

УДК 630*2:502.174

И. А. Евкович, П. А. Протас

Белорусский государственный технологический университет

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ И ОБОСНОВАНИЕ
ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ
СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ**

В данной научной работе проведен анализ методов предиктивной аналитики и обосновано их применение для прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде. Исследование показывает, что использование методов предиктивной аналитики позволяет эффективно предсказывать возможные последствия стихийных изменений в лесах, что, в свою очередь, позволяет принять своевременные меры для предотвращения воздействия на лесной фонд. В работе отражены различные подходы к прогнозированию элементарных методов управления и рекомендовано использовать комплексный подход с применением современных технологий в области аналитики и машинного обучения для достижения наилучших результатов.

В статье на основании проведенных исследований рекомендовано для оценки и прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде использовать методы математического анализа на основе теории игр с учетом критериев Сэвиджа и Вальда. С помощью данного метода прогнозирования можно, например, изучить исторический опыт предприятия, провести статистическое моделирование и на основании полученной модели спланировать результат его работы.

Проведенный анализ программных методов показал, что применение пакета MatLab является целесообразным и его использование позволяет эффективно решать задачи в области прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде с учетом множества факторов при построении математической модели в теории игр. Программный пакет позволяет обрабатывать большие массивы данных, строить линии трендов и т. д. Удобство интерфейса, широкие возможности данного программного пакета для обработки результатов научных исследований и их графической иллюстрации позволяют существенно сократить время обработки экспериментальных данных, а также избежать ошибок при осуществлении расчетов.

Ключевые слова: лесной фонд, стихийные бедствия, прогнозирование, ликвидация последствий, математические методы, стохастическая теория игр.

Для цитирования: Евкович И. А., Протас П. А. Анализ методов предиктивной аналитики и обоснование их применения для прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 167–173.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-20.

I. A. Evkovich, P. A. Protas

Belarusian State Technological University

**ANALYSIS OF PREDICTIVE ANALYTICS METHODS AND SUBSTANTIATES
OF THEIR APPLICATION FOR FORECASTING THE CONSEQUENCES
OF NATURAL DISASTERS IN THE FOREST FUND**

In this scientific work, the analysis of predictive analytics methods is carried out and their application to predict the consequences of natural disasters in the forest fund is justified. The study shows that the use of predictive analytics methods makes it possible to effectively predict the possible consequences of natural changes in forests, which, in turn, makes it possible to take timely measures to prevent impacts on the forest fund. The work examines various approaches to forecasting elementary management methods and recommends using an integrated approach using modern technologies in the field of analytics and machine learning to achieve the best results.

Based on the conducted research, the article recommends using mathematical analysis methods based on game theory, taking into account the Savage and Wald criteria, to assess and predict the consequences of natural disasters in the forest fund. Using this forecasting method, you can, for example, study the historical experience of an enterprise, conduct statistical modeling and plan the result of its work based on the obtained model.

The analysis of software methods has shown that the use of the MatLab package is appropriate and its use makes it possible to effectively solve problems in the field of forecasting the consequences of natural disasters in the forest fund, taking into account many factors when building a mathematical model in game theory. The software package allows you to process large amounts of data, build trend lines, etc. The convenience of the interface, the extensive capabilities of this software package for processing the

results of scientific research and their graphical illustration can significantly reduce the processing time of experimental data, as well as avoid errors in calculations.

Keywords: forest fund, natural disasters, forecasting, liquidation of consequences, mathematical methods, stochastic game theory.

For citation: Evkovich I. A., Protas P. A. Analysis of predictive analytics methods and substantiates of their application for forecasting the consequences of natural disasters in the forest fund. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 167–173 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-20.

Введение. В настоящее время активно используется такой метод анализа, как предиктивный, служащий для обработки и интерпретации информации с целью принятия правильных решений. Этот метод базируется на статистических моделях и позволяет находить закономерности в исторических и транзакционных данных, определять потенциальные риски и возможности [1–3]. В качестве основы при выполнении анализа используется опыт аналогичных решений, принятых в прошлом. Главными принципами такой методики являются: классическая стратегия, теория вероятности, функциональная математика, теория игр, корреляционный анализ, экономическая закономерность, экстраполяции трендов и др. [4].

