

ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

Разработана логико-вероятностная модель оценки уровня экологической безопасности промышленного города. Проведена апробация такой методики в программном комплексе "АРБИТР". Практическое применение такого подхода поможет сформировать существующую картину уровня экологической безопасности, а также повысить эффективность применения природоохранных мероприятий в промышленных городах.

Ключевые слова: экологическая безопасность, экологический вызов, техногенная опасность, логико-вероятностный подход, риск.

A.G. Dolgopolova, N.K. Plugotarenko

LOGIC-PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE LEVEL OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF INDUSTRIAL CITIES

A logical-probabilistic model for assessing the level of environmental safety in an industrial city has been developed. Approbation of this method was carried out in the software complex "ARBITR". Practical application of this approach will help to form an existing situation of the level of environmental safety, as well as to improve the effectiveness of environmental protection measures in industrial cities.

Key words: ecological safety, ecological challenge, man-caused danger, logical-probabilistic approach, risk.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 18 августа 2017 г.

Введение

Стремительное развитие и появление современного высокоиндустриального общества увеличивает рост вмешательства человеческой деятельности в окружающую среду, что зачастую оказывает пагубное воздействие на природу. Ухудшение состояния окружающей среды создаёт угрозу для жизни и здоровья человека. На сегодняшний день совершенно очевидно, что загрязнение окружающей среды является источником возникновения различных заболеваний, а также способствует сокращению продолжительности жизни человека, подверженного влиянию экологически негативных факторов.

Развитие технического прогресса привело к тому, что охрана окружающей среды и её восстановление являются важнейшей задачей современной науки. Рост негативного воздействия на состояние окружающей среды промышленных городов стал одной из серьезнейших проблем в области экологии [1].

Разработка логико-вероятностной модели оценки уровня экологической безопасности промышленного города

В любом виде деятельности человека методика принятия важных решений должна быть основана на проведении анализа не только существующих, но и возможных рисков. Под безопасностью общества и окружающей среды будем понимать степень защищённости от воздействия всевозможных рисков [2, 3]. Уровень безопасности промышленного города будем рассматривать как экологический вызов – систему воздействий различных подсистем (воздушная среда, водные объекты (подземные и поверхностные), почва, радиационная обстановка, шумовое загрязнение, источники питьевой воды). Проведение комплексного анализа риска позволяет эффективно оценить уровень существующей экологической безопасности как отдельных городов, так и целых регионов.

Среди применяемых методов комплексной оценки уровня экологической безопасности промышленных городов выявлен недостаток способов проведения количественной оценки существующего экологического риска. В других областях научного знания имеется успешный опыт применения логико-вероятностного подхода для решения подобных актуальных задач. Поэтому применение такого подхода позволит оценить воздействие негативных и положительных факторов на состояние окружающей среды для определения их значимости с целью формирования рациональных предложений для их парирования.

Для оценки уровня экологической безопасности промышленных городов сформирован общий алгоритм, позволяющий разработать логико-вероятностную модель. В основе данного алгоритма рассматривается экологический вызов – угроза, требующая реагирования для снижения риска. На экологический вызов оказывается воздействие различных подсистем – атмосферного воздуха, природных подземных и поверхностных вод, почвенного покрова, состояния питьевой воды, шумового и рационального воздействия.

Воздействие каждой из представленных подсистем оценивается влиянием различных источников загрязнения с учётом источников самоочищения. В свою очередь, источники загрязнения носят антропогенный и естественный характер. Антропогенные представлены транспортом, промышленностью, сельским хозяйством, а также бытовыми источниками загрязнения. Естественные – минеральными, микробиологическими и растительными загрязнителями. При рассмотрении антропогенных источников необходимо учитывать не только источники негативного воздействия, но и проводимые мероприятия по сокращению и предотвращению данного негативного воздействия.

Кроме того, важно отметить, что все негативные факторы, оказывающие воздействие на каждую из подсистем, складываются или подвергаются логической операции дизъюнкции – логическому "ИЛИ", так как на уровень загрязнения подсистем может оказывать влияние как один из факторов, так и несколько факторов одновременно. Аналогичным способом проводится оценка воздействия положительных факторов.

