

5. *International Copper Association, Ltd. Copper Alliance. Copper in EV Charging — An Emerging Standard Around Wireless Charging.* URL: <https://copperalliance.org/trends/copper-in-ev-charging-an-emerging-standard-around-wireless-charging/> (дата обращения: 02.08.2020).
6. *International Copper Association, Ltd. Copper Alliance. Future China Transport.* November 2019. URL: <https://copperalliance.org/wp-content/uploads/2019/11/04-Future-china-transport-v22.pdf> (дата обращения: 02.08.2020).
7. *International Copper Association, Ltd. Copper Alliance. The Electric Vehicle Market and Copper Demand.* June 2017. URL: <https://copperalliance.org/wp-content/uploads/2017/06/2017.06-E-Mobility-Factsheet-1.pdf> (дата обращения: 02.08.2020).
8. *International Copper Association, Ltd. Data Set. Global 2019 Semis End Use Data.* URL: <https://copperalliance.org/trends-and-innovations/data-set/> (дата обращения: 02.08.2020).
9. *International Copper Study Group. ICSG 2018 Statistical Yearbook.*
10. *International Energy Agency. Global EV Outlook 2019.* May 2019. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> (дата обращения: 02.08.2020).
11. *Mining.com. Global wind turbine fleet to consume over 5.5Mt of copper by 2028 — report.* 02.09.2019. URL: <https://www.mining.com/global-wind-turbine-fleet-to-consume-over-5-5mt-of-copper-by-2028-report/> (дата обращения: 02.08.2020).
12. *ScienceDirect. Copper demand, supply, and associated energy use to 2050.* 06.06.2016. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016300802> (дата обращения: 02.08.2020).
13. *ScienceDirect. Estimating global copper demand until 2100 with regression and stock dynamics.* 04.01.2018. RL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918300041> (дата обращения: 02.08.2020).
14. *S&P Global Market Intelligence. COVID-19 impacts to metals prices — The end of the beginning.* 11.05.2020. URL: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/research/covid-19-impacts-to-metals-prices-the-end-of-the-beginning> (дата обращения: 02.08.2020).
15. *USGS. National Minerals Information Center. Copper Statistics and Information. Annual Publications. Mineral Commodity Summaries. Copper.* URL: <https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/mcs-2019-copper.pdf> (дата обращения: 02.08.2020).

© Смольникова А.В., Лаптева А.М., 2021

Смольникова Анастасия Владимировна // anastasiyaakimova@ya.ru
Лаптева Анна Михайловна // lapteva@vims-geo.ru

ОХРАНА НЕДР И ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.064.2.001.18

Экзарьян В.Н., Рукавицын В.В. (МГРИ-РГГРУ)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

*В статье описана методика оценки социального риска, спровоцированного загрязнением окружающей среды в результате аварий на опасных промышленных объектах. Методика является универсальной и подходит для большинства опасных промышленных объектов. Для анализа риска применялась совокупная оценка вероятности наступления аварийной ситуации и интегральная оценка загрязнения окружающей среды, включающая оценку загрязнения воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод, а также радиоактивное загрязнение. **Ключевые слова:** риск, загрязнение окружающей среды, аварии, радиация, опасные промышленные объекты.*

Ekzaryan V.N., Rukavitsyn V.V. (MGRI-RGGRU)

METHODOLOGY OF ENVIRONMENTAL POLLUTION RISK ASSESSMENT CAUSED BY ACCIDENTS AT HAZARDOUS INDUSTRIAL FACILITIES

The article describes the methodology of social risk assessment caused by environmental pollution, that is a result of accidents at hazardous industrial facilities. The methodology is universal and suitable for most hazardous industrial objects. For risk analysis there were used a combined assessment of

*the probability of an accident and an integrated assessment of environmental pollution, including an assessment of air, soil, surface and groundwater pollution, as well as radioactive pollution. **Keywords:** risk, environmental pollution, accidents, radiation, hazardous industrial facilities.*

Введение

Опасные промышленные объекты являются источником разнообразных рисков как для окружающей среды, так и для человека. Однако универсальной и единой методики оценки таких рисков пока так и не было разработано. В зависимости от решаемых задач следует оценивать различные риски. Показателями, позволяющими судить о предмете оценки риска, являются: индивидуальный риск, потенциальный риск, коллективный риск, социальный риск, технический (материальный риск) и экологический. Они входят в число используемых для всесторонней оценки риска аварий и их последствий. В данной статье речь пойдет об оценке социального риска от аварий на опасных промышленных объектах. Предложенная методика позволяет оценивать социальный риск от разных объектов, имеющих различные поражающие факторы. Причем для оценки используется не столько анализ самих факторов, сколько анализ их последствий для окружающей среды. Человек и его состояние в этой схеме являются своеобразным индикатором совокупного негативного воздействия на окружающую среду, что позволяет оценивать риск наиболее универсально.

