

А.Н. Котеров¹, Л.Н. Ушенкова¹, А.А. Вайнсон², О.А. Тихонова¹,
А.С. Кретов¹, О.В. Паринов¹, А.О. Лебедев¹, А.Ю. Бушманов¹

СРАВНЕНИЕ РИСКА СУИЦИДОВ У ШАХТЕРОВ УРАНОВЫХ РУДНИКОВ И УГОЛЬНЫХ ШАХТ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР, МЕТА-АНАЛИЗЫ И POOLED-АНАЛИЗЫ

¹ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

² Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина Минздрава России, Москва

Контактное лицо: Алексей Николаевич Котеров, e-mail: govorilga@inbox.ru

РЕЗЮМЕ

Представленный систематический обзор с последующими мета- и pooled-анализами посвящен риску (стандартизованное отношение смертности – Standardized Mortality Ratio; SMR; сравнительно с населением) фатальных суицидов у шахтеров урановых рудников (U miners). Сформированная по результатам поиска в поддерживаемой базе данных по эффектам и показателям у U miner (1149 источников из 23 стран), через PubMed, Embase, Google Scholar, eLibrary и в списках литературы обнаруживаемых публикаций, выборка работ после оставления последних исследований для каждой когорты включала 7 публикаций, охватывающих контингенты из США, Чехии и Канады. Наиболее масштабными по числу суицидов были два исследования – из Канады и Чехии. Параллельно через те же поисковые системы осуществляли отбор работ по SMR для суицидов у шахтеров угольных шахт (Coal miners); конечная выборка включала 6 публикаций из США, Бразилии и Австралии; наиболее весомыми были две работы – из США и Австралии. Выборки являлись полными и/или репрезентативными по теме; почти нацело они были представлены мужчинами. Применительно к SMR для суицидов у горняков была отмечена разница в показателях для мета-анализов и pooled-анализов, связанная с различным весом вкладом названных четырех работ в общее количество суицидов; результаты мета-анализов рассматривались как наиболее представительные. Обнаружено, что для суицидов у U miners SMR равнялся 1,5–1,6 (в зависимости от наличия/отсутствия в мета-анализе сомнительной работы), статистически значимо превышая уровень у населения, в то время как для Coal miners имела только меньшая и незначительная тенденция к увеличению SMR до 1,15–1,18 (также согласно мета-анализам для полной выборки и после элиминации сомнительного исследования). Таким образом, риск суицидов у U miners был в 1,3–1,4 раза выше, чем для Coal miners, хотя статистической значимости отличий для результатов мета-анализов не зарегистрировано. Однако сравнение SMR для выборок горняков двух типов по U тесту Манна–Уитни таковую значимость продемонстрировало ($p = 0,038$). Причины выявленного отличия вряд ли связаны с воздействиями радона, поскольку по результатам проведенного здесь обзорного исследования таковые оказались равновеликими для U шахт и Coal шахт. Предполагается возможность разной селекции для горняков двух типов при найме и в процессе деятельности, связанная с неблагоприятным имиджем U рудников сравнительно с Coal шахтами; но таких данных не обнаружено. Вероятным объяснением остается влияние U экспозиций вкупе с работой в шахтах, каковые факторы, возможно, даже потенцируют эффекты друг друга при влиянии на риск суицидов. Подтверждением специфичности подобного эффекта служат два исследования SMR на контингентах из США, имеющих дело с U, – на работниках ядерной индустрии (Figgs L.W. et al, 2011) и резидентах территорий вблизи U рудников (Voice J.D., Jr et al, 2007). Некоторые ограничения исследования не могут отменить практическую значимость его результатов. Хотя соответствующих данных для отечественных U miners не найдено, обнаруженные закономерности следует учитывать в системе ФМБА России в плане психологического и психофизиологического сопровождения U miners, а также, возможно, при пересмотре для них компенсационной политики. Исследование может быть важным также для работы Межведомственных экспертных советов по установлению причинной связи между развившимися патологиями и лучевым фактором у персонала предприятий, подведомственных ФМБА России и иным ведомствам.

Ключевые слова: шахтеры урановых рудников, шахтеры угольных шахт, фатальные суициды, мета-анализ, pooled-анализ

Для цитирования: Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Вайнсон А.А., Тихонова О.А., Кретов А.С., Паринов О.В., Лебедев А.О., Бушманов А.Ю. Сравнение риска суицидов у шахтеров урановых рудников и угольных шахт: систематический обзор, мета-анализы и pooled-анализы // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2026. Т. 71. № 5. С. 107–122. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-5-107-22

А.Н. Котеров¹, Л.Н. Ушенкова¹, А.А. Wainson², О.А. Tikhonova¹,
А.С. Kretov¹, О.В. Parinov¹, А.О. Lebedev¹, А.Ю. Bushmanov¹

Comparison of Suicide Risk in Uranium and Coal Miners: a Systematic Review, Meta-Analysis and Pooled-Analysis

¹ A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

² N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center, Moscow, Russia

Contact person: Alexey N. Kotterov, e-mail: govorilga@inbox.ru

ABSTRACT

This systematic review, followed by meta- and pooled analyses, examines the risk (standardized mortality ratio, SMR; compared with the general population) of fatal suicide in uranium miners (U miners). A search in the supported U miner effects and indexes database (1149 sources from 23 countries), PubMed, Embase, Google Scholar, eLibrary, and reference lists of identified publications resulted in a sample

of studies after removing the most recent studies for each cohort. The sample included seven publications covering cohorts from the USA, Czech Republic, and Canada. Two studies – from Canada and the Czech Republic – were the largest in terms of the number of suicides. The same search engines were also used to search for studies on SMR for suicides in coal miners. The final sample included six publications from the USA, Brazil, and Australia; two studies – from the USA and Australia – were the most influential. The samples were complete and/or representative of the theme and were almost entirely male.

With regard to the SMR for suicides in miners, differences in the indexes were noted between meta-analyses and pooled analyses, due to the different weighting of the four studies in the total number of suicides; the results of the meta-analyses were considered the most representative. It was found that the SMR for suicides in U miners was 1.5–1.6 (depending on the presence/absence of the questionable study in the meta-analysis), statistically significantly exceeding the level in the population, while for coal miners there was a smaller and insignificant tendency for the SMR to increase to 1.15–1.18 (also according to meta-analyses for the full sample and after eliminating the questionable study). Thus, the risk of suicide in U miners was 1.3–1.4 times higher than for coal miners, although no statistically significant differences were registered for the results of the meta-analyses. However, a comparison of the SMR for samples of two types of miners using the Mann–Whitney U test demonstrated such significance ($p = 0.038$).

The reasons for the observed difference are unlikely to be related to Rn exposures, since the results of the review study conducted here showed that these exposures were equivalent for U mines and Coal mines. The possibility of differential selection for the two types of miners during recruitment and during their work is suggested, associated with the unfavorable image of U mines compared to coal mines; however, such data were not found. A probable explanation remains the effect of U exposures combined with work in mines, which may even potentiate the effects of each other in influencing the risk of suicide. Confirmation of the specificity of such an effect is provided by two SMR studies on US cohorts exposed to U – on nuclear workers (Figgs L.W. et al, 2011) and residents of areas near U mines (Boice J.D., Jr et al, 2007).

Some limitations of the study cannot negate the practical significance of its results. Although no relevant data were found for USSR/Russian U-miners, the observed patterns should be considered within the Federal Medical-Biological Agency of the Russian Federation system for psychological and psychophysiological support of U-miners, and possibly when revising their compensation policy. The study may also be important for the work of Interdepartmental Expert Councils to establish a causal relationship between the development of pathologies and radiation exposure in personnel of enterprises under the jurisdiction of the Federal Medical-Biological Agency of the Russian Federation and other agencies.

Keywords: *uranium miners, coal miners, fatal suicides, meta-analysis, pooled-analysis*

For citation: Koterov AN, Ushenkova LN, Wainson AA, Tikhonova OA, Kretov AS, Parinov OV, Lebedev AO, Bushmanov AY. Comparison of Suicide Risk in Uranium and Coal Miners: a Systematic Review, Meta-Analysis and Pooled-Analysis. Medical Radiology and Radiation Safety. 2026;71(5):107–122. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-5-107-122

Введение

Частота суицидов рассматривается как показатель социального [1, 2] и профессионального [2–10] благополучия/неблагополучия (см. также мини-обзор в [11]), поэтому исследования данного индекса у подведомственных ФМБА России контингентов – работников ядерной индустрии ('Nuclear workers'; NW) и шахтеров урановых рудников (U miners), представляются актуальными как в имиджевом плане, так и в плане оптимизации психологического и психофизиологического сопровождения данных категорий работников.

Ранее нами в цикле из двух сообщений был выполнен систематический обзор, посвященный риску суицидов у NW разных стран и гендерным закономерностям этого риска (изучалось стандартизованное отношение смертности сравнительно с генеральной популяцией (населением) – Standardized Mortality Ratio; SMR) [11, 12]. Мета-анализы и pooled-анализы на основе полных выборок исследований SMR для фатальных суицидов¹ у зарубежных NW двух полов из пяти стран продемонстрировали различную ситуацию для мужчин и женщин. Если для мужчин NW выявился статистически значимый «Эффект здорового работника», хотя и не очень высокой величины (по данным и мета-, и pooled-анализа SMR был равен 0,85), то для женщин NW таковой эффект полностью отсутствовал, хотя уровень показателя и не был выше, чем у населения (SMR = 0,97–1,04). Отношение риска суицидов у женщин к риску у мужчин для одних и тех же ядерных инсталляций выявило очень значительный обратный «гендерный парадокс» (отношение равнялось

1,89 – наивысшее значение среди изученных на данный предмет профессий). Сходные тенденции были обнаружены и для NW ПО «Маяк», хотя эти данные носили только качественный характер в связи с отсутствием пригодных для анализа индексов риска суицидов [12].

