMPREHENSIVE ASSESSMENT AND FORECASTING THE CONDITIONS OF ORIGIN AND PARAMETERS OF FOREST FIRES DEVELOPMENT IN THE REPUBLIC OF BELARUS

The problem of forest fires continues to remain one of the most pressing in the environmental protection complex of a number of countries around the world, despite significant experience in fighting fire. In the context of global warming, the number and area of forest fires increases, as a result people die, settlements are destroyed, and the environment is damaged. To increase the efficiency of the forest fire protection system, it is relevant to systematize the results of scientific research in this area and, on this basis, develop complex method for protecting forests from fires, adapted to conditions of abnormal drought.

The article presents the concept of a comprehensive assessment and forecasting the conditions of the occurrence and parameters of the development of forest fires in the Republic of Belarus, which includes a stage of fire prevention aimed at early determination of the necessary volume of fire prevention measures, the stage

of responding to a fire and managing fire extinguishing forces and means, which makes it possible to assess the required amount of forces and means and simulate fire extinguishing methods, as well as the stage of fire investigation, aimed at increasing the efficiency of identifying the causes of fires. The developed concept is intended for use in the activities of state forest protection and emergency commissions at all levels in order to prevent the occurrence and limit the development of forest fires in the Republic of Belarus.

Keywords: forest fire, forest combustible material, inflammation, fire prevention, monitoring, forecasting, concept.

For citation: Goman P. N., Boyko A. A. The concept of comprehensive assessment and forecasting the conditions of origin and parameters of forest fires development in the Republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 29–38 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-4.

Введение. Лесные пожары продолжают оставаться одним из наиболее опасных стихийных бедствий, оказывающих негативное воздействие на продуктивность и состояние природных экосистем. В результате пожаров снижается качественный состав лесов, нарушаются их экологические и социальные функции, происходит трансформация лесных ландшафтов и гибель насаждений. Профилактика, оперативное обнаружение, ликвидация лесных пожаров и их последствий являются важнейшими составными элементами в сфере сохранения природных экосистем Беларуси [1–4].

На современном этапе учеными разных стран накоплен существенный опыт борьбы с лесными пожарами, получены важные теоретические и экспериментальные результаты в сфере лесопожарного районирования, моделирования динамики лесных пожаров, разработки огнегасящих и огнепреграждающих химических составов, установления закономерностей возникновения и развития пожаров, разработки методов дистанционного обнаружения очагов огня и др. [5–15]. Однако, несмотря на многообразие и всесторонность научных исследований в данной области, полученные результаты не всегда систематизированы, направлены на решение различных задач лесопожарной защиты, что затрудняет их использование для решения комплексной задачи по повышению уровня пожарной безопасности природных экосистем в условиях глобального потепления.

С учетом вышеизложенного актуальным является систематизация полученных результатов и разработка на их основе концепции комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь, что является целью данной работы. В основу создания концепции положены результаты собственных научных исследований, приведенные в работах [16–22].

Основная часть. Перед разработкой любой концепции требуется определить ее структуру, т. е. выделить элементы (этапы) и средства реализации. В данном случае для разработки концепции комплексной оценки и прогнозирования

лесных пожаров предложена структура, включающая три основных этапа, реализуемых Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь (далее – Минлесхоз): этап пожарной профилактики, этап реагирования на пожар и управления силами и средствами пожаротушения, а также этап расследования пожара.

На этапе пожарной профилактики применяется оптимизированная для административных районов Беларуси карта лесопожарного районирования (рис. 1), а также методика расчета параметров противопожарных барьеров, приведенные в источниках [16, 17].

В основу определения лесопожарных поясов положен усовершенствованный метод расчета комплексного показателя потенциальной опасности возникновения и распространения лесных пожаров в Республике Беларусь [3, 4, 16]:

$$П = 0,13К + 0,14Л + 0,17Г + 0,11Н + 0,17Р + 0,16Х + 0,12В,$$

где К – класс природной пожарной опасности лесов района; Л – лесистость района, %; Г – горимость лесов района, равная средней частоте пожаров в год; Н – плотность населения района, чел./км²; Р – уровень радиоактивного загрязнения лесов района, Ки/км²; Х – уровень химического загрязнения лесов района выбросами промышленных объектов, тыс. т/год; В – наличие в лесах района военных складов взрывчатых материалов.

