

## Риск-ориентированная методология определения приоритетных направлений повышения безопасности труда в горнодобывающей промышленности Арктической зоны

С.Г. ГЕНДЛЕР, Е.А. ПРОХОРОВА ✉

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

✉ Prokhorovaea96@gmail.com

**Ссылка для цитирования оригинальной статьи:** Gendler, S.; Prokhorova, E. Risk-Based Methodology for Determining Priority Directions for Improving Occupational Safety in the Mining Industry of the Arctic Zone. *Resources* 2021, 10, 20. <https://doi.org/10.3390/resources10030020>

**Аннотация:** за последние 10 лет в горнодобывающей промышленности России произошло более чем трехкратное снижение уровня травматизма благодаря успешному внедрению инновационных технологий охраны труда. Несмотря на это, уровень травматизма остается неприемлемо высоким по сравнению с ведущими горнодобывающими странами, что приводит к росту затрат на добычу полезных ископаемых. Для горнодобывающих районов Арктической зоны – в отличие от других регионов, расположенных в районах с более благоприятным климатом, – на уровень травматизма влияют не только условия подземного труда, но и неблагоприятные экологические факторы. Для арктической зоны России общий риск травматизма предлагается рассчитывать как совокупное влияние профессионального и фонового риска. В данной статье проведен корреляционный анализ общих рисков травматизма в регионах Арктической зоны и регионах с благоприятными климатическими условиями. На примере Кировского филиала акционерного общества (АО) «Апатит» мы рассчитали риски, связанные именно с уровнем производственного травматизма. Построены относительные риски травматизма и их изменения во времени, разработана «базовая матрица травматизма», позволяющая наглядно представить результаты сравнительного анализа травматизма на производственных площадках компании и определить приоритетные направления повышения безопасности труда и снижения уровня травматизма.

**Ключевые слова:** арктическая зона; горнодобывающая промышленность; рудники; охрана труда; производственный травматизм; риск-ориентированная методология; риск травматизма; диаграмма риска травматизма; корреляционный анализ.

## Risk-Based Methodology for Determining Priority Directions for Improving Occupational Safety in the Mining Industry of the Arctic Zone

Semyon G. GENDLER and Elizaveta A. PROKHOROVA ✉

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

✉ Prokhorovaea96@gmail.com

**Abstract:** Over the past 10 years, the mining industry of Russia has seen a greater than threefold decrease in injury rates, thanks to the successful implementation of innovative labor safety technologies. Despite this, injury levels remain unacceptably high compared to the leading mining countries, which results in increased mining costs. For the mining areas of the Arctic Zone – unlike other regions located in areas with a more favorable climate – the injury rates are influenced not only by the underground labor conditions, but also by the adverse environmental factors. For the Russian Arctic zone, the overall injury risk is proposed to be calculated as the combined impact of occupational and background risk. In this article, we have performed correlation analysis of the overall injury risks in regions of the Arctic zone and regions with favorable climate conditions. Using the Kirov branch of "Apatit", Joint-stock company (JSC) as an example, we have calculated the risks related specifically to occupational injury rates. We have constructed the relative injury risks and their changes over time and have developed a "basic injury rate matrix" that makes it possible to visualize the results of the comparative analysis of the injury rates on the company's production sites and to determine priority avenues for improving the occupational safety and lowering the injury rates.

**Keywords:** arctic zone; mining industry; mines; labor safety; occupational injury rate; risk-based methodology; risk of injuries; injury risk diagram; correlation analysis.

### 1. Введение

Охрана труда остается приоритетной задачей для многих стран. Успешное решение вопросов охраны труда и меры, направленные на снижение уровня производственного травматизма, влияют на эффективность производства и рентабельность продукции. Пренебрежение или невнимательность к безопасности труда может привести не только к техническим и экономическим, но и к социальным потерям [1].

\* Перевод подготовлен для повышения интереса русскоязычной аудитории к данной статье.

© 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

© Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (перевод), 2025.

Вопросы охраны труда наиболее актуальны для горнодобывающей промышленности, в которой большинство производственных объектов относятся к категории опасных. Если рассматривать в качестве показателя безопасности труда коэффициент производственного травматизма, рассчитываемый как отношение общего количества травм к общему количеству работающих, то профессиональные риски для горнодобывающей промышленности будут в 4-5 раз выше, чем в среднем по другим отраслям промышленности России.

Еще выше производственный травматизм в отраслях Арктической зоны, где горняки подвержены синдрому полярного стресса и неблагоприятным экологическим условиям жизни, обусловленным расположением жилых зон рядом с районами добычи. К таким условиям относятся низкие температуры воздуха, большое количество осадков, сильные ветры, полярные ночи, недостаток ультрафиолетового излучения, сравнительно высокий уровень загрязнения воздуха и воды, а также повышенный уровень шума и вибрации [2]. Опросы жителей Арктической зоны показывают интересные результаты. В социологическом опросе приняли участие две возрастные группы жителей Арктической зоны: «молодежь» – от 25 до 44 лет и «пожилые» – старше 60 лет. Независимо от возраста, во время полярных ночей 87 % молодых людей и 80 % пожилых отметили, что чувствуют сонливость и депрессию. Кроме того, 54 % молодых людей и 60 % пожилых участников сообщили о высоком уровне стресса, а 47 % и 50 % из них (соответственно) – о плохом самочувствии. Во время полярных ночей 87 % молодых людей и 80 % пожилых людей страдают от чрезмерного возбуждения, которое приводит к бессоннице. Низкие температуры арктической зоны с трудом переносят 60 % молодых людей и 80 % пожилых. Кроме того, 20 % молодых людей и 50 % пожилых ощущают изменения атмосферного давления. В совокупности эти негативные экологические факторы вызывают необратимые изменения в психическом и физическом состоянии людей, что приводит к повышенному риску травматизма по сравнению с другими регионами России.

Высокие риски травматизма препятствуют освоению месторождений полезных ископаемых Арктической зоны, которые расположены на площади 3,1 млн кв. км – 18 % от общей площади России [3].

Согласно приложению к Указу Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296, в состав Арктической зоны входят: Мурманская область, Ненецкий автономный округ, Чукотский автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ, Республика Коми, Республика Карелия, Республика Саха (Якутия), Красноярский край, Архангельская область, а также земли и острова, расположенные в Северном Ледовитом океане, как указано в Постановлении Президиума Центрального Исполнительного Комитета СССР (от 15 апреля 1926 г. «Об объявлении земель и островов Северного Ледовитого океана территориями Союза Советских Социалистических Республик» и другими актами СССР [4] (рис. 1).

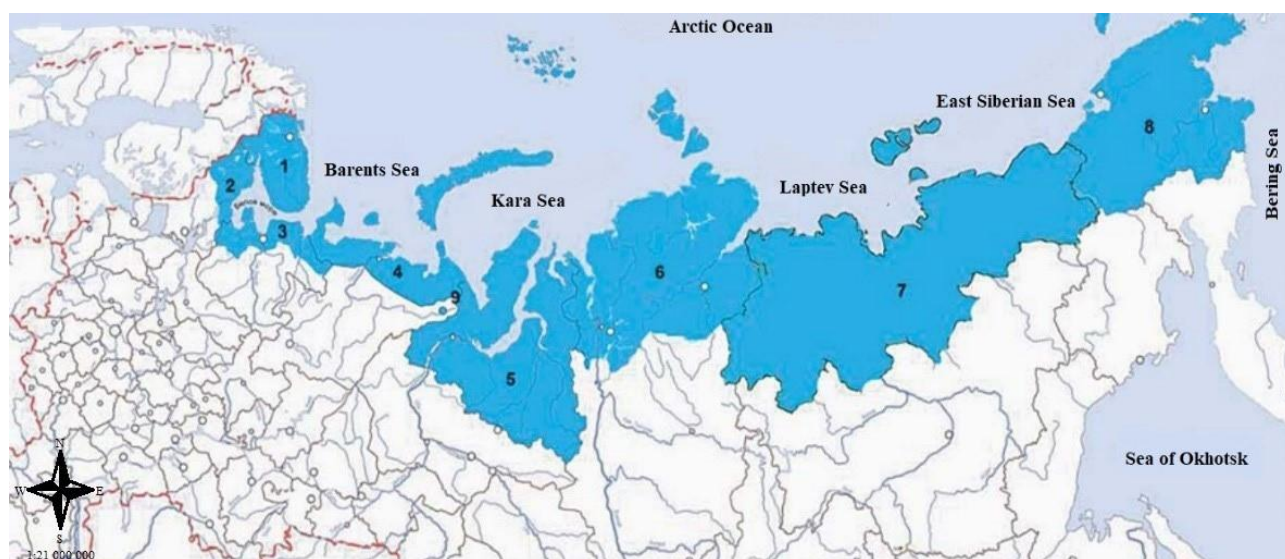


Рис. 1. Арктическая зона Российской Федерации. 1-Мурманская область; 2-Республика Карелия; 3-Архангельская область; 4-Ненецкий автономный округ; 5-Ямало-Ненецкий автономный округ; 6-Красноярский край; 7-Республика Саха (Якутия); 8-Чукотский автономный округ; 9-Республика Коми (в составе городского округа Воркута)