Поскольку показатель частоты суицидов, при устранении эффектов непроемчивых факторов, отражает стресс, связанный с работой [2, 4, 8, 10] (см. также в [11]), то был сделан вывод, что показатель профессионального стресса и психологического благополучия у мужчин NW, в целом сравнительно благоприятен, однако для женщин NW ситуация требует отдельного, усиленного гендерного подхода при психологическом и психофизиологическом сопровождении этой категории занятых [12].

Целью представленного исследования является систематический обзор, реализованный в параллельных мета-анализе и pooled-анализе, посвященный частоте фатальных суицидов (по SMR) у другого контингента подведомственных ФМБА России предприятий – U miners. Хотя, как это ни удивительно, среди занятых непосредственно под землей U miners США [13], Канады [14] и Германии [15] (возможно, и иных стран) называются и женщины, их вклад настолько мал (2,8% [13], 1,4% [14], ничтожен [15] либо отсутствует вовсе – см. ниже), что, в отличие от NW, сравнить показатели профессионального стресса для U miners применительно к гендерным различиям возможности нет.

Задачей исследования было также определение специфичности эффекта именно для подведомственного ФМБА России контингента горняков, то есть для U miners, характеризующегося воздействием U, Rn и продуктов его распада [13, 15]. В связи с этим параллельно было выполнено аналогичное исследование для шахтеров угольных шахт (Coal miners) с последующим сопоставлением выявленных рисков профессионального стресса по показателю частоты суицидов. Здесь также

¹ Парасуицидальное поведение (включая соответствующие попытки), может встречаться в 20–40 раз чаще, чем фатальные суициды [5]. Еще с XIX в. известен так называемый «гендерный парадокс» для населения разных стран (кроме Китая), когда при кратном преобладании женщин в нефатальном суицидальном поведении имеется значительное, кратное преобладание мужчин в завершённых суицидах [1, 3] (см. также миниобзор в [11]).

имелись женщины, относящиеся к Coal miners, причем уже в ощутимой доле – около 15% (но только для шахт в Австралии) [16].

Материал и методы

Специфичность поиска

Для систематических обзоров использовались исследования риска фатальных суицидов у U miners и Coal miners только по индексу SMR сравнительно с населением (генеральной популяцией). Выявляемые попутно соответствующие работы с иными индексами риска или с оценками такового в качественном плане приводятся далее только для общей картины.

Изучались контингенты горняков, во-первых, определяемые авторами оригинальных исследований как ‘U miners’ и ‘Coal miners’ без дифференциации по типам занятости. Во-вторых, при подразделении авторами ‘U miners’ и ‘Coal miners’ на профессиональные типы (административный персонал, работающие вне шахт, под землей и пр.) выбирались только конкретно шахтеры (‘underground’).

Поиск источников по риску суицидов у U miners

Поиск работ для систематического обзора и последующих мета- и pooled-анализов в основном проводили через поддерживаемую двумя первыми авторами представленной работы и зарегистрированную в Роспатенте библиографическую базу данных по эффектам и показателям у U miners, которая является репрезентативной и полной применительно ко всем мировым соответствующим эпидемиологическим исследованиям [17]. По количеству источников и представленности оригиналами публикаций база данных не имеет мировых аналогов среди практически всех основных поисковых систем и библиографических баз (тестированы PubMed, Embase, Web of Science, Cochrane Review, INIS от МАГАТЭ и др., включая российскую eLibrary) [17]. На середину января 2026 г. база данных, которая едина для зарубежных и отечественных исследований, включала 1149 источников (на 76% полные оригиналы, почти нацело – PDF, единично – HTML).

С помощью программы Archivarius-3000 (ver. 4.21; ‘Likasoft’) в указанной базе осуществляли полнотекстовый поиск на термины ‘suicide’, «суицид» и «самоубийство» (программа учитывает слова в разных падежах); найдено 27 + 0 + 0 источников.

Как и при исследовании суицидов у NW [11, 12], в основном массиве работ по рискам для U miners причины смерти ‘suicides’ отдельно не выделялись, входя в класс ‘External causes’ (отечественная категория «Внешние причины» в базе данных [17] не обнаружена). Часто не были указаны составляющие этого класса (то есть accidents, suicides, homicides и пр.), и поэтому термин ‘suicide’ программой для полнотекстового поиска в подобных работах базы не обнаруживался. В ряде случаев, однако, дифференциация имела место, и для внешних причин приводился их состав. Всего было обнаружено 9 подобных исследований, причем только для зарубежных U miners. Вследствие отсутствия данных по частоте именно суицидов (а имевшихся только для ‘External causes’ в сумме), использовать такие работы для систематического обзора не представлялось возможным.

Однако все исследования из базы данных, в которых приводились отдельные сведения о риске суицидов для U miners, были включены в выборку (их оказалось намного меньше, чем в нашем предыдущем систематическом обзоре по частоте суицидов у NW) [11, 12].

Несмотря на полноту и представительность используемой базы данных [17], дополнительно осуществляли поиск через следующие системы²:

PubMed; поиск на:

- [“uranium miners” AND suicide AND “SMR” OR “standardized mortality ratio”] – 0 и 0 источников.
- Google Scholar³; поиск на:
- [“uranium miners” suicide “SMR” OR “standardized mortality ratio”] – 711 и 392 источника (поиск оказался неспецифичным – выдавались результаты даже на неполный набор приведенных конструкций; аббревиатура “SMR” во многих случаях означала иное).
- [“uranium miners» AND suicide AND “SMR” OR “standardized mortality ratio”] – 85 и 44 источника. То же самое. eLibrary; поиск на:
- [«шахтеры урановых рудников»] – 14 (почти все – наши предыдущие исследования).
- [«шахтеры урановых шахт»] – 3.

Однако последний поиск был, вероятно, излишним, ибо в нашей базе данных для U miners представлены все основные отечественные публикации (кроме отчетов и ранее закрытых работ, для которых в ряде случаев имеются названия, но сами документы недоступны или не включены в открытую базу по иной причине).

Как и во всех наших более ранних синтетических исследованиях подобного рода [11, 20, 21] (и др. работы), проводился также поиск уместных источников в списках литературы последовательно обнаруживаемых публикаций.

Выявляемые источники анализировались далее визуально с последующей селекцией на уместные для цели систематического обзора.

Поиск источников по риску суицидов у Coal miners

В данном случае поддерживаемой базы данных по эффектам и показателям для данного контингента, не связанного напрямую с радиационным воздействием (хотя радоновые экспозиции актуальны и для угольных шахт [19]), понятно, не имелось. Однако ранее нами была сформирована некая выборка соответствующих источников, позволившая выполнить предварительный мета-анализ для SMR по общей смертности Coal miners (для сравнения с NW). В полном виде эти данные не публиковались; результаты мета-анализа были только упомянуты в одной из наших работ от 2024 г. ($n = 13$; SMR = 1,04; 95% доверительные интервалы (confidence interval; далее CI): 0,90, 1,20) [20]⁴.

Указанная выборка послужила основой, но был выполнен и дополнительный поиск источников в главных научных базах.

PubMed; поиск на:

- [“coal miners” AND suicide AND “SMR” OR “standardized mortality ratio”] – 1 и 0 источников.

² Конструкции в двойных кавычках поисковые системы рассматривают как единое целое.

³ Поисковая система Google Scholar, при всех ограничениях, является наиболее представительной по широте, хотя и обнаруживает неспецифично множество ненаучных источников из СМИ и пр. (главное, чтобы в тексте хотя бы раз встречался искомый термин или конструкция). Мини-обзор про возможности и ограничения этой системы см. в [17]).

⁴ По результатам систематического обзора и мета-анализа Alif S.M. et al., 2022 [22] для Coal miners SMR по общей смертности и смертности от всех раков составили соответственно ($n = 21$): 1,14 (95% CI: 1,00; 1,30) и 0,88 (95% CI: 0,80; 0,97). То есть по критерию для SMR «верхний 95% CI < 1,0» применительно к смертности от всех раков у Coal miners наблюдается статистически значимый «Эффект здорового работника» (о критерии и его обосновании с соответствующими ссылками см., например, в [21]).

- [“coal miners” AND “systematic review”] – 5 работ. Но только в одной, уже упомянутой Alif S.M. et al., 2022 [22], были охвачены работы с исследованиями *различных* рисков для Coal miners, включая одну публикацию в том числе про частоту суицидов (вошла в нашу выборку далее). Остальные четыре систематических обзора оказались посвящены патологиям легкого и «опасному поведению» Coal miners. Здесь, забегая вперед, следует отметить, что сформированная нами выборка из исследований риска суицидов для данного контингента, в конечном виде насчитывающая шесть работ, намного представительнее, чем можно найти исследований в объемном систематическом обзоре Alif S.M. et al., 2022 [21].
Embase⁵; поиск на:
- [“coal miners” suicide SMR OR “standardized mortality ratio”] – 17 и 10; все не по теме.
Google Scholar; поиск на:
- [“coal miners” “suicide” “SMR” OR “standardized mortality ratio”] – 99 и 49 источников; вновь поиск, как и для U miners, оказался малоспецифичным; многие ссылки соответствовали иным типам занятости.
- [“coal miners” AND “suicide” AND “SMR” OR “standardized mortality ratio”] – 126 и 70 ссылок; также имелось множество упоминаний не по теме.
- [“coal miners” AND “systematic review” AND “SMR” or “standardized mortality ratio”] – 119 и 70. То же самое.
eLibrary; поиск на:
- [«шахтеры угольных шахт» «суициды» OR «самоубийства»] – 9 и 74 ссылки; ничего по теме.

И, как в предыдущем случае, осуществлялся тотальный скрининг списков литературы обнаруживаемых публикаций.

В целом видно, что общее число первично выявляемых источников для суицидов у Coal miners относительно невелико (для систематического обзора) и, потому все они, как и для U miners, были проанализированы визуально (для большинства оказалось достаточным анализа одних названий) с дальнейшей селекцией.

