УДК 504.06:33

КВАЛИМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЕРБАЛЬНО-ЧИСЛОВОГО АНАЛИЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ

Г. В. Зибров*, В. М. Умывакин, А. В. Швец***

** ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»*
*** Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 13.03.2013 г.

Аннотация. В работе рассматриваются методологические, теоретические и прикладные вопросы построения квалиметрических моделей интегральной оценки природно-хозяйственных геосистем в рамках аксиоматического (нормативного) подхода к многокритериальным задачам принятия управленческих решений по устойчивому природопользованию.
Ключевые слова: природно-хозяйственная геосистема, экологическая опасность территорий, частная и интегральная квалитативные оценки.
Annotation. In article the methodological, theoretical and applied questions of creation of qualimetrical models of an integrated assessment of natural and economic geosystems within axiomatic (standard) approach to multicriteria problems of adoption of administrative decisions of steady environmental management are considered.
Keywords: natural and economic geosystem, ecological danger of territories, private and integrated kvalitativny assessments.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальной проблемой управления устойчивым (экологически сбалансированным) природопользованием является интегральная оценка качества (экологического состояния) территорий природно-хозяйственных геосистем (ПХГС). При этом качество территорий ПХГС, оцениваемое как относительно экологических требований (норм), так и с точки зрения их природно-хозяйственной ценности, рассматривается как иерархическая система частных свойств геосистемы.

На нижнем уровне иерархической структуры («дерева свойств») качество территорий описывается определенным набором природно-хозяйственных показателей – частных показателей качества (ПК).

Для геосистемного анализа проблем устойчивого природопользования на основе квалиметрического подхода предлагается использовать модели и методы неаддитивной интегральной оценки некачественности ПХГС. Эту оценку в дальнейшем будем называть квалитативной оценкой и использовать ее для измерения экологической опасности территорий. Далее под экологической опасностью понимается возможность (в частности, вероятность) потери качества территорий ПХГС в результате хозяйственной деятельности.

Для интегральной оценки (измерения) качества/некачественности ПХГС, должна быть выработана некоторая квалиметрическая шкала «сводной сравнительной оценки». Очевидно, что для квалифицированного ранжирования ПХГС достаточно использовать оценки, измеренные в порядковой шкале. Отметим существенное для целей системных эколого-географических исследований усиление порядковой шкалы – шкалу баллов. С помощью баллов можно изображать пропущенные ранговые позиции. Это делает шкалу баллов (внутри шкал порядкового типа) более сильной, чем ранговая. Подчеркнем, что если даже частные ПК измерены в количественной шкале, то общее суждение о качестве ПХГС обычно имеет лишь порядковый характер. Так, можно точно определить число анализируемых геосистем (произвести замеры в абсолютной шкале) и их площадь (произвести измерения в шкале отношений), но общий уровень их ценности (например, экологической), очевидно, будет лишь ранговой оценкой. Это позволяет получить сводные (агрегированные) результаты измерения (интегральные оценки) в определенной порядковой шкале.

Отметим, что регулярный способ перехода от количественных шкал к ранговой шкале связан с употреблением терминов нормативной оценки – *большая, малая, средняя величина*, соотносящих значение ПК с заранее определенной нормой.

Таким образом, для выбора наиболее предпочтительных экологических состояний геосистем достаточно иметь интегральную квалитативную оценку, измеримую в порядковой шкале.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КВАЛИТАТИВНЫХ ОЦЕНОК ГЕОСИСТЕМ

В квалиметрии [1] в основном используются следующие интегральные оценки качества сложных систем типа средних величин (таблица 1): аддитивная (средневзвешенная арифметическая) и мультипликативная (средневзвешенная геометрическая).

В таблице 1 через d_j обозначена квалитативная оценка ПХГС по j-му частному ПК. Их весовые коэффициенты λ_j удовлетворяют условию:

$$\sum_{j=1}^{m} \lambda_j = 1,\ \lambda_j \geq 0,\ j = 1, 2,..., m; \qquad (1)$$

Например, в работе [1] оценками d_j являются нелинейные функции «желательности» Харрингтона: $d_j(z_j) = [\exp(-\exp(-z_j))]$, где z_j – нормированное значение j-го ПК, exp – экспоненциальная функция.

