

## ТИПОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АНТРОПОГЕННО- ИЗМЕНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Г. В. Зибров, В. М. Умывакин, А. И. Сумин, А. В. Пахмелкин

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Россия  
Воронежский государственный университет, Россия*

*Поступила в редакцию 22 октября 2014 г.*

**Аннотация:** В статье предлагается методический подход к построению уравнений типологической регрессии (дискретно-непрерывных моделей) природно-хозяйственных показателей геообъектов для статистического анализа и прогноза экологического состояния антропогенно-измененных территорий и медико-экологической ситуации в муниципальных районах Воронежской области.

**Ключевые слова:** антропогенно-измененная территория, геоэкологическое состояние, природно-хозяйственный показатель, типологическая регрессия, дискретно-непрерывная модель

**Abstract:** The article proposes a methodical approach to constructing the equations of typological regression (discrete-continuous models) of natural and economic indicators of geoobjects for statistical analysis and forecasting of the ecological state of anthropogenically modified territories and the medical and ecological situation in the municipal districts of the Voronezh Region.

**Key words:** anthropogenically modified territory, geoeological state, natural and economic indicator, typological regression, discrete-continuous model.

Современная напряженная геоэкологическая ситуация в Воронежской области, связанная с техногенным загрязнением и деградацией среды обитания, значительно затрудняет практическую реализацию стратегии рационального природопользования.

В Воронежском регионе в результате хозяйственной и иной деятельности возрастает воздействие на земельные ресурсы – усиливается развитие эрозионных процессов, происходит засоление и заболачивание земель, загрязнение и деградация черноземных почв, уменьшение запасов гумуса. Все это приводит к снижению плодородия почв, урожайности и качества сельскохозяйственной продукции [7]. Поэтому необходимо проведение эколого-географических исследований эрозионной деградации земель речных водосборов.

Не менее актуальной задачей является анализ и оценка медико-экологической ситуации в муниципальных районах Воронежской области, результаты которого используются для экологического контроля, мониторинга, гигиенической профилак-

тики социально-значимых заболеваний и обеспечения экологической безопасности населения в условиях повышенной техногенной нагрузки на среду обитания [6].

В статье рассматриваются примеры применения оригинальных моделей и методов корреляционно-регрессионного анализа для целей прогнозирования экологического состояния антропогенно-измененных территорий различных природно-хозяйственных геообъектов.

### **Методические основы построения дискретно-непрерывных моделей показателей качества окружающей среды**

Для оценки геоэкологического состояния антропогенно-измененных территорий широко применяются методы анализа многомерных природно-хозяйственных данных (методы корреляционно-регрессионного анализа, многомерной классификации, факторного анализа и другие) [2, 3]. Для повышения эффективности моделирования статистических взаимосвязей показателей экологического состояния геообъектов (например, речных водосборов) предлагается методический подход, основанный на комплексировании процедур классифи-