Методика мета-анализа и статистическая обработка материала

Мета-анализ выполняли с помощью программы WinPepi (ver. 11.60; J. Abramson; Israel). Программа оценивает гетерогенность выборки по коэффициентам ‘Higgins and Thompson’ (H). Показатель H менее 1,2 свидетельствует о гомогенности выборки, а свыше 1,5 – о выраженной гетерогенности. Величина I^2 отражает % вариант в выборке, атрибутивных гетерогенности [23]. При наличии гетерогенности из двух статистических моделей мета-анализа (Fixed-effect и Random-effect) рекомендуется выбирать вторую, что часто и имеет место для медико-биологических исследований [24]. В отечественном руководстве по мета-анализу [25] рекомендуется использовать Random-effect model при $I^2 > 40\%$.

Модуль программы для мета-анализа требует наличия оценок риска и величины их $\pm 95\%$ CI.

Программа WinPepi позволяет рассчитывать $\pm 95\%$ CI для отношения либо частот смертности/инцидентности, либо числа Observed к числу Expected случаев смерти/инцидентов.

По отношению Observed/Expected программа оценивает также статистическую значимость отличий SMR от 1,0 (здесь выбран two-tailed test).

Имеется и калькулятор для определения значимости отличий между двумя показателями отношения рисков

⁵ Embase ScienceDirect – Journals&Books – модуль ‘Find articles with these terms’.

с известными 95% CI (Risk Ratio, понятно, что и для SMR).

С помощью WinPepi есть возможность анализировать и публикационное смещение (publication bias; то есть публикацию авторами и изданиями только «положительных» результатов) по ‘Regression asymmetry test’ для Funnel plot от M. Egger с соавторами [26, 27]; для величины $p < 0,1$ [так] [26, 27] можно говорить о подозрении на указанный bias. Хотя интерпретация асимметрии Funnel plot может быть и иной (высокая гетерогенность выборки, недостаточное качество включенных маломасштабных исследований, случайности и пр. [27]).

Перед выполнением мета-анализов выборки, с позиции формальной статистики, анализировали на выпадающие варианты по критерию Шовене (Chauvenet’s criterion) [28]. Однако окончательное решение об элиминации выпадающих значений основывали на эпидемиологических предпосылках: качестве конкретных работ, «Анализе чувствительности мета-анализа» (‘Sensitivity analysis’; ‘leave-one-out method’) [25, 29, 30] и научном суждении (подробное рассмотрение этого вопроса см. в нашем предыдущем исследовании [12]).

Программа WinPepi при мета-анализе предусматривает параллельный «Анализ чувствительности» (‘Sensitivity analysis’), который заключается в сравнении результатов мета-анализов при последовательном удалении из выборки всех вариантов по очереди.

Выбор оптимальной функции для формулировки регрессий среди линейной, логарифмической, квадратичной (биномиальной), экспоненциальной и логистической осуществлялся с помощью программы IBM SPSS Statistics, ver. 20 (сленг программы – «подгонка кривых»).

Оценку нормальности распределения выборок, статистической значимости отличий по U тесту Манна-Уитни, расчет коэффициента корреляции и построение графиков осуществляли с помощью программы Statistica, ver. 10.

Результаты и обсуждение

Первичная оценка исследований из сформированных выборок и обработка данных для мета- и pooled-анализов

Характеристики всех обнаруженных по теме публикаций для U miners и Coal miners представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Видно, что почти во всех случаях шахтерами обоих типов являются только мужчины. Есть упомянутые отдельные исключения для U miners США, Канады и Германии [13–15], а также для Coal miners Австралии [16], когда имеется ничтожный вклад женских контингентов при работе под землей, но никаких отдельных исследований для женщин U miners нами не обнаружено. Что же касается Coal miners, то данные для таковых женщин оказываются отрывочными, противоречивыми и далее нами не анализируются⁶.

Выборки в табл. 1 и 2 включают все найденные публикации по частоте суицидов, независимо от наличия в

⁶ Ибо для одной и той же австралийской когорты Coal miners у одних и тех же авторов имеется для разных временных периодов то превышение SMR по суицидам у женщин, то отсутствие всякого изменения (см. две последние строки в табл. 2). Поскольку во втором случае период занятости когорты больше, то можно сделать предположение, что, как и для NW [12], частота суицидов у женщин Coal miners сравнительно с населением все же не превышена. Хотя это и может касаться только Австралии.

Таблица 1

Характеристики выборки для SMR фатальных суицидов у U miners

Sample characteristics for SMR fatal suicides in U miners

Source	Country, manufacture, cohort/study characteristics	Employed; follow-up	Biases, confounders (adjusted)	For suicides: Observed/Expected (O/E) number; SMR ($\pm 95\%$ CI)
Samet JM. Technical Report. Department of Medicine, New Mexico Tumor Registry, Cancer Centre, University of New Mexico, 1989. – 42 p. DOI: 10.2172/6347889.	USA; New Mexico U miners; $n = 3543$	Follow-up to 1985	Adjusted for ethnicity, cigarette smoking, and mining experience other than underground uranium;	O/E: 19/22,09; SMR = 0,86 (0,52; 1,34)*; $p = 0,526^*$
Samet JM, et al. Health Phys. 1991;61(6):745–52. DOI: 10.1097/00004032-199112000-00005	USA; New Mexico U miners; $n = 3469$ (males)	Follow-up to 1985	Adjusted for age, ethnicity, calendar period of observation, cigarette smoking, and mining experience other than underground uranium; bias for radiation exposure	O/E: 19/21,4; SMR = 0,89 (0,53; 1,39)*; $p = 0,625^*$
Boice JD, Jr, et al. J Radiol Prot. 2008;28(3):303–25. DOI: 10.1088/0952-4746	USA; New Mexico (U mill and mine; only mining experience); $n = 1735$ (~98% males)	Follow-up 1979–2005	No data	O/E: 21/10,2; SMR = <u>2,06</u> (1,28; 3,15)*; $p = 0,003^*$
Nair RC, et al. In: 'Proc. of Intern. Conference 'Occupational Safety in Mining'. Toronto, Canada, October 14–18, 1984. Canadian Nuclear Association, Toronto, Ontario, 1985a. P. 354–64.	Canada; Eldorado Resource Limited; U mines in Port Radium; workers only underground, not surface; $n = 2332$ (males; sum workers underground + surface – no data for differentiation)	Employed 1945–1980	No data	O/E: 20/6,02; SMR = <u>3,32</u> (2,03; 5,13)*; $p < 0,001^*$
Nair RC, et al. In: 'Proc. of Intern. Conference 'Occupational Safety in Mining'. Toronto, Canada, October 14–18, 1984. Canadian Nuclear Association, Toronto, Ontario, 1985b. P. 354–364.	Canada; Eldorado Resource Limited; U mines in Beaverlodge; workers only underground, not surface; $n = 9531$ (male; sum workers underground + surface – no data for differentiation)	Employed 1945–1980	No data	O/E: 37/19,28; SMR = <u>1,92</u> (1,35; 2,65)*; $p < 0,001^*$
Ham JM. Report of the Royal Commission on the Health and Safety of Workers in Mines (Ontario). Ministry of the Attorney General, Province of Ontario Toronto, Ontario, 1976. – 376 p.	Canada; Ontario U mines	No data	No data	O/E: 47/48,5; SMR = 0,97* (0,71; 1,29)*; $p = 0,848^*$
OCRC-2015**. Cancer Care Ontario. Ontario Uranium Miners Cohort Study Report. Canadian Nuclear Safety Commission. 2015. – 137 p.	Canada; Ontario U mines; $n = 28.546$ (males)	Employed 1954–2007	Adjusted for age and calendar period; 'smoking data was only available for some members'; 'lack of data on potential confounders'; 'the possibility of ascertainment bias';	O/E: 323/241,41; SMR = <u>1,34</u> (1,15; 1,84)*; $p < 0,001^*$
Howe GR, et al. J Natl Cancer Inst. 1986;77(2):357–62. DOI: 10.1093/jnci/77.2.357	Canada; Saskatchewan U mines; $n = 8487$ (males)	Employed 1948–1980; follow-up to 1980	No measure of smoking; '... the large number of surface workers... presence of possible confounders in the cohort'	'...a significant excess from suicide... (details not shown)'
Roscoe RJ, et al. Am J Public Health. 1995;85(4):535–40. DOI: 10.2105/ajph.85.4.535	USA; Navajos U miners from the cohort of Colorado Plateau U miners; $n = 757$ (Indians)	Follow-up 1960–1990	Adjusted for age, smoking; possible bias for non-white standardization	O/E: 8/4,9; SMR = 1,63 (0,70; 3,21)*; $p = 0,185^*$
Roscoe RJ. Am J Ind Med. 1997;31(2):211–22. DOI: 10.1002/(sici)1097-0274(199702)31:2<211::aid-ajim11>3.0.co;2-4	USA; Colorado Plateau U miners; $n = 3238$ (white males)	Follow-up 1960–1990	Adjusted for smoking	O/E: 37/27,8; SMR = 1,33 (0,94; 1,83)*; $p = 0,092^*$
Park RM, et al. Am J Ind Med. 2002;42(1):1–10. DOI: 10.1002/ajim.10082	USA; Colorado Plateau U miners; $n = 2721$ (white males)	Hired (наем) 1950–1963; follow-up to 1990	Control for confounders (smoking and a healthy worker effect)	O/E: 36/18,9; SMR = <u>1,91</u> (1,33; 2,64)*; $p < 0,001^*$
Boice JD, Jr, et al. J Radiol Prot. 2007;27(3):299–319. DOI: 10.1088/0952-4746/27/3/004	USA; Uravan town in Colorado Plateau; residents – U miners; $n = 459$	Follow-up to 2004	'Incomplete knowledge of smoking histories'; possible misclassification bias;	O/E: 6/2,7; SMR = 2,22 (0,81; 4,82); $p = 0,077^*$
Tomasek L, et al. Occup Environ Med. 1994;51(5):308–15. DOI: 10.1136/oem.51.5.308	Czech Republic; West Bohemia U miners; $n = 4320$ (males)	Employed 1948–1959; follow-up to 1990	No information on the smoking and diet; diagnostic bias	O/E: 60/49,18; SMR = <u>1,22</u> (0,93; 1,57)*; $p = 0,127^*$; negative associated for radon exposure

Kelly-Reif K, et al. Occup Environ Med. 2019;76(8):511–8. DOI: 10.1136/oemed-2018-105562	Czech Republic; Příbram U mines; $n = 16.434$ (males)	Employed 1946–1976; follow-up to 1992	‘Healthy worker effect’; ‘...may be biased by the inclusion of only prevalent hires’; ‘...missing cause of death for approximately 10% of decedents’; ‘unknown employment status’; ‘limited duration of follow-up, and uncontrolled confounding’; ‘Smoking status not analyzed’	O/E: 86/97,2; SMR = 0,88 (0,69; 1,06)*; $p = 0,276^*$
--	---	---------------------------------------	---	---

Примечение: * 95% CI и/или статистическая значимость отличия от 1,0 рассчитаны нами по исходным данным из оригинала (по значениям Observed/Expected или Observed + Risk (что позволяет рассчитать Expected) суицидов). Использована программа WinPepi (ver. 11.60; free; J. Abramson; Israel); ** OCRC – The Occupational Cancer Research Centre

них числовых оценок риска и типов оцененных рисков (хотя в подавляющем большинстве случаев это SMR) и хроно-повторов исследований одних и тех же когорт. Согласно руководству PRISMA, эта выборка может быть названа ‘Studies included in qualitative synthesis’ [29], то есть для первичного синтеза в качественном плане.