С помощью предложенного подхода лесопожарного районирования юридическими лицами, ведущими лесное хозяйство (далее – лесхоз), проводится оценка условий возникновения лесных пожаров на территории конкретного административно района республики. Под условиями, влияющими на характер возникновения и возможные последствия лесных пожаров, в данном случае понимаются природные, погодные и техногенные условия. Природные условия характеризуются классом природной пожарной опасности насаждений, типом и способностью лесного горючего материала (далее – ЛГМ) к

воспламенению и поддержанию процесса горения, погодные условия – температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью и направлением ветра, осадками, рельефом местности, а техногенные условия – уровнем радиоактивного и химического загрязнения лесных территорий, наличием в лесном фонде взрывопожароопасных объектов. Далее на основании результатов проведенной оценки и предложенной системы лесопожарных поясов, а также требований документов [23, 24] определяется объем пожарно-профилактических мероприятий. Кроме того, по результатам оценки условий возникновения лесных пожаров и возможной лесопожарной обстановки в конкретном регионе на данном этапе осуществляется оценка достаточности и надежности системы противопожарных барьеров, создаваемых работниками лесхозов при подготовке к пожароопасному сезону.

Реализация первого этапа направлена на повышение эффективности системы противопо-

жарного обустройства лесов и комплекса пожарно-профилактических мероприятий посредством создания условий, ограничивающих возникновение и распространение лесных пожаров.

Этап реагирования на пожар и управления силами и средствами пожаротушения предназначен для оказания всесторонней помощи ответственному дежурному (диспетчеру) в оценке требуемых для привлечения сил и средств, исходя из площади и интенсивности горения, а также руководителю тушения пожара (далее – РТП) и комиссиям по чрезвычайным ситуациям (далее – КЧС) всех уровней при организации эффективного управления силами и средствами в зависимости от выбранных способов и методов тушения пожара. На данном этапе применяются разработанные и представленные в источниках [18, 19] программные комплексы по оценке динамики лесного пожара Wildfire (рис. 2), а также по определению уровня чрезвычайной ситуации (далее – ЧС), связанной с лесным пожаром, «Уровень лесного пожара» (рис. 3).