В рамках проводимых исследований и имеющихся исходных данных целесообразно выполнить анализ различных методов предиктивной аналитики с обоснованием применения для решения задач в области прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде.

Основная часть. Последствия стихийных бедствий могут прогнозироваться с помощью различных методов: математических, экономических и программных [5]. Каждый из методов имеет свои особенности, достоинства и недостатки, алгоритмы проводимых расчетов, применяемый инструментарий и т. д.

Методы экономической эффективности являются неотъемлемой частью и одним из основных элементов логики прогнозирования и планирования. Они должны осуществляться как на макро-, так и на мезо- и микроуровнях [6]. При проведении метода экономической эффективности следует использовать системный подход. В качестве системы рассматривается лесное хозяйство (экономика) в целом и его структурные части.

Сущность метода экономической эффективности заключается в том, что экономический процесс или явление подразделяются на составные части и выявляются взаимосвязь и влияние этих частей друг на друга и на ход развития всего процесса. Метод экономической эффективности позволяет раскрыть сущность такого процесса, определить закономерности его изменения в прогнозируемом (плановом) периоде, всесторонне оценить возможности и пути достижения поставленных целей.

Процесс экономического анализа подразделяется на ряд стадий:

- постановка проблемы, определение целей и критериев оценки;
- подготовка информации для анализа; изучение и аналитическая обработка информации;
- разработка рекомендаций о возможных вариантах решения проблемы и достижения целей;
- оформление результатов анализа.

Методы компьютерного моделирования в настоящее время имеют наибольшую популярность, так как они применяются для составления самых разнообразных прогнозов – от глобальных до локальных [7]. При создании прогностической модели должны выполняться три основных условия:

- выявление факторов, имеющих существенное значение для предсказания;
- определение действительного отношения факторов к предсказуемому явлению;
- разработка алгоритма и программы [8, 9].

Данные методы изучают применение различных программных пакетов с возможностью использования и решения поставленных задач [10].

Методы математической статистики объединяют совокупность методов обработки количественной информации об объекте прогнозирования по принципу выявления содержащихся в ней математических закономерностей развития и математических взаимосвязей характеристик с целью получения прогнозных моделей [11]. Математические методы прогнозирования в зависимости от вида описания объектов подразделяются на следующие методы:

- экстраполяции (статистические методы);
- моделирования процессов (развития);
- решения оптимизационных задач.

Математические методы прогнозирования стихийных бедствий имеют свой алгоритм выполнения [5, 12].

Рассмотрим наиболее широко применяемые методы и выполним их обоснование для решения задач в области лесного хозяйства [13]:

1. Метод скользящего среднего. Данный метод дает возможность выравнять динамический ряд на основе его средних характеристик, позволяет провести прогнозную точечную оценку и более эффективно используется при краткосрочном

прогнозировании. Преимущество метода заключается в том, что он прост в применении и не требует обширной информационной базы.

2. Метод экспоненциального сглаживания. Дает возможность выявить тенденцию, сложившуюся к моменту последнего наблюдения и позволяет оценить параметры модели, описывающей тренд, который сформировался в конце базисного периода.

Этот метод адаптируется к меняющимся во времени условиям, а не просто экстраполирует действующие зависимости в будущее. Он наиболее эффективен при разработке кратко- и среднесрочных прогнозов. Его основное достоинство заключается в простоте вычисления и учете весов исходной информации, т. е. новые данные или данные за последние периоды имеют больший вес, чем данные более отдаленных периодов.

3. Метод наименьших квадратов. Основан на выявлении параметров модели, которые минимизируют суммы квадратичских отклонений между наблюдаемыми величинами и расчетными. Модель, описывающая тренд, в каждом конкретном случае подбирается в соответствии с рядом статистических критериев. На практике наибольшее распространение получили такие функции, как линейная, квадратическая, экспоненциальная, степенная, показательная.

Преимущества метода наименьших квадратов заключаются в том, что он прост в применении и реализуется на ЭВМ.

К недостаткам метода можно отнести жесткую фиксацию тренда моделью, небольшой период упреждения, сложность подбора уравнения регрессии, который осуществляется с помощью использования типовых компьютерных программ, например Excel.

