

УДК 630*2:502.174

И. А. Евкович, П. А. Протас

Белорусский государственный технологический университет

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ
В ЛЕСНОМ ФОНДЕ ПО КРИТЕРИЯМ СЭВИДЖА И ВАЛЬДА
В ПРОГРАММЕ MATHCAD**

Для эффективной ликвидации последствий стихийных бедствий в лесном фонде, повышения качества управленческих решений требуется прогноз динамики стихийных бедствий, затрат на их ликвидацию и влияния на лесные экосистемы. Такой прогноз можно получить с помощью методов предиктивной аналитики на основании анализа статистических данных прошлых лет.

В статье рассмотрена возможность применения теории игр по критериям Сэвиджа и Вальда для оценки и прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде. На основании анализа программных методов, которые могут применяться для прогнозирования стихийных бедствий в лесном фонде, установлена целесообразность применения программного пакета MathCAD. Приведена методика решения данной задачи в программном пакете MathCAD с детальным описанием решения и графической интерпретацией полученных результатов. Для решения задач по оценке и прогнозированию последствий стихийных бедствий в лесном фонде были описаны особенности, необходимые условия и исходные данные характеристик исследуемых объектов и определяемых параметров с учетом разработанного алгоритма в программном пакете MathCAD.

Ключевые слова: лесной фонд, стихийные бедствия, прогнозирование, ликвидация последствий, MathCAD, теория игр.

Для цитирования: 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.

I. A. Evkovich, P. A. Protas

Belarusian State Technological University

**FORECASTING THE CONSEQUENCES OF NATURAL DISASTER
IN THE FOREST FUND BY SAVAGE AND WALD CRITERIA
IN THE MATHCAD PROGRAM**

To effectively eliminate the consequences of natural disasters in the forest fund and improve the quality of management decisions, a forecast of the dynamics of natural disasters, the costs of their elimination and the impact on forest ecosystems is required. Such a forecast can be obtained using predictive analytics methods based on the analysis of statistical data from past years.

The article discusses the possibility of using game theory according to the Savage and Wald criteria to assess and predict the consequences of natural disasters in the forest fund. Based on the analysis of software methods that can be used to predict natural disasters in the forest fund, the feasibility of using the MathCAD software package has been established. A technique for solving this problem in the MathCAD software package is presented with a detailed description of the solution and a graphical interpretation of the results obtained. To solve problems of assessing and predicting the consequences of natural disasters in the forest fund, the features, necessary conditions and initial data of the characteristics of the objects under study and the parameters being determined were described, taking into account the developed algorithm in the MathCAD software package.

Keywords: forest fund, natural disasters, forecasting, liquidation of consequences, MathCAD, game theory.

For citation: Evkovich I. A., Protas P. A. Forecasting the consequences of natural disaster in the forest fund by Savage and Wald criteria in the MathCAD program. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 1 (276), pp. 112–119 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-15.

Введение. Существенными и разрушительными стихийными бедствиями в лесном фонде, которые приводят к значительным затратам на их

ликвидацию, потере лесных ресурсов, а также обостряют экологические проблемы, являются ветровалы, буреломы, усыхания насаждений и лесные

пожары. Такие стихийные бедствия являются стохастическими и непредсказуемыми, которые невозможно спрогнозировать с достаточной степенью вероятности.

Учитывая тенденцию в изменении климата, многие специалисты предполагают дальнейшее усиление воздействия стихийных бедствий на лесной фонд, что и подтверждается статистикой последних лет [1–3].

Необходимо также отметить, что последствия от стихийных бедствий на лесные экосистемы наблюдаются в течение длительного времени. Так, после ветровалов и буреломов возрастает вероятность появления вторичных повреждений лесонасаждений, которые вызваны вредителями, болезнями леса и лесными пожарами. Это создает и дополнительную экономическую нагрузку для лесного хозяйства за счет снижения устойчивости, ухудшения качества оставшихся лесов и поврежденных деревьев [4–6].

