

УДК 004.94

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Сурина Елена Евгеньевна<sup>1</sup>,

кандидат экономических наук, доцент,

e-mail: esurina@miiv.ru,

<sup>1</sup>Московский университет имени С.Ю. Витте, г. Москва, Россия

*В статье исследуется проблема создания и развития комплексной системы промышленного экологического мониторинга. Сложность проблемы заключается в наличии неопределенности при решении задач оценки и прогнозирования экологической ситуации. Показана сложность структуры и функционала гетерогенных систем промышленного экологического мониторинга, обоснована актуальность моделирования локальных систем на различных уровнях. Исследованы методы математического обеспечения программных комплексов систем промышленного экологического мониторинга, выделены характерные особенности. Сравнительный анализ методов, используемых в моделях, позволил сделать вывод, что в определенных случаях часть методов не может быть использована, часть будет требовать адаптации к заданному объекту путем эмпирического уточнения коэффициентов уравнений, лежащих в основе метода. Выделена еще одна группа методов, которая не предполагает учет географической специфики местности или, с ее учетом, дает значительные погрешности расчета, соизмеримые с исходными значениями концентраций. Для решения проблемы нивелирования указанных недостатков предложена информационная модель моделирования и мониторинга экологической ситуации. Сформулированы рекомендации по созданию и развитию локальных систем промышленного экологического мониторинга на основе совершенствования численных методов моделирования, усиления интеграции с платформами информационных систем предприятия, расширение функционала удаленной передачи данных, усиления аналитического функционала программных средств.*

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, информационная модель, экспертная оценка, функционал автоматизированной системы

## MODELING OF LOCAL INDUSTRIAL ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS

Surina E.E.<sup>1</sup>,

candidate of economic sciences, Associate Professor,

e-mail: esurina@miiv.ru,

<sup>1</sup>Witte Moscow University, Moscow, Russia

*The article examines the problem of creating and developing a comprehensive system of industrial environmental monitoring. The complexity of the problem lies in the presence of uncertainty in solving the problems of assessing and forecasting the environmental situation. The complexity of the structure and functionality of heterogeneous industrial environmental monitoring systems is shown, the relevance of modeling local systems at various levels is justified. Methods of mathematical support of software complexes of industrial environmental monitoring systems are investigated, characteristic features are highlighted. A comparative analysis of the methods used in the models allowed us to conclude that in certain cases, some of the methods cannot be used, some will require adaptation to a given object by empirically refining the coefficients of the equations underlying the method. Another group of methods is singled out, which does not take into account the geographical specifics of the area or, taking it into account, gives significant calculation errors commensurate with the initial values of concentrations. To solve the problem of leveling these shortcomings, an information model for modeling and monitoring the environmental situation is proposed. Recommendations are formulated for the creation and development of local*

*industrial environmental monitoring systems based on improving numerical modeling methods, strengthening integration with enterprise information system platforms, expanding the functionality of remote data transmission, strengthening the analytical functionality of software tools.*

**Keywords:** environmental monitoring, information model, expert assessment, functionality of an automated system

DOI 10.21777/2500-2112-2021-2-65-71

Одной из наиболее актуальных задач в области социально-экономических систем является разработка эффективной модели экологического мониторинга. Основные требования к организации и осуществлению производственного экологического мониторинга (ПЭМ) определены в ГОСТ Р 56059-2014 «Производственный экологический мониторинг. Общие положения», относящемся к национальным Стандартам Российской Федерации (Industrial environmental monitoring. General principles). Согласно этому документу, ПЭМ осуществляется в соответствии с законодательством и представляет собой мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. В рамках системы мониторинга создаются пункты и системы наблюдений за состоянием окружающей среды в районах расположения объектов, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Владельцы объектов в соответствии с требованиями осуществляют мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды в зоне воздействия этих объектов (локальные системы наблюдений). Таким образом, экологическая система входит в совокупность систем производственного процесса предприятия наравне с технической и экономической подсистемами [1].

Цель ПЭМ – обеспечение организаций информацией о состоянии и загрязнении окружающей среды, необходимой им для осуществления деятельности по сохранению и восстановлению природной среды, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов, предотвращению негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию его последствий.