4. Метод выявления линии тренда. Линии тренда представляют собой геометрическое отображение средних значений анализируемых показателей, полученных с помощью какой-либо математической функции. Выбор функции для построения линии тренда обычно определяется характером изменения данных во времени. Наиболее часто тренд представляется линейной зависимостью исследуемой величины. Суть метода состоит в том, что линейная функция «наилучшего соответствия» проходит через точки графика, соответствующие минимуму суммы квадратов отклонений измеряемого параметра.

5. Метод теории игр. Это математическая модель процесса функционирования конфликтных элементов системы, в котором действия происходят по определенным правилам, называемым стратегиями. Теория игр базируется на теории вероятностей, математической статистике и методах оптимизации. В методе теории игр расчеты ведутся по различным критериям: Лапласа, Вальда, Сэвиджа, Гурвица.

6. Метод теории вероятности. Это метод, изучающий закономерности случайных явлений. Знание закономерностей, которым подчиняются массовые случайные события, позволяют предвидеть, как эти события будут протекать.

Вероятность – это явление с неопределенным исходом, происходящее при неоднократном воспроизведении определенного комплекса условий. В каждом явлении присутствует случайность: в спросе на товар, в погодных условиях и пр.

7. Метод решения оптимизационных задач. В настоящее время для решения оптимизационных задач применяют в основном следующие методы:

- методы исследования функций классического анализа;
- методы, основанные на использовании неопределенных множителей Лагранжа;
- вариационное исчисление;
- динамическое программирование;
- принцип максимума;
- линейное программирование;
- нелинейное программирование.

В последнее время для решения оптимизационных задач используются методы математического программирования, позволяющие найти экстремальное значение целевой функции при соотношениях между переменными, устанавливаемых ограничениями в диапазоне изменения переменных, определяемом граничными условиями.

Математическое программирование представляет собой, как правило, многократно повторяющуюся вычислительную процедуру, приводящую к искомому оптимальному решению.

Выбор метода математического программирования для решения оптимизационной задачи определяется видом зависимостей в математической модели, характером искомых переменных, категорией исходных данных и количеством критериев оптимальности.

Если в математической модели имеются только линейные зависимости между переменными, то для решения оптимизационной задачи используются методы линейного программирования.

Если в математической модели имеются нелинейные зависимости между переменными, то для решения оптимизационной задачи используются методы нелинейного программирования.

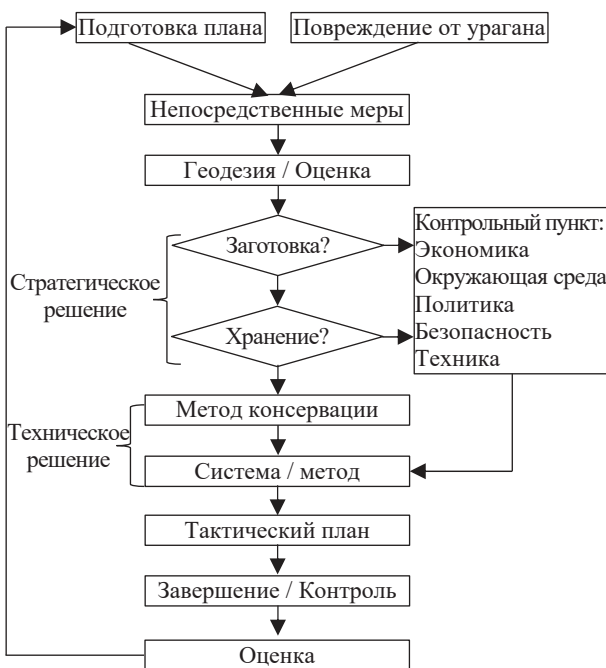
Окончательное решение оптимизационной задачи принимается только по результатам ее анализа. В качестве главного средства анализа используется математическая модель, позволяющая выполнить параметрический, структурный и многокритериальный анализ задачи.

Изучив и выполнив анализ различных методов, установили, что наиболее перспективными и современными с учетом развития информационных технологий являются методы математической

статистики, которые применяются для составления самых разнообразных прогнозов – от глобальных до локальных.

Из вышеперечисленных методов одними из наиболее эффективных и целесообразных могут быть методы математической статистики, а из них – метод *теории игр* по критерию Вальда и Сэвиджа. Такие задачи с большим количеством переменных удобно решать в программе MatLab.

На основании анализа методов прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде разработан алгоритм их оценки с применением теории игр (рисунок).