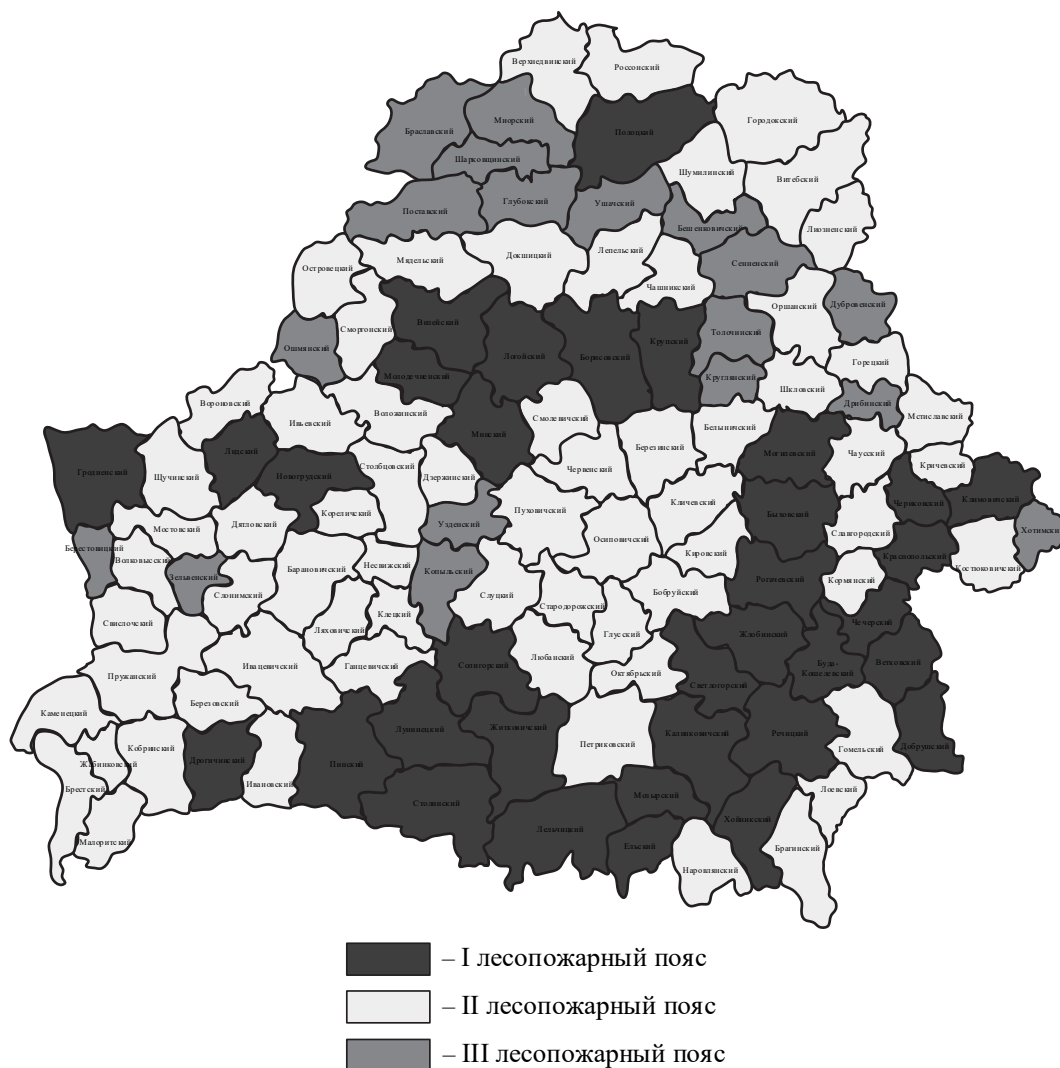


Рис. 1. Карта лесопожарного районирования по административным районам Беларуси

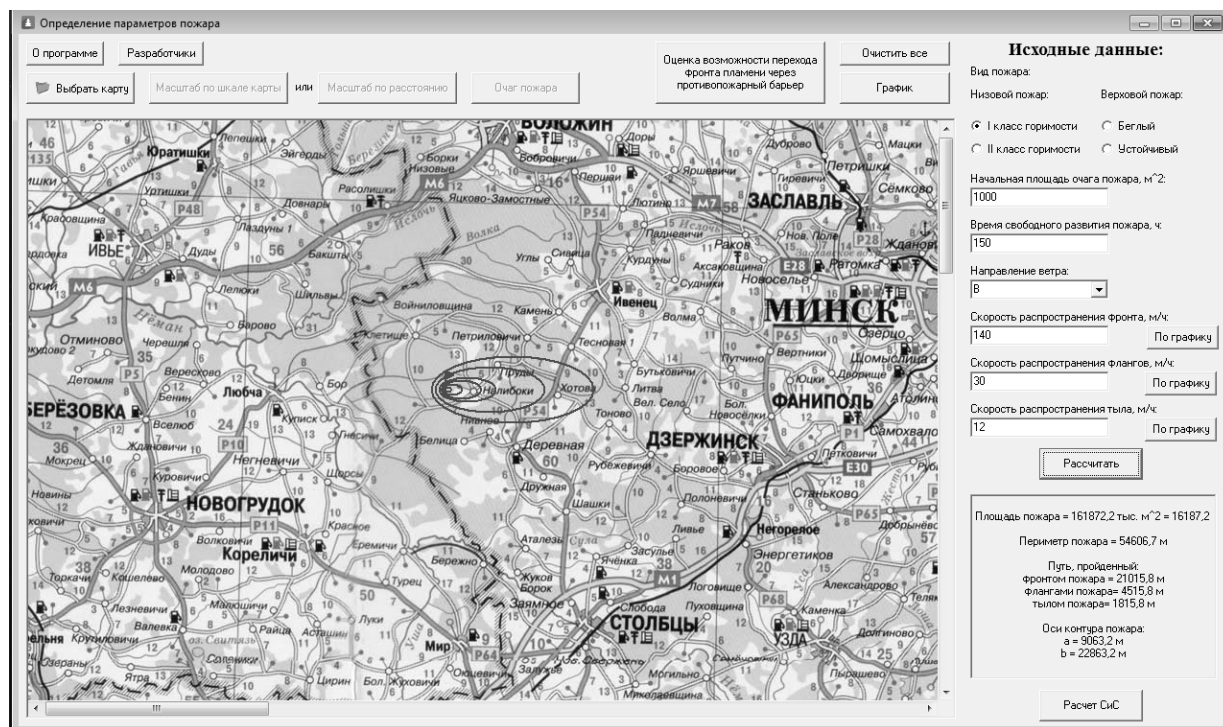


Рис. 2. Общий вид программы Wildfire

ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ			РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ		ВЫВОД
Районы 	Вид лесного пожара ☒ Низовой ☐ Верховой	Площадь пожара ($S_{П}$), га 20	Пострадало, чел. 3	Максимальная площадь тушения силами и средствами выбранного(-ых) района(-ов) (S_T), га 79,9	Уровень ЧС Местный
	Организации, участвующие в ликвидации пожара: Минлесхоз (СИс) ☒ МЧС (СИс) ☒ Другие организации (СИс) ☒	Нарушены условия жизнедеятельности, чел. 5	Предполагаемый ущерб от пожара площадью $S_{П}$ б.в. 3360		