Ввиду актуальности изучаемой проблемы и ее влияния на экономику, а также на экологию и социальную сферу в последние годы были выполнены некоторые исследования по оценке последствий стихийных бедствий в лесах. Такие исследования проводились в научно-исследовательском институте леса земли Баден-Вюртемберг (Германия), Белорусском государственном технологическом университете, Львовском лесотехническом университете (Украина) и др. Данные исследования ввиду важности и значимости проблемы финансировались в том числе международными организациями: FAO, Всемирным банком, фондом GFDDR.

Так, например, авторы в работе [7] разработали методологию оценки ущерба в лесу на основе полевых наблюдений, пространственных данных лесничеств и сведений действующих планов ведения лесного хозяйства.

Применение предиктивной аналитики в лесном хозяйстве рассмотрено в исследованиях Шубина И. В. [8].

Итальянские ученые Tampakis S., Papageorgiou A. [9] рассматривали элементы, связанные с пожарным риском и анализом его поведения, и подчеркивали важность моделирования и компьютерных технологий в борьбе с лесными пожарами.

Sikora A., Ukalska J. исследовали влияние увеличения лесохозяйственных мероприятий, вызванных стихийными бедствиями, на затраты отдельных основных единиц продукции [10].

Указанные и ряд других авторов внесли существенный вклад в разработку методов оценки последствий стихийных бедствий в лесах и приемов автоматизации расчетов. Однако в основном проводимые исследования были направлены на

изучение состоявшихся стихийных бедствий, их влияния на экономику, лесные экосистемы, оценку экономических потерь от стихийных бедствий. До настоящего времени для условий Республики Беларусь не выполнялись исследования, позволяющие оценить возможность прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесфонде и с учетом прогноза разработать способы их ликвидации и планирование мероприятий.

В этой связи одним из наиболее важных и актуальных направлений исследований в данной области является разработка методики оценки прогнозирования последствий стихийных бедствий, которая позволит ускорить принятие рациональных организационных и технических решений, сократить затраты на ликвидацию последствий.

В настоящее время активно используется такой метод анализа, как предиктивный 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. 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, экстраполяция трендов и др. [11].

В настоящее время на практике используют три основных метода прогнозирования: метод математической статистики, экономической эффективности и программной системы [12].

Изучив и выполнив анализ различных методов, установили, что наиболее перспективными и современными с учетом развития информационных технологий являются программные методы прогнозирования, которые применяются для составления самых разнообразных прогнозов – от глобальных до локальных.

В рамках проводимых исследований и имеющихся исходных данных целесообразно выполнить анализ методов предиктивной аналитики и на базе наиболее эффективных разработать методику оценки и прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде.

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

Анализ программных методов прогнозирования последствий стихийных бедствий. В настоящее время применяется большое количество программных пакетов, например:

- MathCAD;
- MathLAB;

- Excel;
- Maple;
- Statistica и др. [13].

Выбор той или иной программы будет зависеть от следующих факторов:

- целевое назначение (численные и аналитические расчеты, решение задач математического анализа);
- возможности обработки данных (статистические расчеты);
- область объекта моделирования (построение графиков и диаграмм);
- сложность и разновидность проектируемого объекта (программирование, анимация);
- уровень комплексности (интеграция с САПР-системами, использование результатов вычислений в качестве управляющих параметров) [14].

Кроме программных пакетов есть также языки программирования, такие как C#, Java, C++ и другие, которые позволяют разрабатывать различные программы под определенные нужды.

На основании языков программирования также могут создаваться платформы рисков, сайты, которыми пользуются различные организации. Они позволяют накапливать данные, актуализировать их, иметь доступ к лесопользователям, лесфондодержателям для принятия своевременных решений.

Программные методы прогнозирования стихийных бедствий включают следующие этапы:

- характеристика объекта исследования;
- сбор исходных данных;
- выбор и подтверждение программной методики;
- обработка информации;
- приобретение дополнительных характеристик;
- прогнозирование последствий стихийного бедствия;
- получение результата об объекте исследования [15].

Альтернативным вариантом может стать применение нескольких видов программ, каждая из которых будет использоваться на отдельных стадиях исследовательской работы.

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.

Выполнив анализ различных методов, установили, что для решения задачи прогнозирования последствий стихийных бедствий на базе математических моделей может быть применен программный пакет MathCAD.