На Арктическую зону приходится 90 % российского производства никеля и кобальта, 60 % меди, более 96 % платиновых металлов, около 80 % природного газа и 60 % добычи нефти (рис. 2). Если говорить о запасах углеводородов, то доля зоны становится еще больше. Арктический шельф можно рассматривать как стратегический резерв для укрепления ресурсной безопасности России [4-6].

Эффективное освоение природных ресурсов невозможно без внедрения стандартов безопасности труда на горнодобывающих предприятиях, некоторые из которых объединяют несколько компаний (вертикально интегрированные компании).

Профилактика травматизма, профессиональных заболеваний и болезней является темой многочисленных исследований российских и зарубежных ученых [7-10]. Важно отметить, что при оценке риска российская методология предполагает использование качественных показателей, характеризующих различные виды риска (личный риск, коллективный риск, экономический риск, ожидаемая стоимость ущерба) [11].

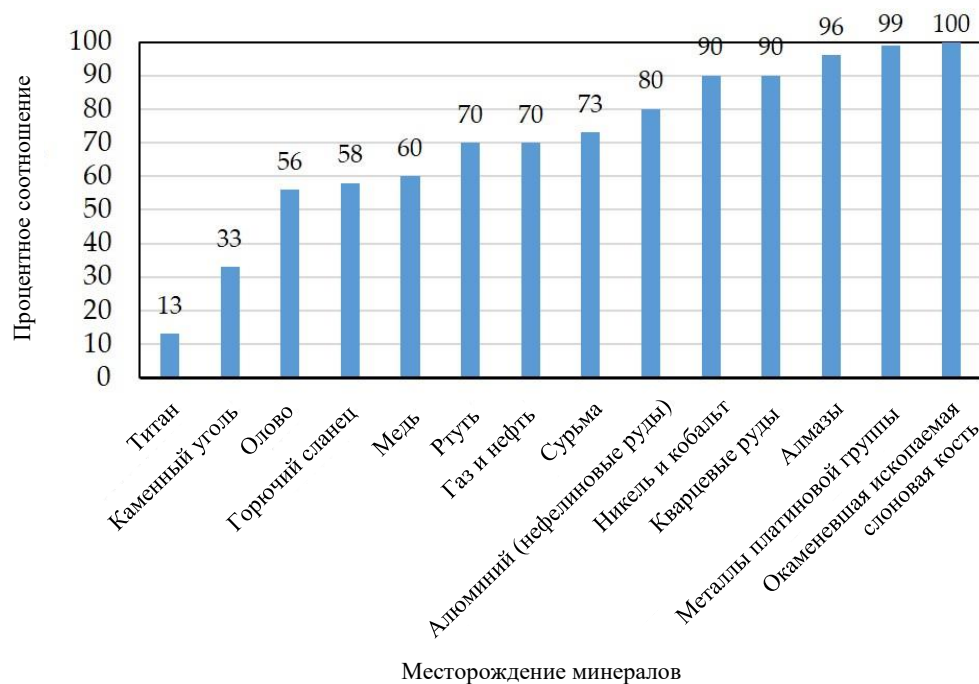


Рис. 2. Доля месторождений полезных ископаемых Арктической зоны в общих запасах полезных ископаемых России

В Финляндии, например, широкое распространение получил метод оценки безопасности труда Элмери [12]. Этот метод позволяет определить вероятность возникновения условий, приводящих к травмам или профессиональным заболеваниям. Он основан на наблюдениях за такими аспектами безопасности труда, как порядок на рабочих местах, безопасность эксплуатации оборудования, использование работниками средств индивидуальной защиты, эргономичность рабочих процессов, гигиена труда и санитария. Все эти компоненты распределены по семи группам пунктов: безопасное поведение, порядок и опрятность, безопасность оборудования, производственная гигиена, эргономика, пешеходные дорожки, а также первая помощь и пожарная безопасность. Каждая группа оценивается от «плохо» до «хорошо». «Хорошо» означает, что группа отвечает минимальным требованиям законодательства и соответствует позитивной практике безопасности, принятой в данной компании. Индекс Элмери рассчитывается как отношение количества баллов «хорошо» к общему количеству групп товаров и колеблется от 0 до 100. Так, оценка в 60 % означает, что потенциальный риск получения травмы в результате несоблюдения стандартов безопасности труда равен 40 %.

Канадский центр охраны и безопасности труда (КЦОБТ) допускает использование различных методов оценки безопасности труда. Приоритетом в каждом конкретном случае является выбор наиболее подходящего метода. Организация предлагает примерное пошаговое руководство по оценке рисков [13,14]. На его основе разработаны формы, позволяющие правильно документировать

процедуры и процессы принятия решений. Однако следует отметить, что, несмотря на наличие значительного количества работ (как отечественных, так и зарубежных ученых), связанных с вопросами оценки безопасности труда, вопрос оценки риска травматизма с последующим выбором приоритетных направлений снижения уровня риска остается малоизученным.

В США используются такие методы оценки риска, как FMEA (Анализ видов и последствий отказов), HAZOP (Исследования опасностей и работоспособности) и FTA (Анализ дерева неисправностей). Метод HAZOP, например, представляет собой процедуру оценки риска, состоящую из процесса детализации и идентификации эксплуатационных нарушений и неисправностей оборудования, а также процесса, производственного блока или системы, приводящих к определенным нежелательным последствиям [15]. Аналогичные процедуры оценки риска применяются в таких странах, как Швеция и Норвегия [16].

Аналогичный стандарт определения риска производственного травматизма был использован в исследованиях российских ученых [17]. Эти исследования основаны на корреляционном анализе оценки рисков производственного травматизма. Однако они не в полной мере учитывают особенности арктической зоны России. Предлагаемая методика отличается от известных тем, что учитывает влияние неблагоприятных факторов окружающей среды на риск травматизма, а также включает дополнительный показатель – средний риск травматизма за рассматриваемый период, что позволяет более полно описать сравнительную динамику показателей риска производственного травматизма.

Универсальность предложенной методики оценки риска производственного травматизма и определения приоритетных направлений его снижения позволяет распространить ее на другие горнодобывающие предприятия, расположенные в различных климатических условиях и характеризующиеся различными горнотехническими условиями.

Однако следует отметить, что, несмотря на значительное количество исследований (как отечественных, так и зарубежных ученых), связанных с проблемой оценки безопасности труда для различных отраслей промышленности, проблема оценки риска травматизма в арктической зоне с последующим выбором приоритетных направлений его снижения изучена не в полной мере.

Преимуществом предложенной в работе риск-ориентированной методики считается корреляционный анализ опубликованных статистических данных, характеризующих состояние охраны труда, как в регионах Арктической зоны, так и на конкретном предприятии, на примере горнодобывающих участков Кировского филиала АО «Апатит».

Показатель риска смертельного травматизма был использован для проведения сравнительного анализа аварийности в отраслях промышленности стран, расположенных в районах с климатом, схожим с климатом Арктической зоны России (рис. 3) [18].