Отметим, что аддитивные интегральные оценки и мультипликативные интегральные оценки типа средневзвешенного геометрического не удовлетворяют существенному свойству «ограниченной компенсации», т.е. условию невозможности улучшения значений некоторых частных оценок за счет компенсации сколь угодно большого снижения качества по другим частным оценкам.

Рассмотрим ситуацию, когда качество территорий ПХГС в многокритериальных задачах принятия управленческих решений по устойчивому природопользованию характеризуется только двумя частными ПК – y_1 и y_2. Пусть d_1 и d_2 – соответствующие частные относительные оценки качества (частные квалитативные оценки) по этим ПК, а $d = d(d_1,d_2)$ – интегральная квалитативная оценка, которая рассматривается как результат некоторой операции над частными квалитативными оценками ПХГС. Основные априорные требования (аксиомы), лежащие в основе аксиоматического подхода к построению нелинейной (неаддитивной) интегральной оценки [3], приведены в таблице 3.

В таблице 4 указан возможный вид ассоциативных интегральных квалитативных оценок в зависимости от предъявляемых аксиом. В дальнейшем основное внимание уделяется интегральной квалитативной оценке ПХГС типа «общая трудность достижения целей» [3]:

$$\begin{aligned} D = d_1 \oplus d_2 = d_1 + d_2 - d_1 \\ d_2 = 1 - (1 - d_1)(1 - d_2). \end{aligned} \qquad (2)$$

Данная оценка используется для измерения экологической опасности территорий ПХГС и удовлетворяет набору содержательных требований геоэкологической квалиметрии [4].

Таблица 1

Виды средневзвешенных величин – интегральных оценок качества ПХГС

Вид среднего взвешенного	Формула	Функция $\varphi\ (d_j)$	Функция $\varphi^{-1}\ (d_j)$	Шкала с допустимой средней величиной
порядковые статистики	$\min\{d_1,...,d_m\}$, $\max\{d_1,...,d_m\}$	–	–	порядковая [2]
квазигеометрическое	$d = 1 - \prod_{j=1}^{m}(1-d_j)^{\lambda_j}$	$\varphi\ (d_j) = -\ln(1-d_j)$	$\varphi^{-1}\ (d_j) = 1-\exp(-d_j)$	вербально-числовая
арифметическое	$d_m = \sum_{j=1}^{m}\lambda_j d_j$	$\varphi\ (d_j) = d_j$	$\varphi^{-1}\ (d_j) = d_j$	интервальная [2]
геометрическое	$d_g = \prod_{j=1}^{m} d_j^{\lambda_j}$	$\varphi\ (d_j) = \ln(d_j)$	$\varphi^{-1}\ (d_j) = \exp(d_j)$	отношений [2]

Примечание: действительные числа d_j принимают значения из интервала (0, 1).

Таблица 3

Требования к интегральной квалитативной оценке

№ п/п	Аксиома	Формула	Комментарий
1	Коммутативность (равноценность)	$d(d_1,d_2) = d(d_2,d_1)$	Одинаковая важность частных оценок d_1 и d_2
2	Ассоциативность (иерархическая одноуровненность)	$d(d(d_1,d_2),d_3) = d(d_1,d(d_2,d_3))$	Агрегируются лишь частные оценки d_j, принадлежащие одному уровню дерева свойств
3	Гладкость	$d(d_1,d_2)$ – многочлен	Это требование непрерывной зависимости интегральной оценки от частных оценок
4	Ограниченность	$0 \le d(d_1,d_2) \le 1$ при $0 \le d_1, d_2 \le 1$	В квалиметрии [1] задаются границы интервала изменения частных и интегральной оценок
5	Нейтральность	$d(d_1,0) = d_1$, $d(0,d_2) = d_2$; $d(0,0) = 0$, $d(1,1) = 1$	Интегральная оценка совпадает с одной из частных оценок, когда другая оценка принимает минимальное значение

