



## Совершенствование алгоритмов расчета риска для здоровья населения в системе воздухоохранной деятельности

**Аннотация.** Статья посвящена разработке усовершенствованных алгоритмов расчета риска для здоровья населения от выбросов загрязняющих веществ в воздушную среду, которые послужили основой разработанного авторами специализированного программного обеспечения, реализующего геоинформационную технологию. В статье представлена экспериментальная проверка результатов исследования на примере оценки и анализа риска для здоровья населения от выбросов загрязняющих веществ ООО «Курский завод «Аккумулятор»».

**Ключевые слова:** атмосфера, воздушная среда, управление, оценка риска для здоровья, геоинформационные системы, моделирование.

**Раздел:** (02) комплексное изучение человека; психология; социальные проблемы медицины и экологии человека.

Задача внедрения в систему управления природоохранной деятельностью методологии оценки риска для здоровья населения от воздействия факторов воздушной среды, позволяющей лицу, принимающему решения (ЛПР), ранжировать проблемные области и устанавливать приоритеты экологической политики, является весьма актуальной. При этом возникает необходимость оценки приземных концентраций загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, не только на основе данных мониторинга, но и с использованием математических моделей. Как известно, моделирование процессов рассеивания требует использования специализированных программных продуктов, позволяющих рассчитывать поля максимальных приземных концентраций, создаваемых выбросами загрязняющих веществ (наиболее распространены «Призма», «Эколог», «Атмосфера», «ЛиДа»). Однако управленческие решения, основанные на результатах оценки риска для здоровья населения, не могут ограничиться информацией о максимальных разовых уровнях загрязнения, а кроме того, должны быть ориентированы на данные, соответствующие различным периодам осреднения с учетом их пространственно-территориальной привязки.

Таким образом, для целей анализа риска для здоровья населения, обусловленного загрязнением воздушного бассейна, рационально разработать инновационное, конкурентоспособное специальное программное обеспечение, направленное на программную реализацию не только расчетных моделей, но и возможностей геоинформационных систем (ГИС) [1]. Геоинформационные технологии, реализующие механизмы сбора, анализа, обработки и управления пространственно-координированными и другими видами данных, позволяют агрегировать и визуализировать для ЛПР результаты оценки риска и варианты управляющих воздействий, что будет способствовать повышению оперативности управления риском для здоровья в условиях высокой динамики изменения ситуации [2].

Для решения поставленных задач авторами разработаны алгоритмы оценки риска для здоровья населения от выбросов промышленных предприятий (см. рис. 1) и построения пространственно-территориального распределения концентраций загрязнений в воздушной среде (см. рис. 2).