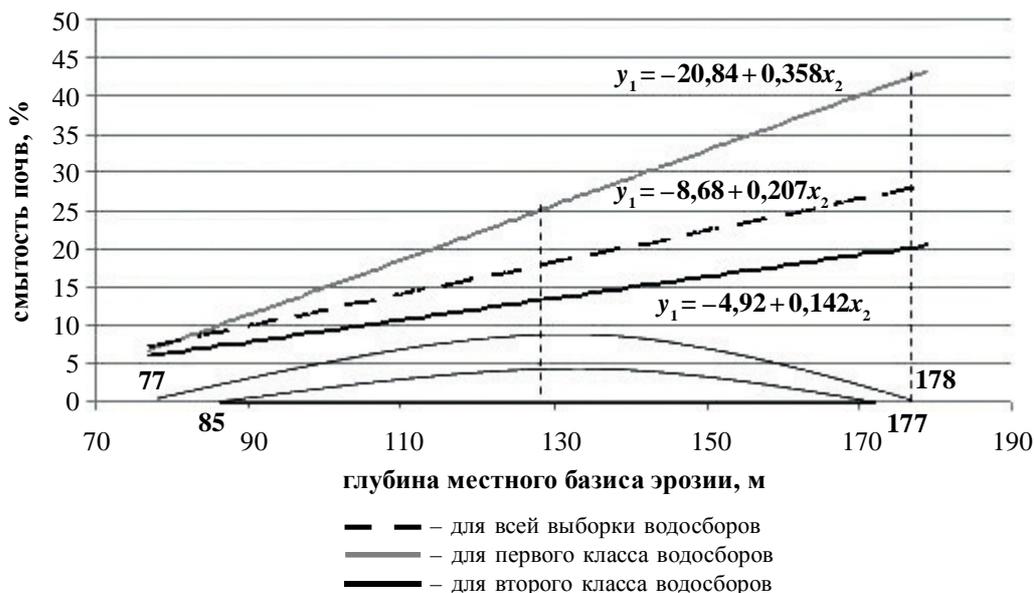


Рис. 1. Графики регрессионных зависимостей критерия «смытость почв с площади сельскохозяйственных угодий» от параметра «глубина местного базиса эрозии» для речных водосборов Воронежской области

кации и корреляционно-регрессионного анализа. Следует отметить, что основная роль методов классификации заключается в том, что их применение позволяет получить однородные классы геообъектов, «центрами» которых являются различные уравнения регрессии (рис. 1). При этом повышается качество (достоверность) регрессионных моделей.

Совместное применение методов классификации (типизации) и корреляционно-регрессионного анализа называют методом дискретно-непрерывного моделирования показателей [8], а комплекс регрессионных моделей для всех классов (типов) – дискретно-непрерывной моделью (ДНМ) показателей. В работе О.В. Азаряна [1] построение дискретно-непрерывных моделей называется типологическим регрессионным анализом.

Рассмотрим методические подходы к построению ДНМ показателей экологического состояния антропогенно-измененных территорий. Первый подход, предложенный Б.Б. Розиным [8], заключается в первоначальном выделении (например, с помощью методов многомерной классификации [1]) по некоторым показателям однородных классов геообъектов, для которых затем строятся регрессионные уравнения [3]. Они должны существенно отличаться друг от друга.

Как правило, ставится цель построения ДНМ с линейными уравнениями регрессии (это наиболее распространенная постановка задачи).

В работе [8] задачу построения ДНМ (моделей типологической регрессии) показателей предлагается решать в рамках следующей схемы:

- 1) обоснование гипотезы о неоднородности совокупности анализируемых геообъектов и целесообразности использования дискретно-непрерывной модели;
- 2) построение дискретной части модели, включающее выбор способа классификации и набора показателей, по которым должно производиться разбиение совокупности на однородные классы, формирование математического описания классов и правила отнесения нового геообъекта к той или иной группе, оценку точности классификации;
- 3) построение непрерывной части модели, включающее все операции, присущие корреляционно-регрессионному анализу, но выполняемые для каждого класса геообъектов в отдельности;
- 4) оценка аппроксимирующей способности модели.

После того, как набор показателей экологического состояния для классификации геообъектов сформирован, можно переходить к выбору способа разбиения совокупности геообъектов на классы. Следует различать два принципиально различных способа классификации: метод последовательных логических делений по каждому показателю в отдельности (типологическую группировку) и метод формирования классов на основе набора репрезентативных показателей (многомерную классификацию), ни один из которых не является необходимым или достаточным условием принадлежности геообъекта к данному классу. При использовании любого из методов многомерной классификации один из важных вопросов построения дискретной части ДНМ – определение рационального числа классов на основе выделения репрезентативных показателей.

Природно-хозяйственные показатели для построения дискретно-непрерывных моделей критерия «смытость почв с площади сельскохозяйственных угодий»