Согласно Федеральному закону № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»<sup>1</sup> экологический мониторинг представляет собой комплексную систему наблюдений за состоянием окружающей среды, а также оценки и прогнозирования изменений её состояния под воздействием природных и антропогенных факторов.

Создание системы экологического мониторинга осуществляется на различных уровнях. Данный вид деятельности привязан к территориям – стране, региону, урбанистической или аграрной территории, отдельным географическим объектам. При этом на территории, как правило, уже существует и функционирует подсистемы наблюдений, более или менее эффективно решающие задачу сбора и фиксации данных. Такие сети обычно имеют локализацию не только относительно мониторинговой территории, но и относительно отдельных предприятий или ведомств, вследствие чего возникает неопределенность задачи оценки и прогнозирования экологической ситуации [2].

В связи с изложенным, центральной проблемой организации экологического мониторинга является разработка системно достаточной информационной модели экологического мониторинга. В свою очередь, такая модель разрабатывается на различных уровнях управления природоохранной и экологической деятельностью. В государственной системе управления природоохранной деятельностью в РФ важную роль играет формирование Единой Государственной Системы Экологического Мониторинга (ЕГСЭМ). ЕГСЭМ включает в себя несколько основных подсистем (рисунок 1), функционирование которых поддерживают такие ведомства как Министерство природных ресурсов, Госкомэкология, Росгидромет, Роскомзем, Роскомрыболовство, Росслесхоз, Роскартография, Федеральная служба по экологическому технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор), Госкомсанэпиднадзор России, Минобороны России.

На государственном уровне решение задачи моделирования ЕГСЭМ требует участия огромного числа исполнителей, деятельность которых в этом аспекте нацелена на выполнение отдельных задач,

<sup>1</sup> Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ (последняя редакция). – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/) (режим доступа: 28.06.2021).

ориентированных на ведомственные интересы [3]. Таким образом, решение проблемы разработки и функционирования общенациональной системы экологического мониторинга невозможно без развития системы экологического мониторинга на локальном и региональном уровнях, проективно реализующих функции подсистем ЕГСЭМ.

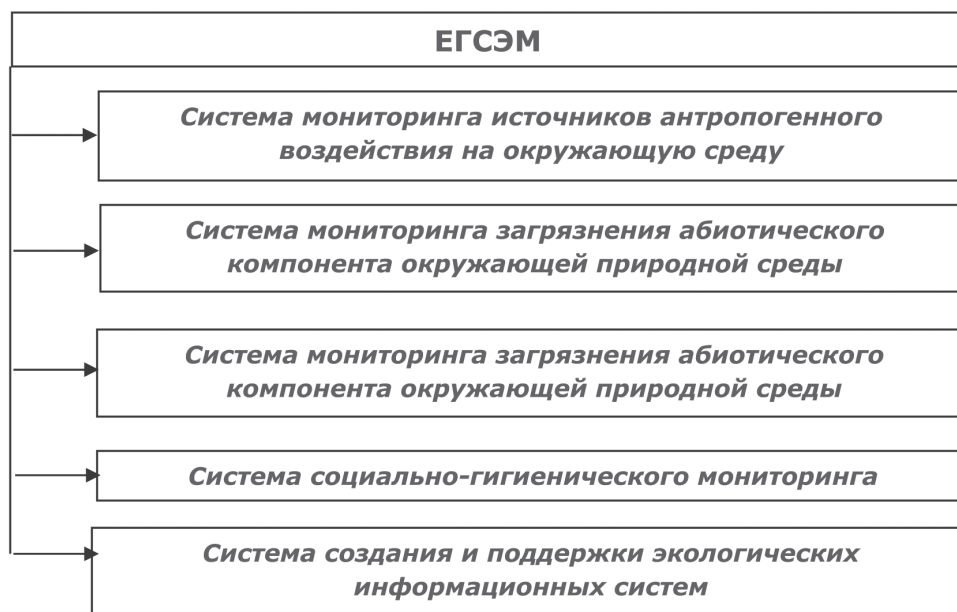


Рисунок 1 – Структура Единой Государственной Системы Экологического Мониторинга

Дальнейшая локализация проблемы приводит к неизбежной актуализации разработки базовой информационной модели системы промышленного экологического мониторинга (ПЭМ) на отдельных предприятиях.