Загрязнение и проведение мероприятий по сокращению и предотвращению такого загрязнения происходят одновременно, но оказывают нейтрализующее значение друг на друга. Поэтому влияние негативных и положительных факторов на рассматриваемую подсистему подвергаются умножению или логической операции конъюнкции – логическому "И". Таким образом, была разработана схема логико-вероятностной модели воздействия на экологический вызов. Общее количество элементов в разработанной модели составляет 1355, поэтому лишь малый фрагмент данной схемы представлен на рис. 1.

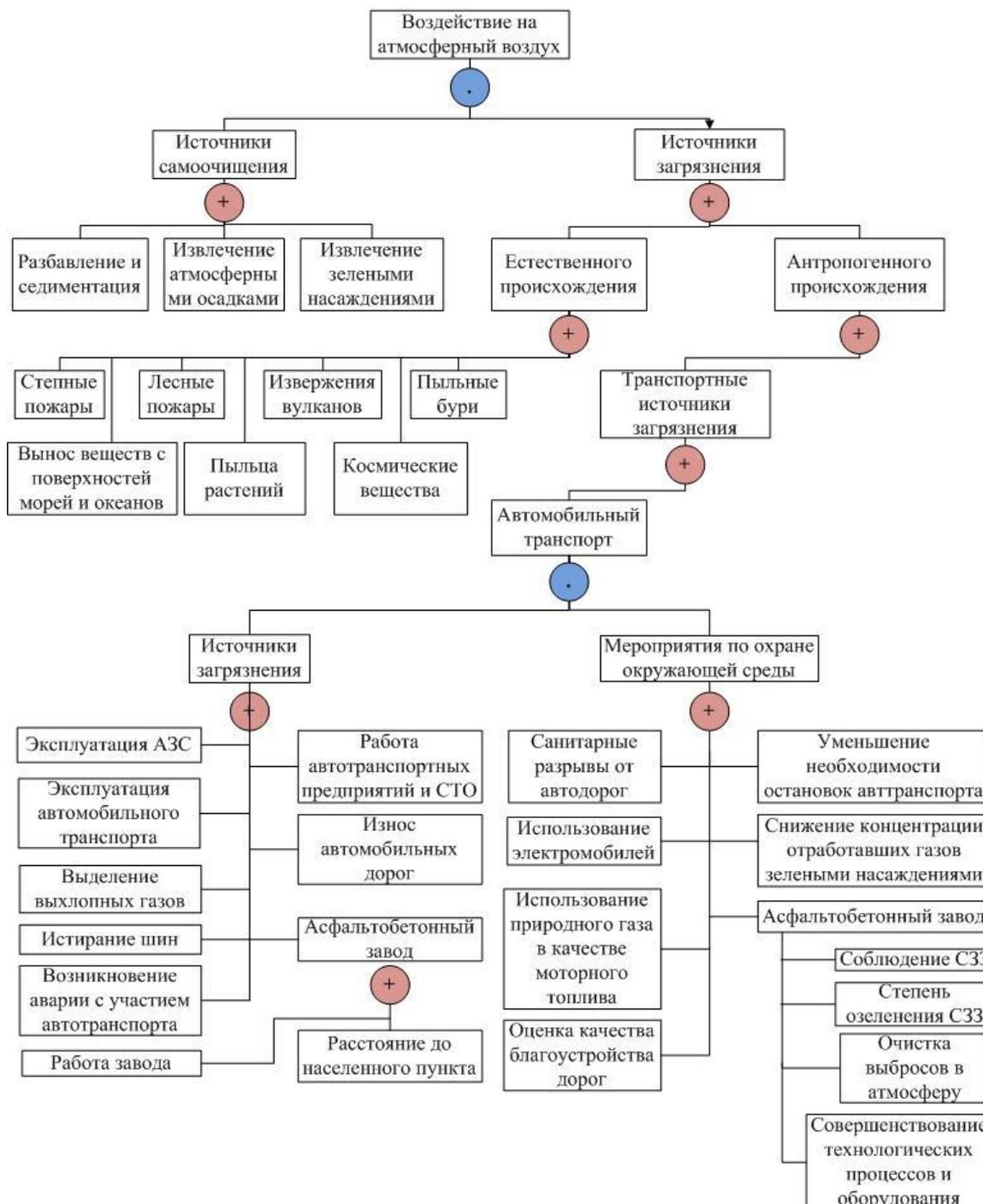


Рис. 1. Фрагмент логико-вероятностной модели воздействия различных факторов на атмосферный воздух