Отбор работ для последующих мета- и pooled-анализов («процессинг выборок», то есть формирование ‘Studies included in quantitative (количественный) synthesis (meta-analysis)’ [29]) заключался, во-первых, в селекции по типу риска (хотя, как уже указывалось, во всех работах за ничтожным исключением использовался индекс SMR), а во-вторых – в использовании для анализа только последних публикаций по одной и той же когорте⁷. SMR для таких окончательные выборки отмечены в табл. 1 и 2 полужирным подчеркнутым шрифтом.

Далее на основе, так сказать, «формальной статистики», выборки исследовались на предмет выпадающих вариантов по критерию Шовене. Для U miners выпало значение $SMR = 3,32$ из работы Nair R.C. et al., 1985a (ссылку см. в табл. 1; это статья в сборнике конференции, посвященная именно U miners; для систематического обзора взята когорта конкретно ‘underground’). Однако «Анализ чувствительности» не продемонстрировал никакого эффекта по снижению гетерогенности конечной выборки при удалении каждой из семи включенных в нее работ, в том числе и с $SMR = 3,32$. Качество этого исследования не слишком выходило за рамки остальных публикаций; вес его по числу Observed суицидов в общую выборку был невелик – 3,43% (о взвешивании вариант в выборках см. далее). Поэтому элиминация работы по U miners из шахт Port Radium Канады (см. табл. 1) при последующих мета-анализе и pooled-анализе не выполнялась; вместо этого проводились, как рекомендуется [30], два параллельных мета-анализа (с указанной вариантой и без нее) для сравнения полученных результатов.

Для Coal miners никакие из выбранных окончательно шести исследований по критерию Шовене не выпадали. «Анализ чувствительности» продемонстрировал, однако, что при удалении варианты с $SMR = 0,68$ гетерогенность выборки снижается, и таковая становится близкой [25] (а также согласно программе WinPepi) к гомогенности ($H = 1,5$; $P^2 = 54\%$). Это – проведенное под эгидой ‘Society of Actuaries’ (SOA)⁸ исследование подгруппы

⁷ Для контингента U miners с Colorado Plateau (США) использовали данные из работы Park R.M. et al, 2002, а не из последней Voise J.D., Jr, et al, 2007 (ссылки см. в табл. 1), поскольку вторая работа представляла собой намного менее масштабное (выборка меньше в 5,9 раз) исследование субкогорты проживающих в городе Utravay резидентов, которые когда-то работали на U шахтах. Значения SMR для суицидов, впрочем, в обоих исследованиях близки (1,91 и 2,22 соответственно).

⁸ ‘Актuariй – это профессиональный эксперт по анализу рисков. Помимо обработки цифр, актуарии мыслят трехмерно, используя свои знания математики, человеческого поведения

Coal miners США, входящей в одну большую объединенную когорту горняков данной страны. То есть как бы «субисследование». Оно опубликовано ‘Annals of the New York Academy of Sciences’ и данная работа не является чем-то исключительным среди прочих, а вес ее вклада в число суицидов в выборке составляет всего 0,47%. Поэтому и здесь элиминация работы перед мета-анализом и pooled-анализом нами не осуществлялась, но опять выполнялись два соответствующих параллельных мета-анализа.

Представляло интерес проведение сравнительного анализа тех немногих исследований, результаты которых представлены в табл. 1 и 2 с качественными, а не с количественными оценками риска суицидов. Видно, что для U miners канадских шахт в Saskatchewan (Howe G.R. et al., 1986; ссылку см. в табл. 1) отмечен значительный избыток числа суицидов. А вот для Coal miners о таком избытке не сообщается для контингентов Англии и Уэллса к 1959–1960 гг. (первая и четвертая строки в табл. 2). Причем даже для забойщиков. То же – и для обширной когорты Coal miners из США (хотя и по отличному от SMR индексу риска; пятая строка в табл. 2). Однако в обзоре Platt S., 2016 (ссылку см. в табл. 2) указано, что для Coal miners Англии и Уэллса среди всех рассмотренных профессий, но уже к 2001 г., частота суицидов оказалась наивысшей. То же самое было обнаружено в исследовании [6] для 30 видов занятости в Великобритании к 2001–2005 гг. Аналогично и для японских горняков упоминается о повышенном уровне суицидов (шестая строка в табл. 2).

Таким образом, анализ не количественных данных мало что дает вследствие противоречивости полученных результатов и их зависимости от анализируемого временного периода. И остается только количественный синтез в его наивысших для доказательности формах [24, 25, 29, 30] – в виде мета-анализов и pooled-анализов.

Необходимым этапом подготовки выборок для синтетических исследований, согласно как международным рекомендациям для систематического обзора и мета-анализа (PRISMA) [29], так и аналогичному отечественному руководству [25], является оценка качества рассматриваемых работ. Как и в случае наших предыдущих исследований [11, 12, 20, 21], имеется ряд характеристик, указывающих на достаточное качество включаемых в анализы работ по SMR для суицидов как у U miners, так и у Coal miners (см. в табл. 1 и 2):

а) Все исследования являются когортными, и это наивысший доказательный уровень дизайна для таких обсервационных дисциплин, как эпидемиология [29, 31] и радиационная эпидемиология [32], за исключе-

и бизнес-реалий для определения вероятных результатов в реальном мире. Оценивая предстоящие риски, актуарии помогают проложить путь к прогрессу’. SOA основано в 1949 г. (<https://www.soa.org/>).

Таблица 2

Характеристики выборки для SMR фатальных суицидов у Coal miners

Sample characteristics for SMR fatal suicides in Coal miners

Source	Country, sample size	Employed; follow-up	Biases, confounders (adjusted)	For suicides: Observed/Expected (O/E) number; SMR ($\pm 95\%$ CI)
Reid DD. Br J Ind Med. 1959;16(1):73–4.	South Wales	1959	No data	'For suicide at least, both miners and their wives have a relatively low rate'
Enterline PE. Am J Public Health Nations Health. 1964;54(5):758–68. DOI: 10.2105/ajph.54.5.758; Ann N Y Acad Sci. 1972a;200:260–72. DOI: 10.1111/j.1749-6632.1972.tb40192.x	USA; all country; $n = 339.990$	to 1950	1964: 'The high death rate among coal miners for every cause of death except diabetes could reflect some general upward bias in death rates'. There may be a detection bias due to incomplete identification data in the population of deceased former miners	O/E: 160/91; SMR = 1.76 (1.50; 2.04)* ; $p < 0,001^*$
Enterline PE. Ann N Y Acad Sci. 1972b;200:260–72. DOI: 10.1111/j.1749-6632.1972.tb40192.x	USA; Study by the Society of Actuaries	to 1967	The same	O/E: 4/5,9; SMR = 0.68 (0.18; 1.74)* ; $p = 0,459^*$
Liddell FD. Br J Ind Med. 1973;30(1):15–24. doi: 10.1136/oem.30.1.15. Rockette H. Contract No. HSM 99-73-80. 1975. U.S. Department of Commerce. Springfield, VA. 22161. 1975. – 148 p.	England & Wales; $n = 5362$	1960	Adjusted for time of death	Face workers (забойщики): No data for O/E; SMR = 0,42; other underground: 1,11
Rockette H. Contract No. HSM 99-73-80. 1975. U.S. Department of Commerce. Springfield, VA. 22161. 1975. – 148 p.	USA; $n = 190.000$	To 1975	Lung cancer SMR adjusted for deaths from other causes. Adjusted for age, no adjusted for race. Possible sample bias and 'Healthy worker effect'	Non SMR: Ratio Primary: total 1,0 (0,55; 1,68)
Ogami T, et al. Nihon Koshu Eisei Zasshi. 1993;40(10):934–44. (In Japanese; only abstract)	Fukuoka, Japan	No later than 1993	No data	'The SMRs for suicides and homicides that occurred among the men residing in the coal miner district were higher'
Christie et al. Med J Aust. 1995;163(1):19–21. DOI: 10.5694/j.1326-5377.1995.tb126082.x	New South Wales (NSW), Australia; $n = 23.630$	1973–1992	No data	O/E: 47/61,9; SMR = 0.76 (0.56; 1.01) ; $p = 0,051^*$
Veiga LHS. PhD Dissert. Escola Nacional de Saude Publica Sergio Arouca. Servico de Gestao Academica. 2004. – 89 p. (In Portuguese.); Veiga LHS, et al. Radiat Environ Biophys. 2006;45:125–34. DOI: 10.1007/s00411-006-0046-3 [19]	Brazil; $n = 2856$	1979–2002	Possible selection bias. 'Smoking is unlikely to bias the present results'	O/E: 9/7,5; SMR = 1.20 (0.63; 2.31) ; $p = 0,561^*$
Roberts SE, et al. Psychol Med. 2013;43(6):1231–40. DOI: 10.1017/S0033291712002024; Platt S. In: 'International Handbook of Suicide Prevention: Research, Policy and Practice'. 2nd Edition. Wiley Blackwell. 2016. P. 258–283. DOI: 02/9781119998556.ch13	Britain; England and Wales	2001–2005 (Roberts SE, et al., 2013); ~2001 (Platt S., 2016)	No data	The suicide rate for coal miners in 2001–2005 was the highest among 30 occupations (Roberts SE, et al., 2013). 'By circa 2001... the highest suicide rates were found among coal miners...' (Platt S., 2016)
Glass DC, et al. BMC Public Health. 2025a;25(1):Article 3004. 15 p. DOI: 10.1186/s12889-025-24163-4	Queensland, Australia; $n = 4970$	1993–2020	'Adjusted for age, era (calendar period) and smoking'. Correct for immortal time bias. 'The exact dates of employment as a coal mine worker were unavailable as were data on other possible confounding factors such as ethnicity, alcohol consumption, physical activity, genetic predisposition and non-occupational exposures'	Driller (бурильщики): O/E: 15/13; SMR = 1.12 (0.67; 1.85) ; $p = 0,558^*$
Glass DC, et al. BMC Public Health. 2025a;25(1):Article 3004. 15 p. DOI: 10.1186/s12889-025-24163-4	Queensland, Australia; Male: $n = 55.252$; Female: $n = 6.913$	1993–2020	The same	Male; ever production (любое производство): O/E: 228/185; SMR = 1,23 (1,08; 1,40); $p = 0,002^*$; Female: O/E: 10/5; SMR = 2,01 (1,08; 3,74); $p = 0,046^*$
Glass DC, et al. Occup Environ Med. 2025b;82(3):120–7. DOI: 10.1136/oemed-2024-109549 [16]	Queensland, Australia; Male: $n = 164.622$; Female: $n = 24.389$	≤ 1985 –2020	There were data on smoking status. '... of exploring biases that could be related to timing, for example, survivor bias for the early years of follow-up, changes in exposure or diagnosis'. 'Minimising the risk of ascertainment bias'.	Male: O/E: 614/520; SMR = 1.18 (1.09; 1.28) ; $p < 0,001^*$; Female: O/E: 18/19; SMR = 0,96 (0,60; 1,52); $p = 0,848^*$

Примечение: * См. прим. к табл. 1

- нием находящихся на самом вершине дизайнов систематического обзора и мета-анализа.
- б) Выборки в работах, как правило, достаточной величины, от тысяч до сотен тысяч горняков.
- в) Периоды прослеживания (follow-up), или охватываемые изучением периоды занятости, когда такие данные представлены, весьма длительны, вплоть до десятиков лет и до полувека.
- г) Что же касается оценки авторами работ субъективных уклонов (bias) и вмешивающихся факторов (confounder), то из табл. 1 и 2 следует, что не во всех работах делались соответствующие поправки (adjusted), порой тривиальные (возраст, раса, этнические характеристики и др.). Более того, даже данные по курению для контингентов *горняков* часто оказывались недоступными. Хотя, как и ранее в случае с NW [11, 12], трудно сказать, какие вмешивающиеся факторы могут серьезно влиять на частоту суицидов в когортах NW. Курение способно отражаться на их уровне, но эффекты тут не прямые (через депрессию) [33], и они укладываются в понятие образа жизни (Life style), который вряд ли возможно точно определить для U miners. Поэтому можно, по всей видимости, заключить, что, применительно к столь специфическому эффекту («объекту исследования»), требования PRISMA [19] и отечественного руководства [25] к качеству включаемых в анализ работ, как и ранее для NW [11, 12], вряд ли могут быть учтены в большем объеме. К этому следует заметить, что исследования, по крайней мере для U miners, выполнены, как правило, лидирующими национальными группами эпидемиологов, нередко по правительственным или отраслевым грантам (США, Канада и др.).

Мета-анализы и pooled-анализы значений SMR для фатальных суицидов у U miners и Coal miners

Pooled-анализы заключались в определении $SMR \pm 95\% CI$ как отношения сумм всех Observed/Expected суицидов, представленных в табл. 1 и 2.

Forest plots для мета-анализов применительно к U miners и Coal miners представлены на рис. 1 и 2 соответственно, а табл. 3 объединяет результаты всех мета- и pooled-анализов.

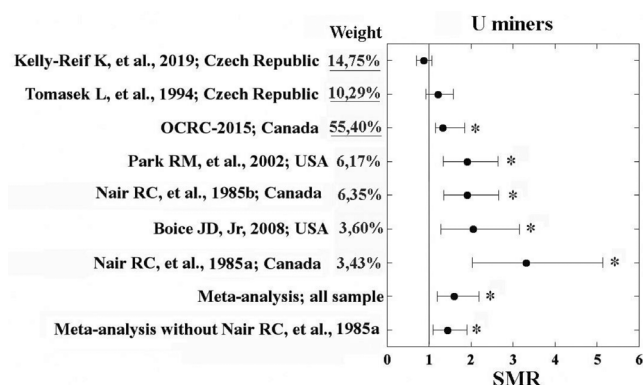


Рис. 1. Forest plot выборки исследований $SMR \pm 95\% CI$ для суицидов в когортах U miners. Здесь и далее: звездочка – статистически значимые отличия SMR от 1,0; указаны также весовые вклады (в %) каждого исследования в общее число суицидов в выборке

Fig. 1. Forest plot of the sample for studies of $SMR \pm 95\% CI$ for suicide in cohorts of U miners. Here and below: asterisks indicate statistically significant differences in SMR from 1,0; the weighted contribution (in %) of each study to the total number of suicides in the sample is also indicated

Взвешивание вариант для Forest plots осуществлялось по одному из четырех рекомендованных в фунда-

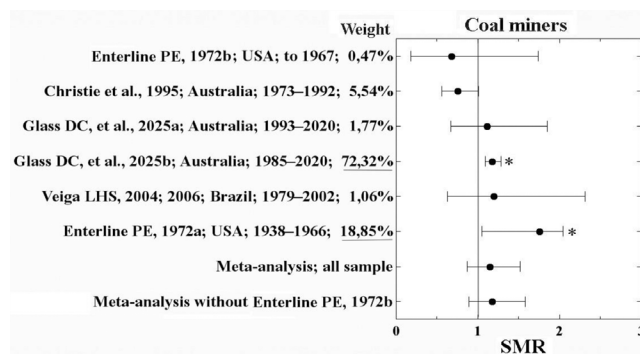


Рис. 2. Forest plot выборки исследований $SMR \pm 95\% CI$ для суицидов в когортах Coal miners

Fig. 2. Forest plot of the sample for studies of $SMR \pm 95\% CI$ for suicide in cohorts of Coal miners

ментальном руководстве по мета-анализу [34] способов, а именно – по числу исследованных единиц (изучаемых пациентов/участников или, как здесь, изучаемых последствий) в каждой работе к общему числу таковых единиц во всей выборке⁹.

Из данных в табл. 3 формально следует наличие публикационного смещения по результатам мета-анализа для U miners: значения p по Egger's test составили 0,004 и 0,024, в то время как должно было быть $>0,1$ [26, 27]. Однако подозрение, что исследователи U miners и публикующие их данные редакции журналов (а также составители отчетов) имели намерение завышать эффекты именно суицидов, выглядит абсурдно. Во-первых, вряд ли кому-то было особенно важно, сколько у этих горняков регистрируется суицидов. Во-вторых, публикационное смещение может быть актуальным при клинических испытаниях препаратов фармфирмами [29–31], но какой смысл в завышении рисков при исследовании профессиональной группы по правительственным и отраслевым грантам, трудно придумать. Поэтому остается единственное объяснение обнаруженного феномена, связанное не с субъективными намерениями авторов и/или издателей, а, как указывалось выше, с гетерогенность выборки, случайностями и пр. [27]. Судя по Forest plot (рис. 1), наиболее вероятна, на наш взгляд, просто случайность.

Отдельный теоретический интерес, как и ранее для NW [11, 12], имеет сравнение результатов двух синтетических исследований – мета-анализа и pooled-анализа, поскольку этот вопрос не раз дискутировался [35–37] (см. также мини-обзоры в наших предыдущих работах [11, 12]). Из табл. 3 видно, что для U miners pooled-анализы сравнительно с мета-анализами дают несколько заниженные величины (на 18% и 11%; хотя отличия и статистически незначимы: $p = 0,216$ и $0,422$ соответственно), в то время как для Coal miners таковые скорее завышены (на 5% и 3%; $p = 0,728$ и $0,824$ соответственно). Это не кажется удивительным: действительно, процентный вклад суицидов в их сумму для общей выборки применительно к U miners максимален для работ с минимальными SMR (см. рис. 1), в то время как для Coal miners – скорее наоборот (рис. 2). Сходная картина наблюдалась и для

⁹ 'Weighting by the number of patients in each study' [34]. Остальные способы взвешивания: по числу исследований (вероятно, для объединяющих работ), по числу пациентов вкуче с числом процедур для них в каждом исследовании, а также взвешивание (что наиболее часто) в соответствии с обратным значением для стандартного отклонения (сигма) в каждой работе. По нашему мнению, в данном случае наиболее важным оказывался именно вклад числа суицидов в общую выборку для каждого исследования.