Исследование проводилось на АО «Орский машиностроительный завод» (ОМЗ). Организация природоохранной деятельности на этом предприятии следует основным принципам корпоративной экологической политики с использованием системного подхода к управлению природоохранной деятельностью. Приоритетными направлениями в области экологии для ОМЗ являются как выполнение требований природоохранного законодательства, так и совершенствование системы управления экологическими аспектами деятельности. В отношении последнего можно отметить успешное прохождение предприятием надзорного аудита компанией SAI GLOBAL (Великобритания) на соответствие требований международного стандарта «Системы экологического менеджмента» (2017 г.).

В рамках иерархической структуры управления АО «Орский машиностроительный завод» экологический контроль и мониторинг осуществляет Бюро охраны окружающей среды, являющееся структурным подразделением Управления по охране труда, промышленной безопасности и охране окружающей среды. Осуществление экологического контроля в первую очередь связано со сбором, обработкой и передачей данных об объеме или массе выбросов в атмосферный воздух и мониторинг концентрации вредных (загрязняющих) веществ в выбросах в промышленной зоне предприятия.

На начальном этапе моделирования системы организации ПЭМ на ОМЗ были исследованы бизнес-процессы процесса данного подразделения, определены участники и основные потоки информационного обмена. Затем по методологии DFD были построены модель потоков данных и функциональные модели, отражающие общий процесс автоматизации исследуемого участка предметной области и потоки данных, отражающие обобщенную совокупность обрабатываемых документов [4, 5]. Дальнейшая детализация процесса мониторинга и моделирования представлена на основе технологии SADT, что показано на диаграмме декомпозиции (рисунок 2).

В совокупности с анализом информационно-коммуникативных взаимодействий системы ПЭМ на ОМЗ были исследованы различные методы математического обеспечения расчета концентрации загряз-

няющего вещества в атмосфере (ОНД-86, МАГАТЭ, ISC3ST, ЭПК «ZONE»), реализованные в виде программных комплексов (ПМ УПРЗА «Эколог», АСЭК, ПК «Кедр» и др.). Сравнительный анализ методов, используемых в вышеперечисленных моделях, позволил сделать вывод, что в определенных случаях часть методов не может быть использована, часть будет требовать адаптации к заданному объекту путем эмпирического уточнения коэффициентов уравнений, лежащих в основе метода. Выделена еще одна группа методов, которая не предполагает учета географической специфики местности или, с ее учетом, дает значительные погрешности расчета, соизмеримые с исходными значениями концентраций.

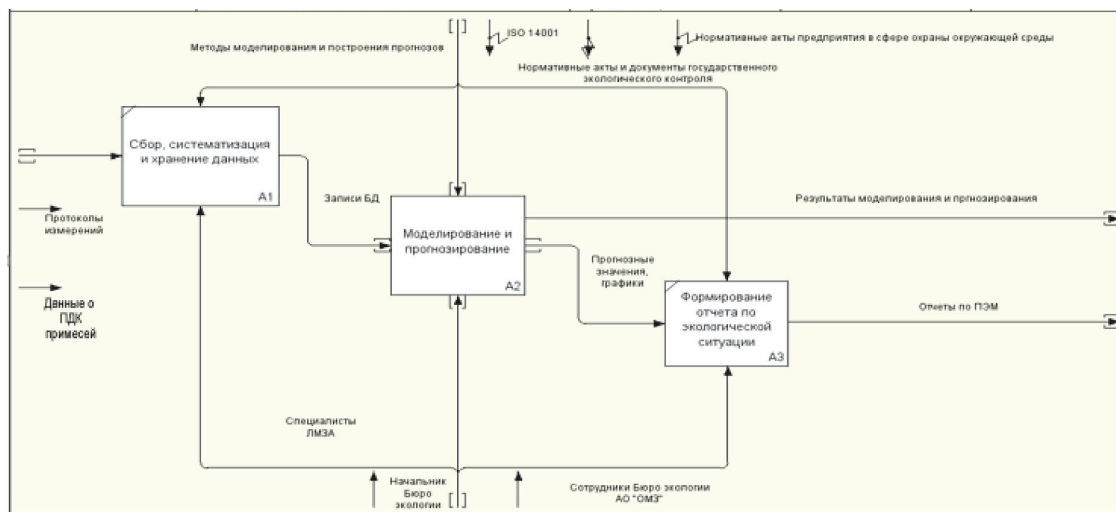


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции процесса «Мониторинг и моделирование экологической ситуации»