Рис. 3. Общий вид программы «Уровень лесного пожара»

С помощью программы Wildfire определяются параметры развития лесного пожара – направление, скорость, площадь, периметр, тепловая нагрузка, время достижения фронтом пламени границы населенного пункта или социально значимого объекта. Данные параметры имеют важное значение в условиях лесных пожаров, и их своевременное определение помогает существенно повысить эффективность тушения и принять решение о необходимости эвакуации людей из населенных пунктов, расположенных вблизи горящих лесных массивов. Кроме того, программа, учитывая интенсивность горения, позволяет определить эффективность имеющихся на пути огня противопожарных барьеров и при необходимости принять заблаговременные действия по увеличению их ширины. Также программа дает воз-

можность произвести безопасную и эффективную расстановку сил и средств на основании расчета плотности теплового потока от фронта пламени и определить методы и способы тушения пожара, исходя из сложившейся лесопожарной обстановки, имеющейся техники и пожарно-технического вооружения.

Программа «Уровень лесного пожара» позволяет определить достаточность сил и средств районного уровня для ликвидации лесного пожара, необходимость своевременного задействования пожарных расчетов вышестоящих КЧС, а также предварительный ущерб от пожара.

Реализация второго этапа направлена на повышение эффективности системы управления и реагирования на лесные пожары посредством

оптимального задействования имеющихся сил и средств пожаротушения.

Этап расследования пожара предназначен для оказания помощи работникам государственной лесной охраны в установлении причин возгораний и разработке мероприятий по совершенствованию действующего законодательства в области обеспечения пожарной безопасности в лесах. Основу данного этапа составляют результаты экспериментальных исследований процесса воспламенения ЛГМ различными источниками за-

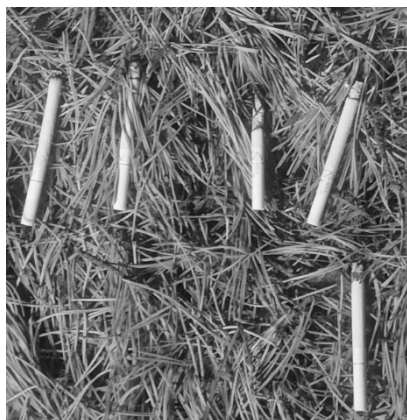
жигания. Известно, что в Республике Беларусь около 96% лесных пожаров возникает по вине человека [3]. В этой связи установленные и представленные в работах [20–22] закономерности воспламенения ЛГМ при воздействии сфокусированного солнечного излучения, теплового потока от факела пламени (костер или сельскохозяйственные палы), брошенных горящих спичек и тлеющих сигарет, искр различной природы позволяют устанавливать причины возгораний на качественно новом уровне (рис. 4).



а



б



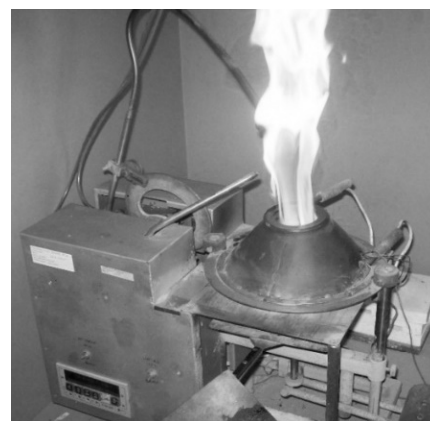
в



г



д



е

Рис. 4. Исследование воспламеняемости ЛГМ при воздействии сфокусированного солнечного излучения (а), брошенных горящих спичек (б), тлеющих сигарет (в), искр (г), теплового потока (д, е)

Реализация третьего этапа направлена на повышение эффективности установления причин возгораний в природных экосистемах посредством совершенствования методик расследования пожаров и направлений пожарно-профилактической работы, включая массово-разъяснительную работу с населением по вопросам соблюдения требований пожарной безопасности в лесах.

Таким образом, предложенная структура концепции рассматривает основные стадии охраны лесов от пожаров:

- пожарная профилактика;
- реагирование на возгорание;
- управление силами и средствами;
- ликвидация пожара;
- установление причины пожара.

В общем виде разработанная концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь представлена на рис. 5. Основными пользователями концепции на различных этапах ее применения являются ответственный дежурный (диспетчер), работники лесхозов, РТП и члены КЧС. Основные действия каждого звена по реализации концепции рассмотрим ниже.