Существует принципиальное отличие в методологии оценки экологического риска для человека и дру-

гих живых организмов. Формой реального существования видов растений и животных в природе является популяция, возможности которой по восстановлению своей численности достаточно велики. Для подавляющего большинства организмов на первое место ставится не особь, а популяция; в качестве задачи выдвигается защита каждой популяции от любого повышенного риска.

В то же время нормативы, основанные на санитарно-гигиенических принципах, обеспечивая защиту человека, не всегда позволяют в равной степени оценить влияние на другие объекты живой природы. Поэтому для более простой и при этом адекватной оценки риска аварии лучше использовать именно человека в качестве индикатора значимости последствий.

Если же ставить именно человека во главу угла, то для оценки ущерба лучше всего подходит социальный риск, поскольку он позволяет учитывать комплексное воздействие на жизнь людей и количество пострадавших. Таким образом, мы получаем инструмент количественной оценки последствий аварий, который относительно прост в использовании и при этом позволяет комплексно оценить ситуацию, а также принять правильные решения.

Исходными данными для планирования исследований с целью оценок социального риска от загрязнения окружающей среды могут быть данные комплексного экологического мониторинга, который должен включать наблюдения за источниками (выбросами и сбросами) загрязнения и содержанием загрязненных природных сред и экосистем. Влияние этих загрязнений на человека довольно хорошо изучено и описано в санитарно-эпидемиологических нормативах, что и нужно использовать для последующей оценки рисков.

В связи с этим цель данной работы заключается в разработке общей методологии анализа вредных экологических воздействий и их риска для человека в случае аварии на опасном промышленном объекте для обеспечения выбора наилучшего варианта строительства таких объектов. Для достижения данной цели решались задачи по выбору критериев оценки рисков, разработке системы их количественной оценки и в определении критериев приемлемости социального риска, применимых к большинству современных опасных промышленных объектов.

Описание методики

Существующая сегодня в области промышленной безопасности система показателей риска (индивидуальный, коллективный,

социальный, технический, экологический) учитывает воздействия, которые возникают при возникновении опасных ситуаций на определенных объектах. Таким объектом воздействия, т.е. сферой приложения социального риска, являются группы людей либо их интересы, а также сообщества людей или общество в целом. Важным признаком социального риска является также вид и степень тяжести негативных последствий [2].

Одним из серьезных источников социального риска являются опасные промышленные объекты, где одним из наиболее распространенных факторов риска являются аварии и связанное с ними техногенное загрязнение окружающей среды.

При оценке такого риска необходимо оценить расчетные сценарии возникновения и развития события-аварии, виды воздействия поражающих факторов при реализации события-аварии, частоту реализации сценария возникновения и развития аварии, вероятность реализации поражающего фактора для этого сценария, вероятность присутствия людей в пределах определенной территории и вероятность поражения людей от воздействия каждого поражающего фактора.

При таком подходе возникают проблемы при выборе наиболее универсальных критериев оценки воздействия поражающих факторов и их соотнесение с вероятностью поражения людей для адекватной оценки рисков. Так как у различных промышленных объектов поражающие факторы сильно отличаются друг от друга, для универсализации оценки социального риска от аварий предлагается использование методики бальной оценки воздействия на окружающую среду и связи этого воздействия со здоровьем людей. В таком случае критерии оценки риска будут иметь вид, представленный в табл. 1.

Интенсивность воздействия зависит от параметров загрязнения. Для наиболее универсальной оценки, подходящей для большинства опасных объектов,

Таблица 1
Критерии, использованные для определения последствий воздействия

Категория	Определение категории	Балл
А. Интенсивность — значение или размер воздействия		
Минимальная	Нет значительных изменений	0
Низкая	Природные и/или социальные функции и процессы незначительно изменены	1
Средняя	Природные и/или социальные функции и процессы продолжаются, хотя в измененном варианте	2
Высокая	Природные и/или социальные функции и процессы существенно изменены	3
Б. Продолжительность — временные рамки, в которых осуществлялось воздействие		
Минимальная	менее 3 месяцев	0
Краткосрочная	от 3 до 12 месяцев	1
Среднесрочная	от 12 до 36 месяцев	2
Долгосрочная	Более 36 месяцев	3

предлагается оценивать интенсивность загрязнения атмосферы через суммарный показатель загрязнения [5], загрязнение подземных и поверхностных вод через удельные комбинаторные индексы загрязненности [1], загрязнение почвы через суммарный показатель загрязнения [4] и радиоактивное загрязнение через годовую эквивалентную дозу гамма-излучения.

