

Научная статья  
УДК 629.039.58  
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.99.42.003

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СОСТОЯНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ОПАСНОГО ОБЪЕКТА АРКТИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

*Ярослав Владимирович Гребнев<sup>1,2</sup>,  
Динара Ильдаровна Шагидулина<sup>1</sup>,  
Александр Константинович Москалев,<sup>1</sup>  
Петр Алексеевич Осавелюк<sup>3</sup>,  
Александр Викторович Антонов<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Главное управление МЧС России по Красноярскому краю, Красноярск, Россия

<sup>3</sup>Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

*Автор ответственный за переписку: Ярослав Владимирович Гребнев,  
yaroslav.grebnev@mail.com*

**Аннотация.** Территория Арктики с каждым годом подвергается все большему воздействию на экосистему в связи с активизацией освоения ресурсов. Активное освоение ресурсов приводит к увеличению числа промышленных объектов и стационарных топливных хранилищ, многие из которых уже выработали своей проектный ресурс эксплуатации и производится пролонгация срока службы данных объектов техносферы. Как показывает практика аварийности за 2020 год на объектах топливозапасников на территории Арктики мониторинг за состоянием данных объектов в силу значительной удаленности и сложных погодных условий организован слабо, чему свидетельствуют многочисленные нарушения и возникающие чрезвычайные ситуации. Необходимо опережающими темпами создание комплексных систем безопасности основанных на современных методах мониторинга и прогнозирования рисков, в целях предупреждения аварийных состояний и недопущения чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне. В настоящей работе на основе анализа чрезвычайных ситуаций, возникших в 2020 году в Арктической зоне Красноярского края производилось моделирование развития событий при аварийном разливе нефтепродуктов на нефтебазе. Выполнена оценка площади разлива нефтепродуктов на суше и в водоеме. Для моделирования аварийной ситуации был применен программный продукт Toxу+risk, и методика нейросетевого прогнозирования с использованием библиотеки Scikit-Learn на языке программирования python.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, нефть, риск, угроза, имитационное моделирование, прогнозирование, нейросетевая модель

**Для цитирования:** Гребнев Я.В., Шагидулина Д.И., Москалев А.К., Осавелюк П.А., Антонов А.В. Разработка модели состояния потенциально-опасного объекта арктической территории Красноярского края // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 1 (24). С. 77-84. <https://dx.doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.99.42.003>.

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке АНО «Экспертный Центр ПОРА», проект № 233-Г.

Original article

## DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE STATE OF A POTENTIALLY DANGEROUS OBJECT IN THE ARCTIC TERRITORY OF THE KRASNOYARSK TERRITORY

*Yaroslav Vladimirovich Grebnev*<sup>1,2</sup>,  
*Dinara Ildarovna Shagidulina*<sup>1</sup>,  
*Alexander Konstantovich Moskalev*<sup>1</sup>,  
*Petr Alekseevich Osaveluk*<sup>3</sup>,  
*Alexander Viktorovich Antonov*<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup>Russian Emergencies Ministry for the Krasnoyarsk Territory, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup>Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

**Corresponding author:** Yaroslav V. Grebnev, yaroslav.grebnev@mail.com

**Abstract.** The territory of the Arctic every year is exposed to an increasing impact on the ecosystem due to the intensification of resource development. Active development of resources leads to an increase in the number of industrial facilities and stationary fuel storage facilities, many of which have already exhausted their design service life and the service life of these technosphere facilities is being extended. As the practice of accidents for 2020 at fuel storage facilities in the Arctic shows, monitoring of the state of these facilities is poorly organized due to the considerable remoteness and difficult weather conditions, as evidenced by numerous violations and emerging emergencies. It is necessary at a faster pace to create integrated security systems based on modern methods of monitoring and predicting risks in order to prevent accidents and prevent emergencies in the Arctic zone. In this paper, based on an analysis of emergency situations that arose in 2020 in the Arctic zone of the Krasnoyarsk Territory, the development of events was simulated during an emergency spill of oil products at a tank farm. An assessment was made of the area of oil spills on land and in a reservoir. To simulate an emergency, the Toxy + risk software product was used, and the neural network forecasting technique using the Scikit-Learn library in the Python programming language.