Для решения проблемы нивелирования вышеперечисленных недостатков была разработана информационная модель моделирования и мониторинга экологической ситуации. На рисунке 3 представлена ее адаптированная схема в укрупненном виде с учетом практической реализации и интеграции с комплексной ПЭМ. Программный продукт, построенный на основе предлагаемой информационной модели, должен обладать следующим базовым набором функций:

- формирование массива исходных данных с внутренней структурой представления на основе данных, предоставляемых субъектами экологического мониторинга в форматах обмена данными;
- обеспечение простоты интеграции определенными пользователями комплекса методов расчета распространения примеси;
- возможность постобработки выходной информации (наличие базы данных и знаний).

В предлагаемой информационной модели предполагается использование таких массивов исходных данных, как метеорологическая информация; информация о концентрациях примеси, собираемая субъектами экологического мониторинга и географическая информация. На выходе информационной модели могут быть представлены различные виды выходной информации, включая временные ряды прогнозных значений концентрации примеси и графики их представления, а также пространственные графики (например, поля концентраций загрязняющих веществ в форматах геоинформационных систем). Еще одним массивом выходной информации является экспертная информация, позволяющая оценивать принятые решения по улучшению экологической ситуации на урбанистической территории и совершенствованию системы экологического мониторинга на предприятии.

Поскольку модификация или создание новой системы ПЭМ на предприятии предполагает значительные временные, трудовые и денежные затраты, в том числе и на реинжиниринг процесса экологической деятельности, то необходимо четкое обоснование планируемой реструктуризации по функционалу системы. Для этого была произведена экспертная оценка функциональных компонент системы блока мониторинга – подсистемы наблюдения и контроля, подсистемы визуализации данных, подсистемы прогнозного состояния и принятия решений [6].

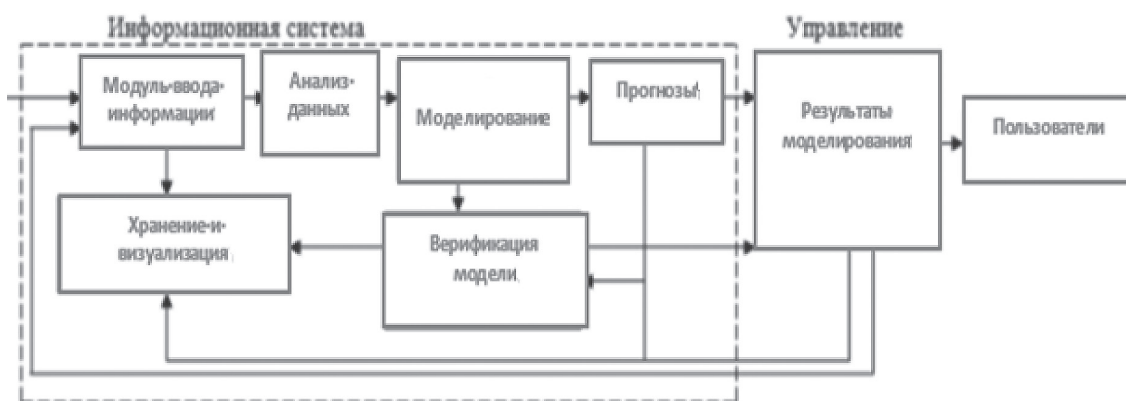


Рисунок 3 – Адаптированная структура системы моделирования и мониторинга экологической ситуации

Для моделирования локальных систем ПЭМ введем следующие обозначения:

$R = \{r_1, \dots, r_k\}$  – исходное множество структурных компонент системы;

$F = \{f_1, \dots, f_n\}$  – исходное множество функций системы.

