

## ГЕОСИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ЭРОЗИОННОЙ СИТУАЦИИ НА РЕЧНЫХ ВОДОСБОРАХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

В. М. Умывакин, Д. А. Иванов, А. В. Пахмелкин, А. В. Швец, А. А. Воронин

*Воронежский государственный университет, Россия  
Военно-учебный научный центр ВВС «Военно-воздушная академия  
им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Россия*

*Поступила в редакцию 5 декабря 2012 г.*

**Аннотация:** В статье рассматриваются информационное и методическое обеспечение геосистемно-бассейнового подхода к управлению устойчивым природопользованием на основе интегральной оценки экологической опасности территорий речных водосборов (на примере эколого-эрозионной ситуации в Воронежской области).

**Ключевые слова:** геосистемный анализ, устойчивое природопользование, речные бассейны, цифровая модель рельефа, интегральная оценка, экологическая опасность.

**Abstract:** The article contains the information and methodology of Geosystem-basin approach to the sustainable management based on an integrated assessment of environmental risk of river basins' area (for example, environmental and erosive situation of the Voronezh Region).

**Key words:** geosystem analysis, the sustainable use of natural resources, river basins, digital model of relief, integrated assessment, environmental hazard.

В Центральном Черноземье в результате антропогенного воздействия развиваются процессы эрозионной деградации земель речных водосборов (бассейновых геосистем), приводящие к повышению экологической опасности территорий и значительному экономическому ущербу.

В связи с этим, необходимо совершенствование информационного и методического обеспечения геосистемно-бассейнового подхода к управлению устойчивым природопользованием на основе комплексной геоэкологической оценки деградации территорий речных водосборов.

### **Информационное и методическое обеспечение геоэкологической оценки деградации территорий речных бассейнов для устойчивого природопользования**

В исследованиях геоэкологических аспектов устойчивого развития территорий используются различные варианты геосистемного подхода к управлению природопользованием. Управленческие аспекты природопользования на основе бассейнового принципа и понятия «бассейновая геосисте-

ма» рассмотрены Л. М. Корытным [8], а Г. И. Швевсом [17] для целей управления устойчивым развитием территорий введено понятие «природно-хозяйственная территориальная система».

Далее под устойчивым природопользованием понимается экологически сбалансированная антропогенная деятельность, связанная с эффективным использованием природных ресурсов и охраной окружающей среды. Для эколого-экономического обоснования управленческих решений по устойчивому природопользованию в бассейновых геосистемах будем использовать понятие «природно-хозяйственная геосистема (ПХГС)». ПХГС – это сложный территориально и функционально целостный природно-антропогенный объект, выделенный по бассейновому принципу, имеющий разнокачественные природные и хозяйственные компоненты, взаимосвязанные потоками вещества, энергии и информации. Геоэкологическое состояние территорий ПХГС описывается определенным набором природно-хозяйственных показателей (ПХП). Под ПХП понимаются атрибутивные количественные (числовые) и качественные (нечисловые) характеристики геосистем, которые могут быть измерены или вычислены для каждой геосистемы.

Комплексная геоэкологическая оценка деградации территорий ПХГС необходима для системного анализа «геоэкологической ситуации» – территориальной совокупности качественных состояний бассейновых геосистем, оцениваемых как относительно экологических требований (норм), так и с точки зрения их природно-хозяйственной значимости.

Бассейновая концепция лежит в основе эффективного управления устойчивым природопользованием на различных иерархических уровнях. Одной из ключевых геоэкологических проблем устойчивого природопользования в Воронежской области является ускоренное развитие экзогенных процессов деградации земель речных водосборов. Изучаемый регион относится к «староосвоенным» районам нашей страны, отличающихся наиболее сильным антропогенным воздействием на окружающую среду. Значительное ухудшение ее качества связано с напряженной эрозионно-экологической ситуацией в бассейновых геосистемах.