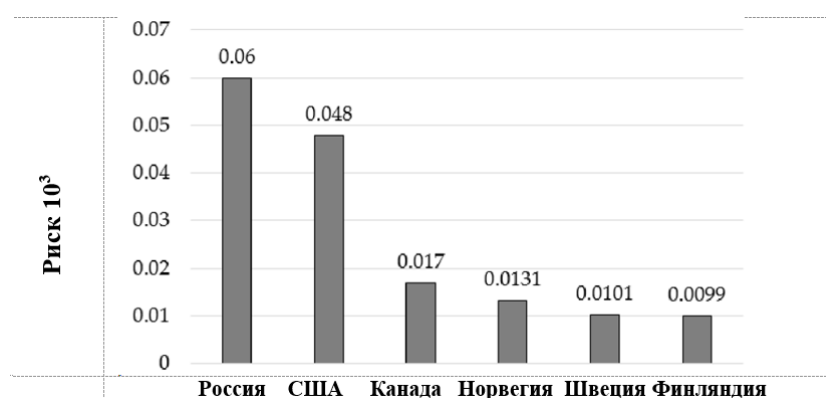


Рис. 3. Риск смертельного травматизма для разных стран

Данные, представленные на рисунке, показывают, что самый высокий риск смертельного травматизма наблюдается в арктической зоне России, что подчеркивает важность изучения этого вопроса именно для Российской Федерации.

Однако риск остается высоким и для других стран. Таким образом, риск-ориентированная методология определения приоритетных направлений снижения уровня производственного травматизма будет полезна и для других стран с аналогичным климатом.

Актуальность настоящего исследования обусловлена существующей необходимостью снижения уровня производственного травматизма в горнодобывающей промышленности Арктической зоны России, что позволяет оптимизировать инвестиции в охрану труда.

Цель настоящего исследования – предложить риск-ориентированный подход для выбора приоритетных направлений профилактики производственного травматизма в горнодобывающей промышленности Арктической зоны.

Практическая значимость исследования заключается в разработке методики оценки профессионального риска, учитывающей фоновые уровни риска при расчете показателей травматизма, обусловленного условиями труда. Предложенная методика также определяет относительные и абсолютные сдвиги в уровнях риска производственного травматизма. Построенная на основе этих параметров «матрица базового уровня травматизма» позволяет наглядно представить корреляционный анализ уровня травматизма в вертикально интегрированных компаниях и выбрать приоритетные направления снижения уровня травматизма и повышения безопасности труда.

В качестве основного показателя безопасности труда мы используем уровень травмоопасности, рассчитываемый как отношение уровня травматизма к общей численности населения региона.

В качестве примера использования разработанной методики приведена оценка ситуации на шахтах Кировского филиала АО «Апатит» (г. Мурманск), относящихся к Арктической зоне в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296 [19].

## 2. Материалы и методы

Методы выбора приоритетных направлений снижения уровня травматизма на объектах Заполярья являются важной основой охраны труда. Освоение минеральных ресурсов Арктической зоны является приоритетным направлением для России и мирового сообщества. Человеческий фактор становится одним из главных факторов эффективности в экстремальных природных условиях Арктики. Если говорить о России, то проблема усугубляется тем, что на огромной и богатой ресурсами территории арктической зоны проживает всего чуть более 2 миллионов человек, что требует привлечения вахтовых рабочих из других регионов.

Неблагоприятные экологические условия Арктической зоны в сочетании с тяжелыми условиями труда горняков (полярные ночи, повышенный уровень шума и вибрации и другие) приводят к тому, что риск травматизма выше по сравнению с регионами с более благоприятными условиями. Для снижения рисков травматизма необходимо постоянно совершенствовать системы охраны труда на горнодобывающих предприятиях, и первым шагом в этом процессе является оценка условий безопасности труда [20-22].

Результаты оценки состояния охраны труда позволяют выбрать приоритетные направления снижения производственного травматизма (рис. 4).

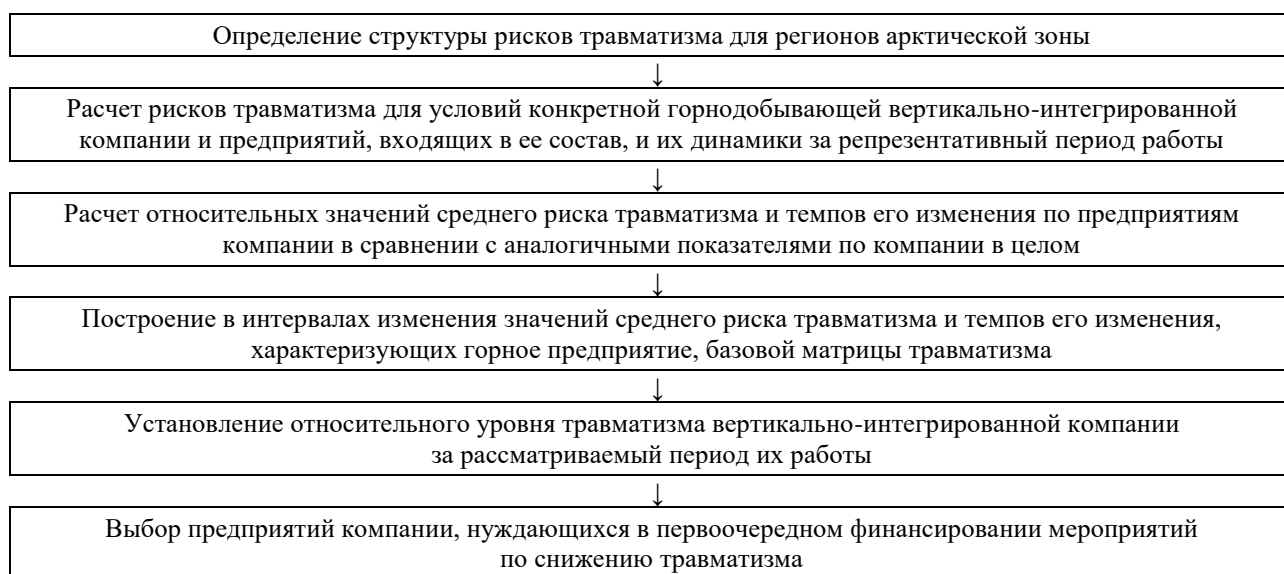


Рис. 4. Алгоритм выбора приоритетных направлений для снижения уровня травматизма

Первым шагом в выборе является определение структуры риска (рис. 5). Общий риск, помимо профессиональной составляющей, которая определяется условиями труда, включает фоновый риск, который определяется неблагоприятной экологической ситуацией и неблагоприятными воздействиями окружающей среды, такими как суровые климатические условия, большое количество осадков, низкие температуры воздуха, сильные ветры, полярные ночи, полярные дни, недостаток ультрафиолетового излучения.

