

ЭЛЕКТРОНИКА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И РАДИОТЕХНИКА

ELECTRONICS, MEASURING EQUIPMENT AND RADIO ENGINEERING

УДК 543.08

doi:10.21685/2072-3059-2023-1-9

Оценка состояния территориальной техносферы по результатам комплексного мониторинга

О. Е. Безбородова

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

oxana243@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В мире постоянно осуществляют мониторинг различных объектов. Актуальность формирования системы комплексного мониторинга состояния территориальной техносферы связана с общими тенденциями обеспечения безопасности страны. Комплексный мониторинг территориальной техносферы рассматривается как один из видов управленческой деятельности, представляющей собой сбор информации об объектах территориальной техносферы с целью оценки состояния и прогнозирования динамики их развития. Задачей интеллектуального анализа информации является установление закономерностей, характеризующих анализируемый объект. Для обеспечения безопасного функционирования территориальной техносферы необходима концепция комплексного мониторинга, направленная на прогнозирование выявления, анализ и оценку техногенных угроз обществу. *Материалы и методы.* При разработке концепции комплексного мониторинга территориальной техносферы методами исследования послужили изучение существующих подходов к проведению экологического мониторинга, анализ, синтез и обобщение данных научных, нормативно-правовых и методических материалов. *Результаты.* Предложена концепция комплексного мониторинга состояния территориальной техносферы на основе количественной оценки состояния многопараметрического объекта, включающая проблему, задачи, методы и алгоритмы, обеспечивающие ее реализацию. Обоснована необходимость ее разработки с учетом значимости техногенных угроз обществу. Разработан алгоритм проведения комплексного мониторинга состояния территориальной техносферы. В рамках данной концепции обоснован и предложен метод свертывания информации о состоянии многопараметрического объекта. Обосновано введение итогового индекса свертывания многопараметрической информации и предложена методика его оценки. Предложен подход к оценке состояния объектов территориальной техносферы по совокупности параметров с учетом весовых коэффициентов. *Выводы.* Предложенная концепция комплексного мониторинга состояния территориальной техносферы может найти широкое применение в мониторинговых исследованиях для решения проблем устойчивого развития регионов, так как позво-

ляет оценивать любое количество объектов, устанавливая для каждого свою совокупность параметров и критериев их оценки. Использование информационно-измерительных систем упрощает форму представления конечной информации и позволяет лицу, принимающему решения, оперативно принимать решения в чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: концепция, комплексный мониторинг, территориальная техносфера, многопараметрический объект, чрезвычайная ситуация, интеллектуальный анализ

Для цитирования: Безбородова О. Е. Оценка состояния территориальной техносферы по результатам комплексного мониторинга // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. № 1. С. 115–125. doi:10.21685/2072-3059-2023-1-9

The assessment of the territorial technosphere state based on the results of integrated monitoring

O.E. Bezborodova

Penza State University, Penza, Russia

oxana243@yandex.ru

Abstract. *Background.* The world constantly monitors various environmental objects. The relevance of the formation of a system of integrated monitoring of the state of the territorial technosphere is associated with the general trends in ensuring the country's security. Integrated monitoring of the territorial technosphere is considered as one of the types of management activities, which is the collection of information about the objects of the territorial technosphere in order to assess the state and predict the dynamics of their development. The task of intellectual analysis of information is to establish patterns that characterize the analyzed object. To ensure the safe functioning of the territorial technosphere, the concept of integrated monitoring is needed, purposed at predicting the identification, analysis and assessment of technogenic threats to society. *Materials and methods.* When developing the concept of integrated monitoring of the territorial technosphere, the research methods were the study of existing approaches to environmental monitoring, analysis, synthesis and generalization of data from scientific, legal and methodological materials. *Results.* The article proposes the concept of integrated monitoring of the state of the territorial technosphere based on a quantitative assessment of the state of a multi-parameter object, including the problem, tasks, methods and algorithms that ensure its implementation. The author substantiates the need for its development, taking into account the significance of man-made threats to society. An algorithm for carrying out complex monitoring of the state of the territorial technosphere has been developed. Within the framework of this concept, a method of folding information about the state of a multi-parameter object is justified and proposed. The introduction of the final index of convolution of multiparametric information is substantiated and a method for its evaluation is proposed. An approach is proposed to assess the state of objects of the territorial technosphere by a set of parameters, taking into account weight coefficients. *Conclusions.* The proposed concept of integrated monitoring of the state of the territorial technosphere can be widely used in monitoring studies to solve the problems of sustainable development of regions, as it allows you to evaluate any number of objects, setting for each its own set of parameters and criteria for their evaluation. The use of information-measuring systems simplifies the form of presentation of the final information and allows the decision maker to quickly make decisions in an emergency.

