



УДК 51-7:614.7  
ГРНТИ 87.24.35

## АГРЕГИРОВАННАЯ ОЦЕНКА МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА В СИСТЕМЕ СОЦИАЛЬНО- ГИГИЕНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*В.М. УМЫВАКИН, доктор географических наук  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)  
С.А. КУРОЛАП, доктор географических наук, профессор  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)  
Д.А. МАТВИЕЦ  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)  
А.В. ШВЕЦ  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье рассматривается методический аппарат квалиметрического моделирования нелинейных частных и квалиметрических оценок опасности загрязнения окружающей среды.

*Ключевые слова:* объект социально-гигиенического мониторинга; медико-экологический риск; частные абсолютные, относительные и интегральная квалиметрические оценки.

### THE AGGREGATED MEDICO-ENVIRONMENTAL RISK IN THE SYSTEM OF SOCIO-HYGIENIC MONITORING ASSESSMENT

*V.M. UMYVAKIN, Doctor of Geographical Sciences,  
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)  
D.A. MATVIEC  
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)  
A.V. SHVEC  
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

The article deals with nonlinear partial qualimetric modeling methodical apparatus and integral environmental pollution danger assessment.

*Keywords:* object of socio-hygienic monitoring, medico-ecological risk, partial absolute datum, relative and integral qualimetric assessments.

В Федеральном законе РФ от 30.03.1999 №52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» социально-гигиенический мониторинг определяется как «государственная система наблюдений за состоянием здоровья населения и среды обитания, их анализа, оценки и прогноза, а также определения причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и воздействием факторов среды обитания».

Актуальной проблемой системного анализа опасности экологической ситуации в изучаемом регионе является интегральная оценка риска ухудшения качества окружающей среды (ОС) и состояния здоровья населения. В ГОСТ Р 51897-2002 «Менеджмент риска. Термины и определения» понятие «риск» определяется как



«сочетание вероятности события и его последствий». Для оценки медико-экологического риска  $R^i$  для  $i$ -го объекта социально-гигиенического мониторинга (ОСГМ) может быть использована сводная формула типа «произведение»:

$$R^i = P^i \cdot U^i, \quad (1)$$

где  $P^i$  – вероятность (опасность) загрязнения ОС в результате хозяйственной и иной деятельности;  $U^i$  – конкретизированные негативные последствия загрязнения ОС в виде социально-экономического ущерба (в нашем случае, общей заболеваемости населения – числа случаев заболевания на 1000 человек).

Так как для оценки величины  $P^i$  во многих случаях отсутствует необходимая статистическая информация, то для ее измерения предлагается использовать квалиметрическую оценку опасности загрязнения ОС в категориях субъективной вероятности [1].

Пусть имеются  $N$  ОСГМ, экологическое состояние которых описывается  $m$  показателями качества ОС (первоначальный список анализируемых ОСГМ). Обозначим через  $y_j^i$  – значение  $j$ -го ПК для  $i$ -го ОСГМ,  $i=1,2,\dots,N$ ,  $j=1,2,\dots,m$ ;  $y_j^*$  – экологический норматив (предельно допустимое значение)  $j$ -го ПК для всех анализируемых ОСГМ.

Будем считать, что качество ОС по  $j$ -му ПК для  $i$ -го ОСГМ соответствует нормативным требованиям, если выполняется условие  $y_j^i \leq y_j^*$ . Один из ключевых этапов построения интегральной квалиметрической оценки опасности загрязненности (некачественности) ОС является выбор способа перехода от значений  $y_j^i$  и  $y_j^*$  к двум безразмерным величинам:

$\mu_j^i = \mu_j^i(y_j^i)$  – частной абсолютной оценке качества ОС по  $j$ -му ПК для  $i$ -го ОСГМ;

$\varepsilon_j = \varepsilon_j(y_j^*)$  – нормативному уровню, соответствующему предельно допустимому значению  $y_j^*$  по  $j$ -му ПК для всех ОСГМ.