Алгоритм выполнения исследований

В теории игр используются следующие основные понятия:

Игра – это математическая модель конфликтной ситуации.

Игроки в игре – стороны, которые участвуют в конфликте.

Выигрыш – исход конфликтной ситуации.

Стратегии игрока – совокупность правил, которые определяют выбор игрока при личном ходе, зависящем от ситуации.

Решение игры – выбор каждым игроком определенной стратегии, которая удовлетворит условие оптимальности. Суть здесь заключается в получении максимальной прибыли.

Решить игру – это значит найти цену игры и ее оптимальное решение [14].

В качестве основы при выполнении анализа используется опыт аналогичных решений, принятых в прошлом. Такое прогнозирование ликвидации последствий стихийных бедствий может рассматриваться как один из новых методов к

данной проблеме. В этом методе прогнозирования сочетается с оценкой обстановки и выбором наиболее приемлемых мер и средств по обеспечению ликвидации последствий в лесном фонде [15].

Как известно, теорию игр составляет математическая теория конфликтных ситуаций. Ее задачей является выработка рекомендаций по рациональному образу действий в условиях неопределенности.

При прогнозировании ликвидации последствий стихийных бедствий в лесном фонде неопределенность проявляется в неоднозначности метеоусловий, статистических данных поврежденных участков и т. д. Ситуации, возникающие в процессе прогнозирования стихийного бедствия, условно могут быть отнесены к конфликтным.

Формирование тех или иных условий обстановки здесь связано не с сознательной деятельностью противостоящей стороны, а с некоторыми факторами, имеющими случайный характер. В играх такого рода, наряду с так называемыми личными ходами, имеют место случайные ходы. Для каждого случайного хода правила игры определяются распределением вероятностей возможных исходов.

Стратегии ликвидации последствий стихийных бедствий принимаются в качестве стратегий противостоящей стороны. Стратегии выражаются вариантами мер и действий по обеспечению ликвидации последствий стихийных бедствий. Каждая из стратегий природы содержит набор статистических данных или метеопараметров, принимаемых во внимание при прогнозировании ликвидации стихийного бедствия, и характеризуется вероятностью их ликвидации и в последующем реализации.

Стратегии, соответствующие различным вариантам мер и действий по обеспечению ликвидации последствий стихийных бедствий в лесном фонде определяются совокупностью и результативностью этих мер и действий. Причем все стратегии, относящиеся к нашей стороне, рассматриваются при одной и той же ситуации. Каждая из этих стратегий характеризуется набором вариантов различных последствий по числу принятых для анализа вариантов статистических данных.

Для решения задачи выбора оптимальной стратегии должна разрабатываться матрица, элементами которой являются показатели, характеризующие качество выигрыша, т.е. полезность и эффективность стратегии. Качество выигрыша определяется набором параметров последствия стихийного бедствия, от которых зависит степень его ликвидации, выражаемая через интегральный показатель. Интегральный показатель может интерпретироваться, например, как уровень общих затрат на ликвидацию последствий.

Глобальная математическая задача будет решаться с применением теории игр, а для ее решения эффективно использовать программные методы в программном пакете MatLab, так как он позволяет проводить обработку значительных объемов данных с высокой скоростью и имеет огромное количество встроенных математических, алгебраических, статистических и целого ряда других специализированных функций для обработки данных. Возможно также дополнительное расширение функциональности за счет использования специализированных пакетов расширения.

Пакет также позволяет создавать сценарии с использованием встроенного языка программирования и сохранять программы в виде т-файлов. Кроме того, визуальная среда GUIDE, встроенная в MatLab, позволяет создавать приложения с графическим интерфейсом пользователя. Пакет имеет широкие возможности визуализации двух- и трехмерных графиков и диаграмм.

Для решения оптимизационных задач и систем нелинейных уравнений в MatLab можно воспользоваться пакетом прикладных задач Optimization Toolbox, который поддерживает основные методы оптимизации функций ряда переменных: безусловная оптимизация нелинейных функций; метод наименьших квадратов и нелинейная интерполяция; решение нелинейных уравнений; линейное программирование; квадратичное программирование; условная минимизация нелинейных функций; метод минимакса; многокритериальная оптимизация.