Разработка лингвистической шкалы оценок параметров риска

Для проведения расчёта уровня экологической безопасности с конкретной формой или способом проявления, требующей реагирования с целью снижения существующего риска, или для проведения расчёта экологического риска с применением логико-вероятностного подхода, разработана шкала оценок необходимых параметров риска для каждого негативного и положительного фактора (общее количество таких факторов – 885), в основе которой использовалась универсальная шкала базовых оценок параметров риска [4]. Принимаемые условные обозначения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Принимаемые лингвистические значения параметров риска

Мера воздействия негативного фактора	Число	Мера воздействия положительного фактора	Число
Очень низкий	0,1	Очень, очень высокий	0,0
Низкий	0,2	Очень высокий	0,2
Ниже среднего	0,3	Высокий	0,3
Средний	0,4	Очень серьёзный	0,4
Выше среднего	0,5	Серьёзный	0,5
Серьёзный	0,6	Выше среднего	0,6
Очень серьёзный	0,7	Средний	0,7
Высокий	0,8	Ниже среднего	0,8
Очень высокий	0,9	Низкий	0,9
Очень, очень высокий	1,0	Очень низкий	0,9

Разработанная методика комплексной оценки уровня экологической безопасности промышленных городов апробирована в программном комплексе "АРБИТР".

Апробация разработанной методики в программном комплексе "АРБИТР"

Методика имеет большой объём данных, что не позволяет одновременно провести полный расчёт, поэтому логико-вероятностную модель была разбита на фрагменты. Рассмотрим фрагмент расчёта воздействия на состояние атмосферного воздуха г. Таганрога.

Для проведения априорной оценки риска по представленной модели, были собраны сведения о мерах возможности P_1 и P_2 проявления всех её исходных факторов [5, 6]. Фрагмент соответствующих сведений представлен в табл. 2.

**Фрагмент исходных предпосылок воздействия
на состояние атмосферного воздуха Таганрога**

№ п/п	Наименование события-предпосылки	P_1	P_2
1	2	3	4
1	Экологический вызов	–	–
2	Воздействие на атмосферный воздух	–	–
3	Воздействие на природные воды	–	–
4	Воздействие на качество состояния питьевой воды	–	–
5	Воздействие на почву	–	–
6	Шумовое воздействие	–	–
7	Радиационное воздействие	–	–
8	Загрязнение атмосферного воздуха	–	–
9	Самоочищение атмосферного воздуха	–	–
10	Естественные источники загрязнения	–	–
11	Извержения вулканов	0,0	0,0
12	Лесные пожары	0,0	0,0
13	Степные пожары	0,3	0,3
14	Пыльные бури	0,0	0,0
15	Пыльца растений	0,5	0,5
16	Вынос веществ с поверхности морей и океанов	0,5	0,5
17	Ветровая эрозия	0,1	0,1
18	Космические вещества	0,0	0,0
19	Антропогенные источники загрязнения	–	–
20	Транспортные источники загрязнения	–	–
21	Автомобильный транспорт	–	–
22	Источники загрязнения при эксплуатации автомобильного транспорта	–	–
23	Эксплуатация автомобильного транспорта	0,6	0,6
24	Износ автомобильных дорог (пыль, износ линий разметок дорог на полосы и т.д.)	0,3	0,3
25	АЗС	0,8	0,8
26	Выделение выхлопных газов	0,9	0,9
27	Износ шин	0,2	0,2
28	Асфальтобетонный завод	–	–
29	Расстояние до населенного пункта от асфальтобетонного завода	0,0	0,0
30	Работа асфальтобетонного завода	0,0	0,0
31	Работа авторемонтных предприятий и станций технического обслуживания	0,3	0,3
32	Работа баз дорожной техники	0,1	0,1
33	Возникновение аварии с участием автотранспорта	0,4	0,4
34	Меры по охране атмосферного воздуха от воздействия загрязнения автомобильным транспортом	–	–
35	Эксплуатация автомобилей, имеющих возможность использования электродвигателей	0,9	0,7
36	Использование автомобилей, имеющие возможность использования природного газа в качестве моторного топлива	0,9	0,7
37	Санитарные разрывы от автодорог	0,1	0,1
38	Оценка качества благоустройства дорог	0,5	0,1