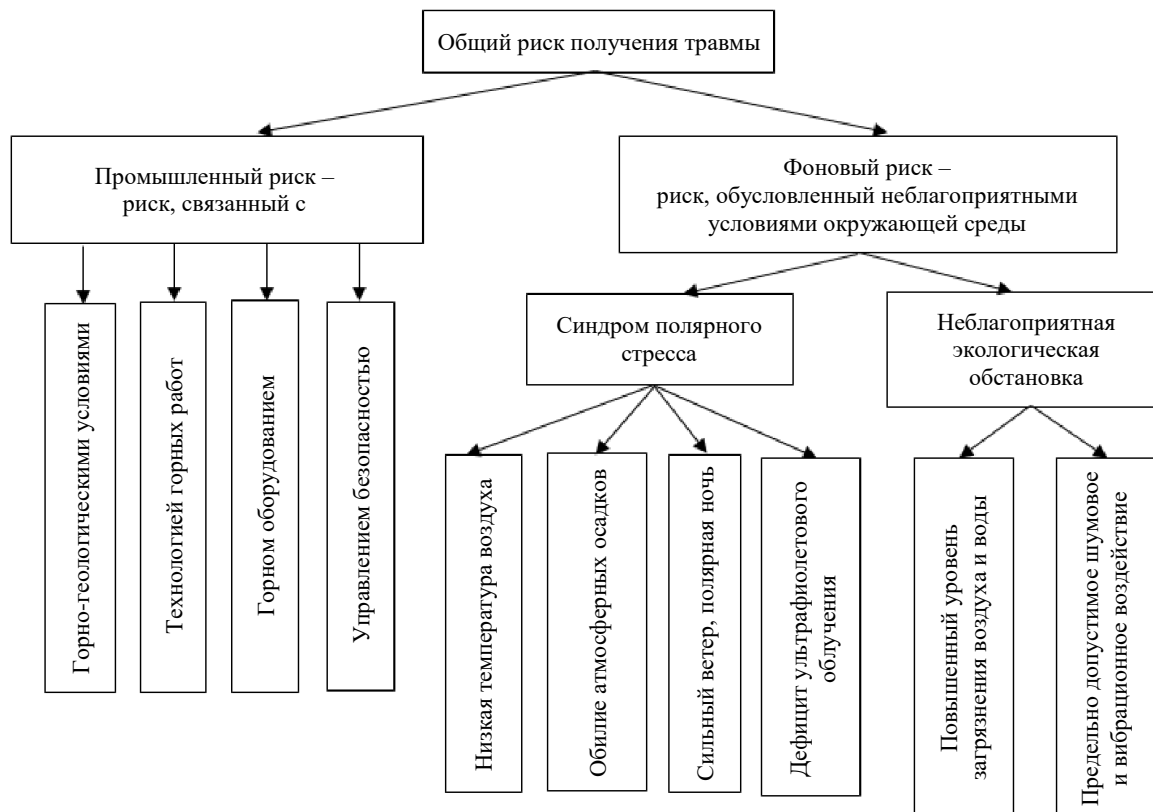


Рис. 5. Диаграмма риска травматизма для Арктического региона

Для расчета общего риска травматизма в арктических регионах России мы использовали официальные статистические данные [23]. Результаты расчетов представлены на рисунке 6.

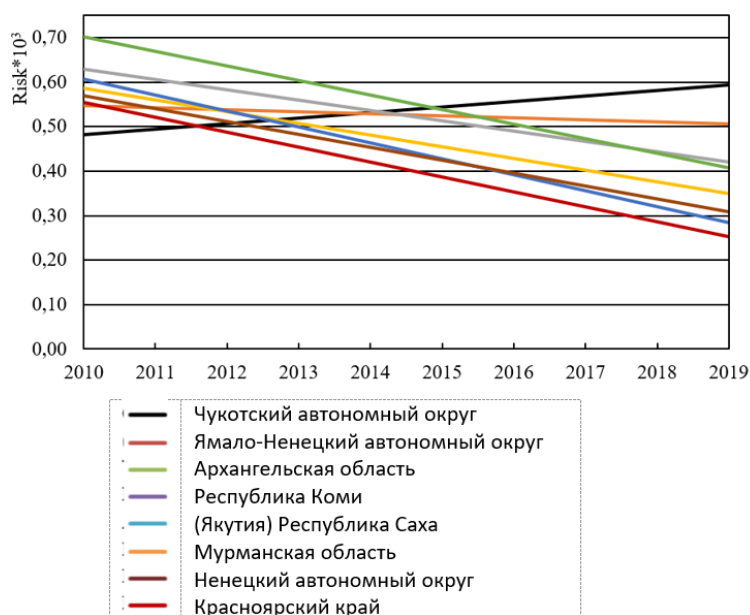


Рис. 6. Общий риск травматизма для арктической зоны

В целом уровень травматизма в Арктической зоне демонстрирует десятилетнюю тенденцию к снижению. Единственным выбросом в данном случае является Чукотский автономный округ, где наблюдается рост на 22 %. На рисунке 6 показано, что линейные корреляционные зависимости уровня травматизма от времени характеризуются коэффициентом корреляции более 0,75 и имеют индивидуальные коэффициенты регрессии, определяющие тенденции изменения уровня травматизма за 10-летний период. Для каждой линейной корреляционной зависимости риска травматизма для регионов Арктической зоны было рассчитано среднее значение ( $M$ ), характеризующее центральный тренд, и стандартная погрешность среднего (СПС), показывающая точность расчета среднего значения. На рисунке 7 представлены основные причины производственного травматизма для Арктической зоны России.

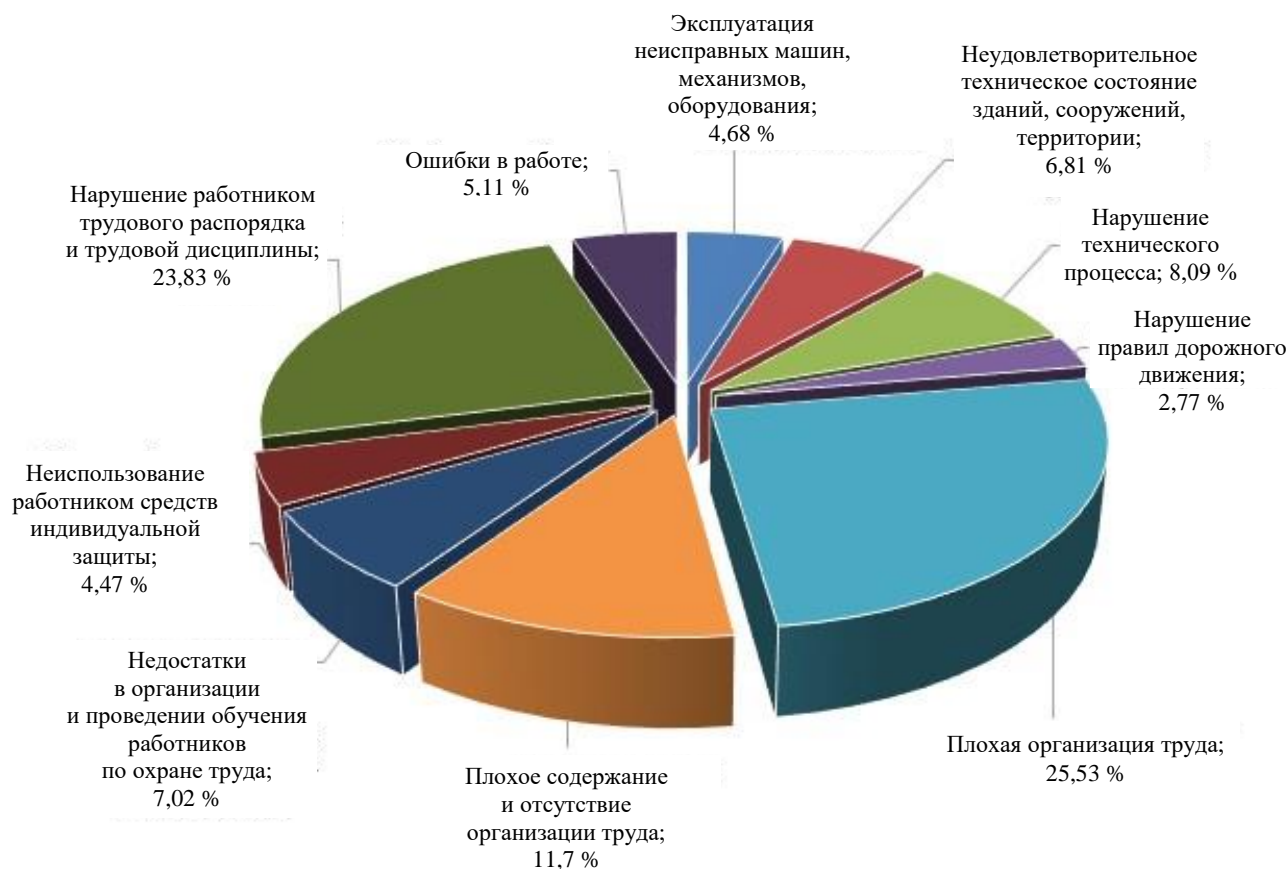


Рис. 7. Причины аварий в арктической зоне

Как видно из рисунка 7, наибольший риск несчастных случаев связан с неэффективным управлением, нарушениями трудового распорядка, а также проступками работников и неудовлетворительным содержанием рабочих мест. Перечисленные причины несчастных случаев организационного характера связаны с недостаточной профессиональной подготовкой работников, а также с их низкой мотивацией к соблюдению правил безопасности на производстве.

В основе процедуры определения структуры риска лежит предположение о том, что общий риск травматизма является результатом совместного влияния двух видов риска: общего риска для территорий Арктической зоны ( $R_{F.N.t.}$ ), который рассчитывается на основе среднего риска по России ( $R_{RF.av.}$ ), и риска, обусловленного внешними факторами, исходящими от самих территорий ( $R_{EXT.C.}$ ).