**Key words:** emergency, oil, risk, threat, simulation, forecasting, neural network model

**For citation:** Grebnev Y.V., Shagidulina D.I., Moskalev A.K., Osaveluk P.A., Antonov A.V. Development of a model of the state of a potentially dangerous object in the Arctic territory of the Krasnoyarsk Territory// Siberian Fire and Rescue Bulletin 2022. № 1 (24). С. 77-84. <https://dx.doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.99.42.003>.

**Acknowledgments:** the work was supported by ANO Expert Center PORA, project No. 233-G.

### Введение

Арктика – это территория, на которой происходит столкновение геополитических и стратегических интересов развитых экономик мира. Экономическая ценность данной территории сложно оценить, поскольку с каждым годом с развитием технологий геологоразведки происходит открытие все новых и новых месторождений нефти, газа, минералов, каменного и бурого угля, золота и платиноидов и редкоземельных элементов. Проекты по освоению этих полезных ископаемых являются ключевыми для развития экономики регионов и Российской Федерации в целом. На территории Красноярского края в Арктической зоне создается Таймыр-Туруханская опорная зона развития. На территориях индустриального развития и территориях активного освоения, т.е там где будет создаваться опережающими темпами инфраструктура (транспортный, энергетический и социальный каркасы) предполагается резкое увеличение количества людей, что в свою очередь приводит к необходимости обеспечения техники горюче-смазочными материалами и увеличением стационарных резервуаров для хранения топлива, поскольку в силу специфики транспортной инфраструктуры и метеорологических особенностей Арктики, задача бесперебойных и непрерывных поставок нефтепродуктов является сложной. В этой связи все поставки

производятся в рамках северного завода в период с весны по осень, а хранение топлива осуществляется в резервуарах, которые в многом уже выработали свой ресурс и могут нести потенциальную угрозу возникновения чрезвычайной ситуации вызванной разгерметизацией данных резервуаров.

В рамках комплексного развития Арктики, наибольшее значение имеет город порт Дудинка, который является промежуточным пунктом северного морского пути. На территории порта, расположенного на правом берегу реки Енисей, имеется: наземный резервуарный парк где имеется значительное число резервуаров с нефтепродуктами, насосная станция внутренних перекачек, наземные технологические трубопроводы, дизельные электростанции, работа которых в условиях экстремальных погодных условий повышает риск возникновения аварийных ситуаций связанных розливом нефтепродуктов. В близи наземного резервуарного парка располагаются озёра расположенные на расстоянии от 30 м (общей площадью свыше 18 тыс.м<sup>2</sup>); ручьи, впадающие в реку Енисей протяжённостью до впадения в реку Енисей порядка 500 м. В период паводка ширина ручьев может достигать 1,5 м, а скорость течения до 2,5 м/с.

Несмотря на все предпринимаемые меры в области промышленной безопасности аварии продолжают происходить и их последствия приносят существенный вред окружающей среде и здоровью людей. На территории Арктической зоны Красноярского края за 2020 год было зафиксировано три крупных аварии, в результате которых нефтепродукты попали в почву и водоемы, нанеся непоправимый ущерб окружающей среде.

Проведенный анализ аварийных ситуаций на топливных нефтехранилищах за последние 10 лет, позволяет сделать вывод что подавляющее количество аварий, связано прежде всего со старением резервуарного парка, что усложняет проблему мониторинга состояния резервуарного парка и прогнозирования возможных последствий.

Проблема создания эффективной системы управления рисками техногенных систем рассматривалась в работах авторов [1;2;3]. Значимость вопросов прогнозирования чрезвычайных ситуаций поднималась в трудах ряда исследователей таких как: Г.И. Коровин, Я.В. Гребнев, Г.А. Дорер, А.А. Волчек, И.А. Чучуева [4;5;6;7;8]. Проблемы регулирования природопользования загрязненных земель и водоемов рассматривались в работах авторов [9;10]. Проведение эффективных превентивных мероприятий невозможно без организации процесса мониторинга и прогнозирования. В настоящее время широкое распространение получили методы прогнозирования рисков, основанные на машинном обучении, которые нашли применение в прикладных и фундаментальных исследованиях [11;12].