Особую роль в системных геоэкологических исследованиях экзогенных процессов деградации земель играет анализ рельефа и геолого-геоморфологические условия [13]. В геоморфологическом отношении Воронежская область находится на сочленении Средне Русской возвышенности, Окс-

ко-Донской низменности и Калачской возвышенности. Важнейшей структурной единицей изучаемой территории для целей устойчивого природопользования являются водосборы малых и средних рек (рис. 1). Их границы выделены на основе обработки находящейся в открытом доступе ([http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2\\_1/SRTM3/Eurasia/](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia/)) цифровой модели рельефа в виде матрицы высот SRTM (Shuttle Radar Topographic Mapping) на территорию Воронежской области. Сбор и обработка геоданных произведены по технологии бассейнового гидрологического моделирования в ArcGIS. В результате получено линейное покрытие водотоков с порядками от 1 до 7 (по Р. Хортону) и выделены 33 речных водосбора с площадью более 400 км<sup>2</sup>, принадлежащих бассейну р. Дон в границах Воронежской области.

Для геосистемного анализа проблемной эрозионно-экологической ситуации на территории речных водосборов необходима разработка интегральной оценки эрозионной опасности земель при эколого-экономическом обосновании инвестиций в комплекс программных противоэрозионных мероприятий.

В качестве информативных количественных ПХП интенсивности развития эрозионных процессов и эрозионной опасности земель на речных во-

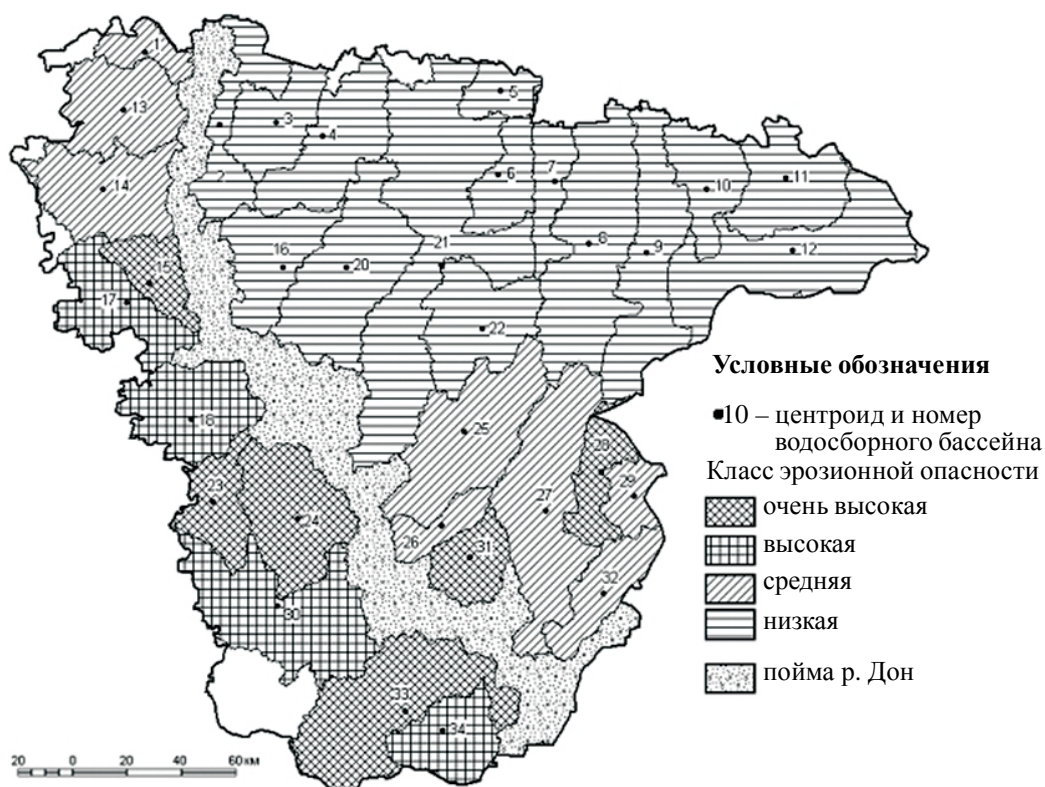


Рис. 1. Интегральная оценочная карта общей эрозионной опасности земель речных водосборов Воронежской области

досборах Воронежской области приняты:  $y_1$  – «смытость почв с площади сельскохозяйственных угодий, %»,  $y_2$  – «густота овражно-балочной сети, км/км<sup>2</sup>»,  $y_3$  – «плотность оврагов, шт./км<sup>2</sup>». Значения ПХП  $y_2$  и  $y_3$  определены с помощью ГИС-технологий обработки цифровой модели рельефа Воронежской области, а показателя  $y_1$  – на основе анализа фондовых материалов и литературных источников.