В свою очередь, общий риск травматизма для горнодобывающих предприятий ( $R_{M.t.t.}$ ) рассчитывается на основе значения  $R_{EXT.C.}$  и риска, обусловленного деятельностью отдельной компании ( $R_{I.A.}$ ). Анализ уровня производственного травматизма на горнодобывающих предприятиях предполагает, что структура риска для них идентична структуре риска для соответствующей территории.

Уравнения, связывающие эти риски, основаны на законе сложения вероятностей и могут быть записаны следующим образом [24, 25]:

$$R_{F.N.t.} = R_{RF.av.} + R_{EXT.C.} - R_{RF.av.} \cdot R_{EXT.C.} \quad (1)$$

$$R_{M.I.t.} = R_{EXT.C.} + R_{IA.} - R_{EXT.C.} \cdot R_{IA.} \quad (2)$$

Зная общие риски травматизма для данной территории ( $R_{F.N.t.}$ ), данного предприятия ( $R_{M.I.t.}$ ) и зная средний риск по Российской Федерации ( $R_{RF.av.}$ ), можно рассчитать внешние риски для каждой территории ( $R_{EXT.C.}$ ), а также риски травматизма ( $R_{IA.}$ ). Уравнение (1) позволяет представить фоновые риски травматизма для отдельных территорий в следующем виде:

$$R_{EXT.C.} = (R_{F.N.t.} - R_{RF.av.}) / (1 - R_{RF.av.}) \quad (3)$$

При известном значении фонового риска профессиональный риск для конкретного предприятия ( $R_{IA.}$ ) может быть представлен следующим образом (уравнение (4)):

$$R_{IA.} = (R_{M.I.t.} - R_{EXT.C.}) / (1 - R_{EXT.C.}) \quad (4)$$

Значения рисков  $R_{F.N.t.}$ ,  $R_{RF.av.}$ ,  $R_{M.I.t.}$  и  $R_{IA.}$  были определены на основе статистических данных по каждому региону за определенный период, после чего был проведен корреляционный и регрессионный анализ.

### 3. Результаты

#### 3.1. Результаты расчета профессионального и фонового рисков для Арктической зоны

Результаты значений рисков  $R_{F.N.t.}$ ,  $R_{RF.av.}$ ,  $R_{M.I.t.}$  и  $R_{IA.}$  были определены на основе статистических данных по каждому региону Арктической зоны за последние 10 лет, которые затем были подвергнуты корреляционному и регрессионному анализу – см. табл. 1.

Таблица 1

**Фоновые риски производственного травматизма для арктической зоны ( $10^3$ )**

| Регион \ Годы                   | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Чукотский автономный округ      | 0,077 | 0,022 | 0,123 | 0,021 | 0,325 | 0,068 | 0,207 | 0,514 | 0,397 | 0,579 |
| Республика Саха (Якутия)        | 0,054 | 0,315 | 0,235 | 0,135 | 0,092 | 0,180 | 0,136 | 0,239 | 0,338 | 0,553 |
| Ямало-Ненецкий автономный округ | 0,232 | 0,206 | 0,324 | 0,360 | 0,139 | 0,070 | 0,289 | 0,210 | 0,199 | 0,321 |
| Мурманская область              | 0,033 | 0,049 | 0,306 | 0,175 | 0,188 | 0,232 | 0,110 | 0,065 | 0,025 | 0,226 |
| Архангельская область           | 0,052 | 0,167 | 0,265 | 0,141 | 0,160 | 0,123 | 0,066 | 0,012 | 0,037 | 0,077 |
| Ненецкий автономный округ       | 0,218 | 0,183 | 0,444 | 0,635 | 0,370 | 0,309 | 0,119 | 0,181 | 0,039 | 0,372 |
| Архангельская область без АО    | 0,241 | 0,477 | 0,524 | 0,254 | 0,328 | 0,242 | 0,177 | 0,083 | 0,088 | 0,123 |
| Республика Коми                 | 0,025 | 0,056 | 0,141 | 0,109 | 0,124 | 0,120 | 0,236 | 0,081 | 0,043 | 0,012 |
| Красноярский край               | 0,04  | 0,057 | 0,134 | 0,044 | 0,035 | 0,000 | 0,059 | 0,050 | 0,029 | 0,013 |

В таблице 1 приведены значения фонового риска для каждой территории Арктической зоны, рассчитанные с помощью уравнения (3).

Данные табл. 1 показывают, что за последнее десятилетие уровни фонового риска практически не изменились. Следует отметить, что в Красноярском крае наблюдаются самые низкие средние значения фонового риска, а в Ненецком автономном округе – самые высокие.

На рисунке 8 показана взаимосвязь между фоновым риском и риском травматизма для каждого региона, что свидетельствует о влиянии фонового риска на величину общего риска травматизма. Результаты показывают, что фоновый риск может оказывать значительное влияние на общий уровень травматизма. Так, фоновый риск составляет 35 % от общего риска в Ненецком автономном округе и более 30 % в Чукотском автономном округе и Республике Саха (Якутия).

Таким образом, определив структуру риска, можно выяснить соотношение между факторами, его определяющими, а также то, являются ли они контролируруемыми или неконтролируемыми [26].

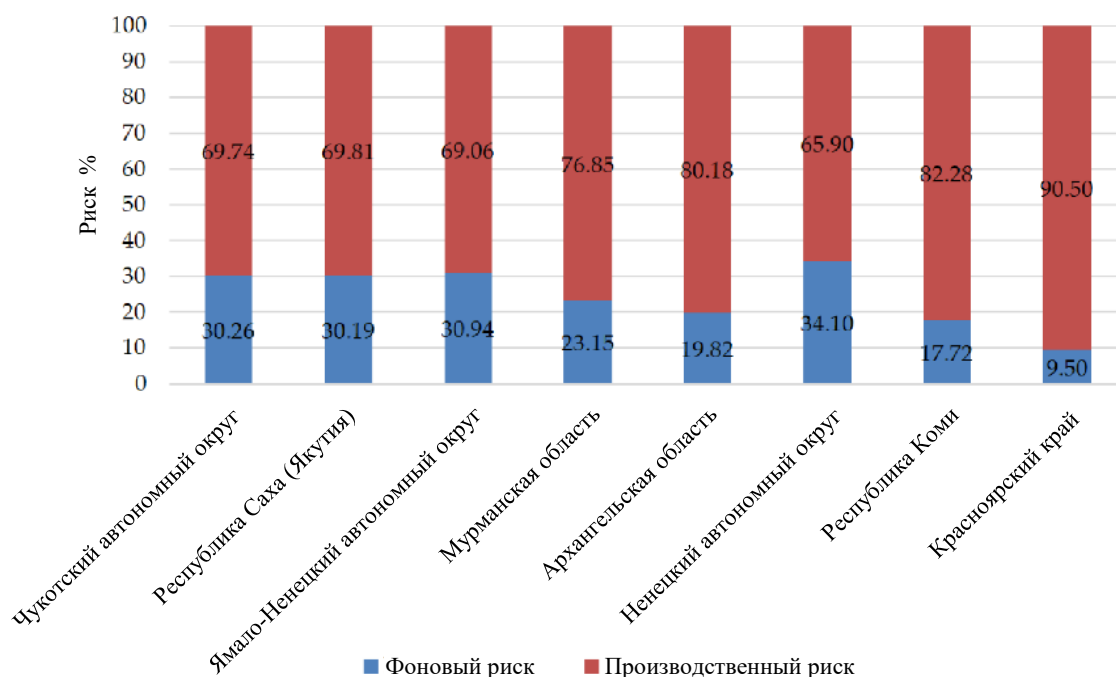


Рис. 8. Доля фоновых рисков и профессиональных рисков в общем риске травматизма

К управляемым факторам в данном случае относятся факторы, связанные с деятельностью предприятий, а к неуправляемым – внешние условия, определяемые окружающей средой (например, загрязнение воздуха), размещение мест проживания работников, продолжительность полярного дня и ночи, интенсивность ультрафиолетового излучения, расположение объектов, погодные условия и т.д. Внешние условия влияют на психическое и физическое состояние работников.