В настоящей работе была поставлена цель разработка модели оценки влияния рисков возникновения чрезвычайной ситуации, обусловленной розливом нефтепродуктов. Адекватность модели соотносилась с происшествием на нефтебазе в районе расположенного за полярным кругом населенного пункта Дудинка.

## Материалы и методы

Моделирование аварийной ситуации на нефтебазе производилось с использованием программного продукта ТОКСИ+Risk [13] и разработанной модели, написанной на python с использованием библиотеки scikit-learn [14]. Массив данных для оценки риска и моделирования были получены от Главного управления МЧС России по Красноярскому краю на основе аварийных ситуаций, произошедших в 2020 году.

Исходные данные для проведения расчетов составляли следующие показатели:

- 1.плотность нефтепродукта  $\rho_{oil}=850 \text{ kg/m}^3$ ;
- 2.коэффициент распространения нефтепродуктов на бетонном покрытии  $f_p=30 \text{ m}^{-1}$ ;
- 3.температура нефтепродукта полученная расчетным путем  $t_p=39^\circ\text{C}$ ;
- 4.предел концентрации распространения пламени  $\varphi_f = 0,9\%$ ;
- 5.молекулярная масса нефти  $M= 50 \text{ kg/mol}$ ;
- 6.молярный объем пара  $V_0=22,41 \text{ m}^3/\text{kmol}$ ;

7. ускорение свободного падения  $g=9.8 \text{ m/s}^2$ ;

8. атмосферное давление  $p_0=101,325 \text{ kPa}$ ;

9. Высота РВС,  $H_p=10,92 \text{ meters}$ ;

10. Диаметр РВС,  $D_p=40 \text{ meters}$ ;

В работе рассматривались следующие сценарии возникновения аварийной ситуации:

1. Разрушение наземного резервуара вертикального стального.

2. Разрушение наземного технологического трубопровода.

3. Разрушение наземного технологического трубопровода в зоне возможного воздействия на ручей.

4. Разрушение наземного технологического трубопровода в зоне возможного воздействия на реку Енисей.

Для оценки площади разлитых нефтепродуктов при свободном разливе на суше используется следующая формула [15]:

$$S = f \cdot V_{oil} \quad (1)$$

где  $S$  – площадь разлитых нефтепродуктов,  $f$  – коэффициент разлития, который принимается: при разливе светлых нефтепродуктов на поверхность бетон или асфальт –  $150 \text{ м}^{-1}$  и при разливе светлых нефтепродуктов на грунт –  $20 \text{ м}^{-1}$ .

$V_{oil}$  – объём разлитых нефтепродуктов,  $\text{м}^3$ .

Толщина слоя разлитых НП на суше в отбортовке/обваловке ( $\text{м}$ ):

$$h_{oil} = \frac{V_{oil}}{S_0} \quad (2)$$

$S_0$  – равна обвалованной площади за вычетом площади технологических элементов (резервуаров, строений и т. п.).

В зависимости от расположения источника разлива нефтепродуктов на местности разлив нефтепродуктов может принимать различные геометрические формы.

При разливе нефтепродуктов в низине или на ровной поверхности форма разлива – круг радиусом ( $\text{м}$ ):

$$R_p = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (3)$$

При разливе НП на площади с различными ограничениями (обваловка, отбортовка, технологическое оборудование и т. д.), форма разлива нефтепродуктов характеризуется геометрическими характеристиками ограничиваемых площадок.

Максимальная прогнозируемая площадь разлива нефтепродуктов на водной поверхности приближенно оценивается по формуле [16]:

$$S = V_{oil} / 0,003, \text{ м}^2 \quad (4)$$

Если площадь водной поверхности меньше максимальной прогнозируемой площади разлива нефтепродуктов на водной поверхности, рассчитанной по вышеописанной формуле, то максимальная прогнозируемая площадь разлива нефтепродуктов на водной поверхности принимается равной площади зеркала водной поверхности.