Причем, преобразование ПК к безразмерному виду может осуществляться различными способами:

$$\mu_j^i = y_j^{\min} / y_j^i, \quad (2)$$

$$\mu_j^i = \left[ (y_j^{\max} - y_j^i) / (y_j^{\max} - y_j^{\min}) \right]^k, \quad (3)$$

где  $y_j^{\min}$ ,  $y_j^{\max}$  – соответственно минимальное и максимальное значения  $j$ -го ПК.

При  $k=1$  имеем линейное преобразование, при  $k \neq 1$  – нелинейное (рисунок 1).

Введенные в рассмотрение величины  $\mu_j$  и  $\varepsilon_j$  для  $j$ -го частного ПК в дальнейшем «объединяются» в  $j$ -й частной относительной квалиметрической оценке  $d_j^i$  опасности загрязненности (некачественности) ОС (рисунок 2) по следующей формуле [1-2]:

$$d_j^i = \frac{\varepsilon_j (1 - \mu_j^i)}{\mu_j^i (1 - \varepsilon_j)} \quad (4)$$

Вероятностное обоснование данной формулы приведено в работах [1-2].

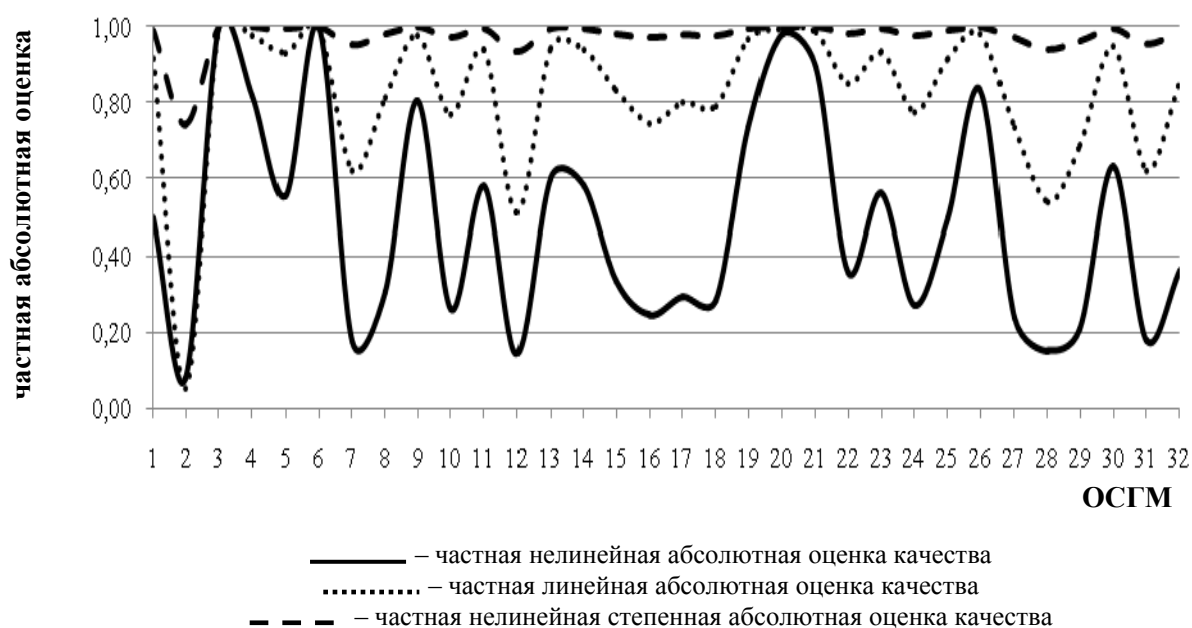


Рисунок 1 – Возможные варианты частной абсолютной оценки качества окружающей среды