Количественные разноименные ПХП измеряются в различных единицах и должны быть преобразованы к безразмерному виду с помощью определенного способа нормировки природно-хозяйственных данных (геоданных).

Так, нормировка исходных геоданных для агрегированной геоэкологической оценки эрозионной деградации земель речных водосборов Воронежской области осуществлялась по формуле:

$$z_j^i = (y_j^{\max} - y_j^i) / (y_j^{\max} - y_j^{\min}). \quad (1)$$

Здесь  $z_j^i$  – нормированное значение  $j$ -го ПХП  $i$ -й геосистемы из интервала  $[0,1]$ ;  $y_j^{\min}$  и  $y_j^{\max}$  – соответственно минимальное и максимальное значения  $j$ -го ПХП,  $j=1, 2, \dots, m$ ;  $i=1, 2, \dots, N$ .

Рассмотрим методические вопросы построения интегрального критерия экологической опасности земель речных водосборов для ранжирования управленческих решений по устойчивому природопользованию.

На практике в основном используются следующие интегральные оценки сложных геосистем:

$$\text{аддитивная } Q_1^i = \sum_{j=1}^m a_j z_j^i \text{ или } Q_2^i = \sum_{j=1}^m a_j q_j(z_j^i)$$

$$\text{и мультипликативная } G_1^i = \prod_{j=1}^m [z_j^i]^{a_j} \text{ или}$$

$$G_2^i = \prod_{j=1}^m [g_j(z_j^i)]^{a_j}.$$

Здесь  $z_j^i$  – оценка в баллах или нормированное по формуле (1) значение  $j$ -го ПХП  $i$ -й геосистемы;  $a_j$  – весовой коэффициент  $j$ -го ПХП, удовлетворяющий условию

$$\sum_{j=1}^m a_j = 1, a_j \geq 0, j=1, 2, \dots, m; \quad (2)$$

$q_j$  – нелинейное преобразование, например,  $q_j(z_j) = [z_j]^b$ , где параметр  $b > 1$ ;  $g_j$  – частная нелинейная функция «желательности» («предпочтительности») по  $j$ -му ПХП, например,  $g_j(z_j) = [\exp(-\exp(-z_j))]$ , где  $\exp$  – экспоненциальная функция.

Эти интегральные оценки обладают определенными недостатками, а именно: 1) чаще всего аддитивная «свертка» частных ПХП не имеет никакого конкретного геосистемного смысла, когда показатели являются разнородными (разноименными) и/или имеют различную размерность; 2) отсутствует возможность их вероятностной интерпретации; 3) аддитивные свертки и большинство мультипликативных не удовлетворяют существенному свойству «ограниченной компенсации», т.е. условию невозможности улучшения значений некоторых частных ПХП за счет компенсации сколь угодно большого снижения качества по другим частным показателям.

Сформулируем следующий набор содержательных требований к интегральной оценке экологической опасности ПХГС: конструируемая оценка должна позволять измерять уровень деградации территорий речных водосборов; оценка должна бы представлять собой некоторую «сводную» формулу, в которой «объединены» частные относительные оценки экологической опасности по отдельным ПХП; методики построения частных оценок должны быть должны входить составной частью в методику интегральной оценки; частные оценки и интегральная оценка должны допускать вероятностную интерпретацию; интегральная оценка должна быть адаптивной, позволяющей при необходимости расширять перечень частных ПХП.