1	2	3	4
39	Снижение концентраций отработавших газов зелеными насаждениями вдоль дороги	0,3	0,1
40	Асфальтобетонный завод	–	–
41	Соблюдение СЗЗ (500 м)	0,0	0,0
42	Степень озеленения СЗЗ	0,0	0,0
43	Степень очистки выбросов в атмосферу	0,0	0,0
44	Совершенствование технологических процессов и оборудования	0,0	0,0
45	База дорожной техники	–	–
46	Соблюдение СЗЗ (100 м)	0,1	0,1
47	Степень озеленения СЗЗ	0,2	0,1
48	Совершенствование технологических процессов и оборудования	0,1	0,1
49	Соблюдение СЗЗ от АЗС (100 м)	0,1	0,1
50	Степень озеленения СЗЗ от АЗС	0,2	0,1
51	Совершенствование технологических процессов и оборудования на АЗС	0,1	0,1
52	Эксплуатация железнодорожного транспорта	–	–
53	Источники загрязнения железнодорожного транспорта	–	–
54	Меры по охране атмосферного воздуха от воздействия загрязнения железнодорожным транспортом	–	–
55	Подвижные источники загрязнения	–	–
56	Стационарные источники загрязнения	–	–
57	Расположение железной дороги	0,7	0,7
58	Возникновение аварии на железнодорожном транспорте	0,1	0,1
59	Локомотивное депо	0,0	0,0
60	Вагоноремонтные заводы	–	–
61	Расположено от жилого массива вагоноремонтного завода	0,0	0,0
62	Работа вагоноремонтного завода	0,0	0,0
63	Шпалопропиточный завод	–	–
64	Расположено от жилого массива шпалопропиточного завода	0,0	0,0
65	Работа шпалопропиточного завода	0,0	0,0
66	Промывно-пропарочные станции	–	–
67	Расположено от жилого массива промывно-пропарочной станции	0,0	0,0
68	Работа промывно-пропарочной станции	0,0	0,0
69	Предприятия по добыче и переработке щебня	–	–
70	Расположено от жилого массива предприятия по добыче и переработке щебня	0,0	0,0

Программный комплекс "АРБИТР" позволяет оценить риск существующего негативного воздействия (P_1) на состояние атмосферного воздуха г. Таганрога (рис. 2).

В компьютерной модели воздействия на состояние атмосферного воздуха жёлтыми вершинами представлены источники загрязнения, а зелёными мероприятия по охране атмосферного воздуха.

Вершины, которые представлены на рис. 2 в виде треугольников, являются комбинированными. Некоторые их составляющие представлены на рис. 3.