Номер водосбора	Название реки	Смытость почв, %	Облесенность, %	Глубина местного базиса эрозии, м	Уклоны местности более 7°, %
1	Б. Верейка	20,8	5,3	156	0,078
2	Воронеж	8,5	39,1	102	0,867
3	Усмань	3,95	33,4	90	0,038
4	Хава	5,2	2,6	85	0,003
5	Эртиль	7,08	2,6	77	0,080
6	Курлак	7,83	2,2	79	0,006
7	Токай	7,77	3,2	91	0,159
8	Елань	11,64	5,4	156	0,100
9	Савала	10,31	15,7	152	0,566
10	Карачан	8,94	8,4	100	0,371
11	Ворона	11,5	20,8	104	0,533
12	Хопер	9,38	24,5	122	0,522
13	Ведуга	18,5	6,9	168	0,310
14	В. Девица	20,23	5,9	174	1,796
15	Н. Девица	28,31	9,9	165	6,456
16	Хворостань	10,68	3,6	97	0,059
17	Потудань	31,1	6,6	166	2,841
18	Тихая Сосна	35,98	13,0	163	3,628
19	Дон	26,45	19,8	178	2,808
20	Икорец	8,74	6,4	108	0,062
21	Битюг	8,5	16,3	165	0,740
22	Чигла	12,48	6,6	133	0,003
23	Ольховатка	44,15	6,6	161	2,566
24	Росошь	44,9	6,1	169	1,896
25	Осередь	20,71	18,0	171	0,761
26	Гаврило	18,8	3,6	177	0,739
27	Толучеевка	24,61	8,1	171	1,476
28	Подгорная	37,54	6,8	151	1,819
29	Манина	31,73	8,0	146	1,577
30	Ч. Калитва	42,7	7,7	168	1,327
31	Мамоновка	25,4	5,5	174	0,758
32	Криуша	32,06	5,3	159	1,002
33	Богучар	43,3	6,4	178	1,012
34	Л. Богучарка	38,2	5,3	171	0,489

резентативных показателей (например, с помощью метода главных компонент [1]).

Отметим, что в методе типологической регрессии [1] второй и третий этапы в приведенной выше схеме построения ДНМ находятся в соотношении итерационного взаимодействия, то есть непрерывно из очередной итерации второго этапа переходят

в следующую итерацию третьего и обратно до тех пор, пока не будет осуществлена классификация и определены коэффициенты уравнения регрессии, удовлетворяющие некоторому критерию качества решения данной задачи.

В настоящей статье предлагается использовать оригинальный методический подход к построению

Дискретно-непрерывные модели критерия «смытость почв с площади сельскохозяйственных угодий»

Классы водосборов	Средние значения*	Корреляционная матрица	Уравнения регрессии и их достоверность*
Вся выборка	$\bar{y}_1 = 20,96$ $\bar{x}_1 = 9,88$ $\bar{x}_2 = 140,9$ $\bar{x}_3 = 1,05$	1,00 -0,29 0,71 0,55 -0,29 1,00 -0,19 -0,01 0,71 -0,19 1,00 0,45 0,55 -0,01 0,45 1,00	$y_1 = -8,69 - 0,28x_1 + 0,21x_2 + 3,08x_3$ $R = 0,78$ $F^{набл} = 14,95$ $F^{кр} = 4,04$
Первый класс (2,5,6,11,16, 18,23,24,28, 29,30,32, 33,34)	$\bar{y}_1 = 28,3$ $\bar{x}_1 = 9,54$ $\bar{x}_2 = 137,5$ $\bar{x}_3 = 1,2$	1,00 -0,31 0,97 0,66 -0,31 1,00 -0,19 0,08 0,97 -0,19 1,00 0,63 0,66 0,08 0,63 1,00	$y_1 = -20,84 - 0,25x_1 + 0,36x_2 + 1,89x_3$ $R_1 = 0,98$ $F_1^{набл} = 97,26$ $F_1^{кр} = 5,99$
Второй класс (1,3,4,7-10, 12-15,17, 20-22,25-27,31)	$\bar{y}_1 = 15,55$ $\bar{x}_1 = 10,12$ $\bar{x}_2 = 143,37$ $\bar{x}_3 = 0,94$	1,00 -0,33 0,78 0,66 -0,33 1,00 -0,20 -0,06 0,78 -0,20 1,00 0,40 0,66 -0,06 0,40 1,00	$y_1 = -4,92 - 0,20x_1 + 0,14x_2 + 2,25x_3$ $R_2 = 0,88$ $F_2^{набл} = 17,84$ $F_2^{кр} = 4,89$

\*)  $y_1$  – смытость почв;  $x_1$  – облесенность;  $x_2$  – глубина местного базиса эрозии;  $x_3$  – уклоны местности;  $R$  – коэффициент множественной корреляции;  $F^{набл}$  и  $F^{кр}$  – соответственно наблюдаемое и критическое значения  $F$  – критерия Фишера.

