

УДК 504.5
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-5-34-47>

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2020

Метод оценки экологического риска для населения на территориях вне зон планирования неотложных мер защиты вокруг АЭС

Поляков В.М.*,

Российский государственный геологоразведочный университет
им. Серго Орджоникидзе,
117997, Россия, г. Москва,
ул. Миклухо-Маклая, д. 23

Агаларов З.С.,

Научно-производственное предприятие «Темп»,
Российский государственный геологоразведочный университет
им. Серго Орджоникидзе,
115230, Россия, г. Москва,
Каширское шоссе, д. 17,
корп. 5, стр. 3,
117997, Россия, г. Москва,
ул. Миклухо-Маклая, д. 23

Аннотация

В статье предлагается метод оценки экологического риска на территориях, прилегающих к зоне планирования неотложных мер защиты вокруг АЭС. Основой метода является имитационное моделирование загрязнения территории, формирующегося на поздней стадии радиационной аварии, и зонирование этой территории по риску для населения с учетом его хозяйственной деятельности. Предложен векторный критерий экологического риска, позволяющий зонировать эти территории по степени опасности для населения.

Ключевые слова: радиационная авария, экологический риск, статистическое моделирование, зонирование.

Для цитирования: Поляков В.М., Агаларов З.С. Метод оценки экологического риска для населения на территориях вне зон планирования неотложных мер защиты вокруг АЭС // Проблемы анализа риска. Т. 17. 2020. № 5. С. 34—47, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-5-34-47>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Method for Assessing the Ecological Risk to the Population in Areas Outside the Planning Zones of Emergency Protection Measures Around the NPP

Vladimir M. Polyakov*

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting,
117997, Russia, Moscow,
Miklukho-Maklaya str., 23

Zurab S. Agalarov,

Scientific and Production Enterprise "Temp",
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting,
115230, Russia, Moscow,
Kashirskoye Shosse, 17, bldg 5, bldg 3,
117997, Russia, Moscow,
Miklukho-Maklaya str., 23

Abstract

The article offers a method for assessing the environmental risk in the territories adjacent to the planning zone of emergency protection measures around the NPP. The method is based on simulation modeling of territory pollution, which is formed at the late stage of a radiation accident and zoning of territories by risk, taking into account the characteristics of the population's life in a potentially dangerous territory. A vector criterion of environmental risk is proposed that allows zoning these territories according to the degree of danger to the population.

Keywords: radiation accident, ecological risk, statistical modeling, zoning.

For citation: Polyakov V.M., Agalarov Z.S. Method for assessing the ecological risk to the population in areas outside the planning zones of emergency protection measures around the NPP // Issues of Risk Analysis. Vol. 17. 2020. No. 5. P. 34—47, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-5-34-47>

The authors declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Имитационное моделирование экологических рисков
2. Зонирование объектов по экологическому риску
3. Оценка экологического риска для гипотетического расположения АС в одном из районов Тверской области

Заключение

Литература

Введение

Практика показала, что развитие атомной энергетики сопровождалось рядом крупных аварий (Три-Майл-Айленд 1979, Чернобыль 1986, Фукусима 2011), когда радиоактивные вещества выходили за пределы станций и радиоактивному загрязнению подвергались значительные территории. Нормами НРБ 99/2009 рассматриваются такие понятия, как проектная и запроектная аварии. Исследование возможных аварий включает в себя прогноз радиоактивного загрязнения окружающей территории в случае запроектной аварии [7]. В результате

последней как раз и происходит радиоактивное загрязнение территорий, выходящих за промплощадку радиационно опасного объекта. Разработка проектных решений размещения АЭС требует высокого уровня контроля безопасности. Проектирование осуществляется с таким расчетом, чтобы состояния станций, которые могут привести к высоким дозам облучения или крупным радиоактивным выбросам, были практически исключены и чтобы состояния станций, имеющих существенную вероятность возникновения опасности, влекли лишь незначительные потенциальные радиологические последствия или вовсе не влекли таковых [7].

Одной из основ контроля безопасности при проектировании АЭС является учет сценариев проектных и запроектных аварий, на основе которых строится система защиты населения и персонала станций.

План неотложных мер защиты населения в условиях запроектных аварий разрабатывается для территории, входящей в зону планирования защитных мероприятий (далее — ЗПЗМ). Радиус ЗПЗМ принят в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [7] и национальными документами по радиационной защите [10] равным 30 км. В этих планах рассматриваются мероприятия по защите населения от переоблучения в период аварии. Зоны, для которых планируют мероприятия ГО, определяют территории, где интенсивность радиационного излучения потенциально высока, и здоровью людей, находящихся на них, может быть нанесен существенный вред в виде появления детерминированных эффектов излучения. В условиях запроектных аварий на АЭС зоны заражения могут выйти за пределы ЗПЗМ. При этом непосредственной опасности для жизни и здоровья населения может и не возникнуть. В этих зонах заражения можно ожидать в основном стохастические эффекты воздействия излучения на людей. Однако достаточно протяженные территории могут оказаться загрязненными продуктами радиационного распада. В связи с этим может быть нанесен ущерб окружающей среде и объектам жизнедеятельности населения, находящимся вне ЗПЗМ, ухудшающий качество жизни людей, проживающих на этой территории. Таким образом, вне зон ЗПЗМ могут возникать экологические риски для населения вследствие экологического ущерба, нанесенного

окружающей среде [16]. Органы власти и управления государством должны быть готовыми и к этому. Поэтому зонирование территории по степени риска экологического ущерба, возникающего за пределами ЗПЗМ, является важной и актуальной задачей. На основании этого зонирования можно будет более обоснованно выбирать площадки размещения радиационно опасных объектов при их проектировании и строительстве, а также провести заблаговременные мероприятия, снижающие экологические риски, если такие объекты уже существуют.