Таблица 4

Основные виды ассоциативных интегральных квалитативных оценок

Аксиомы: коммутативность	Аксиомы: гладкость	Аксиомы: ограниченность	Аксиомы: нейтральность	Вид интегральной оценки $d(d_1,d_2)$	Комментарии
+	–	–	–	$\varphi^{-1}(\varphi(d_1) + \varphi(d_2))$	φ – произвольная строго монотонная функция. Например, при $\varphi(x) = x$ и $\varphi(x) = \ln(x)$ имеем аддитивную и мультипликативную интегральные оценки
+	–	–	+	$\varphi^{-1}(\varphi(d_1) + \varphi(d_2))$	φ – монотонная непрерывная функция. Из аксиомы нейтральности следует: $\varphi(d_1^{\min}) = \varphi(d_2^{\min}) = 0$
+	+	–	–	1) c; 2) d_1+d_2+c; 3) $a(d_1+d_2)+bd_1d_2+a(a-1)/b$	$a, b \ne 0$, c – произвольные константы
+	+	+	–	1) $d_1+d_2-d_1d_2$ 2) d_1d_2	Оценки d_1, d_2 и d принимают значения из интервала [0, 1]. Интегральная оценка 1) имеет смысл трудности достижения цели (риска недостижения качества) системы
+	+	+	+	$d_1+d_2-d_1d_2$	Аналог формулы вероятности суммы двух совместных независимых событий

ЧАСТНЫЕ КВАЛИТАТИВНЫЕ ОЦЕНКИ ГЕОСИСТЕМ

Для построения интегральной квалитативной оценки d нужно иметь частные относительные квалитативные оценки d_j ПХГС по j-му ПК, $j = 1,2,...,m$. Обозначим через y_j^i – значение j-го ПК для i-й геосистемы, а через y_j^* – пороговое (предельно-допустимое) значение, отражающее нормативное требование к качеству ПХГС по j-му ПК. Поставим им в соответствие две безразмерные величины, принимающие значения из интервала [0,1]: $\mu_j^i = \mu_j(y_j^i)$ – абсолютную частную оценку качества и $\varepsilon_j = \varepsilon_j(y_j^*)$ – соответствующий нормативный уровень по j-му ПК. Будем считать, что требование к качеству ПХГС по j-му ПК выполнено, если $\mu_j^i \ge \varepsilon_j$. При этом частная квалитативная оценка d_j (оценка некачественности, деградации, экологической опасности территорий) ПХГС, как функция величин ε_j и μ_j, должна удовлетворять следующим условиям: 1) $0 \le d_j \le 1$ при $\mu_j \ge \varepsilon_j$; 2) $d_j = 0$ при $\varepsilon_j = 0$, $\mu_j > 0$ (оценка минимальна, если нет никаких требований к качеству); 3) $d_j = 0$ при $\mu_j = 1$ и $\mu_j > \varepsilon_j$ (оценка минимальна при «идеальном» качестве независимо от требований); 4) $d_j = 1$ при $\mu_j = \varepsilon_j \neq 0$ (оценка максимальна при предельно низком допустимом качестве).

В работах [3, 5] показано, что при $\mu_j \geq \varepsilon_j$ условиям 1)–4) удовлетворяет частная квалитативная оценка d_j вида:

$$d_j = [\,\varepsilon_j\,(1 - \mu_j\,)]/[\,\mu_j\,(1 - \varepsilon_j\,)]. \qquad (3)$$

При этом, оценку d_j можно интерпретировать как вероятность $P(\,A \mid \bar{B}_j\,)$ события A, состоящего в том, что не выполнено требование к интегральному качеству ПХГС, при условии, что выполняется событие $\bar{B}_j$, состоящее в том, что требование к качеству ПХГС по j-му ПК выполнено.

В общем случае интегральная квалитативная оценка ПХГС имеет следующую структуру:

$$d = 1 - \prod_{j=1}^{m}(1 - d_j). \qquad (4)$$

Можно получить интерпретацию величины d (общей экологической опасности территорий) как вероятности $P(\,A \mid \bar{B}_1\bar{B}_2...\bar{B}_m\,)$ недостижения требуемого интегрального качества ПХГС при условии выполнения всех событий $\bar{B}_j$.

Опишем проблему оценки качества ПХГС на языке теории нечетких множеств. Рассмотрим две величины: 1) $\mu = \mu_F(\omega)$ – абсолютную частную оценку качества ПХГС, где $\mu_F(\omega)$ – функция принадлежности состояния геосистемы ω к нечеткому множеству F; 2) ε – нормативный (пороговый) уровень качества, позволяющий оценить возможность достижения требуемого качества ПХГС, когда $\mu_F(\omega) \geq \varepsilon$ $(0 \leq \mu, \varepsilon \leq 1)$. Следовательно, можно однозначно выделить класс геосистем $F_\varepsilon = \{\omega \mid \mu_F(\omega) \geq \varepsilon\}$, который является множеством в классическом смысле и называется множеством ε – уровня нечеткого множества F. Аналогичным образом можно описать и процесс достижения цели ПХГС: цель считается достигнутой, если выполнены нормативные требования к качеству результата функционирования системы [5]. Введенные в рассмотрение величины μ_j и ε_j для j-го частного ПК системы в дальнейшем «объединяются» в j-й частной относительной квалитативной оценке (3).