Лесхозы с учетом установленного лесопожарного пояса обеспечивают заблаговременную реализацию комплекса пожарно-профилактических мероприятий по предупреждению возникновения и распространения лесных пожаров в условиях глобального потепления. Осуществляют подготовку к пожароопасному сезону и проводят массово-разъяснительную работу с населением. Устанавливают причины лесных пожаров, производят их разбор и анализ. Разрабатывают комплекс мероприятий по совершенствованию уровня пожарной безопасности природных экосистем на соответствующей территории.

Ответственный дежурный (диспетчер) при поступлении сообщения о лесном пожаре, исходя из имеющейся информации о площади и интенсивности горения, определяет оптимальное количество сил и средств на этапе первоначального реагирования. Передает информацию о пожаре в соответствии с утвержденным регламентом. В дальнейшем при увеличении площади пожара и усугублении лесопожарной обстановки диспетчер по требованию РТП может привлечь дополнительные силы и средства пожаротушения.

РТП определяет оптимальные методы и способы тушения пожара с учетом имеющихся сил и средств, площади, направления горения, нали-

чия на пути огня естественных и искусственных противопожарных барьеров, складов хранения взрывчатых материалов, уровня радиоактивного и химического загрязнения лесного фонда. Определяет параметры развития лесного пожара (направление, скорость, площадь, периметр, тепловую нагрузку, время достижения фронтом пламени границы населенного пункта или социально значимого объекта). Проводит оценку достаточности и надежности имеющихся на пути огня противопожарных барьеров. При необходимости организует расширение действующих или создание дополнительных препятствий для развития огня. В условиях недостаточности сил и средств обращается в КЧС районного уровня для привлечения подразделений МЧС, а также других организаций, имеющих специальную технику, приспособленную для тушения лесных пожаров.

КЧС районного уровня принимает решение о необходимости оказания помощи лесхозу по тушению пожара путем привлечения сил и средств районного отдела по ЧС и других организаций. При угрозе воздействия поражающих факторов пожара на населенные пункты принимает решение об эвакуации людей и организации их жизнеобеспечения. При недостаточности сил и средств района обращается за помощью в вышестоящую КЧС.

КЧС областного и республиканского уровня принимает решение об оказании помощи по тушению лесного пожара нижестоящей КЧС путем привлечения имеющихся в их распоряжении пожарных расчетов. Обеспечивает эффективное управление участниками тушения пожара.

Таким образом, разработанная концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь обеспечивает всестороннюю поддержку Минлесхозу в сфере охраны лесов от пожаров и позволяет существенно повысить эффективность как пожарно-профилактических мероприятий, так и тактических приемов борьбы с огнем.

Заключение. В результате проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы.

1. Для повышения уровня пожарной безопасности природных экосистем и адаптации пожарно-профилактических мероприятий к условиям глобального потепления разработана концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь, базирующаяся на собственных результатах научных исследований в данной области.