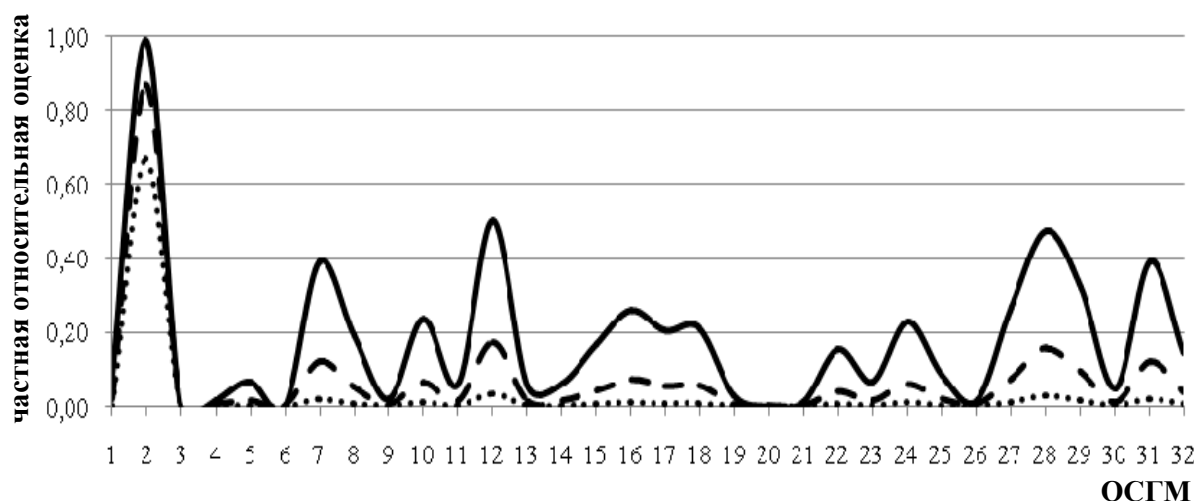


Рисунок 2 – Соответствующие варианты частной относительной квалиметрической оценки опасности загрязненности окружающей среды

Пусть:  $A$  – событие, состоящее в том, что не выполнено требование к интегральному качеству ОС;  $B_j$  – событие, состоящее в том, что не выполнено требование к качеству ОС по  $j$ -му ПК для всех ОСГМ;  $\overline{B}_j$  – противоположное событие. Тогда  $\mu_j = P(B_j | A)$  – вероятность некачественности ОС по  $j$ -му ПК всех ОСГМ при условии, что требования к интегральному качеству ОС не выполнены;  $\varepsilon_j = P(B_j)$  – вероятность некачественности ОС по  $j$ -му ПК всех ОСГМ;  $d_j = P(A | \overline{B}_j)$  – вероятность невыполнения требований к интегральному качеству ОС при условии, что требования к качеству ОС выполнены по  $j$ -му ПК.

Приведем геометрическую интерпретацию частных относительных оценок  $d_j^i$  [2]. Пусть на прямой дан отрезок  $AD$  с двумя внутренними точками  $B$  и  $C$  (рисунок 3).

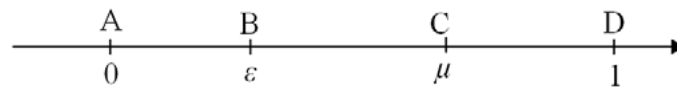


Рисунок 3 – Геометрическая интерпретация частных относительных квалиметрических оценок

Тогда из проективной геометрии известно двойное или ангармоническое отношение (отношение отношений)  $\delta$  четырех точек на прямой:

$$\delta = \frac{AB}{BD} : \frac{AC}{AD}.$$

Если перейти к внутренней координате отрезка:  $A \rightarrow 0, B \rightarrow \varepsilon, C \rightarrow \mu \geq \varepsilon$ , то получим

$$\delta = d = \frac{\varepsilon(1-\mu)}{\mu(1-\varepsilon)}.$$

Частные относительные квалиметрические оценки опасности загрязнения ОС агрегируются в интегральную квалиметрическую оценку. На практике в основном применяются интегральные оценки, являющиеся различного рода средневзвешенными величинами: средневзвешенной арифметической (аддитивной) и средневзвешенной геометрической (мультипликативной). Для интегральной квалиметрической оценки опасности загрязнения ОС предлагается использовать следующую формулу [1-2]:

$$d = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j)^{\lambda_j} \quad (5)$$