Keywords: concept, integrated monitoring, territorial technosphere, multi-parameter object, emergency, intellectual analysis

For citation: Bezborodova O.E. The assessment of the territorial technosphere state based on the results of integrated monitoring. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* = *University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2023;(1):115–125. (In Russ.). doi:10.21685/2072-3059-2023-1-9

Введение

Актуальность формирования системы комплексного мониторинга (КМ) состояния территориальной техносферы (ТТ) связана с общими тенденциями обеспечения безопасности страны. Основными из них являются: прогнозирование, выявление, анализ и оценка угроз безопасности, организация деятельности по их предупреждению, постоянное совершенствование системы обеспечения безопасности.

В общем виде КМ ТТ рассматривается как один из видов управленческой деятельности, представляющей собой сбор информации об объектах территориальной техносферы (ОТТ) с целью оценки состояния и прогнозирования динамики их развития. В дальнейшем эта информация используется для формирования корректирующих воздействий лицом, принимающим решения (ЛПР). Для достижения поставленной цели необходима разработка концепции КМ ТТ, направленной на построение единой системы параметров, характеризующих состояние каждого ОТТ и всей ТТ, обеспечение полноты и достоверности таких данных, развитие научных подходов в прогнозировании и предупреждении чрезвычайных ситуаций (ЧС), разработку методических и программно-аналитических инструментов оценки состояния ОТТ на основе единых критериев и методик анализа.

Исходя из этого концепция КМ состояния ТТ должна содержать научно обоснованную методологию исследования ОТТ, включающую наблюдение, оценку и прогноз изменений состояния ОТТ в результате взаимодействия друг с другом, а так же обеспечение потребностей ЛПР в такой информации для предотвращения и/или минимизации последствий ЧС.

Актуальность, научная значимость вопроса с кратким обзором литературы

В мире постоянно осуществляют мониторинг различных объектов окружающей среды, что свидетельствует об актуальности данной темы. Однако большинство исследований направлены на изучение проблем одной из составляющих биосферы (атмосферы, гидросферы или литосферы) [1–6]. Главной целью этих работ является исследование локальных или объектовых проблем по одному или нескольким параметрам без учета миграции загрязняющих веществ [7]. В ходе исследований устанавливаются зависимости интенсивности техногенных воздействий на природную среду или объект по законодательно установленным критериям качества (предельно допустимые концентрации, уровни, воздействия и т.п.) и не учитывают их взаимное влияние (компенсация, или синергический эффект).

В ряде работ [8–14] для каждой исследуемой составляющей биосферы используют обобщающие коэффициенты – индексы качества, отражающие ее состояние. При объединении частных параметров в обобщенный индекс каждому из них присваивается вес, соответствующий значимости загрязняющего вещества (класс опасности в среде, объем образования).

В рассмотренных работах [15, 16] один многопараметрический ОТТ характеризуют несколько индексов, что неудобно для однозначного принятия решения. Поэтому очевидно, что для практического применения необходимо разрабатывать и внедрять новые методы более глубокого свертывания информации, учитывающие комплексное техногенное воздействие. Такие методы целесообразно разрабатывать и для свертывания совокупности параметров, характеризующих ОТТ, и для системы индексов, отражающих состояние исследуемого объекта через общие для различных ОТТ параметры.

Примерами таких работ являются [17, 18], в них предложены способы осуществления КМ состояния динамических многопараметрических объектов (МПО), процессов и систем по разнородной измерительной информации.