Учитывая неравномерность распределения скоростей течения рек по их глубине, время и протяжённость распространения пятна нефтепродуктов рассчитывается исходя из скорости ветра и максимальной скорости потока. При распространении пятна разлитого нефтепродукта по течению ручьёв (из-за незначительной глубины) скорость их течения можно считать постоянной. При рассмотрении сценария аварии разрушения наземного технологического трубопровода в зоне возможного воздействия на ручей. вся акватория ручья будет загрязнена менее чем за 5 минут и разлитые нефтепродукты начнут поступать в акваторию реки Енисей.

Тогда максимальное расстояние в метрах, на которое распространится пятно нефтепродуктов, рассчитывается по формуле [17]:

$$L = (U_{max} + 0.035 \cdot U_{ветра}) \cdot t \quad (5)$$

где  $U_{max}$  – максимальная скорость потока (м/с):

$$U_{max} = 1.28 \cdot U_{cp} \quad (6)$$

$U_{cp}$  – средняя скорость течения реки Енисей у места впадения ручья и ниже по течению, м/с (исходя из наихудших условий: средняя скорость течения во время весеннего паводка (апрель-май) у места впадения ручья и ниже по течению составляет – 1,50 м/с),

$U_{ветра}$  – скорость ветра, м/с (исходя из наихудших условий: средняя скорость ветра во время весеннего паводка (апрель-май) в районе возможной ЧС(Н) составляет 6 м/с, а направление ветра совпадает с направлением течения реки Енисей),

$t$  – время после начала аварии (сброса нефтепродуктов в водный объект), в секундах.

Аналитическое решение задачи распространения нефтепродуктов в водоеме сравнилось с решением задачи распространения нефтепродуктов произведенного по средствам применения искусственных нейронных сетей, обученной на проанализированных данных разлива нефтепродуктов в г. Норильск в 2020 году.

Для решения задачи моделирования попадания нефтепродуктов в реку Енисей, применялись многослойные нейронные сети с сигмоидной активационной функцией вида:

$$f(x) = \frac{x}{c+|x|} \quad (7)$$

где  $c$  - характеристика нейрона;

$x$  – набор входных параметров.

Алгоритм обучения нейросети сводился к обучению и тестированию сети с заранее заданными характеристиками. Размеры площади разлива нефтепродуктов в водоеме зависят от множества факторов, которые следует учитывать при моделировании и составлении векторов признаков:

- объем нефтепродукта, попавшего в водоем;
- защитные сооружения и их вид на пути распространения нефтепродуктов;
- рельеф местности;
- наличие растительности: древесной, кустарниковой, травянистой;
- температура окружающей среды;
- время локализации разлива;
- количество осадков;
- масса нефти, диспергированной в воду, тонн;
- скорость ветра, м/с;
- скорость течения воды, м/с;
- тип нефтепродукта;
- направление ветра.

Входные параметры были подобраны эмпирическим путем. Размерность векторов признаков составляла двенадцать. При вычислении использована многослойная нейронная сеть с 12 слоями и числом нейронов скрытых слоев равным 204. Процент достоверности получаемых результатов варьировался пределах 68-78%.

Моделирование сценариев горения нефтепродуктов (разлива, пожар-вспышка, взрыв) в соответствии с Методикой определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах [18], с использованием программного продукта ТОКСИ+Risk.

## Результаты и обсуждение

В соответствии методикой, описанной в разделе 2 работы, с применением программного продукта ТОКСИ+Risk были получены следующие результаты моделирования риска возникновения аварии на нефтебазе, табл.1.

Первая группа сценариев включает моделирование аварийных ситуаций связанных с розливом нефтепродуктов на суши.