Для построения интегрального критерия качества ПХГС (в нашем случае общей экологической опасности территорий), нужно иметь относительные частные оценки экологической опасности земель по отдельному (частному) ПХП. Обозначим через  $y_j^i$  – значение  $j$ -го ПХП  $i$ -й геосистемы, а через  $y_j^*$  – допустимое значение  $j$ -го ПХП (нормативное экологическое требование) для всех анализируемых ПХГС. Поставим им в соответствие две безразмерные величины:  $M_j^i = M_j(y_j^i)$  – абсолютную оценку качества по  $j$ -му ПХП для  $i$ -й геосистемы и  $E_j = E_j(y_j^*)$  – соответствующий нормативный уровень. Будем считать, что  $0 \leq M_j^i, E_j \leq 1$ , ( $j=1, 2, \dots, m$ ;  $i=1, 2, \dots, N$ ). Нормативное требование к качеству территорий по  $j$ -му ПХП для  $i$ -й геосистемы выполнено, если  $M_j^i \geq E_j$ . При этом частная относительная оценка  $d_j^i$  экологической опасности  $i$ -й ПХГС по  $j$ -му ПХП, как функция величин  $E_j$  и  $M_j^i$ , должна удовлетворять следующим условиям: 1)  $0 \leq d_j^i \leq 1$  при  $M_j^i \geq E_j$ ; 2)  $d_j^i = 0$  при  $E_j = 0$ ,  $M_j^i > 0$  (оценка минимальна, если нет никаких требований к качеству); 3)  $d_j^i = 0$  при  $M_j^i = 1$  и  $M_j^i > E_j$ .

Таблица 1

Степень геоэкологической опасности территорий по шкале Харрингтона

№ п/п	Содержательное описание градаций	Численное значение
1	Очень высокая	свыше 0,8
2	Высокая	0,63 – 0,8
3	Средняя	0,37 – 0,63
4	Низкая	0,2 – 0,37
5	Очень низкая	менее 0,2

Таблица 2

Вербально-числовая шкала показателя «густота овражно-балочной сети»

№ п/п	Содержательное описание градаций	Численное значение	Степень деградации
1	очень сильнодеградированные	свыше 2,5	4
2	сильнодеградированные	0,8 – 2,5	3
3	среднедеградированные	0,4 – 0,8	2
4	слабодеградированные	0,1 – 0,4	1
5	недеградированные (ненарушенные)	менее 0,1	0

(оценка минимальна при «идеальном» качестве независимо от требований); 4)  $d_j^i = 1$  при  $M_j^i = E_j \neq 0$  (оценка максимальна при предельно низком допустимом качестве). Таким образом, частная экологическая опасность  $d_j^i$  является относительной оценкой деградации территории  $i$ -й ПХГС по  $j$ -му ПХП и может быть интерпретирована как мера несоответствия достигнутого качества геосистем  $M_j^i$  и предъявляемого к их качеству требования – нормативного уровня  $E_j$ .

В работах [7, 15] показано, что при  $M_j^i \geq E_j$  условиями 1)-4) удовлетворяет частная оценка «экологической опасности территории» ПХГС вида:

$$d_j^i = [E_j(1 - M_j^i)] / [M_j^i(1 - E_j)]. \quad (3)$$

Данная оценка позволяет измерять условную вероятность события, состоящего в том, что требование к интегральному качеству геосистемы не выполняется при выполнении требований к ее качеству по  $j$ -му частному ПХП.

В этом случае интегральная оценка экологической опасности территорий речных водосборов имеет вид [16]:

$$D^i = 1 - \prod_{j=1}^m [1 - d_j^i]^{a_j}. \quad (4)$$

Здесь  $a_j$  – весовые коэффициенты частных оценок  $d_j^i$ , удовлетворяющие условию (1),  $j = 1, 2, \dots, m$ . При этом  $0 \leq D \leq 1$ . Чем меньше ее значение, тем ниже экологическая опасность территорий (тем выше качество территорий ПХГС). Данная интегральная оценка позволяет квалифи-

цированно ранжировать ПХГС по общей экологической опасности их территорий. Для содержательной интерпретации результатов моделирования данной оценки в работах [2, 10, 14] предлагается использовать вербально-числовую шкалу Харрингтона (таблица 1).