Можно получить интерпретацию величины  $d$  как вероятности  $P(A | \bar{B}_1 \bar{B}_2 \dots \bar{B}_m)$  вероятность невыполнения требований к интегральному качеству ОС при условии выполнения требований к частным качествам. Эта оценка является средней величиной по Коши [4], средневзвешенной квазигеометрической величиной в смысле ассоциативного среднего по А.Н. Колмогорову [1] и удовлетворяет существенному принципу «ограниченной компенсации», т.е. условию невозможности улучшения значений некоторых частных ПК, за счет компенсации сколь угодно большого снижения качества по другим частным показателям. При этом справедливо следующее соотношение [1]:

$$\left[ 1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j) \right] \geq \max_{j=1,2,\dots,m} d_j \geq \left[ 1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j)^{\nu_j} \right] \geq \sum_{j=1}^m \nu_j d_j \geq \prod_{j=1}^m d_j^{\nu_j} \geq \min_{j=1,2,\dots,m} d_j.$$

Таким образом, средневзвешенное квазигеометрическое является оценкой «сверху» для средневзвешенного арифметического и средневзвешенного геометрического (рисунок 4) и является неаддитивным обобщенным критерием, имеющим системный смысл («целое больше суммы частей его составляющих»).

Рассмотрим геометрическое представление интегральной квалиметрической оценки  $d^i$ . «Отрезок»  $\bar{d} = \lambda \otimes \bar{d}^1 \oplus (1 - \lambda) \otimes \bar{d}^2$  ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ), соединяющий две точки  $\bar{d}^1 = (d^1_1, d^1_2)$  и  $\bar{d}^2 = (d^2_1, d^2_2)$  в пространстве частных относительных оценок, показан на рисунке 5.

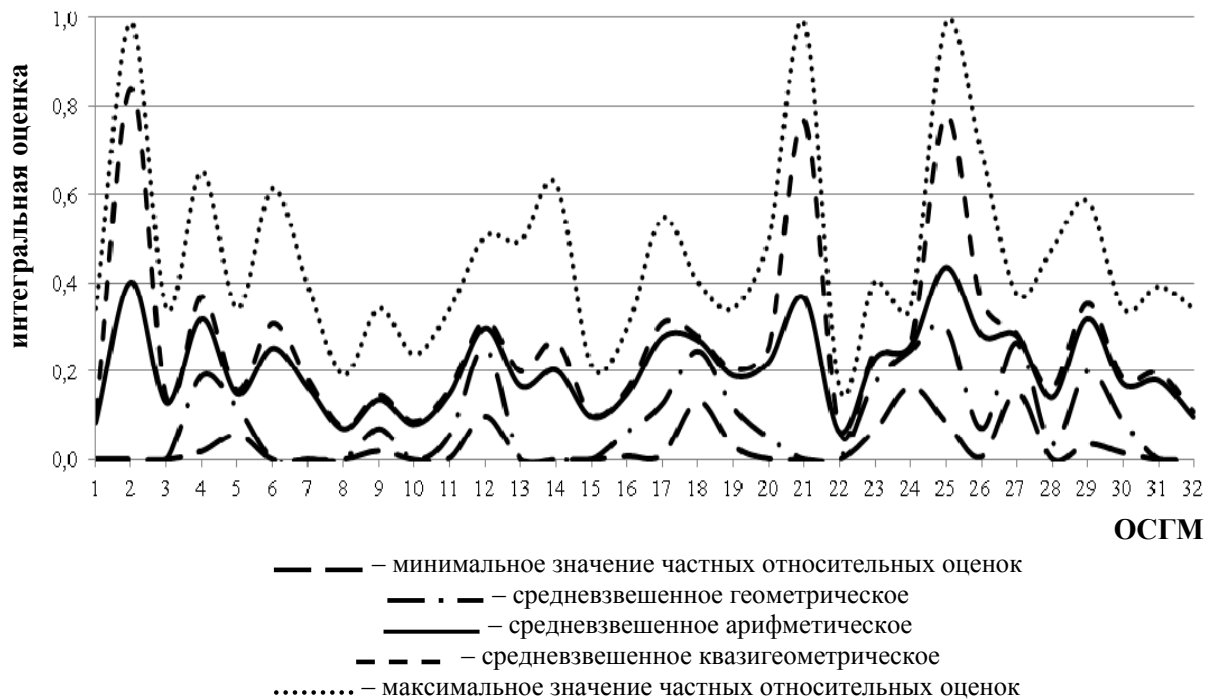


Рисунок 4 – Различные варианты интегральной квалиметрической оценки опасности загрязнения ОС