**Таблица 1. Прогнозирование объемов и площадей разливов НП на суше**

Авария	Вид нефтепродукта	Объем разлива нефтепродукта м <sup>3</sup>	Тип покрытия, на котором разлиты нефтепродукта	Площадь разлива нефтепродукта, м <sup>2</sup>
Разрушение наземного резервуара вертикального стального	Дизельное топливо	4183,192 м <sup>3</sup> (3555,722 м <sup>3</sup> ДТ останется в отбортовке 1-ой группы наземных РВС и 627,47 м <sup>3</sup> ДТ перельется через отботовку и разольётся по прилегающей территории)	Бетон, грунт	7811,7 м <sup>2</sup> – в отбортовке 1-ой группы наземных РВС + 12549,4 м <sup>2</sup> – на грунт свободный разлив по прилегающей территории (исходя из геометрических особенностей, уклонов и ограничений территории) Общий объем– 20361,1 м <sup>2</sup> .
Разрушение наземного технологического трубопровода	Дизельное топливо	92,42	Грунт	1848,4
Переполнение наземного резервуара вертикального стального	Дизельное топливо	6,65	Бетон	997,5

Как следует из приведенных выше данных наибольшую площадь разлива нефтепродуктов в грунт происходит при разгерметизации наземного резервуара вертикального стального. Это обусловлено прежде всего объемом хранимых нефтепродуктов, который в результате разрушения будет полностью опорожнен.

Рассмотрим далее сценарии разлива нефтепродуктов с попаданием в водоем, табл. 2.

**Таблица 2. Прогнозирование объемов и площадей разливов нефтепродуктов в водоеме**

Авария	Объем разлива ДТ, м <sup>3</sup>	Площадь разлива СГК на акватории, м <sup>2</sup>	Время после начала сброса ДТ в реку Енисей, сек	Расстояние, на которое распространится пятно ДТ вниз по течению реки Енисей от места впадения ручья рассчитанное аналитическим методом, м	Расстояние, на которое распространится пятно ДТ вниз по течению реки Енисей от места впадения ручья рассчитанное нейросетевым методом, м
Разрушение наземного технологического трубопровода в зоне возможного воздействия на ручей	86,5	732,5 м <sup>2</sup> – площадь загрязнения ручья + 29864 м <sup>2</sup> – площадь загрязнения реки Енисей	3600	7738	7498
			7200	13226	13777
			10800	21004	22432
			14400	29864	30965
Разрушение наземного технологического трубопровода в зоне возможного воздействия на реку Енисей	86,5	34621 м <sup>2</sup> – площадь загрязнения реки Енисей	3600	8364	8498
			7200	17227	18400
			10800	28224	29026
			14400	34621	35811

В результате попадания нефтепродуктов в водоем произойдет токсическое заражение окружающей среды (загрязнение грунта прибрежной полосы), акватории реки Енисей, атмосферного воздуха продуктами испарения нефтепродуктов).

## Заключение

В настоящей работе была произведена апробация метода моделирования и нейросетевого прогнозирования, различных сценариев возникновения и развития аварийной ситуации на нефтебазе арктической территории Красноярского края.

Сценарии аварии разрушения наземного технологического трубопровода в зоне возможного воздействия на озеро, площадь загрязнённой акватории зависит от озера, в которое стекает, нефтепродукты и может варьироваться, в зависимости от площади зеркала водной поверхности конкретного, рядом расположенного озера, по ходу движения технологического трубопровода.

Попадание нефтепродуктов в водные акватории стоячих водоёмов без дальнейшего распространения прогнозируется при наличии корки льда. В это случае разлитые нефтепродукты разливаются поверхности льда.

Попадание нефтепродуктов в акваторию реки Енисей с дальнейшим распространением по его течению прогнозируется только при положительной температуре окружающей среды и при условии наличия открытого течения в ручьях (ручей не перемёрзший или не высохший).

Наиболее опасные сценарии связанным с экологическим риском, является аварий с попаданием нефтепродуктов в акваторию реки Енисей с дальнейшим распространением по его течению.

В настоящей работе также было произведено сравнение аналитического и нейросетевого метода прогнозирования развития аварийной ситуации. Обучение нейронной сети производилось на основе реальных данных полученных при аварии на ТЭЦ в г. Норильск в 2020 году. В целом полученные результаты свидетельствуют о применимости нейросетевого метода прогнозирования. В сравнении с аналитическим методом прогнозирования, нейросетевой метод позволяет сравнительно быстрее производить необходимые расчеты по средствам автоматизации и адаптации модели под каждый потенциально-опасный объект и при возникновении аварийной ситуации производить необходимые расчеты для оценки обстановки и принятия решения о привлечении дополнительных сил и средств необходимых для ликвидации аварии.