При необходимости проведения статистической обработки опытных данных можно воспользоваться функциями пакета расширения Statistics Toolbox, который содержит набор средств генерации случайных чисел, векторов, матриц и массивов с различными законами распределения, а также множество статистических функций.

Приведенные выше аргументы подтверждают перспективность использования математического пакета MatLab как вычислительной среды для моделирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде.

Заключение. На основании вышесказанного можно сделать вывод, что в настоящее время существует достаточно большое множество различных методов прогнозирования событий, которые имеют свои особенности, достоинства и недостатки, алгоритмы проводимых расчетов, применяемый инструментарий и т. д.

В этой связи в рамках проводимых исследований выполнен анализ различных методов и установлено, что наиболее перспективными и современными методами с учетом развития цифровой отрасли и информационных технологий являются математические методы прогнозирования [15].

Прогнозная аналитика позволяет лесопромышленному производству принимать более взвешенные и корректные решения сегодня для достижения лучших результатов завтра. Путем анализа данных лесопромышленного производства получают ценную информацию и могут прогнозировать события, находить новые возможности, предвидеть угрозы.

В статье была рассмотрена возможность использования теории игр с учетом Сэвиджа и Вальда для оценки и прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде.

Проведенный анализ программных методов показал целесообразность и эффективность применения программного пакета MatLab для решения исследовательских задач в области прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде.

В результате был сделан вывод о необходимости применения в общей методологии проведения научно-исследовательских работ современных информационных систем и технологий. Их очевидные преимущества заключаются в том, что они не только позволяют частично или полностью исключить проведение ручных вычислений, но и дают возможность проектировать различные модели, диаграммы. Они могут моделировать самые сложные процессы, что способствует их углубленному изучению, рассмотрению всех влияющих факторов по отдельности или в комплексе, использованию сложных математических описаний.

Список литературы

1. Предиктивная аналитика // Клеверенс. URL: <https://www.cleverence.ru/articles/auto-busines/prediktivnaya-analitika-chto-eto-takoe-metody-i-instrumenty-prognosticheskogo-analiza/> (дата обращения: 04.03.2024).
2. Способы и действия предиктивной аналитики // Агрегатор сервисов In-scale. URL: <https://in-scale.ru/blog/prediktivnaya-analitika/> (дата обращения: 04.03.2024).
3. Евкович И. А., Протас П. А. Предиктивная аналитика и ее применение в лесопромышленном производстве // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск. 31 янв. – 17 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 36–39.
4. Assessment of Forest Damage in Croatia Caused by Natural Hazards in 2014 / D. Vuletić [et al.] // Southeast Eur. 2014. № 5 (1). P. 65–79. DOI: 10.15177/seefer.14-07.

5. Евкович И. А., Протас П. А. Методы прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVIII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Екатеринбург, 4–15 апр. 2022 г. Екатеринбург, 2022. С. 111–115.

6. Методы экономической эффективности // StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/5275512/page:4/> (дата обращения 05.03.2024).

7. Методы компьютерного моделирования // Профильное обучение. URL: <http://profil.adu.by/mod/book/tool/print/index.php?id=4192> (дата обращения: 05.03.2024).

8. Программные методы математической статистики // Витебск. Ордена «Знак почета» гос. акад. ветеринар. медицины. URL: <https://www.vsavm.by/knigi/kniga3/1290.html> (дата обращения: 06.03.2024).

9. Применение современных компьютерных программ при решении задач прогнозирования // Библиофонд. URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=787249> (дата обращения: 08.03.2024).

10. Евкович И. А., Протас П. А. Прогнозирование последствий стихийных бедствий в лесном фонде по критериям Сэвиджа и Вальда в программе MathCAD // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 1 (276). С. 112–119. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-15.

11. Игнатенко В. В., Турлай И. В., Федоренчик А. С. Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок. Минск: БГТУ, 2004. 178 с.

12. Построение математических моделей и линий трендов динамики лесного фонда / А. Г. Мошкалева [и др.] // Клеверенс. 2012. Т. 7, № 1. С. 125–138.

13. Методы математической статистики // Справочник от Автор 24. URL: https://spravochnick.ru/matematika/metody_matematicheskoy_statistiki/ (дата обращения: 10.03.2024).