MathCAD – инженерное, математическое программное обеспечение, которое позволяет выполнять и анализировать важнейшие инженерные расчеты, обмениваться ими [16]. Здесь процесс вычислений сильно автоматизирован, что позволяет экономить время и больше внимания уделять физическому смыслу получаемого результата.

Методика прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде по критериям Сэвиджа и Вальда в программе MathCAD. На основании анализа различных математических методов прогнозирования установлено, что наиболее целесообразными могут быть методы математической статистики, а именно метод *теории игр* по критерию Вальда и Сэвиджа.

Наибольшее распространение при прогнозировании событий в лесозаготовительном комплексе получили парные стратегические игры. Такие игры имеют два метода решения задач:

- 1) с противодействующим противником;
- 2) с объективной действительностью (природой).

Для прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде подходит второй метод решения задач с объективной действительностью (природой). Отличительная особенность игры с природой состоит в том, что в ней сознательно действует только один из участников, в большинстве случаев называемый игроком 1. Игроку 2 (природа) не важен результат, либо он не способен к осмысленным решениям. В данной методике условия не зависят от действий игрока, а определяются внешними природными факторами. Решение данной задачи может выполняться по оценке критериев Вальда или Сэвиджа [17]. При этом каждый из них имеет свою особенность.

Критерий Вальда. В качестве оптимальной выбирается стратегия, гарантирующая выигрыш не менее чем «нижняя цена игры с природой».

Критерий Сэвиджа. Оптимальной считается такая стратегия, при которой величина риска принимает наименьшее значение в самой неблагоприятной ситуации.

Алгоритм выполнения исследований с применением MathCAD. Основным преимуществом использования программы MathCAD для решения поставленной задачи является сокращение трудоемкости и времени на проведение расчетов и создание моделей исследований. Но в то же время стоит принять во внимание, что качественное выполнение моделирования и расчетов в программной среде зависит от наличия необходимых данных.

Поэтому первоначальная стадия работ для проведения вычислительных экспериментов в MathCAD должна включать в себя формулировку

целей и задач проводимых исследований, сбор и подготовку исходных данных, разработку математического обеспечения, получение результатов аналитических и экспериментальных исследований [18].

Необходимый набор исходных данных будет формулироваться на основании объектов исследований, поставленных задач по изучению определенных процессов и получению конкретных данных. Исходными данными для прогнозирования последствий стихийных бедствий являются: объем поврежденной древесины, затраты на заготовку 1 м³ древесины, затраты на вывозку, потери от ухудшения товарной структуры заготавливаемой древесины, потери за счет снижения прироста древесины в поврежденных насаждениях. Эти исходные данные подразделяются на следующие категории:

- 1) природно-эксплуатационные – площадь, время года, климатические условия;
- 2) объемные – объем поврежденной древесины, объем работ при ликвидации последствий стихийных бедствий;
- 3) экономические – снижение стоимости на лесоматериалы ввиду их низкого качества, затраты на ликвидацию последствий, затраты на лесовосстановление, затраты на защиту лесов и др.;
- 4) экологические – необходимость в последующем лесовосстановлении, учет потерь экосистемных услуг, лесной среды.

Перечень задаваемых параметров будет зависеть от принятой модели прогнозирования.

Проведение анализа в программе MathCAD предусматривает определение основных параметров: площади поврежденного лесфонда, времени года, объемов поврежденной древесины, затрат на ликвидацию.

При этом в качестве построения модели для оценки ликвидации последствий стихийного бедствия в лесном фонде вводятся следующие обозначения, например: игрок A_i (A_1, A_2, A_n) может выступать за лесохозяйственное учреждение, а игрок P_j (P_1, P_2, P_3, P_n) – в качестве последствий стихийного бедствия с такими альтернативами, как объем поврежденной древесины, время на ликвидацию, затраты на заготовку поврежденной древесины в единицу времени, лесовосстановление поврежденного лесфонда и др. Выигрышем для игрока A_i в нашем случае будет являться прибыль от реализации поврежденной древесины одного из вариантов или минимизация затрат на ликвидацию последствий стихийного бедствия.

