

# Математическая модель анализа факторов экологического риска

**Сухорукова Ирина Владимировна**

Д-р экон. наук, проф. каф. высшей математики  
ORCID: 0000-0002-1944-0968, e-mail: suhorukovaira@yandex.ru

**Чистякова Наталья Александровна**

Канд. физ.-мат. наук, доц. каф. высшей математики  
ORCID: 0000-0002-3897-3647, e-mail: chistna@mail.ru

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва, Россия

## Аннотация

В статье изучаются экономические последствия вредных воздействий на окружающую среду. Разработана математическая модель, посвященная анализу факторов экологического риска. При построении модели учитывается вероятность наступления страхового события в зависимости от времени. Показано, что для разных категорий рисков факторов могут применяться разные вероятностные модели воздействия. Разработка динамической модели базируется на методах теории вероятностей, актуарной математики и, соответственно, на – численных методах и методах имитационного моделирования. В работе получены аналитические выражения интегральной величины фактора риска природопользования. Выполнен математический расчет функции распределения, или функции дожития отрезка времени до наступления страхового события в разных случаях, а именно: в случае фактора риска с постоянной интенсивностью, в случае поэтапно возникающих факторов риска со своими постоянными интенсивностями, в случае, когда функция выживания является убывающей с линейной скоростью, а также в случае, когда износ оборудования приводит к экспоненциальному росту интенсивности риска.

## Ключевые слова

Факторы экологического риска, динамическая модель, функция выживания, функция интенсивности риска, страховые выплаты, страховое событие

**Для цитирования:** Сухорукова И.В., Чистякова Н.А. Математическая модель анализа факторов экологического риска // Вестник университета. 2023. № 7. С. 81–89.



# Mathematical model for the analysis of environmental risk factors

**Irina V. Sukhorukova**

Dr. Sci. (Econ.), Prof. at the Department of Higher Mathematics  
ORCID: 0000-0002-1944-0968, e-mail: suhorukovaira@yandex.ru

**Natalya A. Chistyakova**

Cand. Sci. (Phys. and Math.), Assoc. Prof. at the Department of Higher Mathematics  
ORCID: 0000-0002-3897-3647, e-mail: chistna@mail.ru

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

## Abstract

The article studies the economic consequences of harmful effects on the environment. A mathematical model has been developed for the analysis of environmental risk factors. When constructing a model, the probability of an insured event depending on time is taken into account. It is shown that different probabilistic impact models can be used for different categories of risk factors. The development of a dynamic model is based on the methods of probability theory, actuarial mathematics and, accordingly, on the numerical methods and simulation methods. Analytical expressions for the risk factor integral value of environmental management are obtained in the work. The mathematical calculation of the distribution function, or the survival function before the time period occurrence of an insured event in different cases is performed, namely: in the case of a risk factor with a constant intensity, in the case of gradually emerging risk factors with their constant intensities, in the case when the survival function is decreasing at a linear rate, as well as in the case when equipment wear and tear leads to an exponential increase in the risk intensity.

## Keywords

Environmental risk factors, dynamic model, survival function, risk intensity function, insurance payments, insured event

**For citation:** Sukhorukova I.V., Chistyakova N.A. (2023) Mathematical model for the analysis of environmental risk factors. *Vestnik universiteta*, no. 7, pp. 81–89.



## ВВЕДЕНИЕ

Основной проблемой, присутствующей в Российской Федерации (далее – РФ), является отсутствие правовых документов, регламентирующих законы об экологическом аудите и экологическом страховании. Правительством ведется масштабная работа с привлечением многочисленного экспертного сообщества по разработке методологии оценки экологического страхования. Необходимо предпринять шаги по созданию цифровых информационных баз об экологической обстановке во всех субъектах РФ и сформировать комплексный стандарт экологического страхования с учетом функционирования всех отраслей экономики. Разработка тарифной структуры платежей по экологическому страхованию является одним из способов эффективного управления состоянием окружающей среды, поэтому экологическое страхование в настоящее время имеет приоритетное значение [1–3]. Это обстоятельство связано в первую очередь с принятием национального проекта «Экология». Разработка данного проекта способствует улучшению экологической обстановки в РФ. Реализация такого проекта основана на разработке и внедрении 11 различных федеральных законов [4].