ДНМ показателей экологического состояния геообъектов [5]. Из всех показателей выделим набор факторов-функций (критериев)  $y_1, y_2, \dots, y_m$  и набор факторов-аргументов (параметров)  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Обозначим через  $y_j^i$  и  $x_k^i$  соответственно значение анализируемого (моделируемого)  $j$ -го критерия и  $k$ -го параметра  $i$ -го геообъекта ( $j = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, N$ ). Требуется построить ДНМ критерия  $y_j$  от параметров  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Предлагаемый подход основан на предположении, что исходная информация, необходимая для построения уравнений типологической регрессии, содержится в самом моделируемом показателе. Действительно, для геообъектов с близкими значениями параметров значения моделируемого критерия могут сильно отличаться (рис. 1). Отсюда следует вывод о том, что измерения критерия сделаны на геообъектах из разных классов, которым соответствуют существенно различные уравнения регрессии – «центры» классов (рис. 1). В основе используемого подхода к построению ДНМ критериев геоэкологического состояния территорий лежит совместное применение двух методов статистического анализа данных – метода регрессионного анализа и метода главных компонент [2, 3]. Метод главных компонент позволяет проводить классификацию анализируемых геообъектов в пространстве новых некоррелированных переменных, линейно зависящих от исходных показателей экологического состояния геообъектов.

Как известно, важнейшими характеристиками качества (достоверности) уравнений регрессии

являются выборочный коэффициент множественной корреляции  $R$  и дисперсионное отношение Фишера ( $F$  – критерий) [3]. Рассматриваемый метод построения ДНМ критериев геоэкологического состояния территорий, по существу, направлен на повышение качества уравнений типологической регрессии в каждом классе геообъектов. Здесь можно рассмотреть вопрос о качестве типологической группировки, который решается с помощью проверки статистической гипотезы об идентичности уравнений регрессии [3]. Если гипотеза отвергается, то есть основания считать, что разбиение совокупности геообъектов на классы, «центрами» которых являются определенные регрессионные модели критериев, проведено верно.

С формальной точки зрения требуется разбить всю совокупность (множество)  $G$  анализируемых геообъектов на два класса  $G_1$  и  $G_2$ , в каждом из которых коэффициенты множественной корреляции  $R_1$  и  $R_2$  выше, чем коэффициент  $R$  для всей выборки. Приведем общее описание алгоритма метода построения ДНМ [5]. Вначале строится линейная регрессионная модель моделируемого критерия и определяются выборочные значения  $R$  и  $F$  для всей совокупности геообъектов. Если полученная модель является достоверной и статистические данные таковы, что  $R \geq R^*$ , где  $R^*$  – требуемое значение коэффициента множественной корреляции, разбиение множества  $G$  на классы  $G_1$  и  $G_2$  не производится. Предположим, что  $R < R^*$ . В этом случае метод построения ДНМ позволяет разделить всю совокупность геообъектов на два класса  $G_1$  и



Рис. 2. Типизация речных водосборов Воронежской области по дискретно-непрерывной модели показателя «смытость почв с площади сельскохозяйственных угодий» (номера водосборов, таблица 1)

$G_2$ , в которых соответствующие значения коэффициентов множественной корреляции  $R_1$  и  $R_2$  увеличиваются по сравнению с коэффициентом  $R$  для всей выборки. Если требование к качеству регрессионных моделей не выполняется, т.е.  $R_l \geq R^*$  ( $l=1,2$ ), классы  $G_1$  и  $G_2$  разбиваются на подклассы и т.д.

#### Построение дискретно-непрерывных моделей критериев эрозионной деградации территорий речных водосборов

Матрица исходных природно-хозяйственных данных для построения ДНМ критерия эрозионной опасности территорий речных водосборов Воронежской области приведена в таблице 1.

Как видно из таблицы 2, для всей совокупности 34 геообъектов линейная регрессионная модель критерия  $y_1$  («смытость почв с площади сельскохозяйственных угодий, %») недостаточно достоверна ( $R = 0,78$ ,  $F^{набл} = 14,95$ ).

Использование программной системы, реализующей метод построения ДНМ показателей, позволило выделить два класса речных водосборов, в каждом из которых построено свое достоверное уравнение регрессии (таблица 2). На рисунке 2 приведена типизация речных водосборов Воронежской области по ДНМ (типологической регрес-

сии) критерия «смытость почв с площади сельскохозяйственных угодий».