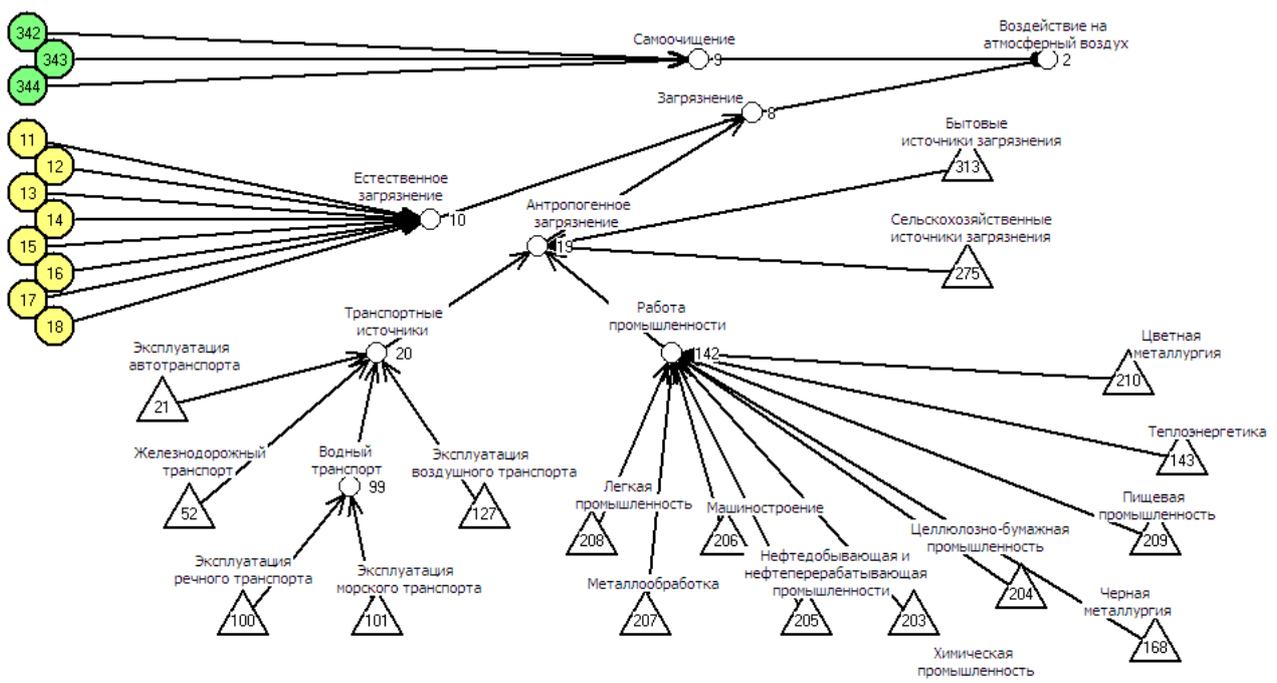


Рис. 2. Факторы воздействия на состояние атмосферного воздуха г. Таганрога

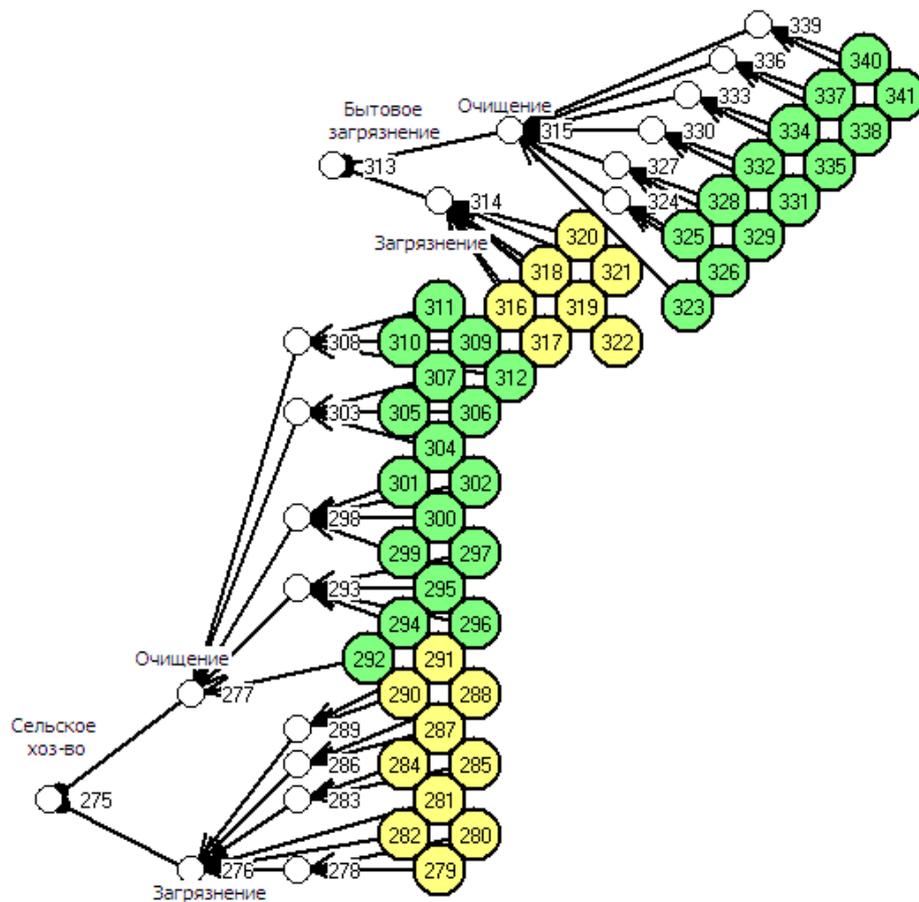


Рис. 3. Бытовые и сельскохозяйственные источники воздействия на состояние атмосферного воздуха

Рассчитанные значения вероятностей комбинированных вершин представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения комбинированных вершин

№ п/п	Наименование комбинированной вершины	P_1	P_2
21	Автомобильный транспорт	0,99699	0,96350
52	Эксплуатация железнодорожного транспорта	0,27010	0,13870
100	Эксплуатация речного транспорта	0	0
101	Эксплуатация морского транспорта	0,53711	0,28540
127	Эксплуатация воздушного транспорта	0,51843	0,40157
143	Теплоэнергетика	0,19416	0,10317
168	Черная металлургия	0,89408	0,31295
203	Химическая промышленность	0,38195	0,22009
204	Целлюлозно-бумажная промышленность	0	0
205	Нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленности	0	0
206	Машиностроение	0	0
207	Металлообработка	0,16710	0,09629
208	Лёгкая промышленность	0,35596	0,26934
209	Пищевая промышленность	0	0
210	Цветная металлургия	0	0
275	Сельскохозяйственные источники загрязнения атмосферного воздуха	0,39450	0,27705
313	Бытовые источники загрязнения атмосферного воздуха	0,96357	0,58314