Помимо указанных федеральных законов, Правительством РФ принимается особый вид ценных бумаг, их называют «зеленые облигации». Приобретение данных облигаций способствует привлечению дополнительных инвестиций в российскую экономику [5; 6]. Поэтому в настоящий момент повышенное внимание уделяется разработке механизма расчета экономических тарифов по уменьшению отрицательного влияния на экологическую обстановку [7–9]. С этой целью необходимо вначале приспособить классификацию рисков непосредственно к области охраны природной среды [10–13]. Это значительно ускорит переход от добровольного страхования риска при осуществлении производства с потенциально опасным видом деятельности для состояния окружающей среды на обязательное страхование такого вида работ.

Именно по такому принципу устроена работа страховых компаний при покрытии экологического ущерба в ряде европейских стран, в частности, в Германии. Компенсация за вред, причиненный окружающей среде, рассчитывается истцом и предъявляются судебные иски по компенсации понесенных затрат на возобновление производства и комплекс природоохранных мер. Судебные иски вынуждают все предприятия, ведущие работы с потенциально возможным риском для природной среды, в обязательном порядке страховать свою ответственность. Для осуществления введения обязательного порядка страхования необходимы достаточная статистическая база и наличие методик, позволяющих эффективно рассчитывать величину страхового тарифа. Поэтому разработка актуарных методик, позволяющих учитывать величину разных рисков факторов в динамике, представляет практический интерес для страховых компаний, занимающихся проблемами экологического страхования.

Целью представленной исследовательской работы является разработка математической модели, позволяющей рассчитывать интегральную оценку различных факторов риска в зависимости от продолжительности времени их воздействия и с учетом особенностей самих негативных факторов воздействия.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методология решения поставленной авторами задачи базируется на теоретико-вероятностных методах работы с основными законами распределения. При построении модели использовались числовые характеристики случайных величин векторного вида. Экономико-математические расчеты проводились с использованием актуарных моделей. При разработке и построении модели оценивалась вероятность наступления неблагоприятной экологической ситуации, и рассматривались динамические факторы, оказывающее отрицательное воздействие на окружающую среду. Первичный этап, позволяющий построить адекватную математическую модель, заключался в проведении экологического аудита или производственного комплекса на предприятиях, которым необходимо оформить страхование. Прежде всего, требуется выполнить оценку объекта страхования по ряду основных параметров: оценить проводимые на объекте природоохранные мероприятия, проанализировать современность используемых технологий при разработке природных ресурсов и очистке отходов производства. Повышенное внимание следует уделить документам, регламентирующим вид хозяйственной деятельности производственного комплекса, имеющегося оборудования, технических средств, сырья, выпускаемой продукции. На этапе сбора информации о предприятии, ведущем хозяйственную деятельность с потенциальным экологическим риском, необходимо оценить финансовые и денежные ресурсы объекта страхования, а также способность

покрыть в случае возникновения непредвиденной угрозы ухудшения экологического состояния территории финансовые издержки на их ликвидацию. Причем необходимо учесть, что процесс компенсации экологического ущерба может занимать довольно продолжительное время. Обладая информацией о ведущейся предприятии хозяйственной деятельности, о различных эколого-экономических факторах, влияющих на нее, авторы построили экономико-математическую модель оценки возможного ущерба экологической среде.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчет возможного ущерба проводился с учетом динамического изменения состояния окружающей среды с течением времени от момента возникновения экологической угрозы. Отмечалось то, что анализ возможных компенсационных затрат должен учитывать прогнозные параметры чрезвычайных катастроф и рассматривать вероятность наступления каждого отдельного рискованного фактора. Авторами выделяется также определенная особенность некоторых экологических угроз, которая заключается в поэтапном негативном влиянии факторов риска, каждый из которых имеет постоянную интенсивность на отрезке своего воздействия. С точки зрения построенной экономико-математической модели в динамике имеем кусочно-постоянную интенсивность сменяющихся факторов экологического риска.