### 3.2. Особенности определения приоритетных направлений снижения уровня травматизма в Кировском филиале АО «Апатит»

В качестве примера для методики мы используем вертикально интегрированный Кировский филиал ОАО «Апатит» (г. Мурманск). В состав компании входят: Объединенный Кировский ГОК, ГОК «Расвумчорр», Восточный ГОК и Центральный ГОК. Исходные данные, использованные в исследовании, взяты из отчетов Госгортехнадзора, внутренних отчетов Кировского филиала «Апатит», а также отчетов, собранных другими авторами [27]. Рассчитанные значения профессионального риска представлены в виде линейных функций на рисунке 9.

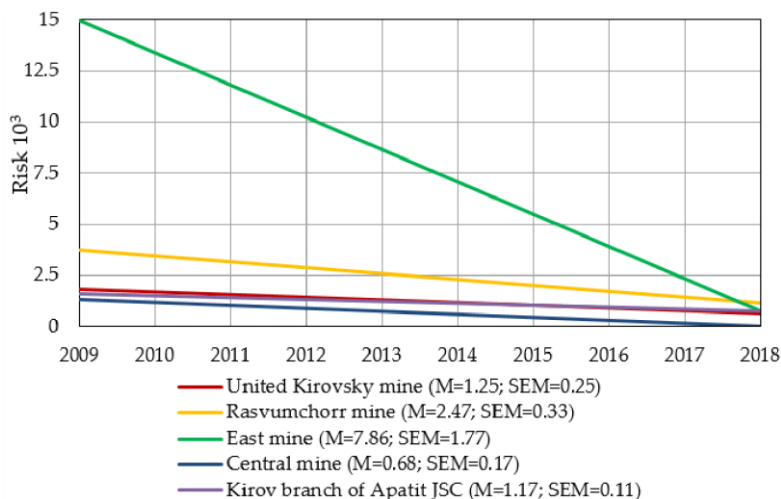


Рис. 9. Уровень производственного травматизма на шахтах Апатита

На рисунке 9 показано, что за 10-летний период на всех шахтах компании наблюдалось снижение уровня травматизма. Тенденция риска описывается линейной функцией с коэффициентом корреляции, превышающим 0,7, при доверительном интервале 0,95.

На Восточном руднике уровень производственного травматизма в первые несколько лет значительно отличается от показателей других рудников и компании в целом. Однако к 2018 году показатели травматизма становятся сопоставимыми с показателями других шахт. Для каждой линейной корреляционной зависимости риска травматизма для шахт Кировского филиала ОАО «Апатит» были рассчитаны среднее значение ( $M$ ) и стандартная ошибка ( $SEM$ ).

Ситуация с профессиональным риском на шахтах характеризуется следующими двумя показателями: средним риском травматизма ( $R$ ) и средним темпом изменения  $V$  риска травматизма. Средняя скорость изменения риска травматизма соответствует коэффициенту регрессии линейной корреляции, а средний риск травматизма представляет собой среднее значение между рисками травматизма в начале и в конце рассматриваемого периода [28, 29]. Относительные изменения значений ( $\Delta\bar{R}$ ,  $\Delta\bar{V}$ ) рассчитываются как отношение среднего риска травматизма и среднего риска изменения травматизма на конкретной шахте к общефирменным значениям.

На основе данных об уровне производственного травматизма в компании «Апатит» с 2008 по 2018 год мы рассчитали риски производственного травматизма для четырех шахт [30, 31].

В таблице 2 представлены относительные изменения рисков производственного травматизма и темпы изменения рисков травматизма ( $\Delta\bar{R}$  и  $\Delta\bar{V}$ ) соответственно) для четырех рудников компании.

Таблица 2

**Значения относительного изменения рисков травматизма ( $\Delta\bar{R}$ ) и относительное изменение их скоростей ( $\Delta\bar{V}$ ) и их обратных величин  $1/\Delta\bar{V}$  для шахт компании**

| Year \ Minename | $\Delta\bar{R}_{kir}$ | $\Delta\bar{R}_{ras}$ | $\Delta\bar{R}_{Est}$ | $\Delta\bar{R}_{Cent}$ | $\Delta\bar{V}_{Kir}$ | $\Delta\bar{V}_{ras}$ | $\Delta\bar{V}_{est}$ | $\Delta\bar{V}_{Cent}$ | $\frac{1}{\Delta\bar{V}_{Kir}}$ | $\frac{1}{\Delta\bar{V}_{Ras}}$ | $\frac{1}{\Delta\bar{V}_{Est}}$ | $\frac{1}{\Delta\bar{V}_{Cent}}$ |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 2009            | 1.998                 | 3.419                 | 12.574                | 0.812                  |                       |                       |                       |                        |                                 |                                 |                                 |                                  |
| 2010            | 1.532                 | 2.706                 | 8.547                 | 1.196                  |                       |                       |                       |                        |                                 |                                 |                                 |                                  |
| 2011            | 0                     | 2.776                 | 12.719                | 0.684                  |                       |                       |                       |                        |                                 |                                 |                                 |                                  |
| 2012            | 1.282                 | 2.137                 | 5.983                 | 0.940                  |                       |                       |                       |                        |                                 |                                 |                                 |                                  |
| 2013            | 1.538                 | 2.307                 | 9.052                 | 0.812                  | 2                     | 3                     | 16                    | 1                      | 0.5                             | 0.33                            | 0.06                            | 1                                |
| 2014            | 1.538                 | 1.709                 | 10.265                | 0.979                  |                       |                       |                       |                        |                                 |                                 |                                 |                                  |
| 2015            | 1.282                 | 2.137                 | 6.229                 | 0.385                  |                       |                       |                       |                        |                                 |                                 |                                 |                                  |
| 2016            | 0.932                 | 2.137                 | 0.427                 | 0                      |                       |                       |                       |                        |                                 |                                 |                                 |                                  |
| 2017            | 0.085                 | 1.709                 | 1.282                 | 0                      |                       |                       |                       |                        |                                 |                                 |                                 |                                  |
| 2018            | 0.502                 | 0.085                 | 0.085                 | 0                      |                       |                       |                       |                        |                                 |                                 |                                 |                                  |

Относительное изменение коэффициента риска травматизма и относительное значение риска травматизма служат основой для «базовой матрицы коэффициента травматизма», где по оси  $X$  откладывается обратная величина относительного изменения коэффициента риска травматизма, а по оси  $Y$  – относительное значение риска.

Для наглядности сегменты матрицы, соответствующие различным рискам производственного травматизма, окрашены по-разному: зеленый цвет означает приемлемую безопасность труда; желтый – удовлетворительную; красный – неудовлетворительную; темно-красный – критическую.

Матрица позволяет наглядно представить результаты сравнительной оценки рисков производственного травматизма на различных предприятиях компании и определить первоочередные меры по их снижению [32-34].

На рисунке 10 представлена матрица относительного изменения показателей риска травматизма для шахт Кировского филиала компании «Апатит». Результаты анализа и рассчитанные средние значения изменения коэффициентов риска травматизма за десятилетие позволяют оценить мероприятия по охране труда в целом.

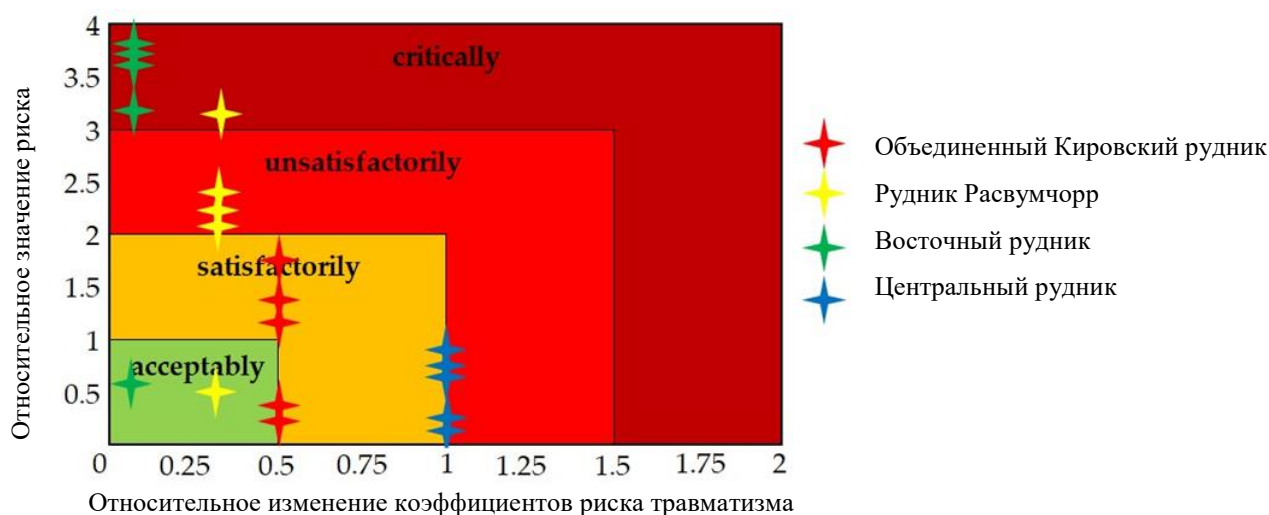


Рис. 10. Матрица относительного изменения коэффициентов риска травматизма на шахтах Кировского филиала АО «Апатит»

На рисунке 11 представлена «Матрица изменения уровня риска производственного травматизма за 10 лет на шахтах Кировского филиала АО «Апатит»».