Недостатками указанных способов являются значительные затраты времени на фиксацию фактов изменения состояния МПО по отклонениям его параметров от допусков, невозможность его использования при одновременном возникновении ЧС более чем на одном структурном элементе, а также не обеспечивается одновременное отображение результатов допусковой оценки значений каждого из всей совокупности контролируемых разнородных параметров МПО, что приводит к недостаточной точности оценки состояния МПО. В свою очередь недостаточная точность оценки состояния МПО приводит к ошибочному выбору управляющих воздействий на параметры объекта.

Анализ показал почти полное отсутствие теоретического и практического материала, содержащего комплексные исследования и многопараметрический анализ состояния ТТ.

Постановка задачи

Концепция КМ состояния ТТ необходима для создания научно обоснованного подхода к организации и проведению комплексного исследования ОТТ. Такой подход предусматривает этапы наблюдения (измерения), обработки, анализа, оценки и прогнозирования изменения состояния ОТТ при взаимодействии друг с другом, а также обеспечивает потребность ЛПР в достоверной и оперативной информации для предотвращения и/или минимизации последствий ЧС.

На сегодня существуют отдельные системы мониторинга объектов различного происхождения, использующие различные подходы, методики, контролируемые параметры. Кроме того, такие системы ведомственно разобщены и нет возможности оперативно и эффективно объединить результаты их работы.

Система КМ состояния ТТ, построенная на основе научно обоснованной концепции, позволит объединить разнородную многопараметрическую информацию, характеризующую каждый ОТТ и даст однозначный механизм оценки и управления ТТ.

Теоретическая часть

Современные системы управления, реализованные с использованием компьютерной техники, создали возможность интеллектуального анализа полученной информации. Задачей интеллектуального анализа информации является установление закономерностей, характеризующих анализируемый объект.

Для анализа состояния ТТ необходимо определить, какие параметры должны быть выбраны для мониторинга, выявить факторы, оказывающие существенное влияние на их значения. Для повышения эффективности такого анализа необходимо выполнять интегральные оценки и сопоставления на основе большого числа параметров. Методики многокритериальной оценки и визуализации параметров МПО предлагаются в [19, 20].

Так как оценить всю совокупность параметров, характеризующих состояние ТТ в целом по большой совокупности критериев непросто, удобнее использовать различные индикаторы или индексы состояния ОТТ с учетом его специфики. Это, прежде всего, индексы или индикаторы устойчивого (сбалансированного) развития. В нашем случае итоговый индекс свертывания (ИИС) – это результат свертывания некоторой совокупности параметров и критериев их оценки, характеризующих состояние ТТ, которое может осуществляться по различным методикам. Главной особенностью использования ИИС является формирование унифицированных правил и признаков оценки соответствия ИИС допустимым значениям.

При сборе и подготовке информации для определения ИИС возможно возникновение проблем, связанных:

- с получением информации о состоянии ТТ путем проведения трудоемких и растянутых во времени измерений, так как большая длительность измерений приводит к возникновению целого ряда субъективных и объективных причин появления пропуска в данных;

- с тем что, одинаковые внешние проявления отклонений от нормы значений ИИС могут быть обусловлены различными внутренними процессами в ТТ, что приводит к существенной неоднозначности полученных результатов и выводов.

Таким образом, при интеллектуальном анализе измеренной информации необходимо найти в ней структуру и выявить интересующие закономерности, позволяющие управлять состоянием ТТ.

Для организации интеллектуального анализа информации о состоянии ТТ необходимо решить ряд задач, связанных с моделированием и выявлением закономерностей в измеренных данных. Эти задачи имеют ряд общих признаков. Во-первых, исходными данными для анализа служат результаты измерений, отражающие стохастический процесс. Во-вторых, данные имеют многомерную структуру. В-третьих, данные могут быть неоднородными и содержать пробелы. В некоторых случаях требуется не только решение прямой задачи, например отыскание зависимости состояний ТТ от параметров воздействия на нее, но и обратной, в которой моделируется зависимость параметров воздействия от состояния ТТ.

Для этого необходима концепция КМ состояния ТТ, блок-схема которой приведена на рис. 1.

Практическая реализация

Оценку состояния ТТ по результатам функционирования системы КМ проводим по алгоритму, приведенному на рис. 2.