Известно, что риск природопользования – это возможный ущерб, который исчисляется в денежном выражении и является средневзвешенным показателем негативных последствий загрязнения окружающей среды [14–17]. Соответственно, полная интегральная величина экологического рискованного фактора  $R$  определяется как произведение  $p_i$  – вероятности появления  $i$ -го фактора риска на величину причиненного ущерба  $S_i$  от возникновения конкретного  $i$ -го фактора риска, определяемого в денежных единицах (1):

$$R = \sum_i p_i \cdot S_i \quad (1)$$

Возможные причины, ухудшающие состояние природной среды и способствующие увеличению вероятности экологического риска, можно сгруппировать по следующим основным критериям:

- различные непредвиденные природные и стихийные явления: ураган, тайфун, смерчи, засуха, лавины, паводки и т.п.;
- нарушения, возникающие в процессе освоения недр, вызывающие возрастание рискованных факторов конкретного объекта окружающей среды;
- неправильная эксплуатация технических средств, приводящая к необратимым повреждениям или к полной потере объектов природопользования.

При оценке экологических нарушений и построении прогнозов экологической обстановки, как правило, используется только линейная комбинация ущербов по каждому отдельному фактору риска. Причем для расчета коэффициентов рискованных факторов используют вероятности реализации конкретных факторов риска. Экономический ущерб и вероятность наступления рискованных факторов однократно подлежат оценке и в дальнейшем считаются неизменными. Во средневзвешенном показателе негативных последствий загрязнения воздействие каждого фактора характеризуется только обобщающей константой в виде вероятности его возникновения. При этом очевидно, что отрицательные последствия для экологической среды могут иметь различный вид в зависимости от времени воздействия фактора риска. Негативный фактор провоцирует наступление страхового случая в определенный момент времени. До этого момента его воздействие развивается, но не переходит через критическую границу, связанную с вступлением в силу страховых обязательств компании. Кроме того, экологическая напряженность зависит и от динамики изменения самих экологических факторов риска. Для всевозможных факторов это изменение приобретает разный характер.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экономико-математическая модель построена на предположении, что момент возникновения страхового случая характеризуется более подробным вероятностным описанием экологического фактора риска. С этой целью вводится случайная величина  $T$ , которая представляет собой отрезок времени до возникновения страхового случая. Введем соответственно ее функцию распределения (2):

$$F(t) = P(T < t), \quad t > 0 \quad (2)$$

и функцию выживания (дожития) (3):

$$S(t) = 1 - F(t), \quad t > 0 \quad (3)$$

Эти функции позволяют описать вероятностное поведение фактора риска в динамике и учесть особенности фактора, что существенно отличает данную представленную модель от ранее рассматриваемых методик. Для описания экологических факторов риска также рассматривается функция интенсивности риска (4):

$$r_t = \lim_{\Delta \rightarrow 0^+} \frac{1}{\Delta} P(T < t + \Delta | T \geq t), \quad t > 0 \quad (4)$$