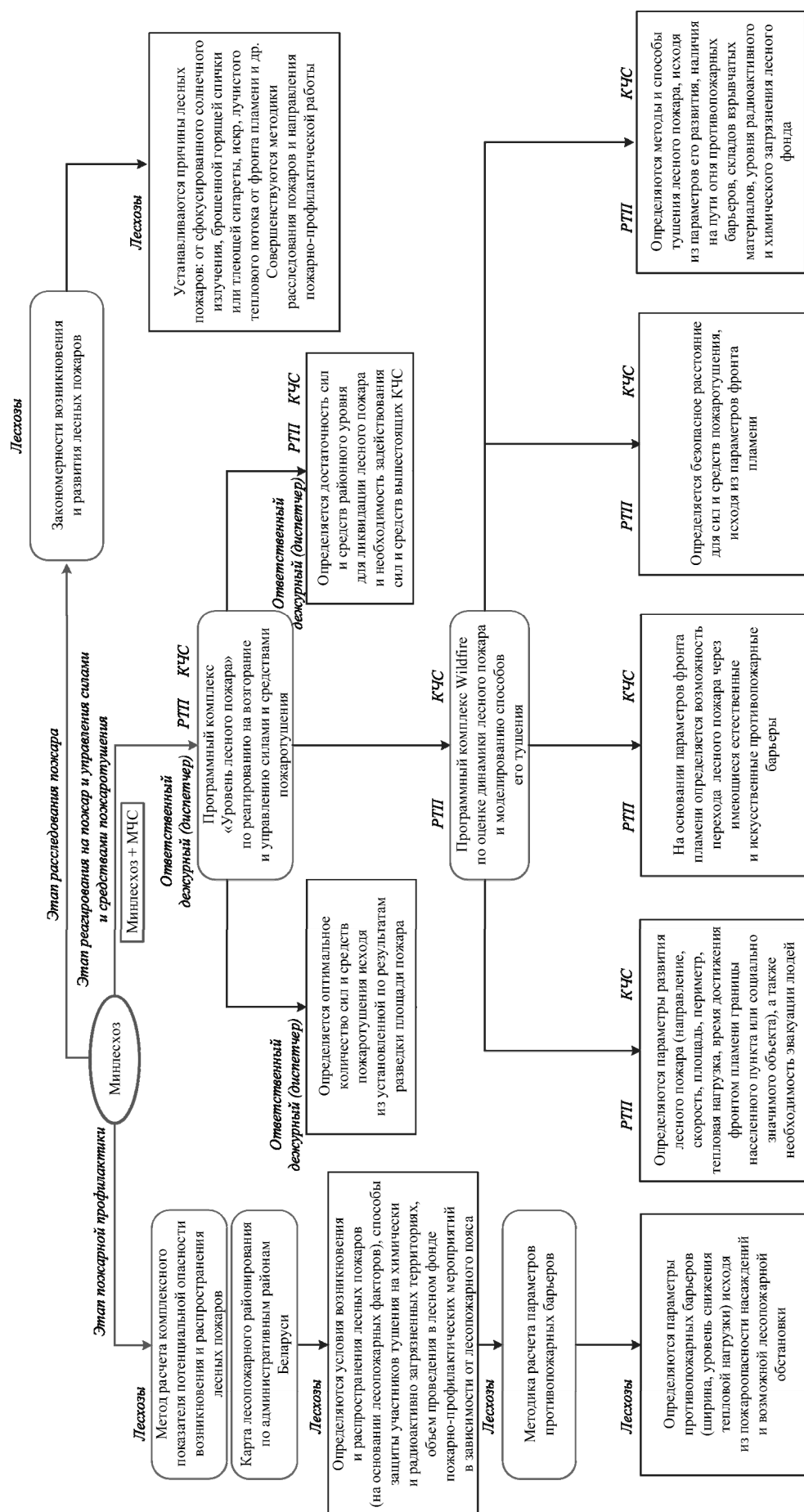


Рис. 5. Концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь

2. При разработке концепции предложена структура, включающая три этапа ее реализации: этап пожарной профилактики, этап реагирования на пожар и управления силами и средствами пожаротушения, а также этап расследования пожара. Данная структура позволяет решать широкий спектр задач по ограничению возникновения и распространения лесных пожаров, оперативному реагированию на возгорания, организации эффективного привлечения сил и средств, выбору оптимальных методов и способов тушения пожара, установлению причин возгораний и разработке мероприятий, направленных на совершенствование законодательства в сфере охраны лесов от пожаров.

3. В качестве основных средств, используемых пользователями концепции при ее реализации, выделены метод расчета комплексного показателя потенциальной опасности возникновения и распространения лесных пожаров, карта лесопожарного районирования по администра-

тивным районам Беларуси, метод расчета ширины противопожарных барьеров, программный комплекс Wildfire по оценке динамики лесного пожара и моделированию способов его тушения, программный комплекс «Уровень лесного пожара» по реагированию на возгорание и управлению силами и средствами пожаротушения, закономерности возникновения и развития лесных пожаров. Преимуществом указанных средств является простота их применения и возможность получения оперативных прогнозных оценок по условиям возникновения и параметрам развития лесных пожаров в различных регионах республики.

4. Для эффективного применения концепции комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь в ее организационной структуре выделены основные пользователи, а также уточнены их действия на различных этапах реализации концепции.