При этом в первом классе речных водосборов коэффициент множественной корреляции  $R_1 = 0,98$ , критерий Фишера  $F_1^{набл} = 97,26$ ,  $F_1^{кр} = 5,99$ , а полученное уравнение регрессии является достоверным при уровне значимости 0,01. Аналогичным образом были построены ДНМ критерия «густота овражно-балочной сети». Все регрессионные модели критериев эрозионной деградации территорий речных водосборов Воронежской области являются достоверными при уровне значимости 0,01 и отвечают физическому смыслу изучаемых эрозионных процессов.

#### Типологический регрессионный анализ медико-экологической ситуации в муниципальных районах

Матрица исходных данных для построения уравнений типологической регрессии (ДНМ) критерия «общая заболеваемость взрослого населения на 1000 человек» как фактор-функции от параметров (фактор-аргументов)  $x_1$  и  $x_2$  медико-экологической ситуации территорий муниципальных районов Воронежской области по состоянию на 2013 год приведена в таблице 3.

Медико-экологические данные для построения дискретно-непрерывных моделей критерия «общая заболеваемость взрослого населения»

№ п/п	Муниципальные районы и городские округа	Общая заболеваемость взрослого населения на 1000 человек ( $y_1$ )	Средняя концентрация фенола в воздухе населенных мест ( $x_1$ ), мг/м <sup>3</sup>	Средняя концентрация железа в питьевой воде ( $x_2$ ), мг/дм <sup>3</sup>
1	Аннинский	1148,56	0,004	0,26
2	Бобровский	1353,24	0,0037	0,59
3	Богучарский	1296,05	0,004	0,05
4	Борисоглебский	1032,63	0,004	0,223
5	Бутурлиновский	814,47	0,004	0,1
6	Верхнемамонский	1209,94	0,004	0,05
7	Верхнехавский	1285,30	0,0042	0,22
8	Воробьевский	1392,77	0,004	0,131
9	Грибановский	1042,26	0,0045	0,1032
10	Калачеевский	1234,49	0,004	0,13
11	Каменский	1199,12	0,0039	0,107
12	Кантемировский	971,44	0,0051	0,292
13	Каширский	858,01	0,004	0,16
14	Лискинский	1043,98	0,0057	0,09
15	Нижнедевицкий	1276,33	0,0070	0,14
16	Новоусманский	1272,64	0,004	0,15
17	Новохоперский	1317,11	0,004	0,4
18	Ольховатский	1219,40	0,0052	0,2127
19	Острогожский	1127,16	0,004	0,09
20	Павловский	1140,68	0,004	0,07
21	Панинский	1097,51	0,0058	0,133
22	Петропавловский	1382,15	0,004	0,11
23	Поворинский	1353,47	0,004	0,0595
24	Подгоренский	942,03	0,0053	0,16
25	Рамонский	1034,09	0,004	0,0075
26	Репьевский	1213,73	0,0043	0,054
27	Россошанский	1027,19	0,0049	0,107
28	Семилукский	1035,18	0,004	0,45
29	Таловский	1656,15	0,0041	0,84
30	Терновский	824,19	0,004	0,1536
31	Хохольский	1653,35	0,01567	0,34
32	Эртильский	1097,57	0,004	0,196

Как видно из таблицы 4, для всей совокупности 32 муниципальных образований регрессионная модель критерия  $y_1$  («общая заболеваемость населения») недостаточно достоверна ( $R = 0,54$ ,  $F^{набл} = 6,001$ ). Построение ДНМ анализируемого

критерия, позволило выделить два класса районов, в каждом из которых построено свое достоверное уравнение регрессии (таблица 4).