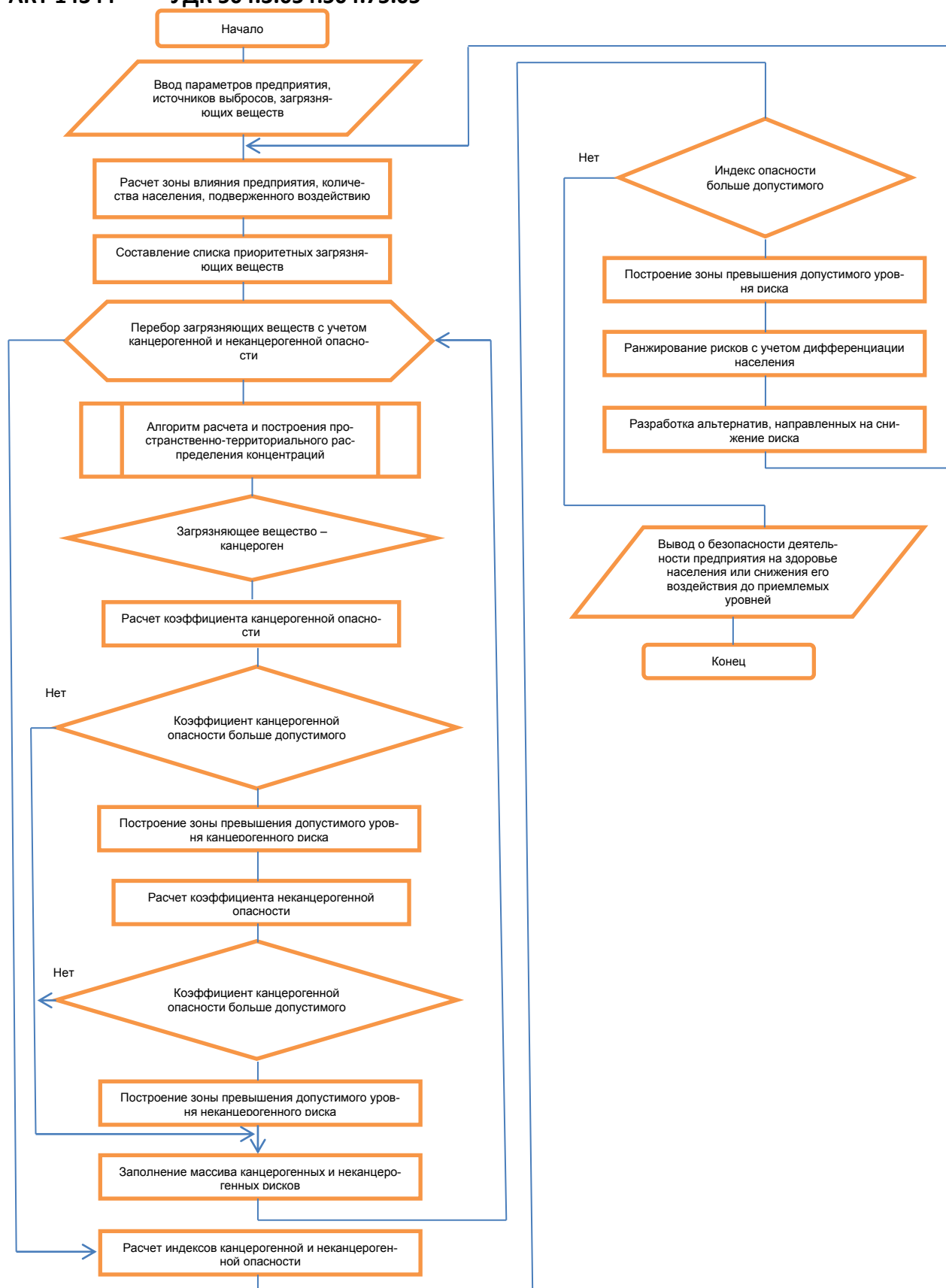


Рис. 1. Алгоритм оценки риска для здоровья населения от выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями

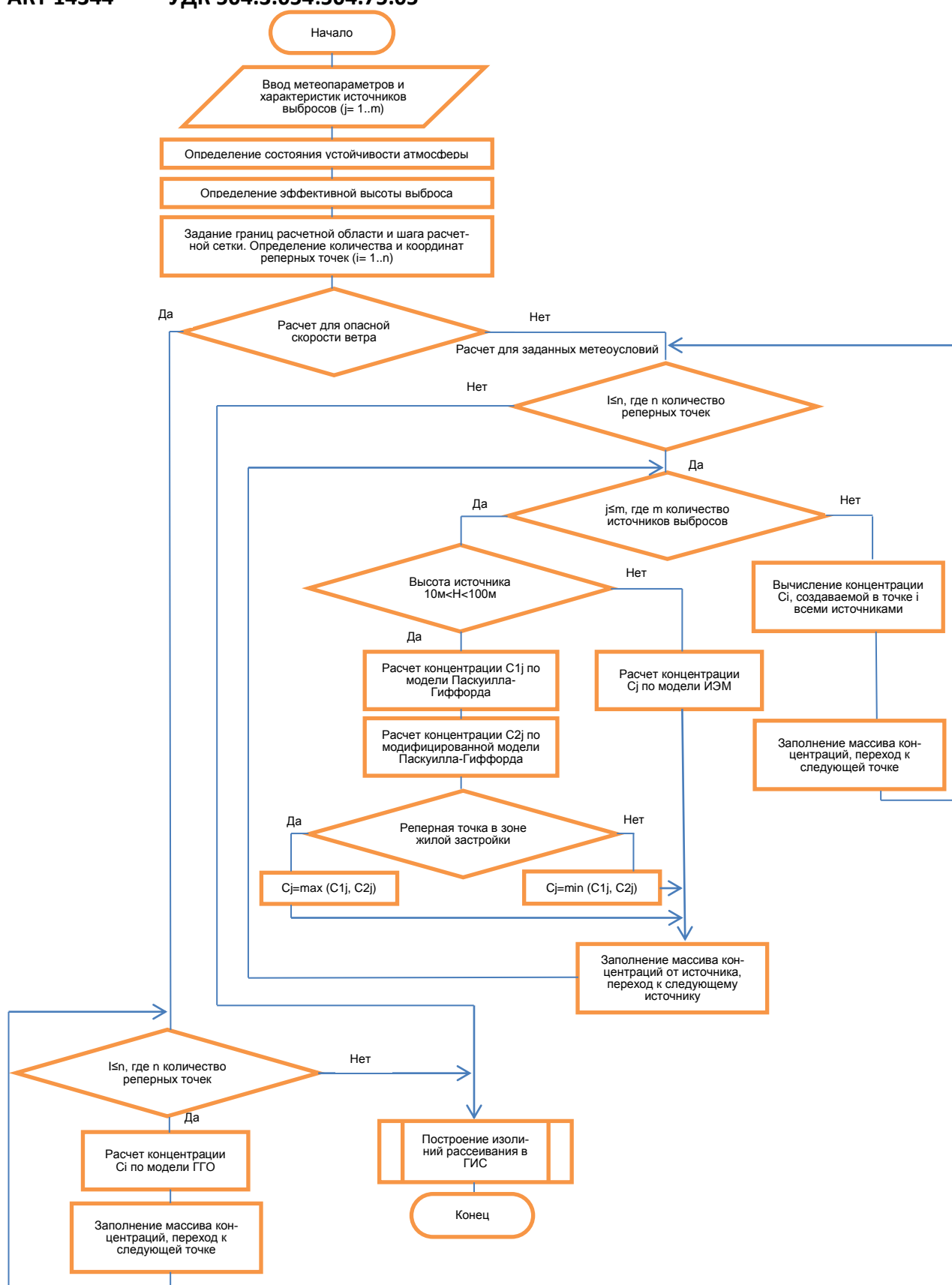


Рис. 2. Алгоритм расчета и построения пространственно-территориального распределения концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы



Отличительная особенность алгоритма оценки риска для здоровья населения от выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями заключается в учете при ранжировании риска качественной характеристики популяции, что обеспечивает ЛПР возможность выбора приоритетных мероприятий по минимизации уровня риска [3].

Для расчета мгновенных значений максимальных приземных концентраций в алгоритме построения пространственно-территориального распределения концентраций загрязняющих веществ в воздушной среде используется нормативно утвержденная модель ОНД-86. Для расчета осредненных значений приземных концентраций при заданных метеорологических условиях используются модель Института экспериментальной метеорологии и модифицированная авторами модель Пасквилла – Гиффорда [4].

Сущность модифицированной модели состоит во введении зависимости скорости ветра от высоты измерения показателей выброса, трактовка которой как функции позволяет более точно оценить значения концентраций примеси.

Экспериментальная проверка результатов исследования, в ходе которой проведена процедура оценки и анализа риска для здоровья населения от выбросов загрязняющих веществ, выполнена на примере ООО «Курский завод «Аккумулятор»».

С целью обоснования перечня химических веществ для последующей оценки риска проведено ранжирование выбрасываемых загрязняющих веществ. Анализ результатов ранжирования показал, что 53,4% вклада в суммарный индекс канцерогенной опасности приходится на долю выбросов никеля металлического, 25,5% – хрома шестивалентного, 19,1% – на выбросы кадмия оксида, 1,4% – на выбросы свинца. Вклад в суммарный индекс канцерогенной опасности от других шести канцерогенных веществ составил в сумме 0,6%.

Исходя из вышеизложенного, сформирован перечень химических веществ, включенных в дальнейшее исследование (см. табл. 1).

При расчете риска для здоровья от загрязнения атмосферного воздуха используются приземные концентрации загрязняющих веществ с длительным временем осреднения, при этом предполагается, что их воздействие происходит ингаляционным путем.

Зона влияния предприятия определена исходя из формулы: 40 высот самого высокого источника (30 метров) + 30% от полученной цифры – и составляет  $(40 \cdot 30) + 360 = 1600$  метров. Количество населения, которое попадает в зону влияния предприятия, 25 112 человек.