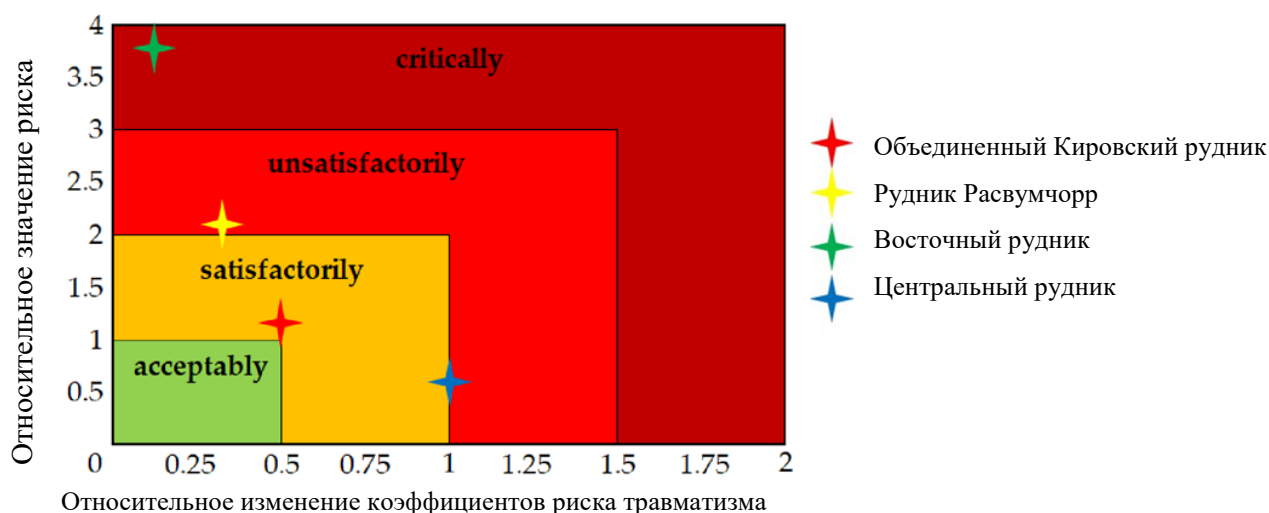


Рис. 11. Матрица изменения уровня риска производственного травматизма за 10 лет на шахтах Кировского филиала АО «Апатит»

Как видно из рисунка 11, за последнее десятилетие условия охраны труда по рискам производственного травматизма на шахте имени Кирова были удовлетворительными, на шахте «Расвумчорр» – неудовлетворительными, на шахте «Восточная» – критическими, на шахте «Центральная» – между удовлетворительными и неудовлетворительными.

Проведенный анализ позволяет оценить состояние охраны труда по рискам производственного травматизма как за последние 10 лет, так и за текущий период работы предприятия [35, 36].

Проведенная оценка позволяет определить приоритетные направления снижения риска травматизма и повышения уровня безопасности труда.

В заключение следует отметить, что в статье предлагается методика выявления предприятия с более высоким уровнем производственного травматизма по сравнению с другими в рамках компании в целом на основе сравнительного анализа уровней производственного травматизма на конкретных предприятиях и компаниях, включающих эти предприятия. Предложенная методика позволяет компаниям определить приоритетные направления повышения безопасности труда, которые будут направлены на конкретные предприятия.

Для дальнейших исследований целесообразно разработать программное обеспечение для реализации предложенного алгоритма выявления приоритетных направлений снижения уровня производственного травматизма.

#### 4. Обсуждение

Предложенные методы оценки текущего состояния травматизма и определения приоритетных направлений снижения производственного травматизма, а также полученные результаты имеют важное значение для профилактики травматизма в горнодобывающей промышленности. Несмотря на широкое распространение данной темы среди отечественных и зарубежных ученых, предлагаемое исследование наиболее полно описывает ситуацию с производственным травматизмом в Арктической зоне России, а также демонстрирует методику определения приоритетных направлений по снижению производственного травматизма и повышению безопасности труда на примере Кировского филиала АО «Апатит». На основании проведенных исследований общий риск травматизма предлагается рассчитывать как совокупное влияние двух видов производственных рисков: профессионального риска, определяемого как средний риск для Арктической зоны, и риска, обусловленного неблагоприятными факторами окружающей среды. Фоновый риск для горнодобывающих районов Арктической зоны был рассчитан на 10 лет и использован для создания структуры профессионального риска для горнодобывающей промышленности Арктической зоны России. Несмотря на то, что «фоновый риск» за рассматриваемый период практически не изменился, он оказывает влияние на показатель общего риска травматизма. Таким образом, определение структуры профессионального риска позволяет установить взаимосвязь между контролируемыми и неконтролируемыми факторами, оказывающими влияние на риск травматизма в горнодобывающей промышленности. Это очень важно для последующей оценки влияния производственных факторов на уровень производственного травматизма.

Основным преимуществом используемой методики является комплексный подход к анализу риска производственного травматизма на горнодобывающих предприятиях, расположенных в Арктической зоне России, впервые учитывающий следующее

- структуры риска, состоящей из профессионального риска, связанного с подземными условиями труда, и «фоновых рисков», обусловленного влиянием окружающей среды;
- сравнительная динамика и средние уровни рисков травматизма по горнодобывающим компаниям и предприятиям в их структуре за рассматриваемый период;
- возможность визуализации результатов оценки уровня производственного травматизма на предприятиях, входящих в состав компании, на основе анализа матриц рисков по охране труда, что позволяет определить приоритетные направления целевых мероприятий по охране труда.

На основании полученных результатов можно сделать следующие важные выводы:

1. Определение приоритетных направлений снижения рисков производственного травматизма является одним из шагов по оптимизации стратегии финансовых инвестиций, направленных на повышение безопасности труда на шахтах Арктической зоны.
2. На общий уровень профессионального риска влияют фоновые риски, обусловленные влиянием синдрома полярного стресса и неблагоприятными условиями окружающей среды.
3. Ранжирование вертикально-интегрированных компаний по уровню производственного травматизма следует проводить по двум критериям: среднему уровню риска травматизма и темпам его изменения в каждом подразделении компании по сравнению с аналогичными показателями по компании в целом.
4. Для визуализации результатов сравнительного анализа уровня производственного травматизма и определения приоритетных направлений повышения безопасности труда может быть использована «Матрица рисков травматизма» с цветными сегментами, обозначающими приемлемый, удовлетворительный, неудовлетворительный и критический уровни травматизма.

**Вклад авторов:** С.Г. – формулировка цели и задач исследования, разработка методологии определения приоритетных направлений повышения безопасности труда, а также разработка методики оценки и расчета влияния фоновых и профессиональных рисков на безопасность труда. Е.П. – оценка влияния фоновых и профессиональных рисков на структуру общего травматизма, разработка матрицы, отражающей относительные изменения показателей травматизма для горнодобывающих участков Кировского филиала АО «Апатит». Все авторы прочитали и согласились с опубликованным вариантом рукописи.