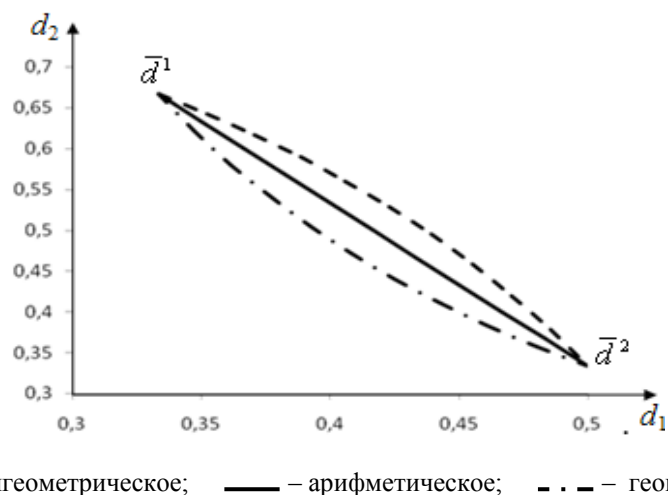


Рисунок 5 – Графическое представление средневзвешенных величин

Средневзвешенной арифметической величине соответствует отрезок прямой  $\bar{d}_a = \lambda \bar{d}^1 + (1 - \lambda) \bar{d}^2$ , а средневзвешенной геометрической – «отрезок»  $\bar{d}_g = (\bar{d}^1)^\lambda (\bar{d}^2)^{1-\lambda}$ . Подчеркнем, что с теоретико-информационной точки зрения число  $I_j = I_j(d_j) = -\ln(1 - d_j) = \ln[1 / (1 - d_j)]$  является мерой неопределенности информации (частной информационной оценкой) при вычислении энтропии опыта, т.к. оценка  $d_j$  имеет вероятностную интерпретацию.

Задача формирования интегральной квалиметрической оценки опасности загрязнения ОС может быть поставлена как детерминированная задача аппроксимации: найти точку  $d$  на отрезке  $[0, 1]$  – значение интегральной квалиметрической оценки, минимально удаленную по заданному правилу относительно точек  $d_1, d_2, \dots, d_m$  – значений частных относительных квалиметрических оценок [3]. Мера удаленности  $d$  относительно



$d_1, d_2, \dots, d_m$  (заданное правило) определяется как суммарное расстояние  $\rho(d, d_1, d_2, \dots, d_m)$   
 $= \sum_{j=1}^m \rho(d, d_j)$ , где  $\rho(d, d_j)$  – расстояние между точками  $d$  и  $d_j$ . Тогда

$$d = \arg \min_{d \in \Omega} \rho(d, d_1, \dots, d_m). \quad \text{При} \quad \rho = \sum_{j=1}^m \lambda_j (d_j - d)^2, \quad \rho = \sum_{j=1}^m \lambda_j (\ln d_j - \ln d)^2,$$

$\rho = \sum_{j=1}^m \lambda_j (\ln(1 - d_j) - \ln(1 - d))^2$  имеем соответственно средневзвешенное арифметическое, геометрическое и «квазигеометрическое».

Для содержательной интерпретации результатов моделирования данной оценки предлагается использовать модифицированную вербально-числовую шкалу Харрингтона [1] со следующими градациями: «очень низкий» (диапазон от 0,00 до 0,20); «низкий» (диапазон от 0,20 до 0,37); «средний» (диапазон от 0,37 до 0,63); «высокий» (диапазон от 0,63 до 0,80); «очень высокий» (диапазон от 0,80 до 1,00).

Под медико-экологическим риском  $R^i$  будем понимать количественную меру, учитывающую вероятность  $P^i = d^i$  ухудшения качества окружающей среды в результате хозяйственной и иной деятельности и конкретизированные негативные последствия ее проявления в виде социально-экономического ущерба  $U^i$ . Критерии  $U^i$  преобразуем к безразмерному виду:

$$U_n^i = (U^i - U^{min}) / (U^{max} - U^{min}), \quad (6)$$

где  $U_n^i$  – нормированное значение из интервала  $[0,1]$ ;  $U^{min}$  и  $U^{max}$  – соответственно минимальное и максимальное значения.