Список литературы

1. Усеня В. В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2002. 206 с.
2. Усеня В. В. Лесоводственно-пирологические основы охраны лесов от пожаров Республики Беларусь: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. Гомель, 2003. 284 л.
3. Усеня В. В., Каткова Е. Н., Ульдинович С. В. Лесная пирология. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2011. 264 с.
4. Усеня В. В., Юревич Н. Н. Опыт Республики Беларусь в борьбе с лесными пожарами // Устойчивое лесопользование. 2017. № 2 (50). С. 14–21.
5. Арцыбашев Е. С. Лесные пожары и борьба с ними. М.: Лесная пром-сть, 1974. 152 с.
6. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 с.
7. Ходаков В. Е., Жарикова М. В. Лесные пожары: методы исследования. Херсон: Изд-во Гринь Д. С., 2011. 470 с.
8. Сегодня А. М., Булва А. Д. Справочное руководство по ликвидации лесных и торфяных пожаров. Гродно: Гродненское обл. упр. МЧС Респ. Беларусь, 2012. 160 с.
9. Ford R. Investigation of Wildfires. Bend: Maverick Publications, 1995. 176 p.
10. Simulating fire whirls / F. Battaglia [et al.] // Combust. Theory Model. 2000. No. 4. P. 123–138.
11. Chuah K. H., Kushida G. The prediction of flame heights and flame shapes of small fire whirls // Proc. Combust. Inst. 2007. No. 31. P. 2599–2606.
12. Effect of vegetation heterogeneity on radiative transfer in forest fires / F. Pimont [et al.] // Int. J. Wildland Fire. 2009. No. 18. P. 536–553.
13. Infrared radiative properties of vegetation involved in forest fires / B. Monod [et al.] // Fire Saf. J. 2009. No. 44. P. 88–95.
14. Morvan D. Wind effects, unsteady behaviors, and regimes of propagation of surface fires in open field // Combust. Sci. Technol. 2014. No. 186. P. 869–888.
15. Nelson R. M. Re-analysis of wind and slope effects on flame characteristics of Mediterranean shrub fires // Int. J. Wildland Fire. 2015. No. 24. P. 1001–1007.
16. Гоман П. Н. Совершенствование метода расчета регионального комплексного показателя потенциальной опасности возникновения и распространения лесных пожаров в Республике Беларусь // Проблемы лесоведения и лесоводства. 2023. № 83. С. 167–179.
17. Гоман П. Н., Гончаренко И. А., Ильюшонок А. В. Оценка уровня теплового воздействия при лесном пожаре и расчет ширины противопожарного барьера // Вестн. науки Казах. агротехн. науч.-исслед. ун-та им. С. Сейфуллина. 2024. № 1 (120). С. 4–16. DOI: 10.51452/kazatu.2024.1(120).1588.

18. Гоман П. Н., Соболевская Е. С. Повышение безопасности лесного фонда Республики Беларусь на основе компьютерного моделирования динамики лесных пожаров // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2016. № 2 (40). С. 75–86.

19. Гоман П. Н., Баев Н. Н. К вопросу определения пороговых значений классификационных признаков и уровней чрезвычайных ситуаций, связанных с лесными пожарами // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2021. № 1 (49). С. 81–92.

20. Гоман П. Н. Воспламеняемость лесного горючего материала при воздействии теплового потока // Труды СПБНИИЛХ. 2023. № 3. С. 112–123. DOI: 10.21178/2079-6080.2023.3.112.

21. Исследование процесса воспламенения лесного горючего материала сфокусированным солнечным излучением / П. Н. Гоман [и др.] // Лесохозяйственная информация. 2024. № 2. С. 57–67. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2024.2.05.

22. Гоман П. Н., Алферчик Б. Н. Исследование условий воспламенения лесного горючего материала вследствие причин антропогенного характера // Труды СПБНИИЛХ. 2024. № 2. С. 108–117. DOI: 10.21178/2079-6080.2024.2.108.

23. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Требования к мероприятиям по охране леса: СТБ 1582–2005. Минск: Белгипролес, 2005. 10 с.

24. Правила противопожарного обустройства лесов Республики Беларусь: ТКП 193–2009. Минск: Ин-т леса НАН Беларуси, 2009. 12 с.

References

1. Usenya V. V. *Lesnyye pozhary, posledstviya i bor'ba s nimi* [Forest fires, consequences and fight against them]. Gomel, Institut lesa NAN Belarusi Publ., 2002. 206 p. (In Russian).

2. Usenya V. V. *Lesovodstvenno-pirologicheskiye osnovy okhrany lesov ot pozharov Respubliki Belarus'. Dissertatsiya doktora sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Forestry and pyrological bases of forest protection from fires of the Republic of Belarus. Dissertation DSc (Agriculture)]. Gomel, 2003. 284 p. (In Russian).

3. Usenya V. V., Katkova E. N., Ul'dinovich S. V. *Lesnaya pirologiya* [Forest pyrology]. Gomel, Institut lesa NAN Belarusi Publ., 2011. 264 p. (In Russian).

4. Usenya V. V., Yurevich N. N. Experience of the Republic of Belarus in fighting forest fires. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye* [Sustainable forest management], 2017, no. 2 (50), pp. 14–21 (In Russian).

5. Artsybashev E. S. *Lesnyye pozhary i bor'ba s nimi* [Forest fires and fighting them]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1974. 152 p. (In Russian).

6. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Forecasting the occurrence of forest fires and their environmental consequences]. Novosibirsk, Izdatel'stvo SO RAN Publ., 2009. 301 p. (In Russian).