Исследование данных параметров необходимо проводить путем варьирования следующих показателей:

- P_1 – объем поврежденной древесины, млн м³;
- P_2 – затраты на заготовку 1 м³, руб.;

P_3 – затраты на вывозку 1 м³, руб.;

P_4 – потери от ухудшения товарной структуры заготавливаемой древесины, руб.;

P_5 – потери за счет снижения прироста древесины в поврежденных насаждениях, руб.

Оценка точности полученных результатов будет осуществляться путем сравнения их с теоретическими данными при использовании разработанной математической модели и/или с экспериментальными данными.

Пример расчета по разработанному алгоритму. В соответствии с программным методом системных матриц в условиях природной неопределенности выработка решения начинается с анализа результатов предполагаемого решения при различных вариантах условий обстановки (видах стихийных бедствий: ветровалах, буреломах, пожарах и т. д. и их параметрах).

Каждое предполагаемое решение от последствий стихийных бедствий в лесфонде сопоставляется с каждым вариантом обстановки, и определяется значение эффективности этого решения в данных условиях.

Следовательно, задачу принятия решения в условиях природной неопределенности можно сформулировать следующим образом:

- а) известны исходные величины, которые представлены в виде матрицы эффективности:
 - перечень предполагаемых решений A_i ;
 - перечень возможных вариантов условий обстановки P_j ;
 - значения эффективности E_{ij} для каждого i -го решения и j -го варианта условий обстановки;
- б) нужно выбрать оптимальное решение по ликвидации последствий стихийного бедствия:
 - сформировать матрицу эффективности, элементами которой являются значения эффективности E_{ij} ;
 - упорядочить решения путем выполнения операций определения следующих значений: среднего, минимального, максимального, усредненного и т. п.;
 - сформировать системную матрицу, элементами которой являются упорядоченные значения;
 - выбрать оптимальный вариант предполагаемого решения на основе матрицы эффективности, системной матрицы и критериев оптимальности.

Примеры матриц эффективности для такого стихийного бедствия, как ветровал, прошедший в Чаусском лесхозе, представлены на рис. 1.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	min
max						

Рис. 1. Матрица эффективности при ветровале

В нижней строке матрицы представлены максимальные значения по каждому условию обстановки P_j (по каждому столбцу матрицы).

Следовательно, математическая задача с применением метода теории игр в программе MathCAD в условиях природной неопределенности решается следующим образом (на примере решения по критерию Сэвиджа).

1. Составляют две матрицы эффективности по критерию Сэвиджа, элементами которой являются значения эффективности E_{ij} (max и min), представленные в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Матрица показателей по критерию Сэвиджа

Сроки	Показатели				
	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅
1 мес	1,720	28,0	14,8	11,5	3,5
2 мес	1,720	29,5	13,4	12,2	3,52
3 мес	1,720	30,7	12,7	12,9	3,54
6 мес	1,720	35,2	10,2	17,4	3,9
1 год	1,720	39,4	9,4	22,1	4,2
max	1,720	39,4	14,8	22,1	4,2

Таблица 2

Матрица остатков по критерию Сэвиджа

Сроки	Показатели					
	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	max
1 мес	1,720	11,4	0	10,6	0,7	11,4
2 мес	1,720	9,9	1,4	9,9	0,68	9,9
3 мес	1,720	8,7	2,1	9,2	0,66	9,2
6 мес	1,720	4,2	4,6	4,7	0,3	4,7
1 год	1,720	0	5,4	0	0	5,4

2. Проводят обработку данных путем определения следующих значений: среднего, минимального, максимального, усредненного и т. п.;

$$M := \begin{pmatrix} 28.0 & 14.8 & 11.5 & 3.5 \\ 29.5 & 13.4 & 12.2 & 3.52 \\ 30.7 & 12.7 & 12.9 & 3.54 \\ 35.2 & 10.2 & 17.4 & 3.9 \\ 39.4 & 9.4 & 22.1 & 4.2 \end{pmatrix}$$

3. Составляют системный код, элементами которого являются упорядоченные символы:

```

ORIGIN:=1
maxCols(M) := for c ∈ ORIGIN..ORIGIN-1 + cols(M)
               | Rc ← max(M(c))
               | R
maxM := maxCols(M).
    
```

4. Выбирают оптимальный вариант предполагаемого решения на основе матрицы

эффективности, системной матрицы и критериев оптимальности:

$$\max M = \begin{pmatrix} 39.4 \\ 14.8 \\ 22.1 \\ 4.2 \end{pmatrix}$$

5. Составляют системный код для max и min значений матрицы:

```

risks(M, maxM) := M ← MT
                  | for c ∈ ORIGIN..ORIGIN-1 + cols(M)
                  | R(c) ← maxM - M(c)
                  | R ← RT
    
```

K := risks (M, max M).