Предварительно отбирается совокупность параметров, характеризующих ОТТ, на основании которых будет проведена оценка его состояния. Каждый из выбранных параметров должен быть необходим, а все параметры вместе должны быть достаточны для описания состояния рассматриваемого ОТТ.



Рис. 1. Концепция комплексного мониторинга состояния территориальной техносферы

В этой совокупности могут быть параметры, увеличение значений которых приводит к улучшению состояния ОТТ (нормируется минимально допустимое значение, например, содержание кислорода в воде), параметры, увеличение значений которых приводит к его ухудшению (нормируется максимально допустимое значение, например содержание химических примесей в среде), а также параметры, критические значения которых разбивают шкалу изменений параметров на два и более интервалов с противоположными свойствами влияния параметра на ОТТ (например, температура, оцениваемая диапазоном значений).

Для сбора информации используют стационарные и передвижные датчики, позволяющие получать оперативную информацию о состоянии ОТТ.

Измеренные и переданные в центр обработки информации результаты мониторинга ОТТ преобразовывают в ИИС.

Такое преобразование предлагается осуществлять так, чтобы наилучшим условиям по каждому параметру (отклонение от предельно допустимого значения равно нулю) соответствовало значение «0», а наихудшему (отклонение от предельно допустимого значения максимально) – «1». Установим минимальные ($x_{\min}$) и максимальные ($x_{\max}$) значения параметров.

Для параметров, нормируемых по минимально допустимому значению, и используем формулу

$$q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } x_i \leq x_{\min}, \\ (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) & \text{при } x_{\min} < x_i \leq x_{\max}, \\ 1, & \text{при } x_i > x_{\max}, \end{cases} \quad (1)$$

где q_i – преобразованное значение параметра; x_i – текущее значение измеренного параметра; $x_{\min}$ – минимальное (фоновое, допустимое, безопасное, предельно допустимое и т.п.) значение параметра; $x_{\max}$ – максимальное значение параметра.



Рис. 2. Алгоритм комплексного мониторинга состояния территориальной техносферы

Для параметров, нормируемых по максимально допустимому значению, используем формулу

$$q_i(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } x_i \leq x_{\min}, \\ (x_{\max} - x_i) / (x_{\max} - x_{\min}) & \text{при } x_{\min} < x_i \leq x_{\max}, \\ 0, & \text{при } x_i > x_{\max}. \end{cases} \quad (2)$$

Диапазон изменения q_i всегда находится в пределах от 0 до 1. Таким образом, исходные параметры в различных единицах измерения преобразуются в безразмерные, после чего проводят операцию свертывания и получают ИИС, характеризующий состояние ОТТ. Из полученных значений определяем $Q_{\max}$ и $Q_{\min}$.

Свертывание отдельных параметров в ИИС $Q(q, p)$ производят таким образом, чтобы он зависел не только от показателей q_i , но и от их значимости, определяемой весовыми коэффициентами p_i , сумма которых для одного ОТТ равна 1 ($0 \leq p_i \leq 1$). Выбор значений весовых коэффициентов p_i

проводим с учетом значимости воздействия параметра на ОТТ (с учетом класса опасности в среде, предельно допустимого значения или фактического объема образования).

Для получения ИИС используем линейную свертку показателей вида

$$Q_i = \sum_{i=1}^n q_i \cdot p_i, \quad (3)$$

где n – число измеряемых параметров.

Далее по формулам (4) и (5) определяем нижнюю и верхнюю границы ($Q_i^{\text{ГР}}$) каждого ИИС, в результате чего формируем специальную шкалу состояний ОТТ по ИИС с учетом весового участия всех измеренных параметров.

Для определения граничных значений ИИС, объединяющих параметры, нормируемые по минимально допустимому значению, используем формулу

$$Q_i^{\text{ГР}}(q_i p_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } Q_i \leq Q_{\min}, \\ (Q_i - Q_{\min}) / (Q_{\max} - Q_{\min}) & \text{при } Q_{\min} < Q_i \leq Q_{\max}, \\ 1, & \text{при } Q_i > Q_{\max}. \end{cases} \quad (4)$$

Для определения граничных значений ИИС объединяющих параметры нормируемые по максимально допустимому значению используем формулу:

$$Q_i^{\text{ГР}}(q_i p_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } Q_i \leq Q_{\min}, \\ (Q_{\max} - Q_i) / (Q_{\max} - Q_{\min}) & \text{при } Q_{\min} < Q_i \leq Q_{\max}, \\ 0, & \text{при } Q_i > Q_{\max}. \end{cases} \quad (5)$$

На основе рассчитанных значений ИИС строится специальная шкала состояний, по которой определяют состояние ОТТ на данный момент времени (рис. 3).