Оценивались следующие модули программного комплекса:  $E_{ВВ}$  – компонента ввода данных,  $E_{КОР}$  – компонента корректировки и верификации (подсистема наблюдения и контроля);  $E_{ПРОГН}$  – компонента прогнозирования (подсистема прогнозного состояния и принятия решений);  $E_{ВИЗ}$  – компонента визуализации (подсистема визуализации данных).

Для формирования оценок вариантов системы с различной функциональной нагрузкой был использован метод ранжировки экспертных оценок [7]. Ставится соответствие функционального варианта  $F_i$  и  $\alpha_{ij}$ , где  $\alpha_{ij}$  – весовые коэффициенты элементов системы:

$$\alpha_{ij} = \frac{\omega_{ij}}{\sum_{i=1}^m \omega_{ij}}, \text{ при } \omega_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^l \omega_{ij}, \quad (1)$$

где  $\omega_{ij}$  – вес элемента в системе,

$m$  – минимально допустимое количество экспертов.

Аддитивный интегральный критерий представлен следующей формулой:

$$E_F = \sum_{i=1}^k \omega_{ij} r_i. \quad (2)$$

Исходя из средней оценки (степени) значимости функций элементов ПЭМ с максимальной функциональностью в таблице приведены весовые коэффициенты  $\alpha_{ij}$  ее компонент, определяющие важность элементов в формировании требуемого варианта системы моделирования и мониторинга. В оценке принимали участие 3 эксперта (таблица 1). Весовые коэффициенты  $\omega_{ij}$  и  $\alpha_{ij}$  определены согласно (1).

Таблица – Экспертные оценки и весовые коэффициенты компонентов системы моделирования и мониторинга экологической ситуации

Экспертная оценка	Компоненты системы моделирования и мониторинга экологической ситуации			
	$E_{ВВ}$	$E_{КОР}$	$E_{ПРОГН}$	$E_{ВИЗ}$
Эксперт 1	0,85	0,86	0,5	0,38
Эксперт 2	0,84	0,84	0,6	0,45
Эксперт 3	0,88	0,81	0,5	0,65
Вес компонента $\omega_{ij}$	0,86	0,84	0,70	0,49
Весовой коэффициент $\alpha_{ij}$	0,3	0,3	0,2	0,2

Полученные результаты показывают относительную важность компонент ввода и корректировки данных перед компонентами прогнозирования и визуализации для пользователей.

Таким образом, отчасти решена задача оптимизации структуры локальной системы экологического мониторинга для реализации представленной информационной модели путем разработки программного продукта. Разработка и развитие локальных систем промышленного экологического мониторинга должна производиться с ориентацией на совершенствование численных методов моделирования; усиление интеграции с платформами информационных систем предприятия; расширение функционала удаленной передачи данных; усиление аналитического функционала программных средств [8].

### Заключение

В статье обоснована актуальность моделирования локальных систем промышленного экологического мониторинга на различных уровнях. Исследованы структура и функционал комплексной системы производственного экологического мониторинга промышленного предприятия. Раскрыта проблема возникновения неопределенности при решении задач оценки и прогнозирования экологической ситуации. Решение данной проблемы рассматривается на основе моделирования локальных систем промышленного экологического мониторинга. В статье приведены результаты анализа существующих систем экологического моделирования и мониторинга. Исследованы методы математического обеспечения программных комплексов, выделены характерные особенности. Представлена базовая информационная модель системы моделирования и мониторинга экологической ситуации. Сформулированы рекомендации по созданию и развитию локальных систем экологического мониторинга.