6. Проводят расчет эффективности по матричным остаткам:

$$K = \begin{pmatrix} 11.4 & 0 & 10.6 & 0.7 \\ 9.9 & 1.4 & 9.9 & 0.68 \\ 8.7 & 2.1 & 9.2 & 0.66 \\ 4.2 & 4.6 & 4.7 & 0.3 \\ 0 & 5.4 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

7. Составляют системный код, элементами которого являются упорядоченные символы матричных остатков:

```

maxRows(K) := K ← KT
              | for c ∈ ORIGIN..ORIGIN-1 + cols(K)
              | Rc ← max(K(c))
              | R
    
```

8. Производят вычисления в программе и получают минимальный риск при всевозможных благоприятных ситуациях:

$$\maxRows(K) = \begin{pmatrix} 11.4 \\ 9.9 \\ 9.2 \\ 4.7 \\ 5.4 \end{pmatrix} \quad \text{time} := \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 6 \\ 12 \end{pmatrix}$$

F := min (max Rows (K)),

где match (F, maxRows(K)) = (4) – строка, соответствующая решению; F = 4,7 – минимальный риск при всевозможных неблагоприятных ситуациях.

9. На основании полученных данных строят график (рис. 2).

Вывод по критерию Сэвиджа: при наименее благоприятных условиях обстановки по каждому решению (периоду времени) риски имеют минимум, поэтому, согласно критерию Сэвиджа,

оптимальным решением является период времени, равный 6 месяцам (предпоследнее решение).

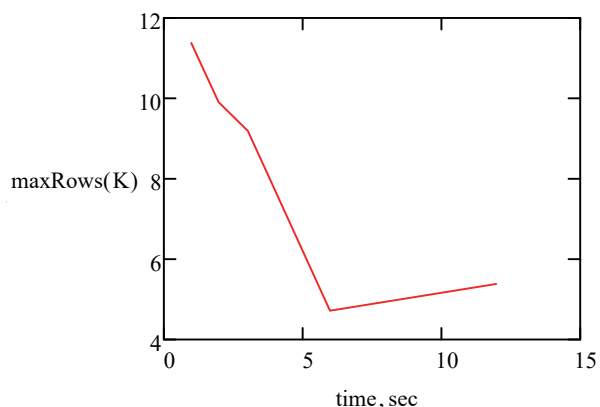


Рис. 2. График расчетов по критерию Сэвиджа

Аналогичен подход в составлении программы для решения задачи по критерию Вальда, однако она решается в 5 этапов с составлением матрицы показателей, как и по критерию Сэвиджа, и направлена на поиск максимального риска при всевозможных благоприятных ситуациях (рис. 3).

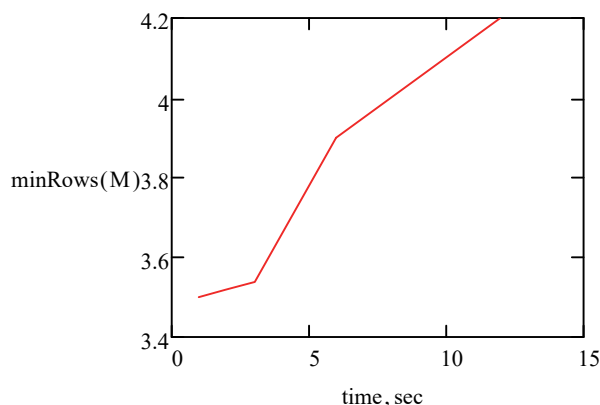


Рис. 3. График расчетов по критерию Вальда

Вывод по критерию Вальда: при наиболее благоприятных условиях обстановки по каждому решению (периоду времени) риски растут,

и по критерию Вальда оптимальным решением является наибольший период времени.