Подчеркнем, что квалитативная оценка геосистем вида (4) удовлетворяет теореме «о хрупкости хорошего» в теории катастроф, согласно которой «...для системы, принадлежащей особой части границы устойчивости, при малом изменении параметров более вероятно попадание в область неустойчивости, чем в область устойчивости. Это проявление общего принципа, согласно которому всё хорошее (например, устойчивость) более хрупко, чем плохое» [6, с. 31–32]. В геоэкологии используется аналогичный принцип лимитирующего фактора. Таким образом, любая геосистема может считаться «хорошей», если она удовлетворяет определенному набору требований, но должна быть признана «плохой», если не выполняется хотя бы одно из них. При этом, все «хорошее», например, экологическая безопасность территорий, более хрупко. Утратить ее легко, а восстановить трудно.

ВЫРАВНИВАНИЕ НЕРАВНОЦЕННОСТИ ЧАСТНЫХ КВАЛИТАТИВНЫХ ОЦЕНОК С ПОМОЩЬЮ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Операцию, задаваемую функцией вида (2), будем называть обобщенным сложением (квазисложением). Эта операция обладает всеми свойствами обычной операции сложения. Можно показать [3], что операция обобщенного умножения на произвольное неотрицательное число λ, которую обозначим символом $\otimes$, может быть введена в форме

$$\lambda_j \otimes d_j = 1 - (1 - d_j)^{\lambda_j}. \qquad (5)$$

Данная операция согласована с операцией квазисложения и удовлетворяет соотношениям вида:

$$1 \otimes d_j = d_j,$$
$$\lambda_0 \otimes (d_1 \oplus d_2) = \lambda_0 \otimes d_1 \oplus \lambda_0 \otimes d_2,$$
$$(\lambda_1 \oplus \lambda_2) \otimes d_j = \lambda_1 \otimes d_j \oplus \lambda_2 \otimes d_j.$$

Подчеркнем, что формула интегральной квалитативной оценки (5) получена в предположении коммутативности (равноценности) и ассоциативности (иерархической одноуровненности) частных оценок. Использование весовых коэффициентов λ_j для «выравнивания» значимости частных квалитативных оценок d_j само по себе противоречиво. Дело в том, что аксиома коммутативности уже предполагает равноценность этих оценок. Такого рода «равноправность» достигается единым способом измерения частных абсолютных оценок качества μ_j и нормативных уровней ε_j. Поэтому некоммутативная аддитивная линейная свертка оценок d_1 и d_2

вида $\lambda_1 d_1 + \lambda_2 d_2$ становится коммутативной для величин $d_1' = \lambda_1 d_1$ и $d_2' = \lambda_2 d_2$. Рассмотрим конкретные способы «выравнивания» частных оценок d_j. Из формул (3) и (5) для $\lambda_j > 0$ имеем:

$$\begin{gathered}[\varepsilon_j'(1-\mu_j')]/[\mu_j'(1-\varepsilon_j')] = \\ = (\varepsilon_j'/\mu_j' - \varepsilon_j')/(1-\varepsilon_j') = \\ = d_j' = \lambda_j \otimes d_j = 1-(1-d_j)^{\lambda_j}.\end{gathered}$$

Покажем, что здесь $\varepsilon_j' = 1-(1-\varepsilon_j)^{\lambda_j}$, $\mu_j' = [1-(1-\varepsilon_j)^{\lambda_j}]/[1-(1-\varepsilon_j/\mu_j)^{\lambda_j}]$.

Действительно,

$$\begin{gathered}d_j' = [1-(1-\varepsilon_j/\mu_j)^{\lambda_j} - \\ -1+(1-\varepsilon_j)]/(1-\varepsilon_j)^{\lambda_j} = \\ = 1-[(1-\varepsilon_j/\mu_j)/(1-\varepsilon_j)]^{\lambda_j} = \\ = 1-[(1-d_j)]^{\lambda_j}.\end{gathered}$$

Таким образом, в общем случае интегральной квалитативной оценке типа «общий риск недостижения требуемого качества» ПХГС соответствует квалиметрическая модель вида:

$$d = 1-\prod_{j=1}^{m}(1-d_j)^{\lambda_j} \tag{6}$$

где λ_j – весовые коэффициенты частных квалитативных оценок d_j, удовлетворяющие условию (1).