7. Khodakov V. E., Zharikova M. V. *Lesnyye pozhary: metody issledovaniya* [Forest fires: research methods]. Kherson, Izdatel'stvo Grin' D. S., 2011. 470 p. (In Russian).

8. Segodnik A. M., Bulva A. D. *Spravochnoye rukovodstvo po likvidatsii lesnykh i torfyanykh pozharov* [Reference guide for the elimination of forest and peat fires]. Grodno, Grodnenskoye oblastnoye upravleniye MCHS Respubliki Belarus' Publ., 2012. 160 p. (In Russian).

9. Ford R. Investigation of Wildfires. Bend, Maverick Publ., 1995. 176 p.

10. Battaglia F., McGrattan K., Rehm R., Baum H. Simulating fire whirls. *Combust. Theory Model*, 2000, no. 4, pp. 123–138.

11. Chuah K. H., Kushida G. The prediction of flame heights and flame shapes of small fire whirls. *Proc. Combust. Inst.*, 2007, no. 31, pp. 2599–2606.

12. Pimont F., Dupuy L., Caraglio Y., Morvan D. Effect of vegetation heterogeneity on radiative transfer in forest fires. *Int. J. Wildland Fire*, 2009, no. 18, pp. 536–553.

13. Monod B., Collin A., Parent G., Boulet P. Infrared radiative properties of vegetation involved in forest fires. *Fire Saf. J.*, 2009, no. 44, pp. 88–95.

14. Morvan D. Wind effects, unsteady behaviors, and regimes of propagation of surface fires in open field. *Combust. Sci. Technol.*, 2014, no. 186, pp. 869–888.

15. Nelson R. M. Re-analysis of wind and slope effects on flame characteristics of Mediterranean shrub fires. *Int. J. Wildland Fire*, 2015, no. 24, pp. 1001–1007.

16. Goman P. N. Improvement of the method of calculation of complex indicator of potential hazard origin and spread of forest fires in the Republic of Belarus. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of forestry and silviculture], 2023, no. 83, pp. 167–179 (In Russian).

17. Goman P. N., Goncharenko I. A., Il'yushonok A. V. Assessment of heat exposure level in case of forest fire and calculation of fire barrier width. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo nauchno-issledovatel'skogo universiteta imeni S. Seyfullina* [Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University], 2024, no. 1 (120), pp. 4–16. DOI: 10.51452/kazatu.2024.1(120).1588 (In Russian).

18. Goman P. N., Sobolevskaya E. S. Increase of safety level of woodlands of the Republic of Belarus based on forest fires dynamics computer modeling. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya* [Emergency situations: prevention and response], 2016, no. 2 (40), pp. 75–86 (In Russian).

19. Goman P. N., Baev N. N. To the question of determining the threshold values of classification signs and levels of emergency situations related to forest fires. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya* [Emergency situations: prevention and response], 2021, no. 1 (49), pp. 81–92 (In Russian).

20. Goman P. N. Flammability of forest combustible material when exposed to heat flow. *Trudy SPbNIILKh* [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2023, no. 3, pp. 112–123. DOI: 10.21178/2079-6080.2023.3.112 (In Russian).

21. Goman P. N., Il'yushonok A. V., Kuleshov V. K., Alferchik B. N. Study of the process of ignition of forest combustible material by focused solar radiation. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2024, no. 2, pp. 57–67. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2024.2.05 (In Russian).

22. Goman P. N., Alferchik B. N. Study of the conditions of ignition of forest combustible material for anthropogenic reasons. *Trudy SPbNIILKh* [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2024, no. 2, pp. 108–117. DOI: 10.21178/2079-6080.2024.2.108 (In Russian).

23. STB 1582–2005. Sustainable forest management and forest use. Requirements for forest protection measures. Minsk, Belgiproles Publ., 2005. 10 p. (In Russian).

24. ТКР 193–2009. Rules for fire prevention of forests of the Republic of Belarus. Minsk, Institute of Forests of the National Academy of Sciences of Belarus Publ., 2009. 12 p. (In Russian).

Информация об авторах

Гоман Павел Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной безопасности. Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: g-pn83@mail.ru

Бойко Алексей Андреевич – консультант управления лесного хозяйства. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь (ул. Мясникова, 39, 220030, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: aleksej.bojko92@yandex.ru

Information about the authors

Goman Pavel Nikolaevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Industrial Safety. University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus (25 Mashinostroiteley str., 220118, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: g-pn83@mail.ru

Boyko Alexey Andreevich – Forestry Department Consultant. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus (39 Myasnikova str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: aleksej.bojko92@yandex.ru

Поступила 10.03.2025