Зная указанные функции, рассчитаем связь между рассмотренными вероятностными характеристиками с учетом определений (3) – (4):

$$\begin{aligned} r_t &= \lim_{\Delta \rightarrow 0^+} \frac{1}{\Delta} P(T < t + \Delta | T \geq t) = \lim_{\Delta \rightarrow 0^+} \frac{1}{\Delta} (1 - P(T \geq t + \Delta | T \geq t)) = \lim_{\Delta \rightarrow 0^+} \frac{1}{\Delta} \left( 1 - \frac{P(T \geq t + \Delta)}{P(T \geq t)} \right) = \\ &= \lim_{\Delta \rightarrow 0^+} \frac{1}{\Delta} \left( 1 - \frac{S(t + \Delta)}{S(t)} \right) = \lim_{\Delta \rightarrow 0^+} \frac{1}{\Delta} \left( \frac{S(t) - S(t + \Delta)}{S(t)} \right) = -\frac{S'(t)}{S(t)}, \quad t > 0 \end{aligned}$$

Окончательно получим следующую зависимость интенсивности фактора риска от времени (5):

$$r_t = -\frac{S'(t)}{S(t)}, \quad t > 0 \quad (5)$$

Полученное уравнение устанавливает связь между интенсивностью рискованного фактора  $r_t$  и функцией выживания  $S_t$ . Также определим и обратную зависимость функции выживания и функции распределения от функции интенсивности риска, решая дифференциальное уравнение (5). Получаем:

$$d \ln S(x) = -r_x dx \Rightarrow \ln S(x) \Big|_0^t = -\int_0^t r_x dx \Rightarrow \ln \frac{S(t)}{S(0)} = -\int_0^t r_x dx \Rightarrow \ln S(t) = -\int_0^t r_x dx$$

Таким образом, интегральная зависимость функции выживания от интенсивности риска имеет вид (6):

$$S(t) = e^{-\int_0^t r_x dx}, \quad t > 0 \quad (6)$$

Применим полученные математические зависимости к экологическим факторам риска с разными видами отрицательных воздействий.

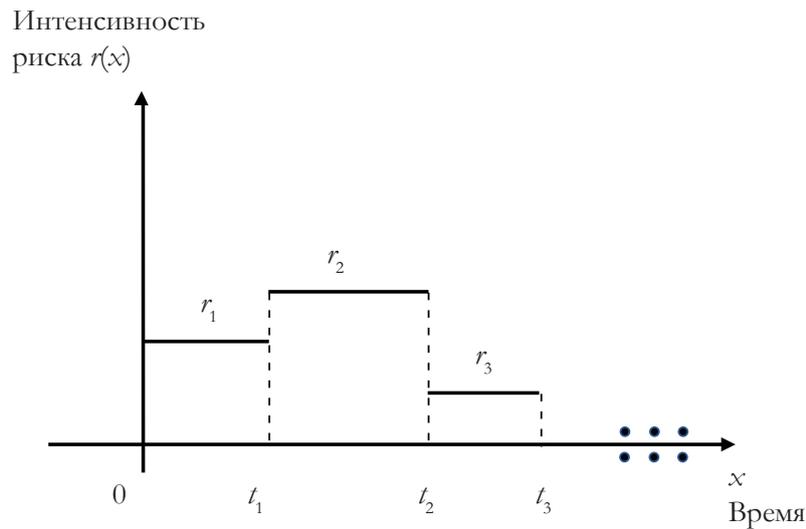
Прежде всего, предположим, что экологический фактор риска действует с определенной неизменной по величине интенсивностью  $r$  (в качестве примера отметим антропогенное воздействие). По формуле (6) получим динамическую зависимость функции выживания, а, следовательно, с учетом функции (2) зависимость функции распределения времени до страхового события имеет следующий вид (7):

$$S(t) = e^{-\int_0^t r dx} = e^{-rt}, \quad t > 0, \quad F(t) = 1 - e^{-rt}, \quad t > 0 \quad (7)$$

Особенностью некоторых экологических угроз является поэтапное негативное влияние факторов риска, каждый из которых имеет постоянную интенсивность на отрезке своего воздействия. В динамике имеем кусочно-постоянную интенсивность сменяющихся факторов экологического риска. Изображение указанного фактора представлено на рис. 1.