ИНТЕГРАЛЬНАЯ КВАЛИТАТИВНАЯ ОЦЕНКА ГЕОСИСТЕМ В КЛАССЕ СРЕДНЕВЗВЕШЕННЫХ ВЕЛИЧИН

Покажем, что интегральная квалитативная оценка d является средневзвешенным «квазигеометрическим» в смысле ассоциативного среднего по А. Н. Колмогорову [2]. Ассоциативное среднее для действительных чисел $d_1, d_2, \dots, d_m$ вычисляется по формуле:

$$\begin{gathered}f(d_1, d_2, \dots, d_m) = \\ = \varphi^{-1}\left(\frac{1}{m}\varphi(d_1) + \frac{1}{m}\varphi(d_2) + \dots + \frac{1}{m}\varphi(d_m)\right),\end{gathered}$$

где φ – непрерывная строго монотонная функция, а φ^{-1} – функция, обратная к ней.

Средневзвешенное для действительных чисел $d_1, d_2, \dots, d_m$ – это величина вида $f(d_1, d_2, \dots, d_m) = \varphi^{-1}\left(\lambda_1\varphi(d_1) + \lambda_2\varphi(d_2) + \dots + \lambda_m\varphi(d_m)\right)$, где весовые коэффициенты λ_j удовлетворяют условию (1). При $\varphi(d_j) = d_j$, $\varphi(d_j) = \ln(d_j)$, $\varphi(d_j) = -\ln(1-d_j)$ имеем средневзвешенное арифметическое, геометрическое и «квазигеометрическое» соответственно (таблицу 4). В то же время средняя квазигеометрическая величина d в формуле (4) не является средней величиной по Коши [2], т.е. не удовлетворяет условию $\min(d_1, d_2) \le d \le \max(d_1, d_2)$.

При этом средневзвешенное квазигеометрическое d в формуле (6) есть среднее по Коши. Также можно показать, что имеет место неравенство:

$$\left[1-\prod_{j=1}^{m}(1-d_j)^{\lambda_j}\right] \ge \sum_{j=1}^{m}\lambda_j d_j \ge \prod_{j=1}^{m} d_j^{\lambda_j}.$$

Таким образом, средневзвешенное квазигеометрическое является оценкой сверху для средневзвешенного арифметического и средневзвешенного геометрического. При этом для частных квалитативных оценок d_j ПХГС все средневзвешенные величины (интегральные квалитативные оценки) принимают значения из интервала [0, 1]. Чем меньше значение средневзвешенного квазигеометрического (интегральной квалитативной оценки ПХГС), тем ниже общая экологическая опасность территорий.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ И ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ КВАЛИТАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ГЕОСИСТЕМ

Приведем геометрическую интерпретацию интегральных квалитативных оценок. «Отрезок» $\bar{d} = \lambda \otimes \bar{d}^1 \oplus (1-\lambda) \otimes \bar{d}^2$ $(0 \le \lambda \le 1)$, 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 квалитативных оценок, показан на рисунке 1.