Для оценки суммарного показателя загрязнения атмосферы в начале рассчитывается средняя кратность превышения ПДК ($K_{ср.}$) за месяц, год путем деления концентраций вещества в воздухе на величину ПДК и деления на количество проб (n) по каждому классу опасности (1 ...4) по формуле 1:

$$K_{ср.} = C / \text{ПДК} / n \quad (1),$$

где $K_{ср.}$ — средняя кратность превышения ПДК для веществ одного из классов опасности (1, 2, 3, 4), C — фактическая концентрация веществ по классам опасности, ПДК — предельно-допустимая концентрация веществ, n — количество проб по каждому классу опасности веществ.

Суммарный показатель ($K_{сум}$) кратности превышения ПДК нескольких веществ за месяц, год по классам опасности определяется путем суммирования всех средних кратностей превышения ПДК, умноженных на коэффициенты (N) аддитивности (суммирования) каждого класса опасности по формуле 2:

$$K_{сум} = K_{ср.1 \text{ кл.}} \cdot N + K_{ср.2 \text{ кл.}} \cdot N + K_{ср.3 \text{ кл.}} \cdot N + K_{ср.4 \text{ кл.}} \cdot N \quad (2),$$

где N — коэффициенты аддитивности (суммирования): для 1 класса = 1,0; 2 класса = 1,5; 3 класса = 2,0; 4 класса = 4,0.

Для определения удельных комбинаторных индексов загрязненности используется формула 3:

$$\text{УКИЗ} = \sum S_i / n \quad (3),$$

где УКИЗ — удельный комбинаторный индекс загрязненности, S_i — кратность превышения ПДК i -го компонента, n — количество учитываемых ингредиентов.

Суммарный показатель загрязнения почвы представляет собой сумму коэффициентов концентрации (K_c) токсикантов (загрязнителей) I, II и III классов токсикологической опасности по отношению к фоновым значениям. Он рассчитывается по формуле 4:

$$Z_c = (\sum K_c) - (n - 1) \quad (4),$$

где K_c — коэффициент концентрации i -го химического элемента, n — число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию.

Коэффициент концентрации (K_c) рассчитывается по формуле 5:

$$K_c = C_i / C_{\text{фон}} \quad (5),$$

где C_i — фактическое содержание элемента; $C_{\text{фон}}$ — геохимический фон.

Интенсивность воздействий каждого критерия оценивается при помощи баллов. В таком случае баллы расставляются следующим образом (табл. 2).

После проведения этой оценки необходимо оценить потенциальное количество пострадавших. Для этого балльная оценка воздействия на окружающую среду делается для группы точек, расположенных по 16 румбам на расстоянии максимального воздействия аварийной ситуации. В пределах зоны потенциального поражения считается количество работающих и проживающих людей. Далее для каждого критерия в зависимости от суммы баллов по продолжительности и интенсивности определяется количество пострадавших. Способ оценки следующий: если интенсивность воздействия 0 баллов, то пострадавших на территории нет; если интенсивность больше 0, то при сумме баллов продолжительности и интенсивности от 1 до 3 количество пострадавших будет равно половине находящихся в зоне поражения людей; если же сумма баллов больше 3, то пострадают все люди, находящиеся в зоне поражения фактора. Такое распределение сделано из оценки воздействия загрязнений воздуха, почвы, воды, радиации и клинической оценки их последствий. Так, например, распределение баллов для оценки интенсивности радиационного воздействия было выбрано из тех соображений, что уровень пренебрежимого радиационного риска соответствует

Таблица 2
Оценка интенсивности воздействия на окружающую среду по критериям

Критерии					Балл
Суммарный показатель загрязнения атмосферы	Удельный комбинаторный индекс загрязненности подземных вод	Удельный комбинаторный индекс загрязненности поверхностных вод	Суммарный показатель загрязнения почвы	Годовая эквивалентная доза гамма-излучения, мкЗв/год	
Менее 5	Менее 2	Менее 2	Менее 16	Менее 10	0
От 5 до 8	От 2 до 10	От 2 до 10	От 16 до 32	От 10 до 1000	1
От 8 до 13	От 10 до 50	От 10 до 50	От 32 до 128	От 1000 до 5000	2
Более 13	Более 50	Более 50	Более 128	Более 5000	3