Соответственно функция выживания времени до аварии равна (8):

$$S(t) = \begin{cases} e^{-r_1 t}, & \text{при } 0 \leq t \leq t_1, \\ e^{-r_1 t_1 - r_2 (t - t_1)}, & \text{при } t_1 < t \leq t_2, \\ e^{-r_1 t_1 - r_2 (t_2 - t_1) - r_3 (t - t_2)}, & \text{при } t_2 < t \leq t_3, \\ \dots \end{cases} \quad (8)$$



Составлено авторами по материалам исследования

Рис. 1. Поэтапная кусочно-постоянная интенсивность риска

В краткой записи получаем следующую формулу (9):

$$e^{-\left(\sum_{i=1}^k r_i \cdot t_i + r_{i+1} \cdot (t - t_i)\right)}, \quad \text{при } t_i < t \leq t_{i+1} \quad (i \geq 0, t_0 = 0) \quad (9)$$

Как еще один вариант отрицательного воздействия на окружающую среду рассмотрим случай, когда интенсивность экологического риска абсолютно растет на ограниченном промежутке времени по закону (10):

$$r_x = \frac{1}{\Delta - x}, \quad 0 < x < \Delta \quad (10)$$

Соответственно, полученное ранее выражение интегральной зависимости функции выживания от интенсивности риска (формула 5) позволяет рассчитать функцию выживания, которая является убывающей с линейной скоростью (11):

$$S(t) = e^{-\int_0^t \frac{1}{\Delta - x} dx} = \frac{\Delta - t}{\Delta} = 1 - \frac{t}{\Delta}, \quad 0 < t < \Delta \quad (11)$$

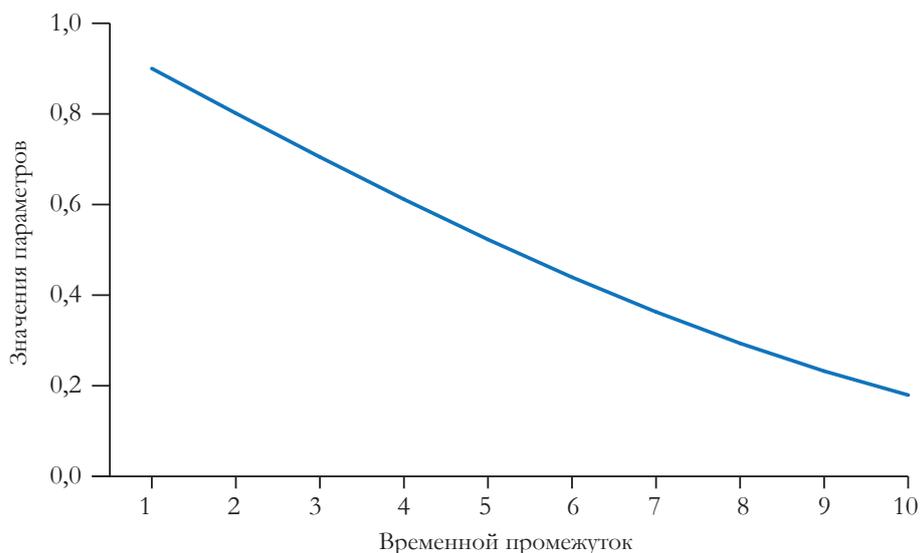
Рассмотрим теперь ситуацию, когда отрицательное воздействие, связанное, например, с износом оборудования, способствует экспоненциальному росту величины интенсивности риска. Для более тонкого учета динамики риска можно использовать два параметра, которые влияют с течением времени на интенсивность риска в соответствии с законом (12):

$$r_x = c \cdot e^{ax}, \quad x > 0, \quad a > 0, \quad c > 0 \quad (12)$$

Тогда учитывая формулу 5, прогнозная функция выживания времени до возникновения страхового события получает следующий вид (13):