Характеристика канцерогенного и неканцерогенного риска проводилась с использованием среднегодовых концентраций, полученных в результате моделирования распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Канцерогенный риск для здоровья в зоне влияния выбросов ООО «Курский завод «Аккумулятор»» находится на уровне предельно допустимого, наибольший канцерогенный риск определяется хромом шестивалентным (см. табл. 2).

На основе полученных значений индивидуального канцерогенного риска и численности населения был рассчитан популяционный канцерогенный риск, расчетные данные свидетельствуют, что вероятность возникновения злокачественных новообразований мала и равна в среднем 0,0005 человек в год.

Результаты расчета и ранжирования уровней неканцерогенных рисков для здоровья (НҚ) показали, что ведущими веществами по неканцерогенным эффектам являются никель металлический, бенз(а)пирен, кадмия оксид, никеля сульфат и свинец, но так как значения коэффициентов опасности по всем веществам во всех точках воздействия значительно ниже приемлемого, то такой уровень риска оценивается как низкий (см. табл. 3).



Таблица 1

## Перечень химических веществ, включенных в дальнейшее исследование

№ п/п	Вещество	Обоснование	Ранг	
			Канцерогены	Неканцерогены
1	Никель металлический	К, П, С	1	1
2	Хром шестивалентный	К, П	2	5
3	Кадмия оксид (в пересчете на кадмий)	К, П	3	7
4	Свинец и его неорг. соединения	К, П, Ф, С	4	2
5	Бенз(а)пирен	К, П С	5	12
6	Сажа	К	6	53
7	Бензол	К, С	7	55
8	Формальдегид	К, С	8	52
9	Винилбензол (стирол)	К	9	60
10	Этилбензол	К	10	62
11	Никеля сульфат	П, С	-	3
12	Серы диоксид	П, С	-	4
13	Серная кислота	П	-	6
14	Азота диоксид	П, Ф, С	-	8
15	Зола углей	П	-	9
16	Натрия гидроокись	П	-	10
17	Медь сернокислая	П	-	11
18	Пыль неорганическая <20% SiO <sub>2</sub> (графит)	П	-	13
19	Железа оксид	П	-	14
20	Пыль древесная	П	-	15
21	Азота оксид	П, Ф, С	-	16
22	Пыль абразивная	П	-	17
23	Ксилол	П	-	18
24	Углеводороды C <sub>12</sub> -C <sub>19</sub>	П	-	19
25	Взвешенные вещества	П	-	20
26	Пыль текстолита	П	-	21
27	Толуол	П	-	22
28	Углерода оксид	П, Ф, С	-	23
29	Спирт этиловый	П	-	24
30	Ацетон	П	-	25
31	Кислота уксусная	П	-	26
32	Бутилацетат	П	-	27

Примечание: П – высокий приоритет (ранг по HRI и HRIc). К – канцерогены. Ф – есть фоновые концентрации. С – короткий список приоритетных веществ для Российской Федерации.

Таблица 2

## Канцерогенные риски для здоровья от воздействия веществ, загрязняющих атмосферный воздух

Наименование вещества	Индивидуальный канцерогенный риск	Численность населения, чел.	Популяционный канцерогенный риск	Популяционный годовой риск, чел./год
Бенз(а)пирен	3,181E-08	4398	0,00014	2,00E-06
Этилбензол	4,76E-11	4398	2,09E-07	2,99E-09
Стирол	6,65E-12	4398	2,93E-08	4,16E-10
Бензол	1,38E-09	4398	6,1E-06	8,72E-08
Сажа	1,05E-09	4398	4,63E-06	6,62E-08
Хром (VI)	7,95E-06	4398	0,034993	5,00E-04
Свинец	9,39E-08	4398	0,000413	5,90E-06
Никель металлический	3,48E-06	4398	0,015301	2,19E-04
Кадмий оксид	9,91E-07	4398	0,0043578	6,22E-05
Формальдегид	1,26E-10	4398	5,53E-07	7,90E-09
Всего:	1,25E-05		0,05522	7,89E-04