Заключение. Результаты, представленные в данной статье, получены путем анализа программных и математических методов и их возможностей в выполнении задач и составлении прогнозных моделей по оценке ликвидации стихийных бедствий в лесах.

С учетом специфики и параметров лесопользования для решения поставленной задачи принят метод теории игр по критериям Сэвиджа и Вальда.

Разработана методика прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде по критериям Сэвиджа и Вальда и алгоритм выполнения исследований с применением программы MathCAD.

Разработанная методика на основании реальных исходных данных, полученных по результатам случившегося в 2023 г. в Чаусском лесхозе ветровала, прошла апробацию и показала свою эффективность.

Установлено, что точность полученных результатов существенно зависит от подбора исходных данных и составления матриц показателей, что требует сбора и актуализации статистических данных в лесохозяйственных учреждениях. Необходимый набор исходных параметров должен формулироваться на основании анализа объектов исследований, поставленных задач по изучению определенных процессов и получению конкретных данных.

Для более детальной оценки и прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде при использовании теории игр оценка должна проводиться по двум критериям (Сэвиджа и Вальда) с последующим сравнительным анализом.

На практике разработанная методика может применяться при подготовке прогнозов и оценке затрат на ликвидацию последствий стихийных бедствий в лесном фонде, что позволит сократить время принятия решений, сделать их более точными и рациональными и снизить организационные и эксплуатационные затраты.

Список литературы

1. Протас П. А., Ледницкий А. В., Мисуно Ю. И. Экономическая оценка потерь в результате стихийных бедствий в лесном секторе Беларуси в контексте климатических изменений // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов 2018. № 1. С. 14–18.
2. Евкович И. А., Протас П. А. Повышение эффективности освоения труднодоступных и ветровальных участков лесфонда // Импортзамещение, научно-техническая и экономическая безопасность: сб. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2022», Минск, 7 дек. 2022 г.: в 3 т. Минск, 2022. Т. 3. С. 116–120.
3. Экономическая оценка потерь в результате стихийных бедствий в лесном секторе Беларуси в контексте климатических изменений: современное состояние и направления совершенствования с учетом международного опыта / А. В. Ледницкий [и др.]. Минск: World Bank Group, 2018. 123 с.

4. Протас П. А., Завойских Г. И., Федоренчик А. С. Классификация ветровально-буреломных лесосек с учетом эксплуатационных особенностей их освоения // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 51–52.

5. Протас П. А., Федоренчик А. С. Особенности разработки ветровально-буреломных лесосек // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: материалы междунар. науч.-техн. конф., Воронеж, 25–27 марта 2014. Воронеж, 2014. № 2. Ч. 3. С. 202–206.

6. Состояние ветровально-буреломного лесфонда в Республике Беларусь и проблемы его освоения / П. А. Протас [и др.] // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 55–57.

7. 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: <https://doi.org/10.15177/seefor.14-07>.

8. 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.

9. The forest fires in the Mediterranean from a policy point of view / S. Tampakis [et al.] // Mediterranean Journal of Economics, Agriculture, and Environment. 2005. № 3. P. 47–51.

10. Sikora A. T., Ukalska J. The main costs of natural disasters in the Forest District of Węgierska Gyrka // Leśne Prace Badawcze. 2014. Vol. 75 (3). P. 263–275.

11. 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.

12. Предиктивная аналитика // Клеверенс. URL: <https://www.cleverence.ru/articles/auto-busines/prediktivnaya-analitika-chto-eto-takoe-metody-i-instrumenty-prognosticheskogo-analiza/> (дата обращения: 02.03.2023).

13. Программные методы математической статистики // Витеб. ордена «Знак почета» гос. акад. ветеринар. медицины. URL: <https://www.vsavm.by/knigi/kniga3/1290.html> (дата обращения: 02.11.2023).

14. Луцко Н. Я., Кавальчук О. Н. Инженерные расчеты в Mathcad. Минск: БНТУ, 2018. 46 с.

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

16. Математический пакет MathCAD // Поиск лекций. URL: <https://poisk-gu.ru/s59151t1.html> (дата обращения: 04.11.2023).