1. Имитационное моделирование экологических рисков

Риск экологического ущерба количественно оценивается вероятностью появления негативных изменений в окружающей природной среде, вызванных антропогенным или иным воздействием [19]. Некоторые аспекты экологического риска связаны с уменьшением разнообразия в живой природе, нарушениями природных памятников. Но могут быть и такие изменения в окружающей среде, когда природная среда практически не страдает от воздействия, но становится неблагоприятной для проживания людей. В данной статье рассматривается именно такой аспект экологического риска. Риск возникает только по отношению к объекту. Само по себе событие — радиоактивное загрязнение — риска не несет. Объектом риска экологического ущерба в нашем исследовании является население. Риск обуславливается двумя, по сути дела, основными факторами: возможностью загрязнения территории, на которой находится население, и временем его нахождения на ней.

Основой оценки такого риска является прогнозирование возможного загрязнения территорий, находящихся за пределами 30-километровой зоны размещения АС, и определение дозовых нагрузок для находящихся на ней людей.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС (ВНИИ ГО ЧС) была разработана методика определения дозовых нагрузок в результате радиационной аварии на атомных станциях. Рассматривается радиационная обстановка при наиболее опасных авариях, отнесенных к 7-му классу по шкале МАГАТЭ.

В основе этой методики лежит Гауссова модель переноса и выпадения радиоактивных осадков. Эта методика предназначена скорее для оперативного прогнозирования обстановки, складывающейся в аварийной ситуации. Мы проанализировали эту методику и пришли к выводу, что она может использоваться и для прогнозирования гипотетической радиационной обстановки, которая может сложиться на территориях, прилегающих к 30-километровой зоне вокруг АЭС, после аварии на промежуточной и восстановительной стадиях аварии. Для этого необходимо усреднить влияние факторов, определяющих радиоактивное загрязнение местности. Эти факторы зависят в основном от долговременных метеорологических условий, складывающихся на территории, подвергающейся экологическому риску. Кроме того, необходимо учесть уменьшение радиоактивного загрязнения территории вследствие распада основной части короткоживущих изотопов и перераспределение радиоактивного вещества в почве и воде. Мы решили эту задачу с помощью метода имитационного моделирования формирования загрязнения территории и возникающей вследствие этого радиационной нагрузки на население. Этот метод был разработан в дипломной работе М.Р. Тимербулатовой¹, выполненной под руководством одного из авторов данной статьи. Для оценки экологических рисков была разработана программа, позволяющая имитировать зоны радиационного заражения в зависимости от силы и направления ветра и накрытие территорий, которое необходимо исследовать для оценки возможного ущерба. Многократное проведение расчетов при случайно выбираемых параметрах состояния атмосферы позволяет построить ожидаемое поле загрязнения вокруг АЭС. Для расчетов на языке C++ был написан программный код. Многолетние наблюдения за направлениями и силой ветра ведутся по направлению 8 румбов: восток, юго-восток, юг, юго-запад, запад, северо-запад, север, северо-восток. Для того чтобы получить плавные границы зон экологического риска, каждый из 8 секторов по 45 градусов был разбит еще на 15 секторов по 3 градуса. Вероятность того

¹ Методы зонирования территорий, прилегающих к АЭС, на основе имитационного моделирования экологических рисков. М.: МГРИ-РГГРУ, 2016.

или иного направления ветра и той или иной силы ветра по этим дополнительным направлениям мы получили интерполяцией соответствующих значений скорости и силы ветра по румбам, по которым ведутся наблюдения.

Исходными данными для моделирования являются:

- мощность реактора = 1000 мВт;
- тип атмосферной устойчивости (инверсия);
- 8 частотных характеристик по направлениям розы ветров (табл. 1);
- 3 частотные характеристики скорости ветра по данным многолетних наблюдений (табл. 2).

Так как инверсия из всех трех возможных типов устойчивости атмосферы характеризует наиболее благоприятную метеорологическую обстановку для распространения радиоактивных веществ в случае аварийной ситуации, мы рассчитывали зоны заражения для этого состояния атмосферы.

Исходные частоты ϑ_i мы представили в виде вектора (массива). Для того чтобы объяснить процесс

Таблица 1. Закон распределения вероятностей направлений ветра

Table 1. Probability distribution law for wind directions

Направление ветра	Частота, ϑ_i
В	ϑ_1
ЮВ	ϑ_2
Ю	ϑ_3
ЮЗ	ϑ_4
З	ϑ_5
СЗ	ϑ_6
С	ϑ_7
СВ	ϑ_8

Таблица 2. Закон распределения вероятностей скоростей ветра

Table 2. The law of distribution of probabilities of wind speeds

Скорость ветра, V , м/с	Частоты, ϑ_i
$V < 3$	ϑ_1
$3 < V < 7$	ϑ_2
$V > 7$	ϑ_3

моделирования, мы ограничились только вектором направлений, так как для вектора скорости выкладки будут аналогичными. Отметим, что первому значению вектора ϑ_1 присваивается частота *восточного направления* ветра и далее по часовой стрелке.

$$\vartheta_i = (\vartheta_1; \vartheta_2; \vartheta_3; \vartheta_4; \vartheta_5; \vartheta_6; \vartheta_7; \vartheta_8). \quad (1)$$

Для получения вектора вероятностей направлений мы нормализовали вектор частот:

$$P_i^* = \left(\frac{\vartheta_1}{\sum_1^8 \vartheta_i}; \frac{\vartheta_2}{\sum_1^8 \vartheta_i}; \dots \right). \quad (2)$$

И затем методом интерполяции распределили эти вероятности по 120 направлениям:

$$P_i^* = (P_1^*; P_2^*; P_3^*; \dots; P_{120}^*). \quad (3)$$

На основе случайных значений направлений и скоростей ветров в соответствии с их законами распределения строились эллипсы зоны возможного радиоактивного загрязнения. Многократное повторение вычислений при разных исходных данных, подставляемых в модель, позволило построить поле вероятностей накрытия территории, прилегающей к АС, различными уровнями дозовых нагрузок. Таким образом, по сути дела, детерминированный подход к построению зон возможного загрязнения вокруг АС, состоящий в назначении 30-километровой зоны планирования неотложных мероприятий при аварии, дополнен введением условного (при условии возникновения запроектной аварии) риска возникновения тех или иных полей радиоактивного загрязнения вне этой зоны. Вблизи АС, внутри 30-километровой зоны, планирование неотложных мероприятий, по сути дела, ведется по принципу гарантированного результата [3], риск здесь неуместен, поскольку возможны детерминированные эффекты воздействия радиации на население. Вне 30-километровой зоны ожидаемые последствия от аварии не столь очевидны, а главное, как правило, не требуют безотлагательных решений по защите населения. В этих условиях при планировании жизнедеятельности населения можно рассматривать и риск тех или иных негативных для него последствий аварии [13, 14]. Риск обуславливается двумя основными факторами: возможностью загрязнения территории, на которой находится население, и временем его нахождения на ней.