Результаты работы свидетельствуют о важности проблемы технического надзора за технологическим оборудованием при использовании в хрупкой экосистеме Арктики.

## Список источников

1. Москвичёв В.В., Бычков И.В., Потапов В.П., Тасейко О.В., Шокин Ю.И. Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью // Вестник РАН, 2017. – том 87, №8. – с. 696-705.
2. Москвичёв В.В., Ничепорчук В.В., Потапов В.П., Тасейко О.В., Фалеев М.И. Информационное обеспечение мониторинга и рисков развития социально-природно-техногенных систем // Проблемы анализа риска. – 2018. – Т.15. – №2. – С. 56-77.
3. Медведева О., Соловьева С. Методика стоимостной оценки ущерба, причиняемого загрязнением атмосферного воздуха / О. Медведева, С. Соловьева // Вопросы оценки. – 2016. – № 4 (86). – С. 2–6.
4. Коровин, Г. Н. Методика расчета некоторых параметров низовых лесных пожаров. / Г. Н. Коровин // Сборник научно-исследоват. работ по лесному хозяйству / Труды ЛенНИИЛХ. Вып. XII - Л., 1969. - С. 244-262
5. Доррер, Г. А. Динамика лесных пожаров. / Г. А. Доррер. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. - 404 с
6. Волчек, А.А. Нейросетевые средства прогнозирования для контроля паводка / А.А. Волчек // Материалы Международной научно-практической конференции

- «Обеспечение экологической безопасности — путь к устойчивому развитию Казахстана», 23–24 февраля 2010. / Тараз: «Сенім», 2010. – С. 83–16.
7. Чучуева, И.А. Прогнозирование временных рядов при помощи модели экстраполяции по выборке максимального подобия / И.А. Чучуева // Наука и современность: сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Новосибирск, 2010. – С. 187 – 192.
  8. Yaroslav Grebnev, Alexander Moskalev, Anatoliy Vershkov, Albina Gazizulina. The practice of connectionist model for predicting forest fires in the Arctic zones of the Krasnoyarsk Territory. International Journal of System Assurance Engineering and Management Int J Syst Assur Eng Manag.. 2019. P.1-9.
  9. Вержичинская С.В., Дигуров Н.Г., Синицин С.А. Химия и технология нефти и газа: учебное пособие. – 2-е изд. – М.: ФОРУМ, 2009. – 400с.
  10. Калинина Т.А. Химия нефти и газа: учебно-методический комплекс. – Москва: Проспект, 2017. – 200с.
  11. Нейроинформатика / А. Н. Горбань [и др.]. — Новосибирск: Наука, СО РАН, 1998. - 296 с
  12. Гребнев Я. В., Яровой А. В. Мониторинг и прогнозирование паводков на территории красноярского края использованием нейросетевых алгоритмов // сибирский пожарно-спасательный вестник. 2018. № 3 (10). С. 13-16.
  13. Автоматизированная система моделирования обстановки Toxu+risk. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://toxi.ru/>
  14. Python. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.python.org/>
  15. Методика определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах/ Министерства РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий. Москва 2009 г.
  16. РД 13.020.00-КТН-148-11 «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах»
  17. Приказ Ростехнадзора от 20.04.2015 № 158 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ».
  18. Методикой определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах/ Министерства РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий. Москва 2009 г.

#### **Информация об авторах**

А.К. Москалев - кандидат физико-математических наук

А.В. Антонов - кандидат технических наук

П.А. Осавелюк - кандидат технических наук

#### **Information about the author**

A.K. Moskalev - Ph.D. of Physico-mathematical Sciences

A.V. Antonov - Ph.D. of Engineering Sciences

P.A. Osaveluk - Ph.D. of Engineering Sciences

Статья поступила в редакция 24.02.2022; одобрена после рецензирования 04.03.2022; принята к публикации 21.03.2022.

The article was submitted 24.02.2022, approved after reviewing 04.03.2022, accepted for publication 21.03.2022.