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

18. Применение современных компьютерных программ при решении задач прогнозирования // Библиофонд. URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=787249> (дата обращения: 10.11.2023).

References

1. Protas P. A., Lednitsky A. V., Misuno Yu. I. Economic assessment of losses as a result of natural disasters in the forest sector of Belarus in the context of climate change. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, no. 1, pp. 14–18 (In Russian).

2. Evkovich I. A., Protas P. A. Increasing the efficiency of development of hard-to-reach and windfall areas of the forest fund. *Importozameshcheniye, nauchno-tekhnicheskaya i ekonomicheskay bezopasnost': sbornik statey V Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Minskiye nauchnyye chteniya-2022"* [Import substitution, scientific, technical and economic security: collection of articles of the V International Scientific and Technical Conference "Minsk Scientific Readings-2022"]. Minsk, 2022, vol. 3, pp. 116–120 (In Russian).

3. Lednitsky A. V., Shoshin A. O., Yarmolovich V. A., Malashevich D. G., Protas P. A., Misuno Yu. I. *Ekonomicheskaya otsenka poter' v rezul'tate stikhiynykh bedstviy v lesnom sektore Belarusi v kontekste klimaticheskikh izmeneniy: sovremennoye sostoyaniye i napravleniya sovershenstvovaniya s uchetom mezhdunarodnogo opyta* [Economic assessment of losses due to natural disasters in the forest sector of Belarus in the context of climate change: current state and directions for improvement, taking into account international experience]. Minsk, World Bank Group Publ., 2018. 123 p. (In Russian).

4. Protas P. A., Zavoiskikh G. I., Fedorenchik A. S. Classification of windy-deadfall cutting areas taking into account the operational features of their development. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 51–52 (In Russian).

5. Protas P. A., Fedorenchik A. S. Features of the development of windfall forests. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy*

konferentsii [Current directions of scientific research of the 21st century: theory and practice: materials of the international scientific-technical conference]. Voronezh, 2014, no. 2, part 3, pp. 202–206 (In Russian).

6. Protas P. A., Fedorenchik A. S., Lednitsky A. V., Zavoiskikh G. I. The state of the windy-deadfall forest fund in the Republic of Belarus and the problems of its development. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 55–57 (In Russian).

7. Vuletić D., Kauzlaric Z., Balenovic I., Krajer 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: <https://doi.org/10.15177/seefor.14-07>.

8. 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 (using the example of the BSSR). Dissertation PhD (Economic). Minsk, 1982. 171 p. (In Russian).

9. Tampakis S., Papageorgiou A., Karanikola P., Arabatzis G. The forest fires in the Mediterranean from a political point of view. *Mediterranean Journal of Economics, Agriculture, and Environment*, 2005, no. 3, pp. 47–51.

10. Sikora A. T., Ukalska J. The main costs of natural disasters in the Forest District of Węgierska Gůrka. *Leśne Prace Badawcze*, 2014, vol. 75 (3), pp. 263–275.

11. 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).

12. Predictive analytics. Available at: <https://www.cleverence.ru/articles/auto-busines/prediktivnaya-analitika-chto-eto-takoe-metody-i-instrumenty-prognosticheskogo-analiza/> (accessed 03.02.2023) (In Russian).

13. Software methods of mathematical statistics. Available at: <https://www.vsavm.by/knigi/kniga3/1290.html> (accessed 02.11.2023) (In Russian).

14. Lutsko N. Ya., Kavalchuk O. N. *Inzhenernyye raschety v Mathcad* [Engineering calculations in Mathcad]. Minsk, BNTU Publ., 2018. 46 p. (In Russian).

15. 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. XIX All-Russian (national) scientific and technical conference of students and graduate students]. Ekaterinburg, 2022, pp. 111–115 (In Russian).

16. Mathematical package MathCAD. Available at: <https://poisk-ru.ru/s59151t1.html> (accessed 04.11.2023) (In Russian).

17. 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).

18. Application of modern computer programs in solving forecasting problems. Available at: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=787249> (accessed 10.11.2023) (In Russian).

Информация об авторах

Евкович Ирина Александровна – магистрант 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 – Master's degree 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 18.10.2023