На рис. 4, 5 представлены диаграммы результатов моделирования и расчётов для некоторых комбинированных вершин. Диаграммы позволяют оценить роль каждого отдельного элемента при влиянии на состояние атмосферного воздуха, а также определить значимость каждого из них. Красным представлены положительные значения вкладов каждого элемента, а зелёным – отрицательные. Вклад элемента – это расчёт изменений вероятностной характеристики к её увеличению или уменьшению, если вероятность соответствующего события привести до 1. Итак, если положительное значение вклада, то вероятность возникновения события возрастает, а если отрицательное – убывает. Синим цветом показана значимость каждого элемента.

Например, по диаграмме результатов моделирования и расчётов для автомобильного транспорта, представленной на рис. 4, видим, что значимыми факторами воздействия на состояние атмосферного воздуха от автомобильного транспорта являются эксплуатация автомобильного транспорта, автозаправочные станции, выбросы выхлопных газов при использовании автомобилей, эксплуатация автомобилей, имеющих возможность использования природного газа в качестве моторного топлива, и автомобилей, имеющих возможность использования электродвигателей.

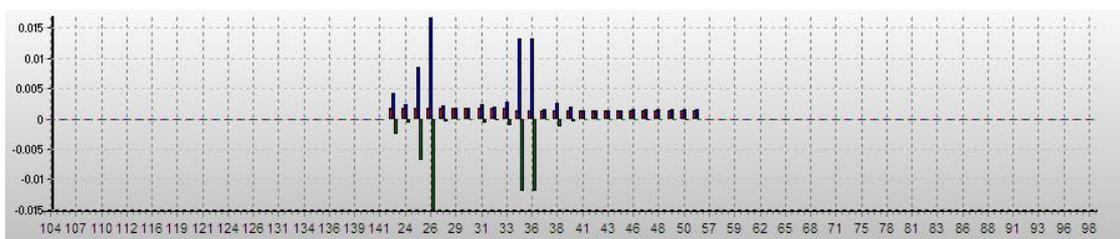


Рис. 4. Диаграмма результатов моделирования и расчётов для автомобильного транспорта



Рис. 5. Диаграмма результатов моделирования и расчётов для сельскохозяйственной деятельности

Диаграмма комплексного воздействия на состояние атмосферного воздуха представлена на рис. 6.

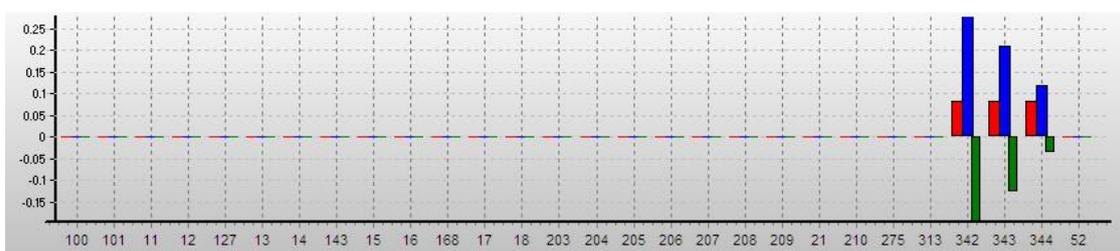


Рис. 6. Диаграмма результатов моделирования и расчётов комплексного воздействия на состояние атмосферного воздуха

По табл. 3 видим, что большинство значений комбинированных вершин P_1 являются достаточно высокими – имеют значение более 0,5, а это значит, что они вносят наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха. Вот почему значение вероятности комплексного воздействия на состояние атмосферного воздуха составило $P_1 = 0,91600$, что является довольно правдоподобным.