Таблица 3

Мета-анализы и pooled-анализы SMR для суицидов в когортах U miners и Coal miners
Meta-analyses and pooled analyses of SMR for suicide in U miners and Coal miners cohorts

Group	n* (number of studies)	SMR ($\pm$ 95% CI)	p compared to 1,0
U miners. Meta-analysis all sample (random). $H = 2,6$; $I^2 = 86\%$; Egger's test: $p = 0,004$	7	1,61 (1,19; 2,19)	$\chi^2 = 9,48$; DF = 1; $p = 0,002$
U miners. Meta-analysis without study Nair R.C. et al., 1985 (random). $H = 2,3$; $I^2 = 82\%$; Egger's test: $p = 0,024$	6	1,45 (1,10; 1,90)	$\chi^2 = 6,92$; DF = 1; $p = 0,009$
U miners. Pooled-анализ all sample	7	1,32 (1,21; 1,43); 18% less than in the meta-analysis	$p < 0,002$
U miners. Pooled-анализ without study Nair R.C. et al., 1985	6	1,29 (1,19; 1,40); 11% less than in the meta-analysis	$p < 0,001$
Coal miners. Meta-analysis all sample (random). $H = 2,6$; $I^2 = 85\%$; Egger's test: $p = 0,738$	6	1,15 (0,87; 1,52)	$\chi^2 = 0,98$; DF = 1; $p = 0,321$
Coal miners. Meta-analysis without study Enterline P.E., 1972b (random). $H = 2,8$; $I^2 = 88\%$; Egger's test: $p = 0,880$	5	1,18 (0,89; 1,58)	$\chi^2 = 1,32$; DF = 1; $p = 0,251$
Coal miners. Pooled-анализ all sample	6	1,21 (1,14; 1,30); 5% more than in the meta-analysis	$p < 0,001$
Coal miners. Pooled-анализ without study Enterline P.E., 1972b	5	1,22 (1,14; 1,30); 3% more than in the meta-analysis	$p < 0,001$

Примечение: * n – number of studies

сравнения результатов мета- и pooled-анализов риска суицидов у NW: для мужчин показатели оказались равны, а у женщин pooled-анализ выдал несколько заниженные значения; все по тем же причинам [12].

Хотя в целом pooled-анализ, проведенный на основе первичных данных из каждой работы, что увеличивает статистическую мощность, позволяя выявлять редкие эффекты, рассматривается как предпочтительный сравнительно с мета-анализом, для которого достаточно конечных данных хотя бы из рефератов [38], не все оказывается столь просто. Как видно, в том числе из табл. 3, простое пулирование (объединение) данных без взвешивания источников по величине процентного вклада в выборку или дисперсии (что делают программы для мета-анализа, в том числе WinPeri), может, помимо «парадокса Симпсона»¹⁰, исказить интегральный результат, более отражая риски из наиболее масштабных исследований. Поэтому при высокой гетерогенности выборки, в том числе по вкладу различных работ, мета-анализ рассматривается как более адекватно отражающий, так сказать, реальность [35, 39–41]. Далее именно результаты мета-анализов из табл. 3 считаются репрезентативными.

Данный момент, связанный с преимуществом мета-анализа в конкретной ситуации, весьма важен для радиационной эпидемиологии. Несколько отойдя от темы настоящей работы, можно вспомнить, что именно масштабные pooled-анализы по радиационным рискам для объединенных когорт NW США, Канады и Великобритании [42], США, Великобритании и Франции [43] и для 15 стран (Европа и Америка) [44], равно как и для U miners пяти стран [45], рассматриваются ныне как нечто авторитетное в плане оценки радиационных рисков (в том числе малых доз облучения) [46]. Но возникающие искажения вследствие гетерогенности выборок по величине вклада различных национальных когорт приводят к определенной критике подобного подхода [47, 48]. Так, в скорректированном pooled-анализе Wakeford R., 2014 [47] для 14 стран, после элиминации из выборки данных

¹⁰ «Парадокс Симпсона» ('Simpson paradox') заключается в том, что иной раз интегрирование воедино отдельных данных с отсутствием зависимости между двумя показателями случайно формирует таковую на выходе (дисбаланс во вмешивающемся факторе на разных уровнях интересующей переменной; например, смешивание исследований мужских и женских когорт при изучении сцепленного с полом эффекта и пр.) [35].

для Канады, суммарная величина избыточного относительного риска на 1 Зв для смертности от солидных раков снизилась в *полтора раза* сравнительно с исходным pooled-анализом для 15 стран. Тем не менее, пока что эти pooled-анализы, а не, возможно, более адекватные по результатам соответствующие мета-анализы, остаются, так сказать, «вершинами» оценки рисков хронического облучения в радиационной эпидемиологии.

Вернувшись к собственно суицидам для горняков, можно видеть (ср. рис. 1 и 2), что если для выборки по риску суицидов у U miners в пяти работах из семи имелись статистически значимые повышения SMR сравнительно с населением (71%), то для Coal miners таковое регистрировалось только для двух исследований из шести (33%; правда, для самых масштабных работ).

Для U miners результаты двух мета-анализов и двух pooled-анализов (для полной выборки, а также после элиминации несколько сомнительных данных) имеют отчетливые тенденции быть выше, чем соответствующие величины двух мета-анализов и двух pooled-анализов для Coal miners (см. табл. 3). Хотя и статистически незначимо – сравнение мета-анализов дает: $p = 0,111$ и $0,308$; сравнение pooled-анализов: $p = 0,108$ и $0,295$ соответственно.

Вдобавок, применительно к U miners, SMR для суицидов по результатам как мета-, так и pooled-анализов статистически значимо выше 1,0 (см. рис. 1 и табл. 3), то есть превышают риск у населения, в то время как для Coal miners таковой феномен значимо выявляется только по результатам pooled-анализа (см. рис. 2 и табл. 3). Но именно результаты мета-анализов, как сказано, приняты здесь как наиболее адекватные. Таким образом, совокупность косвенных данных отчетливо указывает на то, что риск суицидов у U miners выше, чем у Coal miners, хотя практически все факторы, кроме воздействия U и, возможно, повышенной экспозиции Rn и продуктов его распада, у горняков двух типов одинаковы или равновелики. И указывает, что риск суицидов у U miners значимо выше, чем у таких же мужчин из населения, в то время как для Coal miners подобная значимость отсутствует (табл. 3).

Взяв за основу результаты мета-анализов, следует заключить, что риск суицидов у U miners имеет тенденцию быть выше такового риска у Coal miners в 1,2–1,4 раза. А это совсем немало для суицидов. Можно представить эти отличия еще более однозначно.

Определение статистической значимости отличий между двумя выборками SMR для суицидов у U miners и Coal miners

Как и в аналогичной нашей работе по риску суицидов у NW [12], были выстроены в порядке увеличения SMR все исследования U miners и Coal miners. Данные представлены на рис. 3.

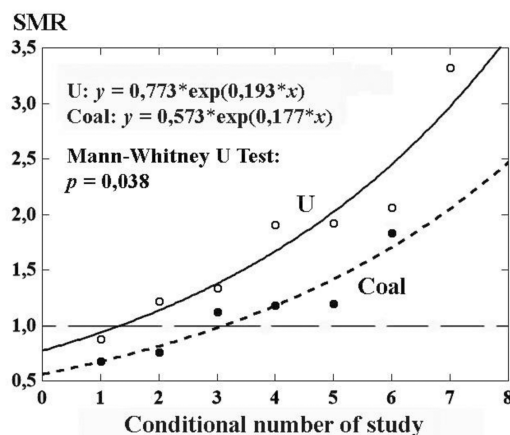


Рис. 3. Сравнение SMR для частоты суицидов в когортах U miners (U) и Coal miners (Coal). По оси абсцисс – условный номер исследования (расположены по возрастанию SMR); по оси ординат – SMR для суицидов

Fig. 3. Comparison of the SMR for suicide rates in the U miners (U) and Coal miners (Coal) cohorts. The abscissa axis shows the conditional number of study (arranged in order of increasing SMR); the ordinate axis shows the SMR for suicides

Из рис. 3 следует отчетливое отличие кривых по частоте суицидов для горняков двух типов, и видно, что для всех параллелей величины SMR для U miners выше, чем для Coal miners. Отличие, при этом, статистически значимо по U тесту Манна–Уитни¹¹. Приведенные данные ставят, вероятно, окончательную точку в заключении о более высоком уровне суицидов именно для подведомственного ФМБА России контингента горняков.

Возможные объяснения обнаруженного феномена

1) В нашем предыдущем исследовании SMR для суицидов у NW мужского и женского пола выявились значительные гендерные различия. Объяснение, связанное с селекцией при найме и в процессе деятельности по психологическим, социальным и бытовым характеристикам, приводящее к исходно разной устойчивости к профессиональным и иным стрессам для мужских и женских когорт, рассматривалось в последнюю очередь [12]. Хотя и представлялось вполне возможным, что нанимающиеся на подобную работу женщины отличаются от мужчин не только по обусловленной полом чувствительности к различным стрессам, но еще и по внегендерной ментальности (как, скажем, отличались бы по подобной ментальности от коллег-женщин мужчины, нанятые воспитателями в детский сад).

Аналогичная гипотеза для отличий применительно к U miners и Coal miners сразу выходит на первый план. Сложившийся стереотип «на урановые рудники» продолжает жить своей жизнью¹². Истоками его являются, вероятно, курировавшиеся СССР рудники бывших социалистических стран Восточной Европы в 1940–1950-гг.

¹¹ Выборка для Coal miners не отличалась нормальностью распределения ($\chi^2 = 20,65$, $df = 11$, $p = 0,037$), в отличие от выборки для U miners ($\chi^2 = 18,23$, $df = 12$, $p = 0,109$).

¹² Достаточно набрать в Google «отправят на урановые рудники».

В U рудниках Jachymov (Чехословакия) в 1946–1949 гг. работали немецкие военнопленные, но после их репатриации контингент был заменен заключенными (до десятков тысяч), вклад которых составлял в первой половине 1950-х гг. до 50%. Отмечается, что из остальных было множество вольнонаемных, привлеченных высокой зарплатой, так что профессиональных, опытных шахтеров в этих рудниках оказывалась лишь малая часть [49]. Отсутствие адекватной вентиляции и охраны труда привело к тому, что уровень радона в этих шахтах 1940–1950-х гг. был очень высок – до 45806 Бк/м³ и выше. В 1957 г. лимит был снижен до 3700 Бк/м³ [49], что тоже немало по нынешним нормам МКРЗ (500–1500 Бк/м³ [50]). Заключенные работали в тот период и на рудниках Wismut (ГДР), причем во второй половине 1940-х гг. был даже принудительный набор туда как бы вольнонаемных [51]. В ранний период становления U индустрии и на шахтах США, например, расположенных в резервации индейцев навахо (многие из которых там и работали), отмечался высокий уровень радона и тяжелые условия труда [52]. Согласно данным [53], объемная концентрация радона в U шахтах США могла достигать 85100 Бк/м³.