2. Зонирование объектов по экологическому риску

Анализ современного состояния окружающей природной среды и сложившейся инфраструктуры исследуемой территории позволяет выработать схему зонирования объектов по экологическому риску.

Природный комплекс любой исследуемой территории может включать следующие основные компоненты [15]:

- *урбанизированные территории* — это площади городов и поселков городского типа в административных границах, в состав которых могут входить и сельскохозяйственные угодья, и леса;

- *особо охраняемые территории* — участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы и объекты, имеющие особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны;

- *поверхностные воды;*
- *подземные воды.*

Различают три стадии радиационной аварии [1]:

- *ранняя стадия;*
- *промежуточная стадия;*
- *восстановительная стадия.*

Так как в данной работе мы осуществляем прогнозирование долговременной обстановки, то зонирование загрязненных территорий производится исходя из норм допустимого облучения населения, установленных для восстановительной стадии радиационной аварии [10].

Нормами НРБ 99/2009 [10] установлены следующие критерии вмешательства на загрязненных территориях в восстановительный период.

- *Зона радиационного контроля* — от 1 до 5 мЗв/год. В этой зоне допускается ведение обычной хозяйственной деятельности населения.

- *Зона ограниченного проживания населения* — от 5 до 20 мЗв/год. Добровольный въезд людей на указанную территорию для постоянного проживания не ограничивается. В этой зоне на определенные виды хозяйственной деятельности накладываются ограничения.

- *Зона отселения* — от 20 до 50 мЗв/год. Въезд на указанную территорию для постоянного проживания не разрешен. В этой зоне запрещается постоянное проживание лиц репродуктивного возраста и детей, на определенные виды хозяйственной деятельности накладываются ограничения.

- *Зона отчуждения* — более 50 мЗв/год. В этой зоне постоянное проживание не допускается, а хозяйственная деятельность и природопользование регулируются специальными актами.

Поскольку экологический ущерб может возникать только по отношению к человеку, в данном случае, в связи с его облучением, мы зонировали территории в зависимости от их заселения и хозяйственной деятельности, от чего, в свою очередь, зависит время пребывания на них людей. Количественным признаком зонирования была принята доза облучения 5 мЗв/год — верхняя граница облучения по нормам РБ [8], позволяющая вести жизнедеятельность населения без ограничений. По этим признакам мы выделили три группы объектов, для которых предполагается оценивать риск нахождения на них населения.

Урбанизированные территории — на этих территориях люди присутствуют постоянно. Учитывая, что по нормам РБ для населения проживание и ведение хозяйственной деятельности без ограничений разрешается при максимально допустимой эквивалентной дозе облучения до 5 мЗв/год, мы решили, что доза для урбанизированных территорий также не должна превышать этого значения.

Сельскохозяйственные угодья, другие территории, на которых работники находятся периодически. Люди, в основном взрослые, находятся на этих территориях, как правило, только в течение рабочей смены (8 часов, 1/3 суток, без учета праздничных и выходных дней) или в течение вахты, общая длительность которых составляет примерно 1/3 — 1/4 года. Исходя из того, что суммарное время пребывания человека на этих территориях относительно непродолжительное, за уровень годовой эффективной дозы, которую получил бы индивид, находящийся непрерывно (24 часа в сутки) в течение года на этой территории, мы приняли 20 мЗв. При этом посещающие эту территорию люди в режиме вахты или периодически в течение суток на самом деле получали бы дозу, не превышающую 5 мЗв.

Особо охраняемые природные территории — это незаселенные обширные области, где человек, как правило, находится в течение короткого периода времени (не более $\approx 1/10$ времени суток). НРБ устанавливает годовую эффективную дозу облучения от 20 до 50 мЗв как критерий обязательного отселения. Поэтому мы можем принять для редко посещаемых территорий годовую эффективную дозу облучения, которую мог бы получить человек при постоянном нахождении на этой территории, в 50 мЗв. При этом люди, посещающие объекты, находящиеся в этой зоне, получают годовую эквивалентную дозу не выше тех же самых 5 мЗв.

Так, ориентируясь на нормы НРБ, а также на характер хозяйственной деятельности населения, мы определили признак, по которому производится зонирование территории по экологическому ущербу. Это — не превышение годовой эквивалентной дозы в 5 мЗв. Полученный результат мы свели в табл. 3.

Таким образом, проведена градация территорий, находящихся вне зоны неотложных защитных мер по экологическому ущербу в случае запроектной аварии.

Отметим, что любая оценка чего-либо является субъективной [5]. Мы предлагаем в качестве критериев зонирования территорий по степени экологического риска принять вероятности попадания объектов в зоны, где возможно получение населением годовых эквивалентных доз согласно табл. 3. Мы выделяем территории с высокой и низкой вероятностью, считая, что в случае нахождения объекта на территории, где могут быть превышены дозовые нагрузки с вероятностью 50 и более процентов, риск высокий. В противном случае он низкий (рис. 1).