Это аналог функции «нежелательности» общего заболевания населения, позволяющий выделить пять градаций нормированного критерия  $U_n^i$  в вербально-числовой шкале Харрингтона.

Для анализа медико-экологического риска  $R^i$  как функции двух безразмерных критериев  $P^i$  и  $U_n^i$  будем использовать агрегированную оценку  $R_{скз}^i$  типа «средняя квазигеометрическая величина» [1]:

$$R_{скз}^i = 1 - (1 - P^i)^{0,5} (1 - U_n^i)^{0,5} \quad (7)$$

а для содержательной интерпретации уровня эколого-экономического риска – модифицированную шкалу Харрингтона со следующими тремя градациями: «низкий» (диапазон от 0,00 до 0,37); «средний» (диапазон от 0,37 до 0,63); «высокий» (диапазон от 0,63 до 1,00).

На рисунке 6 приведено визуальное представление медико-экологического риска ухудшения качества ОС и здоровья населения в результате хозяйственной и иной деятельности на территории 32 муниципальных районах Воронежской области.

Таким образом, неаддитивная интегральная квалиметрическая оценка опасности загрязнения ОС позволяет использовать ее для анализа проблемных медико-экологических ситуаций в категориях риска в системе социально-гигиенического мониторинга.



1 – низкий риск; 2 – средний риск; 3 – высокий риск

Рисунок 6 – Ранжирование муниципальных районов Воронежской области по уровню медико-экологического риска

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зибров Г.В., Умывакин В.М, Швец А.В. Квалиметрические модели вербально-числового анализа экологической опасности территорий природно-хозяйственных геосистем // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Системный анализ и информационные технологии. 2013. № 1. С. 112–118.
2. Каплинский А.И., Руссман И.Б., Умывакин В.М. Моделирование и алгоритмизация слабоформализованных задач выбора наилучших вариантов системы. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1991. 168 с.
3. Мысив В.В., Попело А.В., Проскурин Д.К. Принципы формирования обобщенных показателей свойств (качеств) объектов // Информатика: проблемы, методология, технологии : материалы XIII Междунар. науч.-метод. конф.; Воронеж, 7-8 февр. 2013г. / Воронеж. гос. ун-т. Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2013. Т.2. С. 398–402.

### REFERENCES

1. Zibrov G.V., Umyvakin V.M, Shvets A.V. Kvalimetricheskie modeli verbal'no-chislovogo analiza ekologicheskoi opasnosti territorii prirodno-khoziaistvennykh geo-sistem // Vestn. Voronezh. gos. un-ta. Ser.: Sistemyi analiz i informatsionnye tekh-nologii. 2013. № 1. S. 112–118.



2. Kaplinskii A.I., Russman I.B., Umyvakin V.M. Modelirovanie i algoritmi-zatsiia slaboformalizovannykh zadach vybora nailuchshikh variantov sistemy. Voronezh: Izd-vo Voronezh. gos. un-ta, 1991. 168 s.

3. Mysiv V.V., Popelo A.V., Proskurin D.K. Printsipy formirovaniia obobshchen-nykh pokazatelei svoistv (kachestv) ob"ektov // Informatika: problemy, metodologii, tekhnologii : materialy XIII Mezhdunar. nauch.-metod. konf.; Voronezh, 7-8 fevr. 2013g. / Voronezh. gos. un-t. Voronezh: IPTs VGU, 2013. T.2. S. 398–402.

© Умывакин В.М., Куролап С.А., Матвиец Д.А., Швец А.В., 2017

«Воздушно-космические силы. Теория и практика». Материал поступил в редколлегию 17.06.2017 г.

Умывакин Василий Митрофанович, доктор географических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Куролап Семен Александрович, доктор географических наук, профессор, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Матвиец Дмитрий Анатольевич, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Швец Алексей Владимирович, научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru