
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

INFORMATICS, COMPUTER SCIENCE AND MANAGEMENT

УДК 681.327.12.001.362

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

В. В. КРАСНОПРОШИН¹⁾, А. Г. ЖИДКОВ¹⁾, А. Н. ВАЛЬВАЧЕВ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Рассматривается актуальная проблема оценки уровня антропогенной нагрузки на природно-территориальные комплексы. Выделены и классифицированы основные факторы, которые могут использоваться для описания характера и уровня антропогенной нагрузки, проведена унификация представления значений гетерогенных параметров. Разработан алгоритм количественной оценки уровня антропогенной нагрузки и синтеза соответствующих управляющих решений. На базе алгоритма реализована многоагентная компьютерная система мониторинга природно-территориальных комплексов. Система позволяет оценивать текущий уровень антропогенной нагрузки, прогнозировать ее изменение при строительстве новых объектов и принимать соответствующие управляющие решения. Приводится пример решения задачи, который демонстрирует эффективность разработанной системы мониторинга.

Ключевые слова: экоинформатика; экология; антропогенная нагрузка; принятие решений; региональное управление; системы мониторинга.

Образец цитирования:

Краснопрошин В. В., Жидков А. Г., Вальвачев А. Н. Система мониторинга антропогенной нагрузки на природно-территориальные комплексы // Журн. Белорус. гос. ун-та. Математика. Информатика. 2017. № 3. С. 100–105.

For citation:

Krasnoproshin V. V., Zhidkov A. G., Valvachev A. N. System for monitoring the anthropogenic load on natural and territorial complexes. *J. Belarus. State Univ. Math. Inform.* 2017. No. 3. P. 100–105 (in Russ.).

Авторы:

Виктор Владимирович Краснопрошин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных систем управления факультета прикладной математики и информатики.

Александр Геннадьевич Жидков – студент факультета прикладной математики и информатики. Научный руководитель – В. В. Краснопрошин.

Александр Николаевич Вальвачев – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры информационных систем управления факультета прикладной математики и информатики.

Authors:

Victor V. Krasnoproshin, doctor of science (technics), full professor; head of the department of management information systems, faculty of applied mathematics and computer science. krasnoproshin@bsu.by

Alexander G. Zhidkov, student at the faculty of applied mathematics and computer science. zagecosoft@mail.ru

Alexander N. Valvachev, PhD (technics), docent; associate professor at the department of management information systems, faculty of applied mathematics and computer science. van_955@mail.ru

SYSTEM FOR MONITORING THE ANTHROPOGENIC LOAD ON NATURAL AND TERRITORIAL COMPLEXES

V. V. KRASNOPROSHIN^a, A. G. ZHIDKOV^a, A. N. VALVACHEV^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: A. N. Valvachev (van_955@mail.ru)

The paper considers the actual problem related to the assessment of the level of anthropogenic load on natural and territorial complexes. Main factors that can be used to describe the nature and level of the anthropogenic load are identified. Their classification is carried out and the representation unification of heterogeneous parameter values is performed. An algorithm for quantitative estimation of the anthropogenic load level and synthesis of the corresponding management decisions is developed. On the basis of the algorithm, a multi-agent computer system for monitoring natural and territorial complexes is implemented. The system allows region leaders to assess the current level of the anthropogenic load, predict its change while constructing new facilities and making appropriate management decisions. An example of a solution to the problem that demonstrates the operability of a monitoring system is presented.

Key words: ecoinformatics; ecology; anthropogenic pressure; decision making; regional management; monitoring systems.

В результате деятельности промышленных, аграрных, энергетических и транспортных организационно-технических систем постоянно увеличивается уровень антропогенной нагрузки (АН) на природно-территориальные комплексы (ПТК) Республики Беларусь. АН – это результирующая оценка влияния различных факторов загрязнения на объект наблюдения. Загрязнение воздуха, воды, почвы приводит к исчезновению биологических видов, сокращению площади природных ландшафтов, росту заболеваемости населения [1]. Уровень CO₂ в атмосфере впервые за три миллиона лет превысил 400 частей на миллион и не изменился в течение 2016 г., что свидетельствует о серьезных глобальных изменениях в природе. Ситуацию усугубляет рост населения городов, увеличение количества автомобилей, строительство новых дорог, промышленных предприятий и крупных сельскохозяйственных комплексов. В этих условиях органы регионального управления должны решать крайне сложную задачу – развивать экономику и при этом сохранить природу и здоровье населения [2]. В связи с этим возникает необходимость в разработке алгоритмов и программных систем для оценки влияния новых объектов на ПТК в целях минимизации их отрицательного воздействия на экосистемы. Решением этой проблемы занимается экоиформатика – новый перспективный раздел информатики [3].

Одной из важных задач экоиформатики является разработка методов и систем для оценки уровня АН на ПТК и синтеза соответствующих управляющих решений для администрации регионов [4; 5]. В этом направлении ведутся интенсивные исследования, получен ряд интересных результатов [6]. Однако комплексный унифицированный подход к решению задачи, который в достаточной мере учитывал бы факторы нагрузки и специфику региона, пока не разработан. Поэтому администрации регионов достаточно сложно определить реальную АН на ПТК, оценить ее негативные составляющие и обосновать принятие или отмену решений по строительству новых хозяйственных или жилых объектов [4; 5; 7]. В работе предложен один из возможных вариантов комплексного решения задачи оценки АН на ПТК и представлена система мониторинга, ориентированная на совместную работу администрации и экспертов.

Постановка и решение задачи

Пусть имеется некоторый регион R , который подвергается воздействию антропогенных факторов $X = X_1, X_2, \dots, X_n$, значения которых носят гетерогенный характер (string, int, real, double). Требуется разработать компьютерную систему мониторинга (sys) для администрации региона, которая фиксирует значения параметров X , на их основе вычисляет количественную оценку (V) АН и формирует управляющее решение (U).

Анализируя данную задачу, можно выделить следующие подзадачи: определение значимых факторов АН, их классификацию по степени выраженности негатива, приведение гетерогенных значений параметров АН X к одному цифровому типу, построение информационно-структурной модели ПТК и модели сцены мониторинга, разработку алгоритма синтеза U , V и программной системы мониторинга, включающей функциональную часть и базу данных.

Факторы АН. В настоящее время наиболее значительное воздействие на ПТК оказывают четыре группы факторов: промышленная, сельскохозяйственная, транспортная и демографическая. В рамках этих групп выделяются основные факторы, по которым можно судить об уровне АН на ПТК: стоимость основных производственных фондов и валовой продукции; объем выбросов вредных веществ

в атмосферу; объем сбрасываемых сточных вод; нарушение земельных угодий промышленными работами; плотность населения, автодорожной сети и сельскохозяйственных угодий; площадь пашни; количество вносимых минеральных и органических удобрений; численность крупного рогатого скота, свиней и птицы [4; 5].

Градация факторов АН. Градация факторов по степени выраженности негативных последствий и единицы измерения в разных странах и административных регионах могут отличаться, что затрудняет применение математических методов и однозначное понимание результатов. Для снятия этой проблемы необходимо свести значение негатива к универсальной шкале интуитивно понятных строковых переменных (меток). Например, в [4] объем выбросов вредных веществ в атмосферу измеряется в единицах (кг/сут) на 1 км² и сопровождается текстовой меткой. При фиксации более 2000 единиц ситуация считается опасной, в диапазоне от 1000 до 2000 – вредной, менее 1000 единиц – допустимой.

Унификация представления значений параметров. Значения входных параметров (факторов АН) X носят гетерогенный характер, т. е. задаются в вербальной и численной форме, в различных единицах измерения и разных шкалах, что затрудняет их математическую обработку и понимание лицами, принимающими решения. Для устранения этого недостатка необходимо привести различные типы параметров к одному типу. Для этого используем теорию нечетких множеств [8]: для каждого строкового (string) или численного (int, real) значения эксперты строят функцию принадлежности, отображающую его в диапазоне от 0.00 до 1.00. В результате вербальные и численные оценки преобразуются в нечеткий вектор $\langle X \rangle$, описывающий АН на ПТК и состоящий из переменных типа double.

Модели. Решение задачи базируется на модели, объединяющей параметры ПТК, АН и экспертные знания, отображенные в параметрах X , состояниях V , управляющих решениях U и алгоритме f . Предлагается использовать следующий вариант информационно-структурной модели:

$$mR = (X, \langle X \rangle, f, E, V, U), \quad (1)$$

где E – эталонные образы возможных состояний R ; f – функция распознавания номера j эталона E , наиболее похожего на вектор $\langle X \rangle$.

Уточненный вариант модели (1) представлен конечным множеством векторов и переменных, где значения n, m, X, V, U формируются экспертом:

V	X_1	X_2	X_3	...	X_n	U
V_1	0.00	0.00	0.00	...	0.00	U_1
...
V_k	0.50	0.50	0.50	...	0.50	U_k
...
V_m	1.00	1.00	1.00	...	1.00	U_m

$$V_j, U_j = f(X, E, V, U)$$

При больших значениях n и m на ввод экспертом матрицы эталонов E уходит достаточно много времени. Для ускорения этого процесса предлагается следующий алгоритм:

```
int n = 14; int m = 5; // 14 и 5 – типичные значения для практических задач
double[,] E = new double[m, n]; object[] a = new object[m + 2];
a[0] = n; a[1] = m;
for (int k = 0; k <= m - 1; k++)
{ for (int t = 0; t < n; t++) { E[k, t] = 1.0 * k / (m - 1); } }
```

Решение задачи мониторинга, как и любой другой, происходит в рамках некоторой сцены, участники которой играют определенные роли. Предлагается унифицированный вариант сцены, соответствующий составу типичной группы наблюдения за состоянием заповедников:

$$\text{scene} = (R, A, \text{Ex}, S, iX, \text{sys}, \text{com}), \quad (2)$$

где R – идентификатор ПТК; A – администрация; Ex – эксперты; S – источники АН; iX – источники получения значений X ; sys – система оценки уровня АН; com – коммуникации для обмена данными между участниками.

Для построения архитектуры системы мониторинга sys целесообразно использовать многоагентный подход, так как он изначально предназначен для создания распределенных систем [9]. В данном случае достаточно пяти агентов: первый агент (agPrO) в диалоге с экспертами (E) формирует предметную

область (PrO) n, m, X, V, U, E ; второй (agX) – в диалоге с источниками iX получает текущие значения параметров и формирует вектор X ; третий (agV) – оценивает нагрузку V ; четвертый (agU) – формирует соответствующие рекомендации U ; пятый (agVis) – визуализирует результат на экране компьютера или смартфона:

$$\text{sys} = (\text{agPrO}, \text{agX}, \text{agV}, \text{agU}, \text{agVis}, \text{com}). \quad (3)$$

На основе (2) и (3) разработана программная система мониторинга ПТК. Процесс ее применения включает следующие шаги [10; 11]:

- 1) A, E : изучение экспертами ПТК, определение S, X, iX, E, V, U ;
- 2) A, E, agPrO : формализация S, X, iX, V, U и построение базы данных;
- 3) agX : $t = t_0$, начало процесса мониторинга;
- 4) agX : получение текущих значений $\langle X \rangle$ параметров X от X_i ;
- 5) agV : оценка АН V_j , вычисление минимальной, максимальной и средней АН;
- 6) agU : синтез рекомендаций U_j ;
- 7) agVis : визуализация результата $\langle X \rangle, V_j, U_j$ для администрации региона;
- 8) agX : $t = t + \Delta t$, переход на шаг 4.

Для определения состояния ПТК (на шаге 5) разработаны и реализованы алгоритмы распознавания по максимальному значению в векторе $\langle X \rangle$, по минимальному расстоянию до одного из эталонов E по евклидовой или другой метрике.

Рассмотрим пример решения прикладной задачи с распознаванием состояния по принципу максимума (т. е. максимальному значению переменной в векторе параметров).

Экспериментальная часть

Пусть имеется ПТК, на площади которого находятся различные источники АН. Инвестор планирует построить в регионе крупный цементный завод. Требуется определить уровень существующей АН на ПТК и принять обоснованное решение об утверждении или отклонении проекта строительства нового завода.

В результате диалога с источниками iX агент agX получил следующие значения:

$$X_1 = 100-300, X_2 = >600, X_3 = 1000-2000, X_4 = >3000, X_5 = 5-10, X_6 = >250, X_7 = 0,025-0,050, \\ X_8 = 60-75, X_9 = 60-75, X_{10} = 70-100, X_{11} = 2-3, X_{12} = 50-55, X_{13} = 30-35, X_{14} = 50-100$$

и сформировал соответствующий нечеткий вектор АН $\langle X \rangle$ (рис. 1).

ПАРАМЕТРЫ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Промышленная нагрузка		Сельскохозяйственная нагрузка	
Стоимость основных производственных фондов (тыс. руб. на 1 км ²)	300-600	Площадь сельскохозяйственных угодий (% от площади района)	75-90
Стоимость валовой продукции (тыс. руб. на 1 км ²)	>600	Площадь пашни (% от площади района)	75-90
Выбросы вредных веществ в атмосферу (кг/сут на 1 км ²)	>2000	Количество вносимых минеральных удобрений (кг/га)	70-100
Объем сбрасываемых сточных вод (м ³ /сут на 1 км ²)	>3000	Количество вносимых органических удобрений (кг/га)	2-3
Нарушенные промышленными разработками земли (% от площади района)	5-10	Поголовье крупного рогатого скота (на 100 га сельскохозяйственных угодий)	55-60
Демографическая нагрузка		Численность свиней (на 100 га сельскохозяйственных угодий)	35-40
Плотность населения (человек на 1 км ²)	>250	Численность птицы (на 100 га сельскохозяйственных угодий)	50-100
Транспортная нагрузка		Численность птицы (на 100 га сельскохозяйственных угодий)	<50
Плотность автодорожной сети (км/км ²)	0,025-0,050		

Сформирован нечеткий вектор:
 $X = (0,5; 1; 0,75; 1; 0,25; 1; 0,25; 0,5; 0,75; 0,25; 0,25; 0,5; 0,75; 0,25)$

OK

Рис. 1. Интерфейс для ввода значений параметров АН

Fig. 1. Input data interface

Вектор $\langle X \rangle$ передается агенту agV , который оценивает нагрузку V_j , затем агент agU формирует соответствующие рекомендации U_j и передает их агенту $agVis$ для визуализации результата (рис. 2).

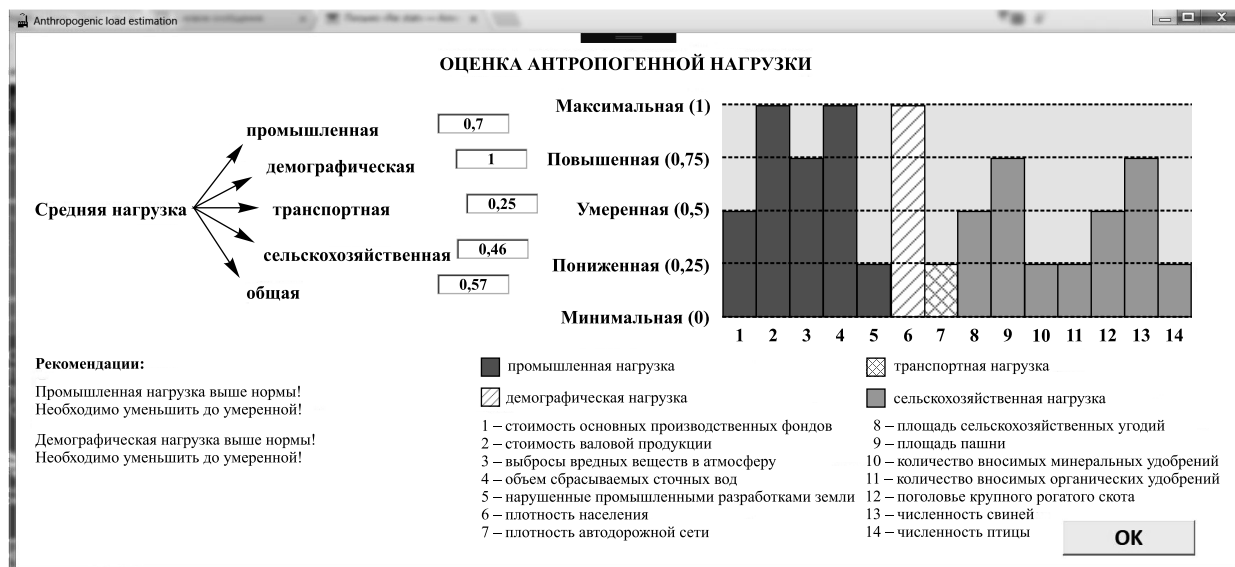


Рис. 2. Визуализация результата мониторинга
 Fig. 2. Visualization of monitoring results

На основе анализа результатов мониторинга можно сделать вывод о том, что уровни промышленной и демографической нагрузки столь высоки, что строительство в данном регионе нового промышленного объекта нецелесообразно. Аналогичные вычисления были проведены на 100 векторах, содержащих случайные значения 14 параметров. Полученные результаты были сопоставлены с оценками экспертов и совпали с ними в 85–90 % случаев.

Разработанная система может использоваться органами регионального управления для оценки текущей АН и поддержки принятия решений при строительстве новых промышленных и сельскохозяйственных объектов.

Библиографические ссылки

1. Monitoring Nature: Research developments. Bristol : European Commission, 2015.
2. Freedman B. Global environmental change. Uitgever : Springer, 2014.
3. Krapivin V. F., Varotsos C. A., Soldatov V. Y. Ecoinformatics tools in environmental science: applications and decision. Cham : Springer, 2016.
4. Региональный экологический мониторинг. М. : Наука, 1983.
5. Якунин П. Н. Эколого-экономическая оценка антропогенной нагрузки в регионе // Вестн. ЛГУ им. А. С. Пушкина. 2013. № 2. С. 38–50.
6. Information technologies in environmental engineering // ITEE-2013 : Sel. Contributions to the Sixth Int. Conf. on Inf. Technol. in Environ. Eng. Berlin : Springer, 2014.
7. Marakas D. Decision support systems in the 21st century. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2002.
8. Mohan C. An introduction to fuzzy set theory and fuzzy logic. Delhi : Eurospan, 2015.
9. Weiss G. Multiagent systems. Cambridge : MIT press, 2013.
10. Shakah G., Krasnoproshin V. V., Valvachev A. N. Decision making system for operative tasks // PRIP'2009 : proc. of 10th Int. conf. (Minsk, 19–21 May, 2009). Minsk, 2009. P. 272–275.
11. Krasnoproshin V. V., Vissia H., Valvachev A. N. Decision making in active systems // AM-SE'2008 : Models and simulation in engineering, economics and management and general applications (Palma de Majorca, 18–20 June, 2008). Palma de Majorca, 2008. P. 300–307.

References

1. Monitoring Nature: Research developments. Bristol : European Commission, 2015.
2. Freedman B. Global environmental change. Uitgever : Springer, 2014.
3. Krapivin V. F., Varotsos C. A., Soldatov V. Y. Ecoinformatics tools in environmental science: applications and decision. Cham : Springer, 2016.
4. [Regional'nyi ekologicheskii monitoring]. Moscow : Nauka, 1983 (in Russ.).

5. Yakunin P. N. [Ekologo-ekonomicheskaya otsenka antropogennoi nagruzki v regione]. *Vestnik Leningr. gos. univ. im. A. S. Pushkina*. 2013. No. 2. P. 38–50 (in Russ.).
6. Information technologies in environmental engineering. *ITEE-2013* : Sel. Contributions to the Sixth Int. Conf. on Inf. Technol. in Environ. Eng. Berlin : Springer, 2014.
7. Marakas D. Decision support systems in the 21st century. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2002.
8. Mohan C. An introduction to fuzzy set theory and fuzzy logic. Delhi : Eurospan, 2015.
9. Weiss G. Multiagent systems. Cambridge : MIT press, 2013.
10. Shakah G., Krasnoproshin V. V., Valvachev A. N. Decision making system for operative tasks. *PRIP'2009* : proc. of 10th Int. conf. (Minsk, 19–21 May, 2009). Minsk, 2009. P. 272–275.
11. Krasnoproshin V. V., Vissia H., Valvachev A. N. Decision making in active systems. *AM-SE'2008* : Models and simulation in engineering, economics and management and general applications (Palma de Majorca, 18–20 June, 2008). Palma de Majorca, 2008. P. 300–307.

*Статья поступила в редколлегию 16.06.2017.
Received by editorial board 16.06.2017.*