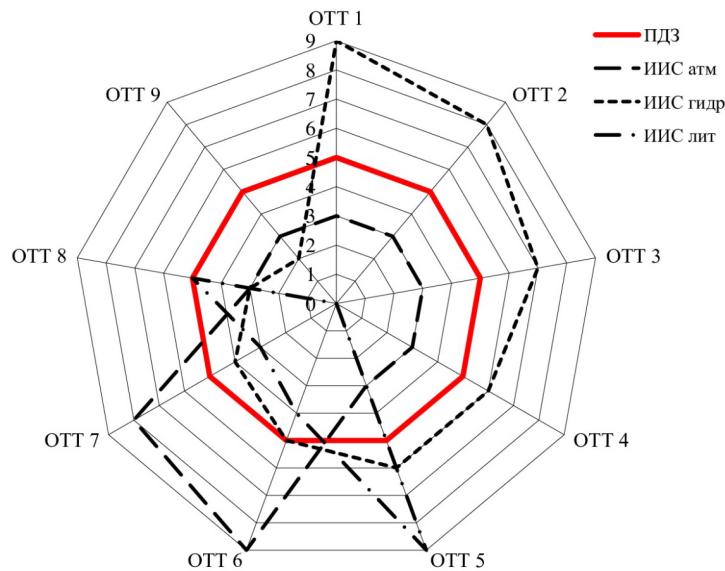


Рис. 3. Результаты анализа состояния объектов территориальной техносферы

Таким образом, на рис. 3 представлен результат оценки состояния трех ОТТ по ИИС, характеризующему состояние атмосферы (ИИС_{атм}), гидросферы (ИИС_{гидр}), литосферы (ИИС_{лит}), а также выделено граничное состояние ИИС_{гр}, объединяющего параметры, нормируемые по минимально допустимому значению. Следовательно, все точки, находящиеся за пределами граничной зоны, свидетельствуют о неблагоприятном состоянии ОТТ, что требует вмешательства ЛПР.

Заключение

Предложенная концепция КМ состояния ТТ может найти широкое применение в мониторинговых исследованиях для решения проблем устойчивого развития регионов, так как позволяет оценивать любое количество объектов, устанавливая для каждого свою совокупность параметров и критериев их оценки. Использование ИИС упрощает форму представления конечной информации и позволяет ЛПР оперативно принимать решения в ЧС.