В состав таких оценочных шкал включают содержательное (вербальное) описание выделенных градаций шкалы и соответствующие им числовые значения моделируемого показателя ПХГС. В таблице 2 приведена вербально-числовая шкала показателя «расчлененность территории оврагами, км/км<sup>2</sup>» в соответствии с «Методическими рекомендациями по выявлению деградированных и загрязненных земель».

В таблице 3 указаны исходные геоданные и результаты расчета частных и интегральных оценок эрозионной опасности земель речных водосборов Воронежской области. На рис. 2 приведены совмещенные графики значений ПХП  $y_2$  – «густота овражно-балочной сети» и значения соответствующей частной оценки  $d_2$ , на основе которых построены частные оценочные карты опасности развития линейной эрозии в регионе. Коэффициент парной корреляции  $r_{y_2, d_2} = 0,98$  и графики этих показателей, приведенные на рис. 2, говорят о сопоставимости предлагаемых моделей частных оценок эрозионной опасности территорий ПХГС с известными методиками диагностики деградированных земель.

Кратко опишем результаты построения интегральной оценки эрозионной опасности территорий

Нормированные природно-хозяйственные показатели, абсолютные оценки качества, частные и интегральная оценки эрозионной деградации земель речных водосборов Воронежской области

Номер речного водосбора	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$D$
1	0,61	0,87	0,83	0,58	0,66	0,65	0,46	0,32	0,34	0,39
2	0,89	0,96	0,96	0,66	0,68	0,68	0,32	0,29	0,29	0,30
3	1,00	0,91	0,94	0,69	0,67	0,68	0,28	0,30	0,30	0,29
4	0,97	1,00	1,00	0,68	0,69	0,69	0,29	0,27	0,28	0,28
5	0,92	0,99	0,97	0,67	0,69	0,68	0,31	0,28	0,29	0,29
6	0,91	0,99	1,00	0,67	0,69	0,69	0,31	0,28	0,28	0,29
7	0,91	0,78	0,83	0,67	0,63	0,65	0,31	0,36	0,34	0,34
8	0,82	0,89	0,88	0,64	0,66	0,66	0,35	0,31	0,32	0,33
9	0,85	0,71	0,74	0,65	0,61	0,62	0,34	0,39	0,38	0,37
10	0,88	0,83	0,88	0,66	0,65	0,66	0,32	0,34	0,32	0,33
11	0,82	0,92	0,93	0,64	0,67	0,67	0,35	0,30	0,30	0,32
12	0,87	0,88	0,86	0,66	0,66	0,65	0,33	0,32	0,33	0,32
13	0,66	0,68	0,42	0,60	0,60	0,52	0,43	0,41	0,59	0,44
14	0,62	0,40	0,31	0,58	0,51	0,48	0,45	0,59	0,68	0,54
15	0,43	0,08	0,15	0,52	0,40	0,42	0,57	0,93	0,85	0,83
16	0,84	0,89	0,87	0,65	0,66	0,66	0,34	0,31	0,33	0,33
17	0,37	0,33	0,30	0,50	0,49	0,48	0,63	0,65	0,68	0,64
18	0,26	0,32	0,15	0,46	0,48	0,42	0,73	0,66	0,85	0,72
19	0,48	0,45	0,43	0,54	0,53	0,52	0,54	0,55	0,57	0,55
20	0,89	0,98	0,97	0,66	0,69	0,68	0,32	0,28	0,29	0,30
21	0,89	0,84	0,80	0,66	0,65	0,64	0,32	0,33	0,35	0,33
22	0,80	0,96	0,96	0,64	0,68	0,68	0,36	0,29	0,29	0,32
23	0,07	0,35	0,18	0,39	0,49	0,43	0,97	0,63	0,82	0,89
24	0,05	0,29	0,31	0,39	0,47	0,48	1,00	0,69	0,68	0,96
25	0,61	0,62	0,61	0,58	0,58	0,58	0,45	0,44	0,45	0,45
26	0,65	0,78	0,71	0,59	0,63	0,61	0,43	0,36	0,40	0,40
27	0,52	0,39	0,46	0,55	0,51	0,53	0,51	0,59	0,55	0,55
28	0,22	0,11	0,33	0,45	0,41	0,49	0,77	0,90	0,66	0,83
29	0,36	0,36	0,47	0,50	0,50	0,53	0,64	0,62	0,55	0,62
30	0,10	0,63	0,67	0,41	0,59	0,60	0,92	0,43	0,42	0,77
31	0,50	0,05	0,05	0,55	0,39	0,39	0,52	0,98	1,00	0,94
32	0,35	0,48	0,68	0,49	0,54	0,60	0,65	0,53	0,41	0,58
33	0,09	0,24	0,15	0,40	0,46	0,42	0,94	0,74	0,85	0,87
34	0,21	0,45	0,43	0,44	0,53	0,52	0,79	0,55	0,58	0,68