Для снижения уровня воздействия негативных факторов на состояние атмосферного воздуха были сформулированы мероприятия по охране атмосферного воздуха, с учётом которых внесены коррективы в значения соответствующих мер возможности, а затем произведён перерасчёт значений вероятностей комбинированных вершин P_2 , представленных в табл. 3. После ввода их уменьшенных значений в программу было получено новое значение риска экологического вызова, которое оказалось равным $P_2 = 0,91584$. Не слишком заметное уменьшение этой вероятности вполне объяснимо: реально действующих факторов очень много, и воздействия лишь на некоторые из них не гарантирует резкого снижения этого риска.

При этом также было выявлено перераспределение вкладов, учтённых в модели факторов, о чем свидетельствуют рис. 7-8, где представлены диаграммы результатов моделирования и расчётов для каждой комбинированной вершины.

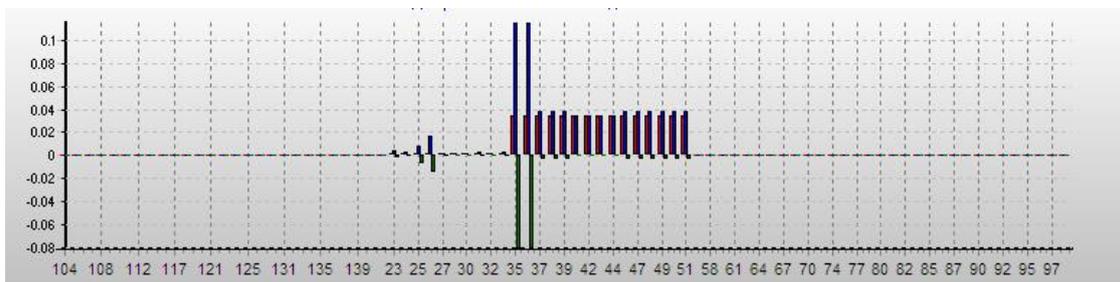


Рис. 7. Диаграмма результатов моделирования и расчётов для автомобильного транспорта

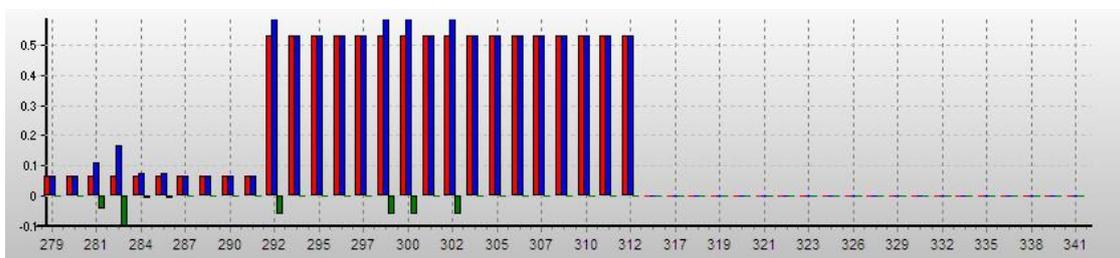


Рис. 8. Диаграмма результатов моделирования и расчётов для сельскохозяйственной деятельности

Диаграмма комплексного воздействия на состояние атмосферного воздуха с учётом предлагаемых мероприятий представлена на рис. 9.

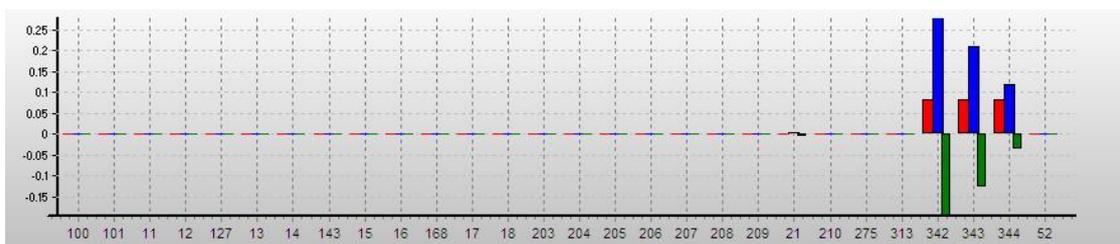


Рис. 9. Диаграмма результатов моделирования и расчётов комплексного воздействия на состояние атмосферного воздуха

Таким образом, можно утверждать не только о результативности предложенных мер, но и о перераспределении вкладов соответствующих предпосылок и иных факторов. Тогда как более существенное уменьшение значений вероятностей комбинированных вершин, обозначающих факторы негативного воздействия на состояние атмосферного воздуха, может потребовать дополнительного комплекса мероприятий по снижению негативного воздействия.