При этом в первом классе коэффициент множественной корреляции  $R_1 = 0,92$ , критерий Фише-

Дискретно-непрерывные модели критерия «общая заболеваемость взрослого населения»

Классы водосборов	Средние значения*	Корреляционная матрица	Уравнения регрессии и их достоверность*
Вся выборка	$\bar{y}_1 = 1173,51$ $\bar{x}_1 = 0,005$ $\bar{x}_2 = 0,193$	1,00 0,37 0,43 0,37 1,00 0,10 0,43 0,10 1,00	$y_1 = 935,71 + 31258,69x_1 + 465,88x_2$ $R = 0,54$ $F_1^{набл} = 6,001$ $F_1^{кр} = 3,33$
Первый класс (1, 4-5, 12-14, 21, 24, 28, 30-31)	$\bar{y}_1 = 1038,30$ $\bar{x}_1 = 0,006$ $\bar{x}_2 = 0,215$	1,00 0,90 0,48 0,90 1,00 0,29 0,48 0,29 1,00	$y_1 = 618,86 + 55825,59x_1 + 499,03x_2$ $R_1 = 0,92$ $F_1^{набл} = 23,51$ $F_1^{кр} = 4,46$
Второй класс (2-3, 6-11, 15-20, 22-23, 25-27, 29,32)	$\bar{y}_1 = 1244,33$ $\bar{x}_1 = 0,004$ $\bar{x}_2 = 0,182$	1,00 -0,10 0,67 -0,10 1,00 -0,10 0,67 -0,10 1,00	$y_1 = 1189,35 - 8002,75x_1 + 490,58x_2$ $R_2 = 0,67$ $F_2^{набл} = 7,49$ $F_2^{кр} = 3,55$

\*)  $y_1$  – общая заболеваемость населения;  $x_1$  – концентрации фенола в воздухе;  $x_2$  – концентрация железа в питьевой воде;  $R$  – коэффициент множественной корреляции;  $F^{набл}$  и  $F^{кр}$  – соответственно наблюдаемое и критическое значения  $F$  – критерия Фишера.

ра  $F_1^{набл} = 23,51$ ,  $F_1^{кр} = 4,46$ , а полученное уравнение регрессии является достоверным при уровне значимости 0,05.

В первом классе районов, расположенных в основном в северном и восточном секторах области преимущественно городского типа, заболеваемость населения имеет устойчивую положительную корреляцию с концентрацией фенола как индикатором повышенной автотранспортной нагрузки и фактором экологического риска в городских поселениях; во втором классе районов городского и, в большей степени, сельского типа поселений более существенную роль в формировании общественного здоровья имеет качество питьевой воды (увеличение содержания железа – фактор риска повышения заболеваемости населения), что свидетельствует о различной обусловленности показателей общественного здоровья спецификой социально-экономической инфраструктуры.

Таким образом, дискретно-непрерывная модель (ДНМ) показателей геоэкологического состояния антропогенно-измененных территорий представляет собой комбинацию двух моделей – дискретной и непрерывной. При ее использовании совокупность анализируемых геообъектов моделируется на двух уровнях – уровне классов и уровне отдельных геообъектов. Модели верхнего уровня (уровень классов) – дискретные. В общем случае они строятся методами классификации. Модели нижнего уровня – непрерывные и представляют собой внутриклассовые уравнения регрессии. При

этом исследуемая статистическая зависимость показателей экологического состояния геообъектов описывается комплексом типологических регрессионных уравнений, которые являются «центрами» различных классов.

Построенные ДНМ показателей качества окружающей среды и здоровья населения позволяют повысить качество и эффективность прогнозирования локального изменения критериев геоэкологического состояния антропогенно-измененных территорий при варьировании параметров анализируемых геообъектов в задачах управления природопользованием и оценки экологических рисков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азарян О. В. Алгоритмы типологической регрессии в задачах автоматизации процесса проектирования (на примере создания и комбинирования проектных решений в гидростроительстве) / О. В. Азарян // Ученые записки по статистике. – Москва : Наука, 1985. – Т. 49 : Статистика. Вероятность. Экономика. – С. 69-77.
2. Айвазян С. А. Классификация многомерных наблюдений / С. А. Айвазян, З. И. Бежаева, О. В. Старовров. – Москва : Статистика, 1974. – 240 с.
3. Айвазян С. А. Прикладная статистика: Исследование зависимостей : справочное издание / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – Москва : Финансы и статистика, 1989. – 487 с.
4. Геосистемный анализ эколого-эрозионной ситуации на речных водосборах Воронежской области / В. М. Умывакин [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2013. – № 2. – С. 131-138.