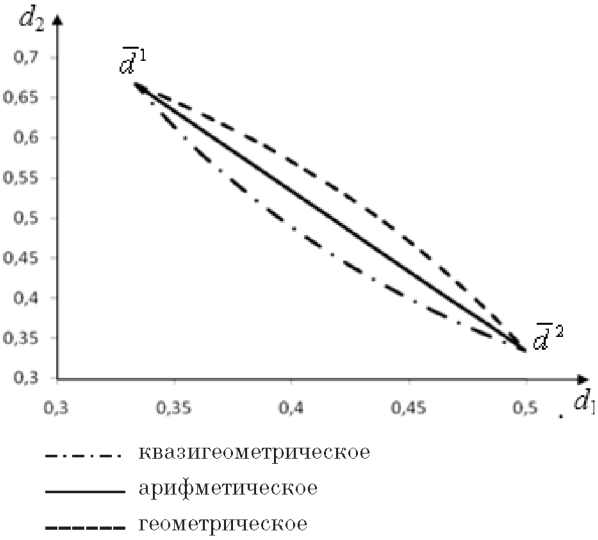


Рис. 1. Графическое представление средневзвешенных величин

Средневзвешенной арифметической величине соответствует отрезок прямой $\bar{d}_a = \lambda \bar{d}^1 + (1-\lambda)\bar{d}^2$, а средневзвешенной геометрической – «отрезок» $\bar{d}_g = \left(\bar{d}^1\right)^{\lambda}\left(\bar{d}^2\right)^{1-\lambda}$. Подчеркнем, что с теоретико-информационной точки зрения [3] 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. Данная оценка позволяет измерять условную вероятность события, состоящего в том, что требование к интегральному качеству ПХГС не выполняется при выполнении требований к ее качеству по j-му частному ПК. При этом интегральная информационная оценка $I = I(d) = \ln[1/(1-d)] = \sum_{j=1}^{m} \lambda_j I_j$ есть средневзвешенная арифметическая величина, которая является функцией средневзвешенного «квазигеометрического» – интегральной квалитативной оценки d, соответствующей формуле (6). Можно показать, что величина $I = -\ln(1-d)$ является «квазисредней» величиной – длиной в натурально-логарифмической шкале $[0, \infty)$, обеспечивающей минимум «квазидисперсии»

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} \lambda_j \left(\ln\frac{1}{1-d_j} - \ln\frac{1}{1-d} \right)^2 = \sum_{j=1}^{m} \lambda_j \left[\ln(1-d_j) - \ln(1-d)\right]^2.$$

В квалиметрической практике, как правило, частная квалитативная оценка d_j и частная информационная оценка I_j устроены так, что «улучшение» качества системы совпадает с увеличением значений d_j и I_j. Рассмотрим величину d_e такую, что:

$$\bar{I}_j = \ln\frac{1}{1-d_e} - \ln\frac{1}{1-d_j} = \ln\frac{1-d_j}{1-d_e} = \ln\frac{1}{1-d_e} - I_j.$$

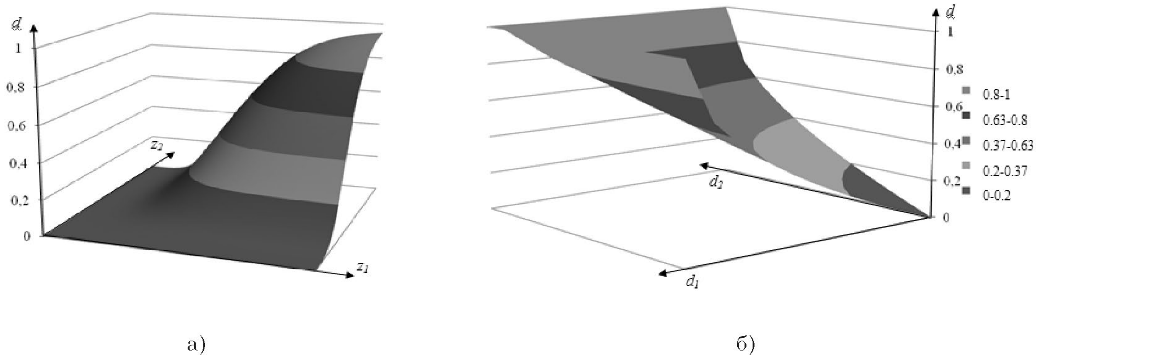
Если за d_e взять величину $d_e = 1 - 1/e \approx 0.63$, то $\ln[1/(1-d_e)] = 1$, а $\bar{I}_j = 1 + \ln(1-d_j)$ и

$$\bar{I} = \sum_{j=1}^{m} \lambda_j + \sum_{j=1}^{m} \lambda_j \ln(1-d_j) = 1 - \sum_{j=1}^{m} \lambda_j \ln\frac{1}{1-d_j} = 1 - \sum_{j=1}^{m} \lambda_j I_j = 1 - I.$$

Отметим, что в работе [7] показано, что в алгебре оценок качества (оценок трудности достижения целей) величина $d_e = 1 - 1/e \approx 0.63$ является единичным элементом.

Для содержательной интерпретации квалитативных оценок ПХГС в работе [4] предлагается использовать особый тип порядковой шкалы – зеркальную вербально-числовую шкалу Харрингтона [1], для которой величина $d_e = 1 - 1/e \approx 0.63$ является особой точкой – точкой перехода геосистемы в «некачественное» состояние (таблица 5).

На рисунке 2 дано графическое представление интегральной оценки эрозионной опасности территорий бассейновых геосистем (речных водосборов) Воронежской области [8].