Примечания:  $z_1$  – смывость почв с площади с.-х. угодий, %;  $z_2$  – густота овражно-балочной сети, км/км<sup>2</sup>;  $z_3$  – плотность оврагов, шт./км<sup>2</sup>,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ,  $\mu_3$  – соответственно значения функции желательности (абсолютные оценки качества) геосистем по показателям  $z_1$ ,  $z_2$ ,  $z_3$ ;  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d$  – соответственно частные и интегральная оценки эрозионной деградации земель речных водосборов.

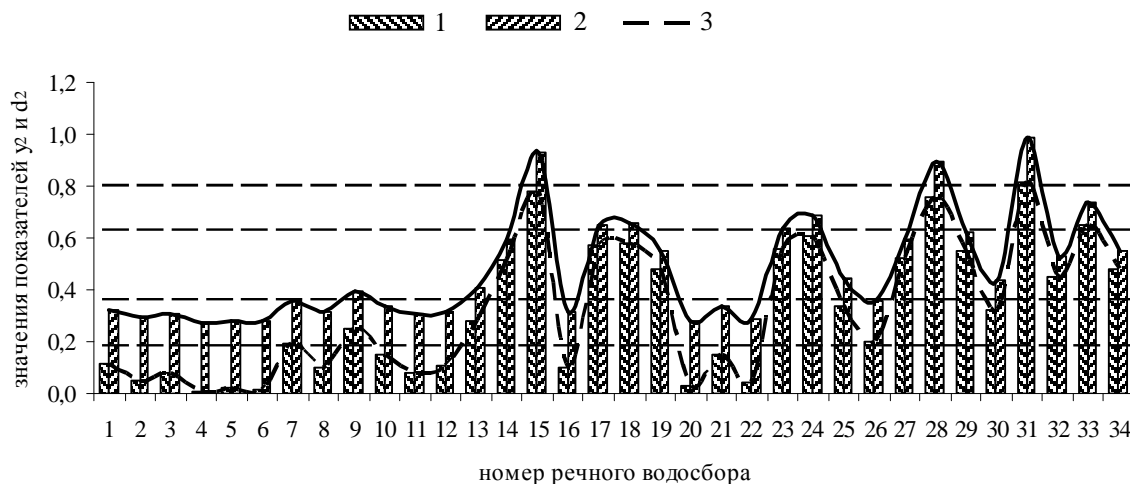


Рис. 2. Взаимосвязь показателя  $y_2$  – «густота оврагов» и частной оценки  $d_2$  эрозионной опасности земель для речных водосборов Воронежской области

- 1 – значение показателя  $y_2$  – «густота овражно-балочной сети, км/км<sup>2</sup>»;
- 2 – значение частной оценки  $d_2$  эрозионной опасности земель для показателя  $y_2$ ;
- 3 – градации эрозионной опасности земель по шкале Харрингтона