Список литературы

1. Yurtseven H., Akgul M., Akay A. O. [et al.]. Monitoring system of high accuracy for the assessment of the degradation of the surface of forest roads on horizontal curves // *Environ Monitoring and Assess.* 2019. Vol. 191. P. 32. doi:10.1007/s10661-018-7155-8
2. Liu X., Xiong L., Li D. [et al.]. Monitoring and assessment of exposure to organophosphorus flame retardants in source and drinking water, Nanjing, China // *Environmental Monitoring and Assessment.* 2019. Vol. 191. P. 119. doi:10.1007/s10661-019-7239-0
3. Rivas-Ubach A., Liu Y., Steiner A. L. [et al.]. Atmo-ecometabolomics: a new methodology for determining the chemical characteristics of atmospheric particles for environmental studies // *Environmental Monitoring and Assessment.* 2019. Vol. 191. P. 78. doi:10.1007/s10661-019-7205-x
4. Castle G. D., Mills G. A., Gravell A. [et al.]. Comparison of different monitoring methods for measuring metaldehyde in surface waters // *Environmental Monitoring and Assessment.* 2019. Vol. 191. P. 75. doi:10.1007/s10661-019-7221-x
5. Fehrmann L., Kukunda C. B., Nölke N. [et al.]. Unified land cover monitoring system based on discrete global sampling system (GSG) // *Environmental Monitoring and Assessment.* 2019. Vol. 191. P. 46. doi:10.1007/s10661-018-7152-y
6. Bezborodova O., Tertychnaya S., Kazakov A. Current Problems of Radiation-Ecological Monitoring in Penza Region // *International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2018).* 2018. doi:10.2991/isees-18.2018.13
7. Bezborodova O., Bodin O., Polosin V. Territorial Technosphere as Managed Dynamic System // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018. Vol. 451. P. 012189.
8. Shull D. R., Smith Z. M., Selckmann G. M. Development of a benthic multimetric index for large semi-recoverable rivers in the Mid-Atlantic region of the United States // *Environmental Monitoring and Assessment.* 2019. Vol. 191. P. 22. doi:10.1007/s10661-018-7153-x
9. Sarupria M., Manjare S. D., Girap M. Environmental impact assessment studies for the mining industry in Goa, India, using a new approach // *Environmental Monitoring and Assessment.* 2019. Vol. 191. P. 18. doi:10.1007/s10661-018-7135-z
10. Pandey L. K., Lavoie I., Morin S. [et al.]. To multimediaphoto index to assess the toxicity of fluvial water // *Environmental Monitoring and Assessment.* 2019. Vol. 191. P. 112. doi:10.1007/s10661-019-7234-5
11. Kükreker S., Mutlu E. Surface water quality assessment using water quality index and multivariate statistical analysis in lake Saraiduzu, Turkey // *Environmental Monitoring and Assessment.* 2019. Vol. 191. P. 71. doi:10.1007/s10661-019-7197-6

12. Dutta S., Dwivedi A., Suresh Kumar M. Use of water quality index and multivariate statistical methods to estimate spatial changes in the water quality of a small river // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018. Vol. 190. P. 718. doi:10.1007/s10661-018-7100-x
13. Eguren G., Rivas-Rivera N., García C. [et al.]. Water quality index for agricultural systems in North-West Uruguay // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018. Vol. 190. P. 710. doi:10.1007/s10661-018-7090-8
14. Monforte P., Ragusa M. A. Air pollution assessment in the Mediterranean region by air quality index // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018. Vol. 190. P. 625. doi:10.1007/s10661-018-7006-7
15. Емельянова В. П., Данилова Г. Н., Колесникова Т. Ч. Обзор методов оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям // *Гидрохимические материалы*. 1982. Т. 81. С. 121–131.
16. Пинигин М. А. О понятии «характер комбинированного действия» как основе гигиенической оценки // *Гигиена и санитария*. 1986. № 1. С. 48–50.
17. Патент 2459245 Российская Федерация. Способ комплексного управления состоянием многопараметрического объекта на основе различной информации / Дюнди-ков Е. Т. № 2011106222/08 ; утв. 17.02.2011 ; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23.
18. Патент 2574083 Российская Федерация. Комплексный мониторинг состояния динамических объектов и систем / Белов А. Н. № 2014108537/03 ; утв. 06.03.2014 ; опубл. 20.09.2015, Бюл. № 26.
19. Пашенко Д. В., Трокос Д. А., Советкина Г. И., Николаева Е. А. Методика многокритериальной оценки аппарата сетей Петри // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. 2017. № 1. С. 73–84. doi:10.21685/2072-3059-2017-1-6
20. Кизилев Е. А. Метод построения цветных сетей Петри, моделирующих работу цифрового автомата // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. 2017. № 3. С. 36–47. doi:10.21685/2072-3059-2017-3-3