Для оценки территорий по экологическому ущербу при попадании их в зоны с высокой или низкой вероятностью мы использовали качественный показатель [12], принимающий значение 1, когда с вероятностью более 50% годовая эквивалентная доза превысит 1 мЗв, но будет ниже 5 мЗв. Аналогично мы приняли значение 0, когда с вероятностью равной или ниже 50% получение населением эквивалентной дозы составит менее 1 мЗв. Территориям, на которых находятся сельхозугодья или только редко посещаемые объекты, в этом случае присваивается качественный показатель возможного экологического ущерба, равный 0 (годовая эффективная

Таблица 3. Градация территории по экологическому ущербу

Table 3. Gradation of the territory by environmental consequences

Рассматриваемые территории	Ожидаемые максимальные годовые эквивалентные дозы в случае постоянного нахождения населения на указанных территориях, мЗв/год	Ожидаемые максимальные годовые эквивалентные дозы в случае постоянного нахождения населения на указанных территориях с учетом режима пребывания, мЗв/год
Урбанизированные территории	5	5
Сельхозугодья, вахтовый метод работы, находящиеся на значительном расстоянии от населенных пунктов промышленные предприятия, где человек находится в течение рабочего времени (8 часов)	20	5
Особо охраняемые территории, где не допускается постоянное нахождение людей	50	5

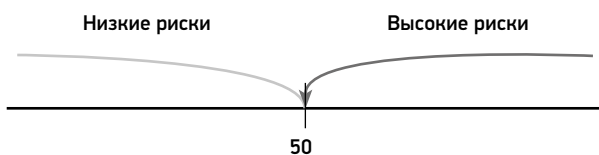


Рис. 1. Градация зон с высокой и низкой вероятностью риска

Figure 1. Gradation of zones with high and low probability of risk

эквивалентная доза для населения будет ниже 1 мЗв). Аналогичным образом введены оценки и для других зон. Указанную выше градацию мы свели в табл. 4. Каждый дозовый интервал мы обозначили своим цветом.

Таблица 4. Качественная оценка территорий по риску для населения, попадающих в зону с годовыми дозовыми нагрузками $1 \leq D < 5$ мЗв/годTable 4. Qualitative assessment for territories that fall within the zone with annual dose loads $1 \leq D < 5$ mSv per year

Территории	Цвет зоны с дозовыми нагрузками $1 \leq D < 5$	Риски
		высокий/низкий
Урбанизированные территории		1/0
Сельскохозяйственные угодья		0
Природоохранные территории		0

При получении населением с вероятностью выше 50% годовой эквивалентной дозы в 5 мЗв, но меньше 20 мЗв качественный показатель ущерба для урбанизированных территорий примем равным 2. Для сельхозугодий в этом случае качественный показатель ущерба составит 1 (годовая эффективная эквивалентная доза не превысит 5 мЗв). Исходя из принятого нами принципа определения величины качественного показателя ущерба для редко посещаемых территорий его величина составит 0 (табл. 5).

Аналогично мы определили качественные показатели для территорий, где с вероятностью равной и выше 50% возможная годовая эквивалентная доза будет в пределах от 20 до 50 мЗв. Качественный показатель ущерба для урбанизированных территорий в этом случае примем равным 4. Для сельскохозяйственных угодий — 2, а для особо охраняемых территорий — 1 (табл. 6).

Для территорий, где возможная годовая эквивалентная доза будет равна или выше 50 мЗв, качественный показатель для всех объектов примем равным 100 (табл. 7).

Мы объединили все полученные результаты в сводную таблицу 8.

Исходя из выше установленного, мы можем сформировать вектор:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где x_1 — значение качественного показателя риска для урбанизированных территорий;

Таблица 5. Качественная оценка территорий по риску для населения, попадающих в зону с дозовыми нагрузками $5 \leq D < 20$ мЗв/год

Table 5. Qualitative assessment for territories that fall within the zone with dose loads $5 \leq D < 20$ mSv per year

Территории	Цвет зоны с дозовыми нагрузками $5 \leq D < 20$	Риски
		высокий/низкий
Урбанизированные территории		2
Сельскохозяйственные угодья		1/0
Природоохранные территории		0

x_2 — для сельскохозяйственных угодий;

x_3 — для особо охраняемых объектов.

В зависимости от набора показателей этот вектор определяет границы того или иного экологического риска:

- $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ — отсутствие экологического риска;
- $\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ — низкий риск;
- $\begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ — средний риск;
- $\begin{pmatrix} 4 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}$ — высокий риск;
- $\begin{pmatrix} 100 \\ 100 \\ 100 \end{pmatrix}$ — недопустимо высокий риск.

Таблица 6. Качественная оценка территорий по риску для населения, попадающих в зону с дозовыми нагрузками $20 \leq D < 50$ мЗв/год

Table 6. Qualitative assessment for territories that fall within the zone with dose loads $20 \leq D < 50$ mSv per year

Территории	Цвет зоны с дозовыми нагрузками $20 \leq D < 20$	Риски
		высокий/низкий
Урбанизированные территории		4
Сельскохозяйственные угодья		2
Природоохранные территории		1/0

Таблица 7. Качественная оценка территорий по риску для населения, попадающих в зону с дозовыми нагрузками $D > 50$ мЗв/год

Table 7. Qualitative assessment of territories at risk to the population that fall into the zone with dose loads $D > 50$ mSv per year

Территории	Цвет зоны с дозовыми нагрузками $D > 50$	Риски
		высокий/низкий
Урбанизированные территории		100
Сельскохозяйственные угодья		100
Природоохранные территории		100

Таблица 8. Сводная таблица качественных оценок риска

Table 8. Summary table of qualitative risk assessments

Объекты районирования	Цвет зоны заражения			
	Риски			
	высокий/низкий	высокий/низкий	высокий/низкий	высокий/низкий
Урбанизированные территории	1/0	2	4	100
Сельскохозяйственные угодья	0	1/0	2	100
Природоохранные территории	0	0	1/0	100

Изложенный в данном разделе подход позволяет выделить секторы, прилегающие к ЗПЗМ, в которых возникает экологический риск того или иного уровня.

Графически эти зоны проиллюстрированы на рис. 2.

Очевидно, что территории, попадающие в разные секторы, могут характеризоваться неодинаковыми уровнями риска для находящегося на них населения. Поэтому требуется интегральная оценка экологического риска территории вне ЗПЗМ. Мы предлагаем проводить эту оценку следующим образом. Считая, что в случае увеличения площади территорий, на которых превышаются уровни, указанные в табл. 3, экологический риск также увеличивается, сформируем критерий оценки территорий по экологическому риску. Если присутствует хотя бы один сектор с чрезвычайно высоким риском, то всю территорию, прилегающую к зоне ЗПЗМ, относим к территории с чрезвычайно высоким риском возможного ущерба.