речных водосборов Воронежской области. Для расчета по формуле (3) частных оценок  $d_j$  деградации земель использовались нелинейные функции  $M_j = \exp[-\exp(-z_j)]$  и  $E_j = \exp[-\exp(-z_j^*)]$  – абсолютная оценка и нормативный уровень качества,  $0 \leq M_j, E_j \leq 1$ . Здесь  $z_j = (b_j - y_j) / (b_j - a_j)$  и  $z_j^* = (b_j - y_j^*) / (b_j - a_j)$  – соответственно нормированные значения показателя  $y_j$  и нормативного требования  $y_j^*$ ;  $a_j$  и  $b_j$  – левая и правая границы интервала изменения  $j$ -го ПХП. Результаты расчета интегральной оценки эрозионной опасности земель речных водосборов Воронежской области по формуле (4) приведены в таблице 3, а на рис.1 показана интегральная карта, построенная с использованием шкалы Харрингтона (таблица 1). Интегральная оценка эрозионной опасности территорий бассейновых геосистем позволяет выделить речные водосборы Воронежской области, для которых в первую очередь необходимо разработать и реализовать комплекс программных противоэрозионных мероприятий, снижающих интенсивность эрозионной деградации земель.

Итак, в результате проведенного исследования разработан и апробирован на примере Воронежской области методический аппарат геосистемно-бассейнового подхода к управлению устойчивым природопользованием на основе комплексной геоэкологической оценки деградации территорий речных водосборов:

1) разработана методика нормативного подхода к интегральной оценке качества природно-хо-

зяйственных геосистем, которая характеризуется оригинальным способом формирования нелинейных частных оценок, имеющих вероятностный смысл, что позволяет измерять и содержательно интерпретировать общую экологическую опасность территорий речных водосборов в универсальной вербально-числовой шкале Харрингтона;

2) предложены геоинформационно-аналитические технологии моделирования агрегированной геоэкологической оценки деградации территорий природно-хозяйственных геосистем, что позволило создать синтетические электронные карты интенсивности развития эрозионных процессов и эрозионной опасности земель на речных водосборах Воронежской области и на их основе изучить напряженность современной проблемной эрозионно-экологической ситуации в регионе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блануца В. И. Интегральное экологическое районирование: концепция и методы / В. И. Блануца. – Новосибирск : Наука, 1993. – 159 с.
2. Зибров Г. В. Анализ данных в задачах комплексного геоэкологического районирования территорий / Г. В. Зибров, В. М. Умывакин, А. В. Пахмелкин // Вестник Военного авиационного инженерного университета. – Воронеж, 2010. – № 4 (11). – С. 11-18.
3. Зибров Г. В. Геоинформационно-аналитические технологии визуализации геоэкологической оценки территорий / Г. В. Зибров, В. М. Умывакин, А. В. Пахмелкин // Инновации в геоэкологии: теория, практика, образование : материалы Всероссийской научной конфе-

ренции, Москва, 16-17 сент. 2010 г. – Москва, 2010. – С. 178-182.

4. Зибров Г. В. Методологические основы графо-аналитического подхода к комплексному геоэкологическому районированию территорий / Г. В. Зибров, В. М. Умывакин, А. В. Пахмелкин // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. – Воронеж, 2010. – № 1. – С. 270-281.

5. Зибров Г. В. Программно-целевой подход к экологическим проблемам территорий с интенсивной хозяйственной деятельностью / Г. В. Зибров, В. М. Умывакин, А. В. Пахмелкин // Экологические проблемы природных и урбанизированных территорий : материалы III Международной научно-практической конференции, Астрахань, 20-21 мая 2010 г. – Астрахань, 2010. – С. 164-167.

6. Иванов Д. А. Взаимодействие компонентов природной среды на территории Воронежской области / Д. А. Иванов // Биогеосферные исследования состояния и динамики природной среды. – Воронеж, 2007. – Вып. 44. – С. 33-40. – (Труды НИИ геологии Воронежского государственного университета).

7. Каплинский А. И. Моделирование и алгоритмизация слабоформализованных задач выбора наилучших вариантов систем / А. И. Каплинский, И. Б. Русман, В. М. Умывакин. – Воронеж : Изд-во Воронежского государственного университета, 1991. – 168 с.

8. Корытный Л. М. Речной бассейн как геосистема / Л. М. Корытный // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. – 1974. – Вып. 42. – С. 33-38.