References

1. Yurtseven H., Akgul M., Akay A.O. et al. Monitoring system of high accuracy for the assessment of the degradation of the surface of forest roads on horizontal curves. *Environmental Monitoring and Assess.* 2019;191:32. doi:10.1007/s10661-018-7155-8
2. Liu X., Xiong L., Li D. et al. Monitoring and assessment of exposure to organophosphorus flame retardants in source and drinking water, Nanjing, China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019;191:119. doi:10.1007/s10661-019-7239-0
3. Rivas-Ubach A., Liu Y., Steiner A.L. et al. Atmo-ecometabolomics: a new methodology for determining the chemical characteristics of atmospheric particles for environmental studies. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019;191:78. doi:10.1007/s10661-019-7205-x
4. Castle G.D., Mills G.A., Gravell A. et al. Comparison of different monitoring methods for measuring metaldehyde in surface waters. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019;191:75. doi:10.1007/s10661-019-7221-x
5. Fehrmann L., Kukunda C.B., Nölke N. et al. Unified land cover monitoring system based on discrete global sampling system (GSG). *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019;191:46. doi:10.1007/s10661-018-7152-y
6. Bezborodova O., Tertychnaya S., Kazakov A. Current Problems of Radiation-Ecological Monitoring in Penza Region. *International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2018)*. 2018. doi:10.2991/isees-18.2018.13
7. Bezborodova O., Bodin O., Polosin V. Territorial Technosphere as Managed Dynamic System. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018;451:012189.
8. Shull D.R., Smith Z.M., Selckmann G.M. Development of a benthic multimetric index for large semi-recoverable rivers in the Mid-Atlantic region of the United States. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019;191:22. doi:10.1007/s10661-018-7153-x

9. Sarupria M., Manjare S.D., Girap M. Environmental impact assessment studies for the mining industry in Goa, India, using a new approach. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019;191:18. doi:10.1007/s10661-018-7135-z
10. Pandey L.K., Lavoie I., Morin S. et al. To multimediaphoto index to assess the toxicity of fluvial water. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019;191:112. doi:10.1007/s10661-019-7234-5
11. Kükre S., Mutlu E. Surface water quality assessment using water quality index and multivariate statistical analysis in lake Saraiduzu, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019;191:71. doi:10.1007/s10661-019-7197-6
12. Dutta S., Dwivedi A., Suresh Kumar M. Use of water quality index and multivariate statistical methods to estimate spatial changes in the water quality of a small river. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018;190:718. doi:10.1007/s10661-018-7100-x
13. Eguren G., Rivas-Rivera N., García C. et al. Water quality index for agricultural systems in North-West Uruguay. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018;190:710. doi:10.1007/s10661-018-7090-8
14. Monforte P., Ragusa M.A. Air pollution assessment in the Mediterranean region by air quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018;190:625. doi:10.1007/s10661-018-7006-7
15. Emel'yanova V.P., Danilova G.N., Kolesnikova T.Ch. Overview of methods for assessing the quality of surface waters by hydrochemical indicators. *Gidrokhimicheskie materialy = Hydrochemical materials*. 1982;81:121–131. (In Russ.)
16. Pinigin M.A. On the concept of “character of combined action” as the basis of hygienic assessment. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitation*. 1986;(1):48–50. (In Russ.)
17. Patent 2459245 Russian Federation. *Sposob kompleksnogo upravleniya sostoyaniem mnogoparametricheskogo ob"ekta na osnove razlichnoy informatsii = A method for complex control of the state of a multi-parameter object based on various information*. Dyundikov E.T. № 2011106222/08; app. 17.02.2011; publ. 20.08.2012, Bull. № 23. (In Russ.)
18. Patent 2574083 Russian Federation. *Kompleksnyy monitoring sostoyaniya dinamicheskikh ob"ektov i sistem = Comprehensive monitoring of the state of dynamic objects and systems*. Belov A.N. № 2014108537/03; app. 06.03.2014; publ. 20.09.2015, Bull. № 26. (In Russ.)
19. Pashchenko D.V., Trokos D.A., Sovetkina G.I., Nikolaeva E.A. The methodology of multicriterial assessment of the Petri nets' apparatus. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2017;(1):73–84. (In Russ.). doi:10.21685/2072-3059-2017-1-6
20. Kizilov E.A. A method to construct coloured Petri nets that simulate digital automaton's performance. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2017;(3):36–47. (In Russ.). doi:10.21685/2072-3059-2017-3-3

Информация об авторах / Information about the authors

Оксана Евгеньевна Безбородова

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой техносферной
безопасности, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: oxana243@yandex.ru

Oksana E. Bezborodova

candidate of engineering sciences, associate
professor, head of the sub-department
of technosphere safety, Penza State
University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Поступила в редакцию / Received 27.04.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 20.08.2022

Принята к публикации / Accepted 09.01.2023