**Финансирование:** данное исследование не получало внешнего финансирования.

**Конфликты интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gridina, E.B.; Pasyukov, A.V.; Andreev, R.E. Comprehensive approach to managing the safety of miners in coal mines. In *Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects-11th conference of the Russian-German Raw Materials, 7–8 November 2018*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2018; pp. 85–94.
2. Arsentiev, E.N. *Efficiency and Human Health in the North*; Kola Research and Development Center “VALEOS”: Murmansk, Russia, 1993; pp. 34–35. Available online: <https://sharikov.jofo.me/1552261.html> (accessed on 28 February 2021).
3. Karnachev, I.P. Analysis of statistical indicators of occupational safety and health used in the study of the dynamics of industrial injuries. *Vestn. MGTU* 2011, 14, 751–757.
4. Pavlenko, V.I. The Arctic zone of the Russian Federation in the system of ensuring the national interests of the country. *Arct. Ecol. Econ.* 2013, 4, 16–25.
5. Litvinenko, V.S. Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector. *Nat. Resour. Res.* 2019, 28, 1–21. <http://doi.org/10.1007/s11053-019-09568-4>
6. Iakovleva, E.; Belova, M.; Soares, A. Specific features of mapping large discontinuous faults by the method of electromagnetic emission. *Resources* 2020, 9, 135. <http://doi.org/10.3390/resources9110135>
7. Dal, N.N. Improving the occupational safety of personnel in coal mines in Vorkuta based on environmental, socio-economic and organizational factors: Avtoref. Dis. cand. tech. Sciences, Saint Petersburg State Mining University, SPb, 2011; 20p. Available online: <https://dlib.rsl.ru/viewer/01005003932#?page=1> (accessed on 15 September 2020).
8. Galkin, V.A.; Makarov, A.M.; Kravchuk, I.L. Safety production organization theory and methodology. *Coal* 2016, 4, 39–43. <http://doi.org/10.18796/0041-5790-2016-4-39-43>
9. Fainburg, G.Z.; Fedorets, A.G. Current issues of labor protection at the present stage. *Saf. Labor Prot.* 2018, 3, 1–22.
10. Rudakov, M.L.; Kolvakh, K.A.; Derkach, I.V. Assessment of environmental and occupational safety in mining industry during underground coal mining. *J. Environ. Manag. Tour.* 2020, 11, 579–588. [http://doi.org/10.14505//jemt.v11.3\(43\).10](http://doi.org/10.14505//jemt.v11.3(43).10)
11. Samarov, L.Y. Substantiation of the system of indicators for assessing industrial injuries in vertically integrated coal companies: Avtoref. Dis. cand. tech. Sciences, Saint Petersburg Mining University, SPb, 2017; 20p. Available online: [https://spmi.ru/sites/default/files/imci\\_images/sciens/dissertacii/2017/2017-3/avtoreferat\\_samarov.pdf](https://spmi.ru/sites/default/files/imci_images/sciens/dissertacii/2017/2017-3/avtoreferat_samarov.pdf) (accessed on 20 September 2020).
12. Laitinen, H.; Rasa, P.-L.; Lankinen, T.; Lechtel, J.; Leskinen, T. *Manual on Monitoring Working Conditions in the Workplace in Industry. The Elmer System*; Institute of occupational health of Finland: Helsinki, Finland, 2000; pp. 3–5.
13. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Available online: [https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/risk\\_assessment.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/risk_assessment.html) (accessed on 3 September 2020).
14. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Available online: [https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/sample\\_risk.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/sample_risk.html) (accessed on 3 September 2020).
15. Head, G.L. *Essentials of Risk Control*; Insurance Institute of America: Malvern, PA, USA, 1989; Volumes 1 and 2.
16. Siddiqui, N.A.; Nandan, A.; Sharma, M.; Srivastava, A. Risk Management Techniques HAZOP & HAZID Study. *Int. J. OHSFE Allied Sci.* 2014, 1, 5–8.
17. Gendler, S.G.; Grishina, A.M.; Samarov, L.Y. *Assessment of the Labour Protection Condition in the Vertically Integrated coal Companies on the Basis of Risk-Based Approach to Analysis of Industrial Injuries*; Saint Petersburg Mining University: Saint Petersburg, Russia, 2018; pp. 507–517.
18. Eurostat Statistics Explained. Available online: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents\\_at\\_work\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents_at_work_statistics) (accessed on 20 January 2021).
19. Decree of the President of the Russian Federation No. 296 of 2 May 2014 on the land territories of the Arctic zone of the Russian Federation. Available online: <http://kremlin.ru/acts/bank/38377> (accessed on 7 November 2020).
20. Chernova, G.V.; Kudryavtsev, A.A. *Risk Management*; Prospect: Moscow, Russia, 2003; pp. 94–97. Available online: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19744981> (accessed on 28 February 2021).
21. Iphar, M.; Cukurluo, A.K. Fuzzy Risk Assessment for Mechanized Underground Coal Mines in Turkey. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 2018, 3, 110–158. <http://doi.org/10.1080/10803548.2018.1426804>, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29493428>
22. Kabanov, E.I. Expert System for Complex Express-Assessment and Forecast of Accidents Risk and Professional Risks on Coal Mines. *Min. Inf. Anal. Bull.* 2019, 4, 78–86.
23. Federal State Statistics Service of Russia. Available online: [https://rosstat.gov.ru/working\\_conditions?print=1](https://rosstat.gov.ru/working_conditions?print=1) (accessed on 15 September 2020).
24. Radosavljević, S.; Radosavljević, M. Risk assessment in mining industry: Apply management. *Serb. J. Manag.* 2009, 4, 91–104.
25. Filimonov, V.A.; Gorina, L.N. Development of an occupational safety management system based on the process approach. *J. Min. Inst.* 2019, 235, 113–122. <http://doi.org/10.31897/pmi.2019.1.113>
26. Artemiev, V.B.; Lisovsky, V.V.; Teinoshkin, G.M.; Kravchuk, I.L. SUEK Heading to “Zero Injury” Target. *Coal* 2018, 8, 71–73. <http://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-8-71-75>
27. Gendler, S.G.; Rudakov, M.L.; Falova, E.S. Analysis of the risk structure of injuries and occupational diseases in the mining industry of the Far North of the Russian Federation. *Nauk. Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* 2020, 3, 81–85. <http://doi.org/10.33271/nvngu/2020-3/081>
28. Botin, J.A.; Guzman, R.R.; Smith, M.L. A methodological model to assist in the optimization and risk management of mining investment decisions. *Dyna* 2011, 78, 221–226.
29. Abdrakhimova, I.R.; Zagrieva, G.D.; Mukhametshin, A.K.; Pashkevich, V.C. Development of a risk assessment methodology. *Young Sci. Bull. USPTU* 2016, 4, 139–146.
30. Kretschmann, J.; Plien, M.; Nguyen, T.H.N.; Rudakov, M. Effective capacity building by empowerment teaching in the field of occupational safety and health management in mining. *J. Min. Inst.* 2020, 242, 248–256. <http://doi.org/10.31897/pmi.2020.2.248>
31. Bohus Leitner, A. General Model for Railway Systems Risk Assessment with the Use of Railway Accident Scenarios Analysis. *Procedia Eng.* 2017, 187, 150–159. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.361>

32. Krause, M. Hazards and occupational risk in hard coal mines—A critical analysis of legal requirements. *Semant. Sch.* 2017, 268, 5–6. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/268/1/012013>
33. Tian, D.H.; Zhao, C.L.; Wang, B.; Zhou, M. Media-in method for assessing security risks in the oil and gas industry based on interval numbers and risk approaches. *Artif. Intell. Eng. Appl.* 2019, 85, 269–283. <http://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.06.015>
34. Wang, W.; Jiang, X.; Xia, S.; Cao, Q. Incident tree model and incident tree analysis method for quantified risk assessment. An in-depth accident study in traffic operation. *Saf. Sci.* 2010, 48, 1248–1262. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.04.002>
35. Shi, X.; Wong, Y.D.; Li, M.Z.F.; Chai, C. Key risk indicators for accident assessment conditioned on pre-crash vehicle trajectory. *Accid. Anal. Prev.* 2018, 117, 346–356. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2018.05.007>, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29772388>
36. Cherepovitsyn, A.E.; Ilyinova, A.A.; Evseeva, O.O. Stakeholders management of carbon sequestration project in the statebusiness—Society system. *J. Min. Inst.* 2019, 240, 731–742. <http://doi.org/10.31897/PMI.2019.6.731>