Таблица 3

## Ранжирование неканцерогенных рисков для здоровья, связанных с загрязнением атмосферного воздуха

Наименование вещества	CAS	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Среднегодовая концентрация, мг/м <sup>3</sup>	HQ	Ранг
Никель металлический	7440-02-0	0,00005	1,45E-05	2,90E-01	1
Бенз(а)пирен	50-32-8	0,000001	2,90E-08	2,86E-02	2
Кадмия оксид	7440-43-9	0,00002	5,50E-07	2,75E-02	3
Никель сульфат	7786-81-4	0,00005	8,80E-07	1,77E-02	4
Свинец и его неорг. соед.	7439-92-1	0,0005	7,84E-06	1,57E-02	5
Натрия гидроокись	1310-58-3	0,002	1,63E-05	8,15E-03	6
Медь сернокислая	7758-98-7	0,00002	1,45E-07	7,25E-03	7
Хром шестивалентный	18540-29-9	0,0001	6,63E-07	6,63E-03	8
Железа оксид	1332-37-2	0,04	1,58E-04	3,96E-03	9
Серы диоксид	7446 09 05	0,05	1,92E-04	3,84E-03	10
Серная кислота	7664-93-9	0,001	3,68E-06	3,67E-03	11
Ксилол	1330-20-7	0,1	2,12E-04	2,12E-03	12
Пыль неорганическая < 20% SiO <sub>2</sub> (графит)	14464-46-1	0,05	9,07E-05	1,81E-03	13
Азота диоксид	10102-44-0	0,04	6,80E-05	1,70E-03	14
Пыль абразивная		0,075	9,41E-05	1,25E-03	15
Толуол	108-88-3	0,4	3,21E-04	8,01E-04	16
Зола углей		0,075	4,17E-05	5,56E-04	17
Пыль древесная		0,075	4,14E-05	5,52E-04	18
Взвешенные вещества		0,075	2,80E-05	3,73E-04	19
Пыль текстолита		0,075	1,52E-05	2,03E-04	20
Бутилацетат	123-86-4	0,7	1,35E-04	1,94E-04	21
Кислота уксусная	64-19-7	0,25	3,55E-05	1,42E-04	22
Азота оксид	10102-43-9	0,06	7,94E-06	1,32E-04	23
Углеводороды C <sub>12</sub> -C <sub>19</sub>		0,071	6,37E-06	9,01E-05	24
Углерода оксид	630-08-0	3	1,73E-04	5,76E-05	25
Ацетон	67-64-1	31,2	2,18E-04	6,99E-06	26
Спирт этиловый	64-17-5	100	3,00E-04	3,00E-06	27

Суммарное воздействие от выбросов загрязняющих веществ, риск которого превышает допустимый, осуществляется на органы дыхания, кровь, центральную нервную, сердечно-сосудистую, иммунную системы, а также оказывается системное действие на организм (см. табл. 4). Результаты экспериментальной проверки показали, что концентрации загрязняющих веществ, рассчитанные по модифицированной авторами модели Пасвилла – Гиффорда, в большинстве случаев превышают аналогичные концентрации, рассчитанные по исходной модели, на 7–10%. Чтобы рассчитать наиболее неблагоприятное воздействие загрязняющих веществ, представляется рациональным использовать модифицированную модель, позволяющую получить более точные значения концентраций.

Как уже было указано, ведущими веществами по неканцерогенным эффектам являются никель металлический, бенз(а)пирен, кадмия оксид, никеля сульфат и свинец, следовательно, для снижения риска негативного воздействия предприятию необходимо сократить выбросы указанных веществ.





Таблица 4

## Индексы опасности (HI) влияния на критические органы при суммарном воздействии загрязняющих веществ

Критические органы и системы	HI на сущ. положение (исх. модель)	HI на сущ. положение (модиф. модель)	HI после модернизации пр-ва (исх. модель)	HI после модернизации пр-ва (модиф. модель)
Органы дыхания	1,305	1,43	0,98	1,075
ЦНС	1,009	1,09	0,712	0,775
Кровь	1,068	1,16	0,8	0,88
Иммунная система	1,08	1,17	0,742	0,809
Развитие	0,086	0,096	0,062	0,068
Почки	0,13	0,16	0,158	0,175
Печень	0,0097	0,011	0,0063	0,007
Гормоны	0,082	0,145	0,15	0,166
Смертность	0,008	0,009	0,003	0,0032
Системное	1,086	1,178	0,834	0,906
Репродуктивная	0,036	0,04	0,06	0,066
ССС	0,00419	0,00456	0,00057	0,000633
Суммарный риск	5,9	6,5	4,5	4,93
Средний риск	0,49	0,54	0,375	0,41

Анализ площади загрязнения при построении пространственно-территориального распределения концентраций и зон риска с использованием разработанного специального программного обеспечения показал, что воздействие выбросов никеля металлического и бенз(а)пирена распространяется на зону жилой застройки, а воздействие выбросов оксида кадмия, сульфата никеля и свинца смещается в зону садовых участков. Следовательно, в условиях ограниченного финансирования необходимо предусмотреть мероприятия, которые в первую очередь будут направлены на снижение выбросов бенз(а)пирена и никеля металлического.