а) б)

Рис. 2. Визуальное представление интегральной оценки эрозионной деградации территорий речных водосборов Воронежской области в шкале Харрингтона: а) z_1 – нормированный показатель y_1 «смытость почв с площади с.-х. угодий»; z_2 – нормированный показатель y_2 «густота овражно-балочной сети»; б) d_1 – частная оценка по показателю «смытость почв с площади с.-х. угодий»; d_2 – частная оценка по показателю «густота овражно-балочной сети»

Таблица 5

Степень экологической опасности территорий по шкале Харрингтона

Ранг	Содержательное описание градаций	Численное значение
1	очень высокая	(0.8, 1)
2	высокая	(0.63, 0.8]
3	средняя	(0.37, 0.63]
4	низкая	(0.2, 0.37]
5	очень низкая	(0, 0.2]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предлагается научно-методический аппарат квалиметрического подхода к построению неаддитивной интегральной оценки экологической опасности территорий ПХГС, которая является средневзвешенной «квазигеометрической» величиной. Методика построения данной оценки характеризуется оригинальным способом формирования нелинейных (неаддитивных) частных и интегральной оценок, имеющих вероятностный смысл, что позволяет квалифицированно измерять и содержательно интерпретировать общую экологическую опасность территорий ПХГС в универсальной вербально-числовой шкале Харрингтона.

Интегральная оценка экологической опасности территорий ПХГС отличается от аналогов тем, что: 1) позволяет измерять степень несоответствия экологического состояния территорий нормативным требованиям к их качеству; 2) требования к качеству ПХГС задаются в виде нормативных уровней – нижних предельно-допустимых значений по каждому ПК в отдельности; 4) частные показатели качества ПХГС могут быть измерены в различных шкалах (шкале отношений, в порядковой шкале, в виде балльных оценок); 5) возможен учет неравноценности частных оценок качества ПХГС на основе определения их весовых коэффициентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азгальдов Г.Г.* О квалиметрии / Г. Г. Азгальдов, Э. П. Райхман. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 172 с.

2. *Орлов А.И.* Нечисловая статистика / А. И. Орлов. – М.: МЗ-Пресс, 2004. – 513 с.

3. *Каплинский А.И.* Моделирование и алгоритмизация слабоформализованных задач выбора наилучших вариантов систем / А. И. Каплинский, И. Б. Руссман, В. М. Умывакин; под ред. Я. З. Цыпкина. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1991. – 168 с.

4. *Зибров Г.В.* Геоэкологическая квалиметрия природно-хозяйственных территориальных систем / Г. В. Зибров, В. М. Умывакин, Д. А. Матвиец // Экологические системы и приборы. – 2011. – № 5. – С. 3–9.

5. *Леденева Т.М.* Моделирование процесса агрегирования информации в целенаправленных системах / Т. М. Леденева. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 1999. – 155 с.

6. *Арнольд В.И.* Теория катастроф / В. И. Арнольд. – М.: Наука, 1990. – 128 с.

7. *Баева Н.Б.* Обобщение методов построения интегральных оценок качества на основе теории трудности достижения цели / Н. Б. Баева, Е. В. Куркин // Вестник ВГУ. Серия «Системный анализ и информационные технологии». – 2011. – № 1. – С. 84–92.

8. *Умывакин В.М.* Геосистемный анализ эрозионно-экологической ситуации на территории речных водосборов для управления устойчивым природопользованием / В. М. Умывакин, А. В. Пахмелкин, Д. А. Иванов // Тр. науч.-исслед. ин-та геологии Воронеж. гос. ун-та. Вып. 67. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2012. – 81 с.

Зибров Г. В. – начальник ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) доктор педагогических наук, профессор

Zibrov G. V. – a chief, doctor of the pedagogical sciences, professor. Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E.Zhukovsky and Y. A.Gagarin» (Voronezh)

Умывакин В. М. – профессор, доктор географических наук, доцент. Воронежский государственный университет. E-mail: umyvakin@mail.ru

Umyvakin V. M. – a professor, doctor of the geographical sciences. Voronezh State University. E-mail: umyvakin@mail.ru

Швец А. В. – младший научный сотрудник Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж). E-mail: shvets-av@mail.ru

Shvets A. V. – a younger scientific employer. Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E.Zhukovsky and Y.A.Gagarin» (Voronezh). E-mail: shvets-av@mail.ru