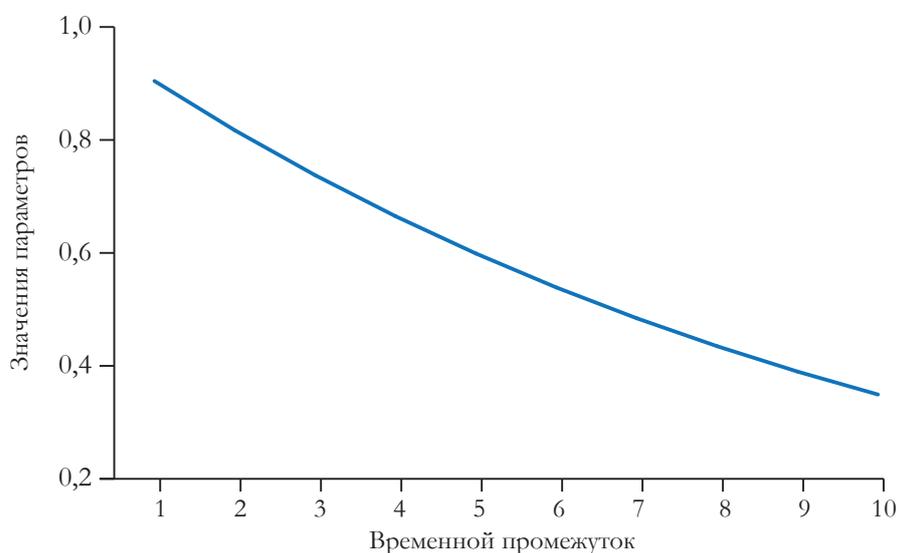
$$S(t) = e^{-\int_0^t r_x dx} = e^{-\int_0^t c e^{ax} dx} = e^{-\frac{c}{a}(e^{at} - 1)}, \quad t > 0 \quad (13)$$

Следует заметить, что значения параметров  $a$  и  $c$  должны выбираться исходя из мониторинга определенного негативного влияния. Примеры расчетов для конкретных ситуаций в зависимости от значений параметров  $a$  и  $c$  представлены на рис. 2–4.



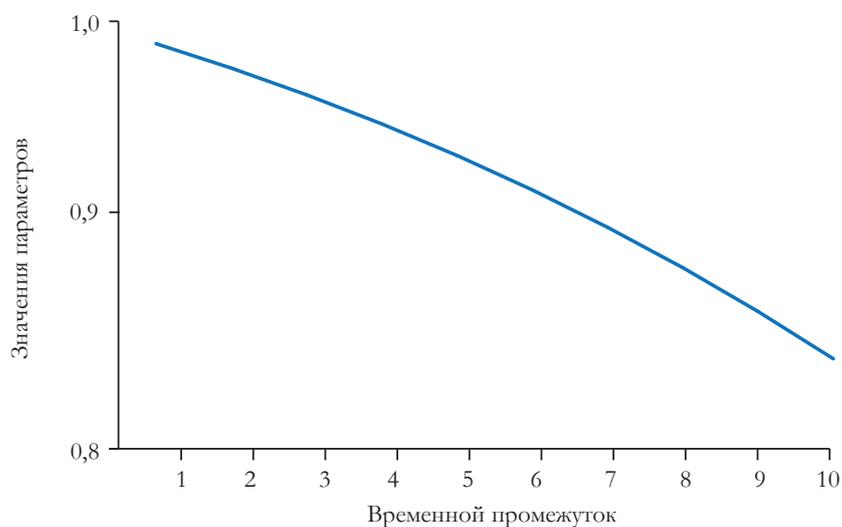
Составлено авторами по материалам исследования