Изложенное способно объяснить соответствующий «имидж» U рудников и работы на них. В то время как на Coal шахтах деятельность широко освещалась в СМИ и официально являлась в СССР почетной, а ее передовики были известны как уважаемые люди, имидж U рудников в обществе, как и занятых на них, оказывался обратным. Это могло обуславливать различные по менталитету и психологическим характеристикам контингенты горняков, нанимавшихся и работавших в шахтах двух типов. Возможно, «на урановых рудниках» оказывались более авантюрные и импульсивные работники, не говоря уже о последствиях для психики у военнопленных и заключенных. Нам не удалось найти прямые данные о связи авантюрного, предприимчивого и, скажем так, «бесшабашного» склада характера с потенциальной склонностью к суицидам. Однако связь подобного характера со склонностью к рискам, частотой попадания во множество акцидентов (что рассматривается в том числе как скрытая склонность к суицидальному поведению) была продемонстрирована еще в 1966 г. [54]. В рамках представленного исследования трудно углубляться в тонкости психологических детерминант, обуславливающих стремление к суицидам, поэтому предположение о ментальной дифференциации в этом плане между двумя типами горняков пока остается гипотезой.

И следует добавить здесь, что в целом имидж «урановых рудников», как производства с особыми вредностями, продолжает отчасти оправдываться. Скажем, по результатам уже названного выше (прим. 4) мета-анализа для Coal miners [22] SMR по смертности от всех причин и от всех раков составили 1,14 (95% CI: 1,00; 1,30) и 0,88 (95% CI: 0,80; 0,97) соответственно. То есть в первом случае нет статистически значимого превышения смертности сравнительно с такими же мужчинами из населения (только тенденция), а во втором случае отмечается значимый «Эффект здорового работника»¹³. У горняков – и по ракам... Но для U miners, согласно pooled-анализу для когорт из пяти стран (под названием 'PUMA': США, Канада, Франция, Германия, Чехия) [45], хотя индекс SMR по общей смертности и был повышен очень слабо, составив 1,05 (95% CI: 1,04; 1,06; $p < 0,001$; значимость рассчитана нами), показатель SMR для смертности от всех раков статистически значимо превы-

¹³ Использован критерий статистической значимости отличий «нижний/верхний 95% CI >1,0 или <1,0»; см. также прим. 4.

шал значение для населения: 1,23 (95% CI: 1,21; 1,25; $p < 0,001$; величина p также рассчитана нами). То есть, в отличие от *сниженного* на 12% показателя смертности от всех раков для Coal miners, для U miners имелось *превышение* такового на 23%, в основном за счет рака легкого [17, 45]. При этом для NW, работающим именно с U, но на поверхности (измельчение руды и пр.), по данным мета-анализа [55], для смертности от всех раков продемонстрирован статистически значимый «Эффект здорового работника»: SMR = 0,90 (95% CI: 0,84; 0,96; $p = 0,0009$). Выходит так, что по названному показателю U miners отличаются в худшую сторону не только от Coal miners, но даже от другого контингента работающих именно с U, но – не шахтеров. В то же время, согласно нашему обзорному исследованию, риск смертности от всех раков для U miners оказался практически равным соответствующему риску пассивного курения, что, формально, работает на не такой уж неблагоприятный имидж данной профессии [56].

Хотя общая смертность U miners, как видим, почти равнозначна смертности мужчин из населения, особый оптимизм в эпидемиологическом, а не в имиджевом плане испытывать здесь не следует. Ибо шахтеры априори должны иметь более крепкое здоровье уже по самому факту такой работы, то есть иметь «Эффект здорового работника». SMR по общей смертности является индексом, обратным «Ожидаемой продолжительности жизни» ('Life Expectancy'), то есть, согласно ВОЗ, конечному, интегральному показателю благополучия [57]. Но именно по указанному индексу не отмечается «Эффекта здорового работника» ни для U miners, ни для Coal miners. Согласно нашему обзору [56], эти типы занятости продолжают оставаться одними из наиболее вредных (вредные только связанные с пылевыми и асбестовыми экспозициями и с воздействием бета-нафтиламина). Как видим, и в плане частоты суицидов для горняков наблюдается то же самое.

2) Другим предположением, объясняющим выявленные различия в риске суицидов, является разный уровень радиационного воздействия в U и Coal шахтах. Действительно, имеется ряд данных о связи облучения с психологическими отклонениями и депрессиями вследствие эффекта на ЦНС (см., например, в обзорах [58, 59]). При изучении влияния уровня радона в домах на когнитивные функции, поведение и ментальное здоровье детей и подростков, обнаружена связь между радоновой экспозицией и нейропсихологической дисфункцией применительно к саморегуляции и к эмоциональной регуляции [60].

Здесь важными являются эффекты именно плотной ионизирующего излучения, α -частиц радона и продуктов его распада, поскольку облучение радиацией с низкой ЛПЭ, к примеру радиологов, не повышает риск суицидов. Для этих специалистов по данному показателю наблюдается даже отчетливый «Эффект здорового работника» сравнительно с населением, показанный для специалистов из США [61] и Южной Кореи [62]. Статистически значимый «Эффект здорового работника» отмечен у радиологов США даже сравнительно с психиатрами [63]. И только у армейских рентгенологов США, работавших во время Второй мировой войны, имелась некоторая незначущая тенденция к превышению числа суицидов относительно генеральной популяции: SMR = 1,11 (95% CI: 0,66; 1,76) [64]¹⁴. Если сравнить это

значение с результатами мета-анализов для U miners и Coal miners (табл. 3), то очевидно, что психологический стресс или иные факторы, включая радиационный, у горняков, особенно у U miners, по суицидальным последствиям превышают таковые последствия у военных рентгенологов времен войны.

Таким образом, если для U miners и Coal miners и имеются различия в радиационном факторе, то они связаны с воздействием именно плотной ионизирующего излучения. Абстрагируясь поначалу от эффектов U, следует задаться вопросом о том, имеются ли различия в уровне радона в шахтах двух типов. Хотя по сложившимся обыденным и обыденно-научным представлениям¹⁵ в U шахтах экспозиция радона кажется много большей, специальные исследования, сравнивающие указанные показатели для U шахт и Coal шахт, найти, как ни странно, не удалось. Поэтому здесь нами проводилось такое сравнение на основе отдельных разрозненных, преимущественно обзорных источников с соответствующими данными [53, 65–67] (рис. 4).

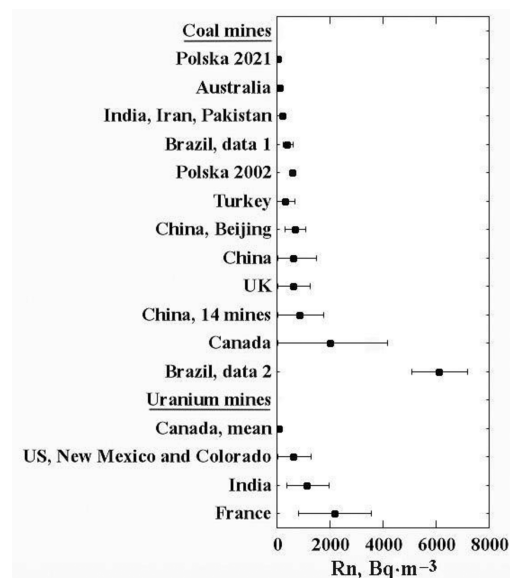


Рис. 4. Объемные активности радона в U шахтах и Coal шахтах разных стран. Представлены диапазоны показателей и средние значения между ними. Данные о диапазонах – из работ [53, 65–67] (преимущественно обзорные документы)

Fig. 4. Radon volumetric activity in U mines and Coal mines in different countries. The ranges of indexes and the average values between its are presented. Data on the ranges are taken from [53, 65–67] (mainly review documents)

Наша выборка исследований уровней радона в шахтах, понятно, далеко не исчерпывающая, но – *репрезентативна* вследствие использования, за одним исключением, только обзорных документов, объединяющих данные для разных стран. Полнотекстовой поиск с помощью вышеупомянутой программы Archivarius-3000 в нашей базе данных по эффектам и показателям у U miners [17] на «Bq/m³» и «Bq m⁻³» выявил 75 источников. Визуальный анализ найденных значений продемонстрировал, что, по всем признакам, таковые не выходят за рамки диапазонов объемной активности радона, отображенных на рис. 4. Имеются, конечно, и маргинальные величины для отдельных шахт того или иного периода.

¹⁴ Приведенные публикации по SMR в том числе для суицидов у радиологов, судя по всему, это все, что есть на данную тему согласно поиску через Google Scholar на ["suicides" AND "radiologists" AND "SMR" OR "Standardized Mortality Ratio"]. Обнаружено 26 и 72 источника, почти все не по теме.

¹⁵ «Обыденно-научное представление» – представление научных работников о предмете или явлении, не входящем в рамки их непосредственных исследований и компетенции, о чем научный работник может и не подозревать. Яркое проявилось во время эпидемии ковида.

Выше уже назывался уровень радона в 85100 Bq/m^3 в некоторых U шахтах США [53]; равным образом сообщалось о достижении объемной активности радона в 15000 Bq/m^3 в Coal шахтах Верхней Силезии (ныне Польша) [68].

Как бы там ни было, из данных, отображенных на рис. 4, можно сделать только одно заключение: при всех маргинальных флуктуациях показателя уровень радона в U шахтах и в Coal шахтах вполне равновелик. По крайней мере по результатам наших изысканий, а другие сравнительные исследования, с иным выводом, как сказано, не найдены. Поэтому радоновый фактор вряд ли играет роль в выявленных нами отличиях для частоты суицидов у горняков двух типов.