Если вокруг АЭС отсутствуют территории с чрезвычайно высоким риском, но есть хотя бы один сектор с высоким риском, относим всю территорию к высокому риску возможного ущерба. Со средним риском — к среднему риску возможного ущерба, с низким риском — к низкому риску возможного ущерба.

Территория будет отнесена к классу с низким экологическим риском, если не найдется ни одного сектора с чрезвычайно высоким, высоким, средним или низким риском.

Таким образом, нами разработан метод зонирования территории, прилегающей к круговой зоне ЗПЗМ по экологическому риску. Метод базируется на использовании критериев вмешательства при проведении защитных мероприятий на восстановительной фазе радиационной аварии [10], учете хозяйственной деятельности населения на загрязненной территории и вероятностного характера загрязнения.

3. Оценка экологического риска для гипотетического расположения АС в одном из районов Тверской области

Разработанный нами метод зонирования мы применили для оценки экологического риска для гипотетического расположения АС в одном из районов Тверской области. На карте масштаба 1:1 000 000 этого района выделены прямоугольниками области, содержащие объекты, в связи с которыми может возникнуть экологический риск (рис. 3). Для наглядности мы выбрали цвет выделения для каждого из объектов (табл. 9).

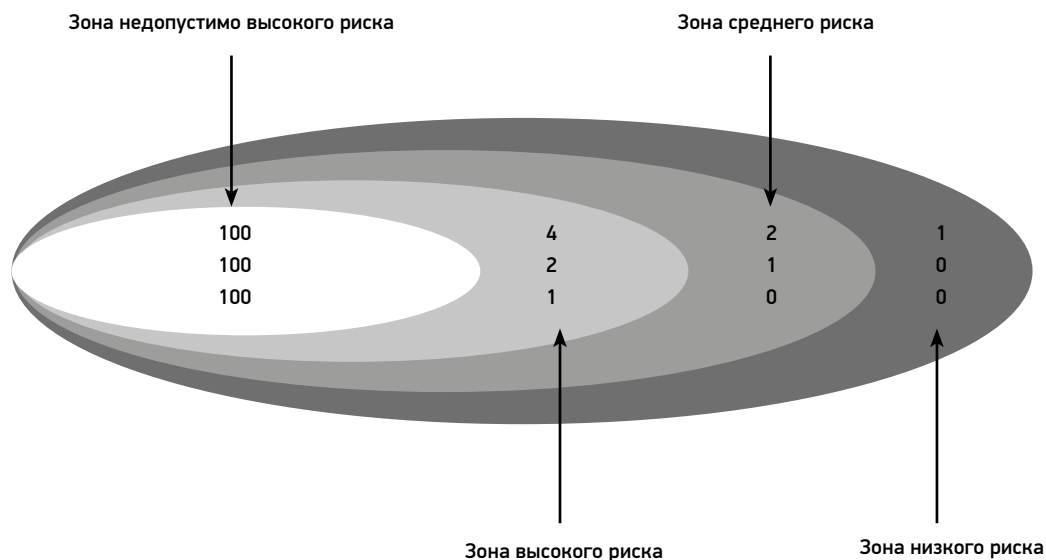


Рис. 2. Зоны возможного риска

Figure 2. Areas of possible ecological risk

Таблица 9. Цвета зон выделения объектов районирования

Table 9. Colors of the zoning zones

Территории районирования	Цвет зоны выделения
Урбанизированные территории	
Сельскохозяйственные угодья	
Природоохранные территории	

На карте мы выделили три населенных пункта: Логово, Лопаты и Жарковский, две территории сельскохозяйственных угодий и две области особо охраняемых природных объектов.

В табл. 10 и 11 приведены данные наблюдений скорости ветра и его направлений за один из годов.

Чтобы показать результаты оценки территории, мы последовательно отображали зоны загрязнения и давали оценку вектором качественных показателей тех секторов, в которых присутствует хотя бы один объект зонирования. Будем считать, что объект при-

надлежит сектору (или зоне того или иного экологического риска), если большая часть его территории принадлежит этому сектору (или зоне того или иного экологического риска).

Начали мы с построения недопустимо высокого риска, когда годовая эффективная доза могла бы быть выше 50 мЗв (рис. 4).

Построив данную зону в соответствии с частотами направления ветра и его скоростей, мы получили 4 сектора, в которых есть хотя бы один объект выделения. Эти сектора мы обозначили цифрами от 1 до 4. Черными дугами обозначены зоны с высокой вероятностью накрытия выделенных объектов. Секторы 3 и 4 оказались секторами с высокой вероятностью накрытия, а 1 и 2 — с низкой (см. рис. 4). Так как сектор 2 является сектором с низкой вероятностью накрытия и содержит всего один объект — природоохранную территорию, то мы можем исключить его из рассмотрения.

На рис. 4 мы можем видеть, что в зону недопустимо высокого риска не попадает ни один