Рис. 2. Функция выживания при  $a = 0,1$  и  $c = 0,1$



Составлено авторами по материалам исследования

Рис. 3. Функция выживания при  $a = 0,01$  и  $c = 0,1$



Составлено авторами по материалам исследования

Рис. 4. Функция выживания при  $a = 0,1$  и  $c = 0,01$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммируя все вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что авторами предложена вероятностная модель прогноза возникновения страхового события в экологии. При построении модели учитывается вероятность наступления страхового события в зависимости от времени. Показано, что для разных категорий рисков факторов могут применяться всевозможные вероятностные модели воздействия. В работе получены аналитические выражения интегральной величины фактора риска природопользования. При произвольной функции риска выполнен универсальный математический расчет функции распределения, или функции дожития отрезка времени до наступления страхового события. В качестве иллюстрации общей модели выполнены математические расчеты вероятностного распределения времени до страхового события в случае, когда фактор риска действует с постоянной или кусочно-постоянной интенсивностью; в случае, когда величина интенсивности риска абсолютно увеличивается на ограниченном промежутке действия фактора, а также в случае, когда износ оборудования приводит к экспоненциальному росту интенсивности риска.

Представленная авторами модель имеет универсальную математическую природу, применимую к любому фактору риска, обеспеченному информационной статистической базой, которая позволяет выбрать вид математической аппроксимации реального риска. Выполненные авторами математические расчеты актуальны для использования в отраслях, связанных с экологическими рисками (оползни, землетрясения, выбросы вредных веществ в атмосферу, техногенные риски, наводнения, воздействие вредных веществ на почву, отказ производственной техники и т. п.), для которых приоритетным является исследование времени до наступления страхового случая и его числовые характеристики.

Предложенные авторами алгоритмы расчета интегральной величины фактора риска природопользования позволяют обеспечить учет экологических составляющих на любом этапе при подготовке заключений (прогноз социально-экономического развития конкретной территории РФ, риски инвестиций для конкретного региона, риски при проектировании). С практической точки зрения ценность исследования позволит значительно повысить величину ответственности как государственных, так и частных инвесторов за осуществление хозяйственной деятельности на различных участках территорий РФ.

Полученные авторами результаты на практике могут послужить базой для страховых организаций, занимающихся расчетами тарифов экологического страхования, и позволят оценить величину страховых премий.

## Библиографический список

1. Shanyí Ch., Murzin A. Environmental risk management of the enterprise to realize green development. *Стратегические решения и риск-менеджмент*. 2021; 12( 2): 178–183.
2. Апулу О.Г., Потравный И.М., Сухорукова И.В. Методы обоснования и выбора технологий рекультивации загрязненных нефтью земель. *Экология и промышленность России*. 2021; 25(6): 38–43.
3. Каранина Е.В., Вершинина Н.А. Экологические риски регионов России. *Вестник Московского финансово-юридического университета*. 2016; 2:21–38.
4. Зайков С.Н. Страхование экологических рисков: проблемы и перспективы. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2004; 3(15):154–158.
5. Шульгин О.В. Прогнозная оценка экологического риска в деятельности предприятия: вероятностно-статистический подход. В сб.: *Информационные технологии в экологии. материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России*. 2018. С. 159–162.
6. Изарова Е., Кадамцева Т., Влащенко О. Ради снижения экологических рисков. *Нефтегазовая вертикаль*. 2008; 10: 86–87.
7. Золотарева Е.Д. Экологическая безопасность и риски в современном аграрном регионе. *Труды молодых ученых Алтайского государственного университета*. 2019; 16:158–160.
8. Рыжкова Т.В. Об особенностях моделей производственных функций в комплексной форме. *Вестник МГТУ Станкин*. 2021;2 (57): 103–108.
9. Sukhorukova I.V., Chistyakova N.A Model of short-term insurance of independent environmental risks. *AIP Conference Proceedings 29 October 2021, Volgograd*. 2021; 2410 (1). <https://doi.org/10.1063/5.0067551>
10. Wernick N. Survival with environmental insurance. *Pollution Engineering*. 2002; 34(9):16–19.
11. Sukhorukova I.V, Chistyakova N.A. Mathematical model for assessing environmental risk. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 828(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/828/1/012027>