5. Давнис В. В. Методические аспекты построения дискретно-непрерывных показателей эколого-экономических систем / В. В. Давнис, В. М. Умывакин, А. В. Климов // Современная экономика: проблемы и решения. – 2010. – № 10 (10). – С. 109-117.

6. Куролап С. А. Типизация территории Воронежской области по уровню техногенного воздействия на среду обитания / С. А. Куролап // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2010. – № 1. – С. 5-11.

7. Минников И. В. Оценка эколого-хозяйственного баланса территории Воронежской области / И. В. Минников // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2013. – № 1. – С. 120-128.

8. Розин Б. Б. Теория распознавания образов в экономических исследованиях / Б. Б. Розин. – Москва : Статистика, 1973. – 224 с.

## REFERENCES

1. Azaryan O. V. Algoritmy tipologicheskoy regressii v zadachakh avtomatizatsii protsessa proektirovaniya (na primere sozdaniya i kombinirovaniya proektnykh resheniy v gidrostroytel'stve) / O. V. Azaryan // Uchenye zapiski po statistike. – Moskva : Nauka, 1985. – T. 49 : Statistika. Veroyatnost'. Ekonomika. – S. 69-77.

2. Ayvazyan S. A. Klassifikatsiya mnogomernykh nablyudeniy / S. A. Ayvazyan, Z. I. Bezhaeva, O. V. Staroverov. – Moskva : Statistika, 1974. – 240 s.

3. Ayvazyan S. A. Prikladnaya statistika: Issledovanie zavisimostey : spravochnoe izdanie / S. A. Ayvazyan, I. S. Enyukov, L. D. Meshalkin. – Moskva : Finansy i statistika, 1989. – 487 s.

4. Geosistemnyy analiz ekologo-erozionnoy situatsii na rechnykh vodosborakh Voronezhskoy oblasti / V. M. Umyvakin [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2013. – № 2. – S. 131-138.

5. Davnis V. V. Metodicheskie aspekty postroeniya diskretno-neprreryvnykh pokazateley ekologo-ekonomicheskikh sistem / V. V. Davnis, V. M. Umyvakin, A. V. Klimov // Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya. – 2010. – № 10 (10). – S. 109-117.

6. Kurolap S. A. Tipizatsiya territorii Voronezhskoy oblasti po urovnyu tekhnogennoy vozdeystviya na sredu obitaniya / S. A. Kurolap // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2010. – № 1 – S. 5-11.

7. Minnikov I. V. Otsenka ekologo-khozyaystvennogo balansa territorii Voronezhskoy oblasti / I. V. Minnikov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2013. – № 1 – S. 120-128.

8. Rozin B. B. Teoriya raspoznavaniya obrazov v ekonomicheskikh issledovaniyakh / B. B. Rozin. – Moskva : Statistika, 1973. – 224 s.

Зибров Геннадий Васильевич

доктор педагогических наук, профессор, начальник Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, т. (473)226-46-67 (301)

Умывакин Василий Митрофанович

доктор географических наук, доцент, профессор кафедры математических методов исследования операций Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473)220-82-82, E-mail: [umyvakin@mail.ru](mailto:umyvakin@mail.ru)

Сумин Александр Иванович

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой математики Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, т. (910)341-07-55, E-mail: [sumin\\_ai@mail.ru](mailto:sumin_ai@mail.ru)

Пахмелкин Александр Васильевич

кандидат географических наук, старший научный сотрудник Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, т. (915)543-00-62, E-mail: [avpahmelkin@yandex.ru](mailto:avpahmelkin@yandex.ru)

Zibrov Gennadiy Vasilievich

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Chief of Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin», Voronezh, tel. 8(473)226-46-67 (301)

Umyvakin Vasilii Mitrofanovich

Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Professor of the Chair of mathematical research methods of operations, Voronezh State University, Voronezh, tel. 8(473)220-82-82, E-mail: [umyvakin@mail.ru](mailto:umyvakin@mail.ru)

Sumin Aleksandr Ivanovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Chair of Mathematics of Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin», Voronezh, tel. (910)341-07-55, E-mail: [sumin\\_ai@mail.ru](mailto:sumin_ai@mail.ru)

Pakhmelkin Aleksandr Vasilievich

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher of Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin», Voronezh, tel. (915)543-00-62, E-mail: [avpahmelkin@yandex.ru](mailto:avpahmelkin@yandex.ru)