14. Колесников В. Л. Математические основы компьютерного моделирования химико-технологических систем. Минск: БГТУ, 2003. 312 с.

15. Шубин И. В. Прогнозирование лесопользования и совершенствование планирования качественного состава лесов: на основе автоматизации расчетов (на примере БССР): дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. Минск, 1982. 171 с.

References

1. Predictive analytics. Available at: <https://www.cleverence.ru/articles/auto-busines/prediktivnaya-analitika-cto-eto-takoe-metody-i-instrumenty-prognosticheskogo-analiza/> (accessed 03.03.2024) (In Russian).

2. Methods and actions of predictive analytics. Available at: <https://in-scale.ru/blog/prediktivnaya-analitika/> (accessed 04.03.2024) (In Russian).

3. Evkovich I. A., Protas P. A. Predictive analytics and its application in the forest industry. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forestry engineering, materials science and design: materials of the 87th scientific and technical conference of faculty and research workers and graduate students]. Minsk, 2023, pp. 36–39 (In Russian).

4. Vuletić D., Kauzlaric Z., Balenovic I., Krajter G., Ostoic S. Assessment of Forest Damage in Croatia Caused by Natural Hazards in 2014. *Southeast Eur.*, 2014, no. 5 (1), pp. 65–79. DOI: 10.15177/see-for.14-07.

5. Evkovich I. A., Protas P. A. Methods for forecasting the consequences of natural disasters in the forest fund. *Nauchnoye tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii: materialy XVIII Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov* [Scientific creativity of youth – the forest complex of Russia: materials of XVIII All-Russian (national) scientific and technical conference of students and graduate students]. Ekaterinburg, 2022, pp. 111–115 (In Russian).

6. Methods of economic efficiency. Available at: <https://studfile.net/preview/5275512/page:4/> (accessed 05.03.2024) (In Russian).

7. Computer modeling methods. Available at: <http://profil.adu.by/mod/book/tool/print/index.php?id=4192> (accessed 05.03.2024) (In Russian).

8. Software methods of mathematical statistics. Available at: <https://www.vsavm.by/knigi/kniga3/1290.html> (accessed 06.03.2024) (In Russian).

9. Application of modern computer programs in solving forecasting problems. Available at: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=787249> (accessed 08.03.2024) (In Russian).

10. Evkovich I. A., Protas P. A. Forecasting the consequences of natural disasters in the forest fund according to the Savage and Wald criteria in the MathCAD program. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2024, no. 2 (276), pp. 112–119. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-15 (In Russian).

11. Ignatenko V. V., Turlay I. V., Fedorenchik A. S. *Modelirovaniye i optimizatsiya protsessov lesozagotovok* [Modeling and optimization of logging processes]. Minsk, BSTU Publ., 2004. 178 p. (In Russian).

12. Moshkalev A. G., Niggel V. K., Shalabin G. W., Goev V. Ya., Shershen L. I., Deltuvas R. P., Misheikus I. F. Construction of mathematical models and trend lines of forest fund dynamics. *Kleverens* [Kleverens], 2012, vol. 7, no. 1, pp. 125–138 (In Russian).

13. Methods of mathematical statistics. Available at: https://spravochnick.ru/matematika/metody_matematicheskoy_statistiki/ (accessed: 10.03.2024) (In Russian).

14. Kolesnikov V. L. *Matematicheskiye osnovy komp'yuternogo modelirovaniya khimiko-tehnologicheskikh sistem* [Mathematical foundations of computer modeling of chemical technological systems]. Minsk, BSTU Publ., 2003. 312 p. (In Russian).

15. Shubin I. V. *Prognozirovaniye lesopol'zovaniya i sovershenstvovaniye planirovaniya kachestvennogo sostava lesov (na primere BSSR). Dissertatsiya kandidata ekonomicheskikh nauk* [Forecasting forest management and improving the planning of the qualitative composition of forests based on automation of calculations. Dissertation PhD (Economic)]. Minsk, 1982. 171 p. (In Russian).

Информация об авторах

Евкович Ирина Александровна – аспирант кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: evcovich.irina@mail.ru

Протас Павел Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: protas@belstu.by

Information about the authors

Evkovich Irina Aleksandrovna – postgraduate student, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: evcovich.irina@mail.ru

Protas Pavel Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: protas@belstu.by

Поступила 15.03.2024