Таблица 3
Матрица оценки рисков от аварий на опасных промышленных объектах

Вероятность аварии	$<10^{-6}$	$>10^{-6}$ до $<10^{-4}$	$\geq 10^{-4}$ до $<10^{-3}$	$\geq 10^{-3}$ до $<10^{-1}$	$>10^{-1}$ до <1	>1
	Практически невозможная авария	Редкая авария	Вероятная авария		Возможная авария	Частая авария
Количество пострадавших людей						
0						
1	Пренебрежимый риск					
от 2 до 10			Приемлемый риск			
от 11 до 100						
от 101 до 1000						Недопустимый риск
Более 1000						

годовой дозе облучения менее 10 мкЗв/год, или 1 % от допустимого предела мощности дозы (1 мЗв/год). Соответствующий уровень радиационного риска от облучения в течение года оценивается в 10–6 год⁻¹, согласно нормам радиационной безопасности Сан-ПиН 2.6.1.2523 [3]. 1 балл дается в случае нарушения этого предела, 2 балла дается при превышении показателя в 1 мЗв/год, что является допустимым пределом для населения, 3 балла дается в случае превышения нормы излучения для персонала. В случае с остальными критериями распределение баллов производилось по схожей логике.

Дальнейшая оценка рисков происходит исходя из вероятности аварии и количества пострадавших от нее людей.

Обеспечение требуемого уровня безопасности непосредственно связано с достижением приемлемого уровня риска, конкретное значение которого на данном этапе развития определяется глубиной научных знаний, уровнем социально-экономического и технологического развития страны, развитостью культуры безопасности, национальным менталитетом и рядом других факторов. В вопросах приемлемости социального риска большое значение играет общественное мнение, на которое, в свою очередь, значительное влияние оказывает восприятие населением факторов масштабности и тяжести последствий. В данном случае предлагается использовать критерии количества травмированных людей, исходя из табл. 3.

Решение о временных ограничениях на проживание, хозяйственную деятельность и проведение комплекса мероприятий, направленных на снижение риска, принимается Правительством Российской Федерации или органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации по представлению надзорных органов. При невозможности снижения уровня риска ограничения на проживание и хозяйственную деятельность вводятся законом Российской Федерации или законом субъекта Российской Федерации.

Заключение

1. Предлагаемая методика комплексной оценки социального риска от техногенного загрязнения окружающей среды в результате аварий на опасных промышленных объектах позволит быстро и эффективно оценивать опасность строительства таких объектов, объективно сравнивать риск строительства различных объектов между собой и оперативно принимать решения для снижения социального риска.

2. Оценка состояния окружающей среды в качестве элемента оценки риска вместо определения параметров источников загрязнения позволяет применять данную методику в большем количестве случаев, так как характеристики источников загрязнения сильно отличаются у разных предприятий, в то время как загрязняемые среды в наибольшей степени были учтены.

3. Учет количества пострадавших в качестве критерия оценки социального риска позволяет оценивать даже современные опасные производства, где вследствие аварии не предполагаются летальные последствия. А также позволяет оценивать косвенный эффект от аварии, вследствие ухудшения качества жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веницианов, Е.В. Экологический мониторинг: шаг за шагом / Е.В. Веницианов, В.Н. Виниченко, Т.В. Гусева и др. / Под. ред. Е.А. Заика. — М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. — 252 с.
2. Кузнецов, П.Д. Риски опасных производств (анализ, оценка, управление) / П.Д. Кузнецов, С.Ю. Ксандопуло, С.И. Одинцов. — Краснодар: Издательский Дом — ЮГ, 2010. — 238 с.
3. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. СанПиН 2.6.1.2523-09. — М., 2009.
4. Ревич, Б.А. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Б.А. Ревич, Ю.Е. Саев, Р.С. Смирнова. — М.: ИМГРЭ, 1990.
5. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. — М., 1991.

© Экзарьян В.Н., Рукавицын В.В., 2021

Экзарьян Владимир Нишанович // vnekar@rambler.ru
Рукавицын Вадим Вячеславович // vadichruk@list.ru