### Список литературы

1. *Парфенова М.Я.* Развитие подходов к формализации ситуационного управления / Научные труды московского университета имени С.Ю. Витте: сборник научных статей. – М.: изд. ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2015. – С. 137–147.
2. Экодинамика и экологический мониторинг Санкт-Петербургского региона в контексте глобальных изменений: монография. – СПб.: Наука, 1996. – 442 с.
3. *Гинис, Л.А.* Моделирование сложных систем: когнитивный теоретико-множественный подход: монография / Л.А. Гинис, Л.В. Гордиенко; Южный федеральный университет. – Ростов н/Д – Таганрог: изд. Южного федерального университета, 2016. – 160 с.
4. *Сурина Е.Е.* Функциональное моделирование в проектировании и разработке автоматизированной системы экологического мониторинга и контроля на промышленном предприятии // Развитие современного общества: вызовы и возможности: материалы XVII международной научной конференции, в 4 ч. (Москва, 2 апреля 2021 г.). – М.: изд. ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2021. – С. 722–728.
5. *Сурина Е.Е.* Моделирование информационной системы экологического мониторинга на промышленном предприятии // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований: материалы XI международной научно-практической конференции (Саратов 21 апреля 2021 г.). – М.: «Цифровая наука», 2021. – С. 30–37.
6. *Сурина Е.Е.* Проблемы построения системы экологического мониторинга на средних промышленных предприятиях // Природопользование и устойчивое развитие регионов России. Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2020. – С. 225–229.
7. *Доронина, Ю.В.* Метод модернизации информационных систем экологического мониторинга на основе анализа их функциональной нагрузки / Ю.В. Доронина, В.О. Рябовая // Труды СПИИРАН [Электронный ресурс]. – 2016. – Вып. 1(44). – URL: [www.proceedings.spiiras.nw.ru](http://www.proceedings.spiiras.nw.ru) (дата обращения: 28.06.2021).
8. *Наац, В.И.* Математические модели и численные методы в задачах экологического мониторинга атмосферы: монография / В.И. Наац, И.Э. Наац. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 328 с.

### References

1. *Parfenova M.Ya.* Razvitiye podhodov k formalizacii situacionnogo upravleniya / Nauchnye trudy moskovskogo universiteta imeni S.Yu. Vitte: sbornik nauchnyh statej. – M.: izd. CHOUVO «MU im. S.Yu. Vitte», 2015. – S. 137–147.

2. Ekodinamika i ekologicheskij monitoring Sankt-Peterburgskogo regiona v kontekste global'nyh izmenenij: monografiya. – SPb.: Nauka, 1996. – 442 s.
3. *Ginis, L.A.* Modelirovanie slozhnyh sistem: kognitivnyj teoretiko-mnozhestvennyj podhod: monografiya / L.A. Ginis, L.V. Gordienko; Yuzhnyj federal'nyj universitet. – Rostov n/D – Taganrog: izd. Yuzhnogo federal'nogo universiteta, 2016. – 160 s.
4. *Surina E.E.* Funkcional'noe modelirovanie v proektirovanii i razrabotke avtomatizirovannoj sistemy ekologicheskogo monitoringa i kontrolya na promyshlennom predpriyatii // Razvitie sovremennogo obshchestva: vyzovy i vozmozhnosti: materialy XVII mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, v 4 ch. (Moskva, 2 aprelya 2021 g.). – M.: izd. CHOUVO «MU im. S.Yu. Vitte», 2021. – S. 722–728.
5. *Surina E.E.* Modelirovanie informacionnoj sistemy ekologicheskogo monitoringa na promyshlennom predpriyatii // Novye impul'sy razvitiya: voprosy nauchnyh issledovanij: materialy XI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. (Saratov 21 aprelya 2021 g.). – M.: «Cifrovaya nauka», 2021. – s. 30–37
6. *Surina E.E.* Problemy postroeniya sistemy ekologicheskogo monitoringa na srednih promyshlennyh predpriyatiyah // Prirodopol'zovanie i ustojchivoe razvitie regionov Rossii. Sbornik statej II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Penza, 2020. – S. 225–229.
7. *Doronina, Yu.V.* Metod modernizacii informacionnyh sistem ekologicheskogo monitoringa na osnove analiza ih funkcional'noj nagruzki / Yu.V. Doronina, V.O. Ryabovaya // Trudy SPIIRAN [Elektronnyj resurs]. – 2016. – Vyp. 1(44). – URL: [www.proceedings.spiiras.nw.ru](http://www.proceedings.spiiras.nw.ru) (data obrashcheniya: 28.06.2021).
8. *Naac, V.I.* Matematicheskie modeli i chislennye metody v zadachah ekologicheskogo monitoringa atmosfery: monografiya / V.I. Naac, I.E. Naac. – M.: FIZMATLIT, 2010. – 328 s.