9. Мильков Ф. Н. Ландшафтная география и вопросы практики / Ф. Н. Мильков. – Москва : Мысль, 1966. – 256 с.

10. Пахмелкин А. В. Агрегированная геоэкологическая оценка территорий для устойчивого природо-

пользования / А. В. Пахмелкин // Перспективы науки. – 2011. – № 4 (19). – С. 126-131.

11. Пузаченко Ю. Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях / Ю. Г. Пузаченко. – Москва : Академия, 2004. – 416 с.

12. Тикунов В. С. Моделирование в картографии / В. С. Тикунов. – Москва : Издательство Московского государственного университета, 1997. – 405 с.

13. Трегуб А. И. Районирование Воронежской области по условиям развития экзогенных геологических процессов / А. И. Трегуб, Н. А. Корабельников, Б. В. Глушков // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. – Воронеж, 1996. – № 2. – С. 113-125.

14. Умывакин В. М. Двухкритериальный анализ и интегральная оценка качества в управлении устойчивым развитием территорий / В. М. Умывакин, А. В. Пахмелкин, С. В. Последов // ИнтерКарто/ИнтерГИС-16. Устойчивое развитие территорий : теория ГИС и практический опыт : материалы Международной научной конференции. – Ростов-на-Дону, 2010. – С. 508-513.

15. Умывакин В. М. Интегральная эколого-хозяйственная оценка и управление земельными ресурсами в регионе / В. М. Умывакин. – Воронеж : Воронежский государственный педагогический университет, 2002. – 178 с.

16. Умывакин В. М. Квалиметрия экологической опасности территорий военных природно-техногенных систем / В. М. Умывакин, А. В. Швец, М. О. Гедзенко // Научно-технические технологии. – 2012. – Т. 13, № 3. – С. 34-39.

17. Швебс Г. И. Концепция природно-хозяйственных территориальных систем и вопросы рационального природопользования / Г. И. Швебс // География и природные ресурсы. – 1987. – № 4. – С. 30-38.

Умывакин Василий Митрофанович  
доктор географических наук, 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)

Иванов Дмитрий Андреевич  
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры исторической геологии Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473)220-86-31, E-mail: [ivanov@geol.vsu.ru](mailto:ivanov@geol.vsu.ru)

Пахмелкин Александр Васильевич  
кандидат географических наук, доцент кафедры экологии Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж), т. (915)543-00-62. E-mail: [umyvakin@mail.ru](mailto:umyvakin@mail.ru)

Umyvakin Vasilij Mitrofanovitch  
Doctor of Geography, Professor of the Chair of Mathematical Methods of Operations Research, Voronezh State University, tel.: (473)220-82-82, E-mail: [umyvakin@mail.ru](mailto:umyvakin@mail.ru)

Ivanov Dmitriy Andreyevitch  
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Chair of Historical Geology, Voronezh State University, Voronezh, tel. 8(473)220-86-31, E-mail: [ivanov@geol.vsu.ru](mailto:ivanov@geol.vsu.ru)

Pakhmelkin Alexander Vasil'yevitch  
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Chair of Ecology of Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin» (Voronezh), tel. 8(915) 543-00-62, E-mail: [umyvakin@mail.ru](mailto:umyvakin@mail.ru)

Швец Алексей Владимирович

младший научный сотрудник Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж), т. (950)765-65-65, E-mail: [shvets-av@mail.ru](mailto:shvets-av@mail.ru)

Воронин Алексей Анатольевич

аспирант кафедры математических методов исследования операций Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (951)553-09-99, E-mail: [leks-w@mail.ru](mailto:leks-w@mail.ru)

Shvets Alexey Vladimirovitch

Junior Researcher of Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin» (Voronezh), tel. 8(950)765-65-65, E-mail: [shvets-av@mail.ru](mailto:shvets-av@mail.ru)

Voronin Alexey Anatol'yevitch

Postgraduate Department of Mathematical Methods of Operations Research, Voronezh State University, Voronezh, tel. 8(951)553-09-99, E-mail: [leks-w@mail.ru](mailto:leks-w@mail.ru)