Заключение

В настоящей статье представлен лишь маленький фрагмент разработанной логико-вероятностной модели комплексной оценки уровня экологической безопасности промышленного города. Обоснованность и достоверность разработанной модели с применением логико-вероятностного подхода подтверждается применением строгого математического аппарата, а также результатами расчётных исследований на реальных статистических данных. Общее количество элементов представленной модели составляет 1355, из которых 885 обозначают негативные и положительные факторы, которые оказывают воздействие на такие подсистемы как воздушная среда, водные объекты (подземные и поверхностные), почва, радиационная обстановка, шумовое загрязнение, источники питьевой воды. Для проведения расчётов вероятности воздействий каждого негативного и положительного фактора разработана шкала оценок, которая основана на лингвистических значениях параметров риска.

В результате работы разработана методика комплексной оценки уровня экологической безопасности промышленного города с применением логико-вероятностного подхода. Практическое использование такой методики позволяет провести не только расчёт существующего уровня экологической безопасности, но и применить её для прогнозирования эффективности проводимых мероприятий по обеспечению экологической безопасности в промышленных городах.

Литература

1. Применение методик оценки риска для анализа качества окружающей среды / Плуготаренко Н.К., Чижова В.И., Петров В.В., Свирепова М.С. // Технологии техносферной безопасности. 2014. Вып. 3 (55). С. 214-229. <http://academygps.ru/ttb>.
2. Егорцев А.И., Плуготаренко Н.К., Короткова О.И. Проблемы оценки состояния атмосферного воздуха в небольших городах России // Технологии техносферной безопасности. 2016. Вып. 5 (69). С. 225-230. <http://academygps.ru/ttb>.
3. Системный подход к разработке городских автоматизированных систем экологического мониторинга / Абрамова А.Г., Плуготаренко Н.К., Петров В.В., Маркина А.В. // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 23. № 4-2 (23). С. 1.
4. Фокина М.О., Белов П.Г. Наука и безопасность России: риски NBIC-технологий // Россия 2030 глазами молодых учёных. 2011. С. 43-49.
5. Калюжина Е.А. Экологические особенности воздействия полигонов твёрдых бытовых отходов на состояние окружающей среды в районах их расположения // Инженерный вестник Дона. 2014. № 3. 7 с.
6. Матвеев А.Н. Оценка воздействия на окружающую среду. Иркутск: изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. 179 с.

References

1. Primenenie metodik otsenki riska dlia analiza kachestva okruzhaiushchei sredy (Application methods for the analysis of risk assessment environmental quality based on data from city of environmental monitoring and modelling) / Plugotarenko N.K., Chizhova V.I., Petrov V.V., Svirepova M.S. // Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti. 2014. Vyp. 3 (55). Pp. 29. <http://academygps.ru/ttb>.
2. Egortsev A.I., Plugotarenko N.K., Korotkova O.I. Problemy otsenki sostoianii atmosfernogo vozdukha v nebolshikh gorodakh Rossii (Problems of assessment of air in the small town of the Russia) // Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti. 2016. Vyp. 5 (69). Pp. 225-230. <http://academygps.ru/ttb>.
3. Sistemnyi podkhod k razrabotke gorodskikh avtomatizirovannykh sistem ekologicheskogo monitoringa (Systematic approach to the development of urban automated systems of ecological monitoring) / Abramova A.G., Plugotarenko N.K., Petrov V.V., Markina A.V. // Inzhenernyi vestnik Dona. 2012. T. 23. No 4-2 (23). P. 1.
4. Fokina M.O., Belov P.G. Nauka i bezopasnost Rossii: riski NBIC-tekhnologii (Science and safety of Russia: risks of NBIC-technologies) // Rossiia 2030 glazami molodykh uchenykh. 2011. Pp. 43-49.
5. Kaliuzhina E.A. Ekologicheskie osobennosti vozdeistviia poligonov tverdykh bytovykh otkhodov na sostoianie okruzhaiushchei sredy v raionakh ikh raspolozheniia (Environmental impact of landfills on the environment in the regions where they are located) // Inzhenernyi vestnik Dona. 2014. No 3. 7 p.
6. Matveev A.N. Otsenka vozdeistviia na okruzhaiushchuiu sredu (Assessment of the impact on the environment). Irkutsk: izd-vo Irkut. gos. un-ta, 2007. 179 p.