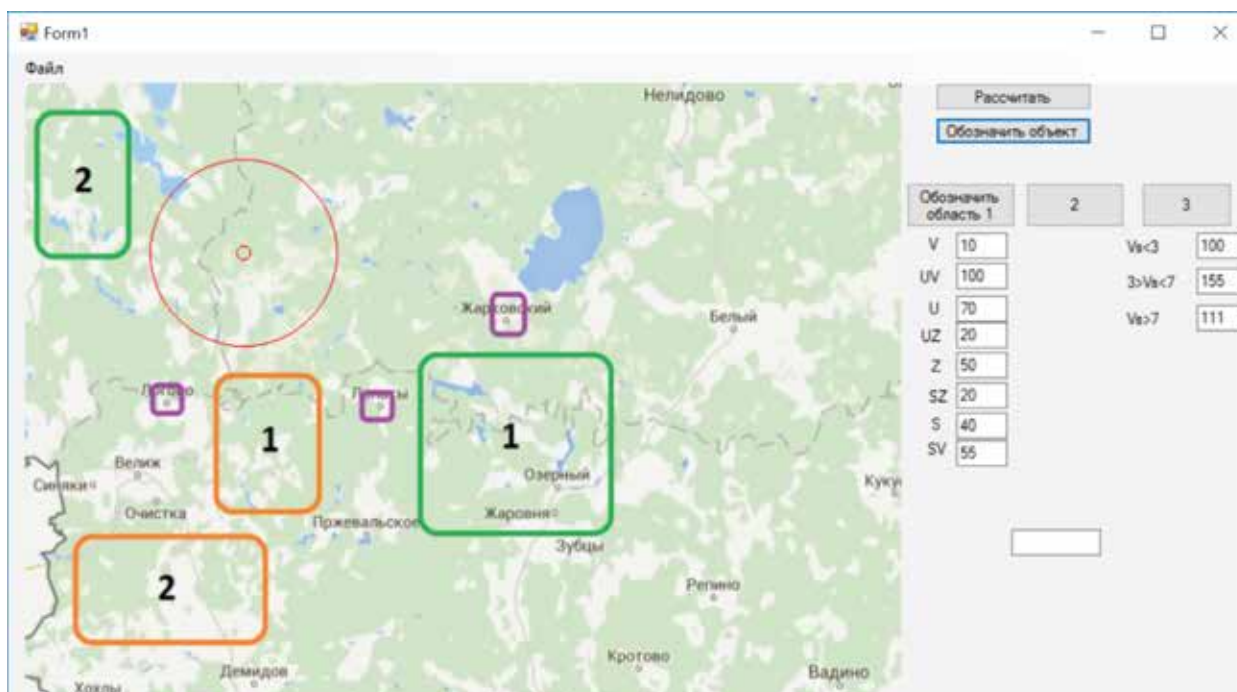


Рис. 3. Территория части Тверской области с 30-километровой зоной, прилегающей к месту возможного размещения АС

Figure 3. Territory of the Tver Region with a 30 km zone around a possible site of the nuclear power plant

Таблица 10. Абсолютная частота направлений ветра
Table 10. Absolute wind direction frequency

Направление ветра	Частота
В	10
ЮВ	100
Ю	70
ЮЗ	20
З	50
СЗ	20
С	40
СВ	55

из выделенных объектов, все качественные показатели риска для каждого сектора равны 0, следовательно, для этих территорий не возникает угрозы чрезвычайно высокого риска экологического ущерба.

Далее мы построили зону высокого экологического риска, где годовая эффективная доза выше или равна 20 мЗв, но ниже 50 (рис. 5). Исходя из

Таблица 11. Абсолютная частота силы ветра
Table 11. Absolute wind force frequency

Скорость ветра, V, м/с	Частота
$V < 3$	100
$3 < V < 7$	155
$V > 7$	111

критериев зонирования для зоны высокого экологического риска каждому сектору мы присвоили следующие векторы качественных оценок.

Сектору 2 — $\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$. Так как в этом секторе

в зону высокого экологического риска попал только один объект — урбанизированная территория, населенный пункт Логово, то мы присваиваем первой компоненте вектора, характеризующей качественный показатель по урбанизированным территориям, значение, равное 4 (в соответствии с табл. 6), а всем остальным компонентам присваиваем значение, равное 0.

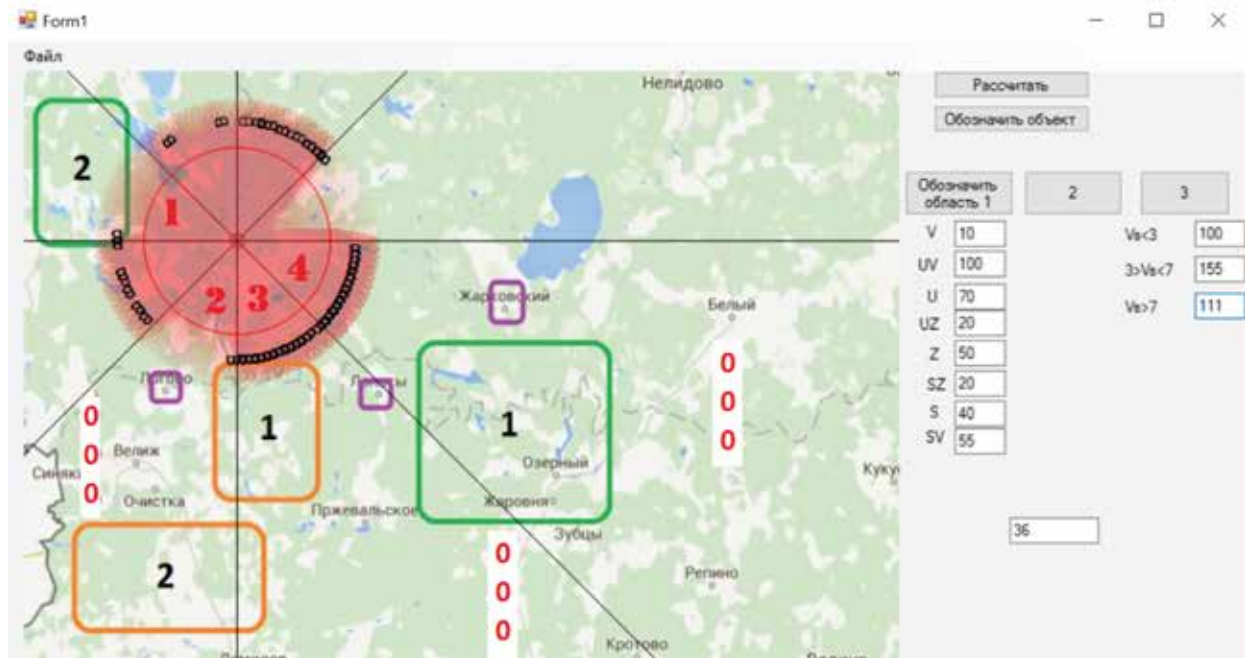


Рис. 4. Зона недопустимо высокого экологического риска

Figure 4. The zone is unacceptably ecological high-risk

Сектору 3 — $\begin{pmatrix} 4 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$. В этом секторе в зону высокого

экологического риска попали одна урбанизированная территория (населенный пункт Лопаты) и одно сельскохозяйственное угодье. Поэтому первой компоненте вектора присвоено значение, равное 4, а второй — 2.