В связи с этим произведены оценка суммарного риска для здоровья населения и построения зоны негативного воздействия на существующее положение (рис. 3), а также прогнозные расчеты с учетом модернизации производства, направленной на снижение выбросов указанных веществ (см. рис. 4).



Рис. 3. Отображение результатов расчета риска на электронной карте на существующее положение



Рис. 4. Отображение результатов прогнозного расчета риска на электронной карте

Анализ результатов визуализации показывает, что использование модифицированной модели для расчета концентраций загрязняющих веществ и построения зон риска позволяет уточнить распространение выбросов по площади и их негативное воздействие на соответствующее количество населения. Совместный учет риска для здоровья групп населения (уточнен в 1,1 раза) и площади зон риска (уточнена на 20%) способствует повышению обоснованности решений, принимаемых в области управления уровнем загрязнения воздушной среды региональными природоохранными организациями.

## Ссылки на источники

1. Попов В. М., Рыкунова И. О. [и др.] Использование геоинформационных технологий в системе управления воздухоохранной деятельностью среднего города // Известия Орловского государственного технического университета. Серия Строительство. Транспорт. – 2009. – № 2/22 (554). – С. 49–52.
2. Чепиков Н. А., Рыкунова И. О. [и др.] Совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга региона с использованием IDEF-моделирования и ГИС // Известия Юго-Западного государственного университета / Юго-Зап. Гос. ун-т. – Курск, 2012. – № 1(40). – С. 219–228
3. Рыкунова И. О. Оптимизация информационной поддержки принятия управленческих решений в воздухоохранной деятельности г. Курска с использованием элементов ГИС-технологии // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 1(34). – С. 123–130.
4. Там же.

**Iraida Kirilchuk,**

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the chair of Labor and Environmental Protection, Southwest State University, Kursk

[iraida585@mail.ru](mailto:iraida585@mail.ru)

**Improvement of calculation algorithms of risk of population health in system of air security activity**

**Abstract.** The paper is devoted to development of advanced algorithms of risk calculation of population health, which formed a basis of specialized software, developed by the author and realizing geoinformational technology. Experimental check of results of research is presented in the paper on the example of an assessment and the analysis of risk of population health from emissions of the polluting substances of Kursk Plant "Accumulator".

**Key words:** atmosphere, air environment, management, risk assessment to health, geographic information systems, modeling.

ISSN 2304-120X



9 772304 1120142





## References

1. Popov, V. M., Rykunova, I. O. et al. (2009) "Ispol'zovanie geoinformacionnyh tehnologij v sisteme upravlenija vozduhoohrannoj dejatel'nost'ju srednego goroda", *Izvestija Orlovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija Stroitel'stvo. Transport*, № 2/22 (554), pp. 49–52.
2. Chepikov, N. A., Rykunova, I. O. et al. (2012) "Sovershenstvovanie sistemy social'no-gigienicheskogo monitoringa regiona s ispol'zovaniem IDEF-modelirovanija i GIS", *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta / Jugo-Zap. Gos. un-t*, № 1(40), Kursk, pp. 219–228
3. Rykunova, I. O. (2011) "Optimizacija informacionnoj podderzhki prinjatija upravlencheskih reshenij v vozduhoohrannoj dejatel'nosti g. Kurska s ispol'zovaniem jelementov GIS-tehnologii", *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, № 1(34), pp. 123–130.
4. Ibid.

## Рекомендовано к публикации:

Горевым П. М., кандидатом педагогических наук, главным редактором журнала «Концепт»

Кирильчук И. О. Совершенствование алгоритмов расчета риска для здоровья населения в системе воздухоохранной деятельности // Концепт. – 2014. – № 12 (декабрь). – ART 14344. – 0,3 п. л. – URL: <http://e-koncept.ru/2014/14344.htm>. – Гос. пер. Эл № ФС 77-49965. – ISSN 2304-120X.