12. Власов Д.А., Синчуков А.В. Имитационное исследование теоретико-игровых моделей на основе wolfram-технологий. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2020; 16(1): 235–245.
13. Мишаткина Т.В. Экологическая безопасность в обществе риска. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2021; 1: 4–14.
14. Вяткин К.Ю. Экологические риски нефтегазового производства экономика отрасли. *Вопросы устойчивого развития общества*. 2021;10: 182–185.
15. Корнеев А.В., Попова О.В. Концепция оценки экономических и экологических рисков при принятии экологически ориентированных управленческих решений. *Вологодские чтения*. 2004; 47: 34–36.
16. Левашова С.С. Страхование экологических рисков в России. *Российский экономический интернет-журнал*. 2016; 2: 29–36.
17. Sugak E.V. Environmental risk as an indicator of sustainable development of industrial regions of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020 International Science and Technology Conference on Earth Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/6/062019>

## References

1. Shanyi Ch., Murzin A. Environmental risk management of the enterprise to realize green development. *Strategic decisions and risk management*. 2021; 12(2): 178–183.
2. Apulu O.G., Potravny I.M., Sukhorukova I.V. Methods of substantiation and selection of technologies for reclamation of oil-contaminated lands. *Ecology and industry of Russia*. 2021; 25(6): 38–43 (In Russian).
3. Karanina E.V., Vershinina N.A. Environmental risks of the regions of Russia. *Vestnik Moskovskogo finansovo-yuridicheskogo universiteta*. 2016;( 2): 21–38 (In Russian).
4. Zaikov S.N. Insurance of environmental risks: problems and prospects. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2004; 3(15): 154–158 (In Russian).
5. Shulgin O.V. Forecast evaluation of environmental risk in the activities of an enterprise: probabilistic and statistical approach. In: *Information technologies in ecology. materials of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the Year of Ecology in Russia*. 2018: 159–162 (In Russian).
6. Izarova E., Kadamshva T., Vlashchenko O. For the reduction of environmental risks. *Oil and gas vertical*. 2008; 10: 86–87 (In Russian).
7. Zolotareva E.D. Environmental safety and risks in the modern agricultural region. *Proceedings of young scientists of the Altai State University*. 2019: 158–160 (In Russian).
8. Ryzhkova T.V. On the features of models of production functions in a complex form. *Vestnik MGTU Stankin*. 2021; 2 (57): 103–108 (In Russian).
9. Sukhorukova I.V., Chistyakova N.A. Model of short-term insurance of independent environmental risks. *AIP Conference Proceedings 29 October 2021, Volgograd*. 2021; 2410 (1). <https://doi.org/10.1063/5.0067551>
10. Wernick N. Survival with environmental insurance. *Pollution Engineering*. 2002; 34(9): 16 p.
11. Sukhorukova I.V., Chistyakova N.A. Mathematical model for assessing environmental risk. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 828(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/828/1/012027>
12. Vlasov D.A., Sinchukov A.V. Simulation study of game-theoretic models based on wolfram technologies. *Modern information technologies and IT education*. 2020; 16 (1): 235–245 (In Russian).
13. Mishatkina T.V. Environmental safety in the risk society. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2021; 1: 4–14 (In Russian).
14. Vyatkin K.Yu. Environmental risks of oil and gas production economy of the industry. *Issues of sustainable development of society*. 2021 ;10: 182–185 (In Russian).
15. Korneev A.V., Popova O.V. The concept of assessing economic and environmental risks in the make of environmentally oriented management decisions. *Vologda readings*. 2004; 47: 34–36 (In Russian).
16. Levashova S.S. Environmental risk insurance in Russia. *Russian Economic Internet Journal*. 2016; 2: 29–36 (In Russian).
17. Sugak E.V. Environmental risk as an indicator of sustainable development of industrial regions of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020 International Science and Technology Conference on Earth Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/6/062019>