Сектору 4 — $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$: ни один из выделенных в этом

секторе объектов не попал в зону высокого экологического риска, следовательно, значения качественных показателей остаются на прежнем уровне.

Векторы $\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ и $\begin{pmatrix} 4 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$ характеризуют территорию

высокого экологического риска. Из определения интегрального показателя, который устанавливает, что вся территория оценивается хотя бы одним вектором с наиболее неблагоприятными показателями,

следует, что уже на этом этапе мы можем дать оценку возможного экологического ущерба для всей территории. Построение зон среднего и низкого экологического риска мы можем не осуществлять, так как качественные показатели для этих зон будут ниже, чем для зоны высокого экологического риска.

Следовательно, всю территорию, которая окружает данную площадку радиационно опасного объекта, следует отнести к территории с высоким экологическим риском. Это означает, что предложенная площадка не является благоприятной для размещения атомной станции.

Заключение

Таким образом, нами разработан метод оценки экологического риска, возникающего за территорией планирования неотложных мероприятий по защите населения вокруг атомной станции. Основой метода является имитационное моделирование загрязнения территории, формирующегося на

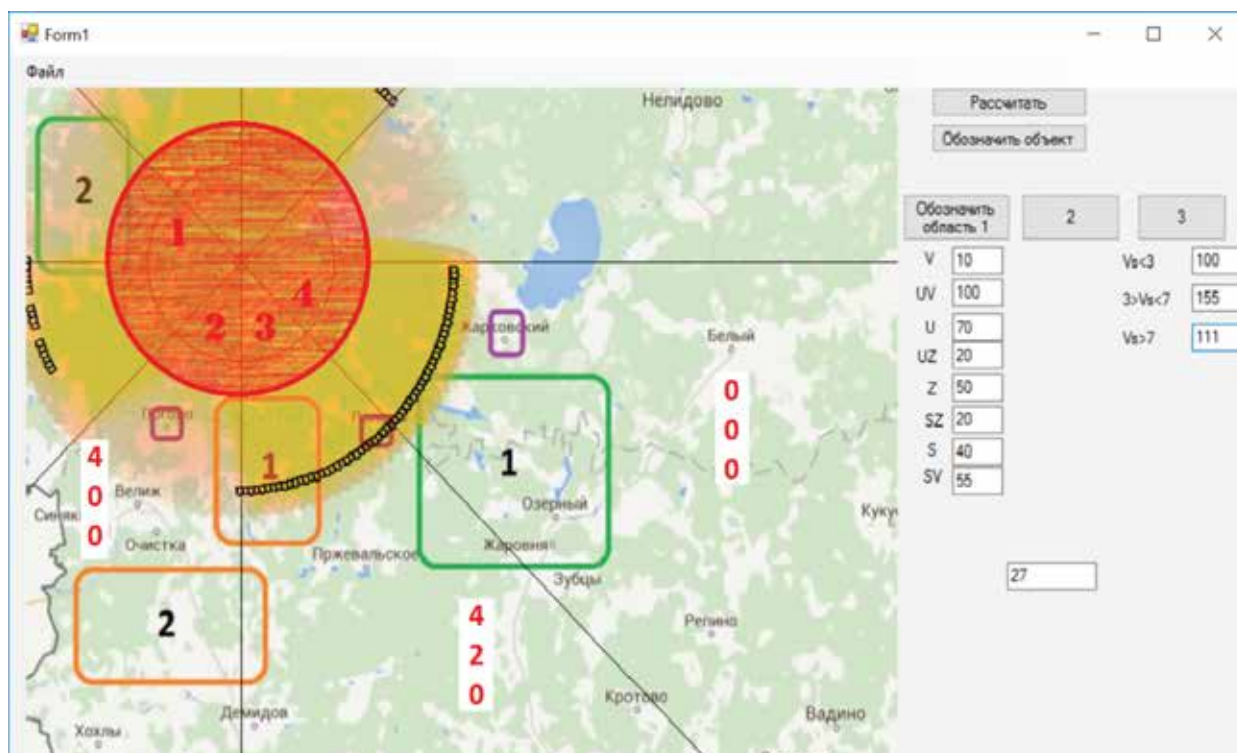


Рис. 5. Зона высокого экологического риска

Figure 5. High environmental ecological risk zone

поздней стадии радиационной аварии, и зонирование территорий по риску с учетом особенностей жизнедеятельности населения на потенциально опасной территории. Предложено экологический риск оценивать с помощью векторов, качественно характеризующих риск по трем параметрам: риск на территории постоянного проживания и работы населения (урбанизированные территории), риск, возникающий при работе в сельскохозяйственных угодьях и лесном секторе, риск, возникающий при посещении с любыми целями природоохранных территорий.

Литература [References]

1. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): Учебник / С.В. Белов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт; ИД Юрайт, 2011. С. 582. [Belov S.V. Life Safety and environmental protection (technosphere safety): Textbook / S.V. Belov. 2nd ed., corr and add. M.: Yurayt Publishing House; Yurayt Publishing House, 2011. P. 582 (Russia).]
2. Владимиров В.А., Измалков В.И., Измалков А.В. Радиационная и химическая безопасность населения. М.: Деловой экспресс, 2005. [Vladimirov V.A., Izmalkov V.I., Izmalkov A.V. Radiation and chemical safety of the population. M.: Delovoy Express, 2005 (Russia).]
3. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. М.: Наука, 1971. [Hermeyer Yu.B. Introduction to the theory of operations research. M.: Nauka, 1971 (Russia).]
4. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений: Учебник для вузов / Под ред. Е. Л. Столяровой. 4-е изд. Перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1986. 464 с. [Golubev B.P. Dosimetry and protection from ionizing radiation. 4th ed., processed and add. M.: Energoatomizdat, 1986. 464 p. (Russia).]
5. Дж. Моррисей. Целевое управление организацией / Пер. с англ.; под ред. И.М. Верещагина. М.: Сов. радио, 1979. [J. Morrisey. Target management of the organization / Trans. from English; under the editorship of I.M. Vereshchagin. M.: Sov. radio, 1979 (Russia).]
6. Лаверов Н.П. Труды Международной конференции «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях». Т. 1. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. С. 14. [Laverov N.P. Proceedings of the International conference "Radioactivity in nuclear explosions and accidents". Vol. 1. SPb.: Hydrometeoizdat, 2000. P. 14 (Russia).]
7. Международное агентство по атомной энергии. Безопасность атомных электростанций: проектирование. Серия норм безопасности МАГАТЭ. № SSR-2/1. МАГАТЭ. Вена, 2007. С. 15, 27. [International Atomic Energy Agency. Safety of nuclear power plants: design. IAEA safety standards series, No. SSR-2/1, IAEA, Vienna. 2007. P. 15, 27].
8. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны. Типовое содержание плана защиты населения в случае аварии на радиационном объекте. М., 2006. С. 11. [The Ministry of the Russian Federation for Affairs of Civil Defense. Standard contents of plan of population protection in case of radiation accident at the facility. M., 2006. P. 11 (Russia).]
9. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. Т. 1. 694 с. [Monin A.S., Yaglom A.M. Statistical hydromechanics. SPb.: Hydrometeoizdat, 1992. Vol. 1. 694 p. (Russia).]
10. НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности. 2009. № 47 (1 сен.). С. 21, 209. [NRB-99/2009. Radiation safety standards. 2009. No. 47 (1 sen.) P. 21, 209 (Russia).]
11. ОПБ 88/97 «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций». М., 1999. 35 с. [OPB 88/97 "General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants". M., 1999. 35 p. (Russia).]
12. План защиты населения при авариях на радиационном объекте. 2006. С. 6, 11. [Plan of protection of the population in case of accidents at a radiation facility. 2006. P. 6, 11 (Russia).]
13. Поляков В.М., Агаларов З.С. Метод оценки эффективности управленческих решений. М.: Ин-т микроэкономики, 2016. 55 с. [Polyakov V.M., Agalarov Z.S. Method of evaluating the effectiveness of management decisions. M.: Institute of microeconomics, 2016. 55 p. (Russia).]
14. Поляков В.М., Агаларов З.С. Неопределенность и риск инвестиционных проектов // Микроэкономика. 2019. № 1. С. 35—39. [Polyakov V.M., Agalarov Z.S. Uncertainty and Risk of Investment Projects. Microeconomics. 2019. No. 1. P. 35—39 (Russia).]
15. СП 151.13330.2012 Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Ч. I. Инженерные изыскания для разработки предпроектной документации (выбор пункта и выбор площадки размещения АЭС). [SP 151.13330.2012 Engineering surveys for placement, design and construction of nuclear power plants. Part I. Engineering surveys for the development of

pre-project documentation (selection of the location and site of the NPP) (Russia).]

16. Шимова О.С., Соколовский Н.К. Основы экологии и экономика природопользования: Учебник. Мн.: БГЭУ, 2002. 356 с. [Shimova O.S., Sokolovsky N.K. Fundamentals of ecology and Economics of nature management: Textbook. Mn.: BSEU, 2002. 356 p. (Russia).]
17. Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях: Учебн. пособие / Гринин А.С., Новиков В.Н. Изд-во Торговый дом Гранд, 2000. С. 115. [Environmental safety. Protection of the territory and population in emergency situations. Textbook / Grinin A.S., Novikov V.N. Publishing house "Trading house Grand", 2000. P. 115. (Russia).]
18. Экология и гидрометеорология больших городов и промышленных зон (Россия, Мексика): Монография. Т. 1. Анализ окружающей среды / Баранова М.Е., Гаврилов А.С., Шелутко В.А., Дмитриев В.В., Гутниченко В.Г. и др.; ред. Карлин Л.Н., Шелутко В.А. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2009. 180 с. [Ecology and Hydrometeorology of large cities and industrial zones (Russia, Mexico): Monograph. Vol. 1. Analysis of the environment / Baranova M.E., Gavrilov A.S., Shelutko V.A., Dmitriev V.V., Gutnichenko V.G. et al., eds. Karlin L.N., Shelutko V.A. Saint Petersburg: RGGMU publishing house, 2009. 180 p. (Russia).]
19. Энциклопедия портала GreenEvolution [Электронный ресурс] / Электрон. текстовые дан. Москва: [б. и.], 2012. Режим доступа: <http://greenevolution.ru/enc/wiki/ekologicheskij-risk/> [Encyclopedia of portal GreenEvolution [Electronic resource] / Electron.text messages. Moscow: [b. I.], 2012. Access mode: <http://greenevolution.ru/enc/wiki/ekologicheskij-risk/>]

Сведения об авторах

Поляков Владимир Михайлович: доктор технических наук, профессор кафедры математики ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе», Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, РГГПУ им. Серго Орджоникидзе, МГРИ

Количество публикаций: более 100

Область научных интересов: прогнозирование процессов, протекающих в социальных, технических и экономических средах, оценка эффективности и обоснование управленческих решений в социальных и экономических средах, учет риска и неопределенности при обосновании управленческих решений, обработка и анализ данных наблюдений и экспериментов

Контактная информация:

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23

E-mail: texnoles@mail.ru

Агаларов Зураб Сардарович: кандидат экономических наук, доцент кафедры математики ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе», заместитель генерального директора по экономике и финансам Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Темп»

Количество публикаций: 22

Область научных интересов: финансово-экономическое моделирование, учет факторов неопределенности и риска при принятии управленческих решений, диверсификация машиностроительных предприятий, разработка прикладного программного обеспечения, машинное обучение

Контактная информация:

Адрес: 115230, г. Москва, Каширское шоссе, д. 17, корп. 5, стр. 3

E-mail: z.agalarov@list.ru

Статья поступила в редакцию: 11.08.2020

Принята к публикации: 28.08.2020

Дата публикации: 30.10.2020

The paper was submitted: 11.08.2020

Accepted for publication: 28.08.2020

Date of publication: 30.10.2020