3) Остается воздействие именно U. Нейрологические, психические, когнитивные, сенсомоторные и поведенческие нарушения продемонстрированы после воздействия обогащенного и обедненного U на крыс [69–71]. Циркулирующий U быстро проникает в мозг, вызывая окислительный стресс, при этом снижается уровень дофамина, нарушается оборот серотонина (то есть нейротрансмиттера, отвечающего за тревожность и депрессию), а также временно ухудшается рабочая память [70, 71]. Продемонстрировано повышение тревожности крыс после воздействия U [71]. При этом большинство эффектов связывают не с радиоактивностью, а с токсичностью U, хотя это более характерно для обедненного радионуклида [70, 71].

Эпидемиологические данные менее убедительны. В обзоре 2005 г. [69] сказано, что для человека не имеется данных, однозначно демонстрирующих нейротоксичность U, хотя некоторые исследования и показало состояние депрессии или возбуждения у NW, подвергавшихся воздействию высоких концентраций U [21], а также неврологические эффекты, включая когнитивные нарушения при подобных экспозициях [22]¹⁶. У U miners шахт в Богемии, Чехословакия (с 1948 г.; follow up до 1990 г.) отмечен значительный рост ментальных нарушений: $\text{SMR} = 5,18$ (95% CI: 2,83; 8,70; $p < 0,001$) [74]. Однако для аналогичного контингента рассматриваемых выше германских шахт Wismut (период прослеживания 1960–2013 гг.) и по ментальным нарушениям, и по заболеваниям нервной системы отмечался «Эффект здорового работника»: $\text{SMR} = 0,81$ (95% CI: 0,70; 0,94; $p = 0,004$; наш расчет статистической значимости) и $0,73$ (95% CI: 0,62; 0,84; $p < 0,001$ также наш расчет величины p) соответственно [75]. То есть для людей данные об эффекте U на ЦНС и ментальные нарушения оказываются противоречивыми.

Для российских U miners удалось найти, как через названную выше базу данных [17], так и через eLibrary, только публикацию про учащение заболеваний периферической нервной системы [76], что, понятно, вряд ли напрямую связано с эффектами на ЦНС, с депрессиями и суицидами.

И все же более прямые данные о связи частоты суицидов с U экспозицией, причем вкпе с работой в шахтах, имеются. В табл. 1 приведена публикация Voise JD, Jr, et al., 2007 (см. ссылку в указанной таблице), в которой исследовались резиденты бывшего города Ураван (Uraivan) в регионе U шахт на Colorado Plateau. Для одной группы резидентов имелись данные об их работе

в прежнее время в качестве U miners, а другая группа не имела такой занятости. Разницы в частоте патологий нервной системы не было обнаружено, но для U miners выявилась тенденция к превышению частоты суицидов: $\text{SMR} = 2,22$ (95% CI: 0,81; 4,82; $p = 0,077$; наш расчет p) и $1,28$ (95% CI: 0,47; 2,79; $p = 0,527$; также наш расчет p) соответственно. Разница оказалась незначимой ($p = 0,392$). вероятно, в связи с малыми количествами Observed суицидов для обеих групп (по 6), но видно, что тенденция отчетлива.

Наконец, как и ранее [11, 12], внимание привлекает единственное исследование, которое полностью посвящено частоте суицидов у NW в зависимости от воздействия различных факторов – тяжелых металлов, одного из видов растворителей и U (Paducah gaseous diffusion plant; США; обогащение U) [77]. В данной работе исследовались так называемые «Когорта 1», «Когорта 2» и т.д., которые представляли собой результаты анализов мочи на U, последовательно собранные ранее у NW, совершивших суициды (такие анализы проводились для всех, но авторов, понятно, интересовал именно эта группа). В «Когорту 1» входили первые анализы, независимо от года найма или временного периода (то есть это был самый первый анализ для каждого горняка), в «Когорту 2» – все вторые анализы на U и т.д. «Нулевая» когорта включала все анализы для совершивших суициды (так у авторов [77]). Полученные данные внутри когорт в работе [77] делили на «Высокую и «Низкую» концентрации U относительно медианного значения. Рассчитывали отношение шансов и, затем, HR^{17} для суицидов. Результаты, представленные в [77] в виде таблицы, отображены здесь в форме диаграммы (рис. 5).

Исходя из изложенного в данном пункте, становится ясно, что вывод авторов [77], согласно которому уровень суицидов у имеющих дело с U зависит от степени экспозиции этим радионуклидом, обоснован. Наиболее вероятно, что специфичность ассоциации (один из критериев реальности эпидемиологической связи по Бредфорду Хиллу [79]), выражающаяся в *степени ассоциации* (то есть в величине риска [79]) между частотой суицидов и воздействием U, однозначно свидетельствует: особый риск суицидов для U miners связан именно с эффектом U в шахтах¹⁸. Вероятно, профессиональный стресс, связанный с условиями труда и производственными рисками, который для целого ряда типов занятости обуславливал частоту суицидов [2–10], для U miners выражен особенно резко. Причины, скорее всего, имеют комплексный характер; может быть, имеется даже потенцирование двух факторов: воздействия U [77] и работы под землей, в шахтах (как уже отмечалось, для шахтеров даже Coal шахт частота суицидов может быть выше, чем для иных профессий (Platt S., 2016; ссылку см. в табл. 2).

Ограничения исследования

1) Как и в нашем предыдущем исследовании, посвященном частоте суицидов у NW [12], имеется недостаточная, по всей видимости, представительность обнаруженных по теме публикаций среди всех работ для

¹⁷ HR – Hazard Ratio; отношение рисков; суть близка к относительному риску (Relative Risk; RR) [78].

¹⁸ Удивляться высокой степени HR для суицидов у NW, работавших вне шахт, из [77], и сравнивать этот риск с полученными нами показателями для U miners (табл. 3), смысла не имеет, ибо NW Paducah gaseous diffusion plant [77] имели дело еще и с тяжелыми металлами и другими агентами (As, Be, Cr, Ni, растворитель), которые также влияют на частоту суицидов (см. в [11]). Скорее всего, уровни экспозиции от них, как и от U, коррелировали с продолжительностью занятости.

¹⁶ Поиск в PubMed: [suicide&uranium] – 10 источников; [uranium&psychological] – 27 источников; [uranium&mental] – 15 источников. Подавляющее большинство таких работ посвящено воздействию обедненного U на воинские контингенты, участвовавшие в войне в Персидском заливе, в Афганистане или Югославии.

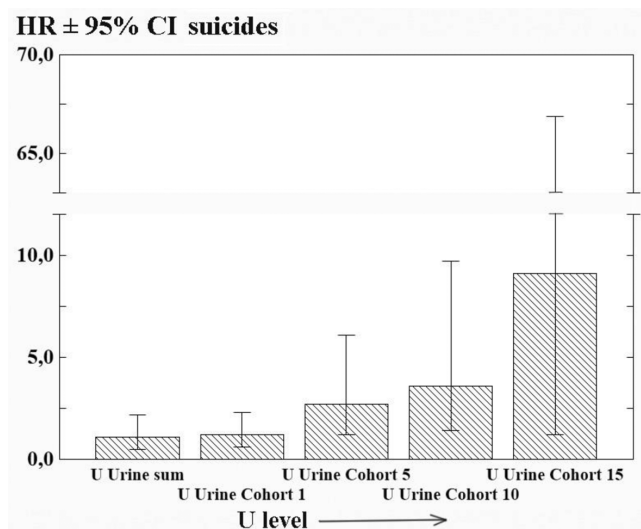


Рис. 5. Зависимость риска (HR ± 95% CI) суицидов от уровня экспозиции U (по концентрации в моче) у NW Paducah gaseous diffusion plant; США. Диаграмма построена нами по данным из Table 4 работы [77]. Коэффициент корреляции Спирмена (от №№ «когорты»): 1.0 ($p < 0.05$)

Fig. 5. Relationship of the risk (HR ± 95% CI) of suicide on the level of exposure to U (based on concentration in urine) in NW Paducah gaseous diffusion plant; USA. The diagram was made by us using the data from Table 4 of the work [77]. Spearman's correlation coefficient (from 'cohorts' number): 1.0 ($p < 0.05$)

U miners различных стран мира. Наша база данных по эффектам и показателям у U miners на середину января 2026 г. включала 1149 источников из 23 стран, и весьма значительная часть из них посвящена оценкам различных рисков [17]. Но, как и для NW [11], довольно редко авторы выделяли в качестве отдельной причины смертности суициды; в большинстве случаев таковые входили в категорию «Внешние причины смерти». То есть исследованная здесь выборка, включающая контингенты всего из трех стран, соответствует малой доле от всех работ по U miners. Однако, как и ранее [11, 12], других данных на тему просто нет – нами выбраны, судя по всему, все возможные.

2) Вновь, как и ранее [11, 12], вошедшие в наше синтетическое исследование работы охватывают когорты U miners с самого раннего временного периода, порой с 1940-х гг., и заканчиваются нередко прослеживанием также для достаточно давних сроков (почти во всех случаях – не позднее 1990–1992 гг.; два исключения – до середины 2000-х гг.; см. в табл. 1.). То есть возникает мысль, что в нынешнее время закономерности могут измениться (надеемся – в лучшую сторону). Однако зависимость частоты суицидов у U miners, как и ранее для NW [12], от временного периода, скорее всего, отсутствует или невелика. Так, не имелось даже малейших корреляций между риском суицидов в когортах (все исследования из табл. 1) и концом follow-up либо окончанием периодов прослеживания (выборка «окончание» работы/исследования). Среди четырех видов регрессий (линейная, логарифмическая, биномиальная/квадратичная и экспоненциальная) не имелось даже признака какой-либо зависимости (максимальные r были равны -0.055 при $p = 0.831$). Тем не менее, ощутима, хотя и незначительная обратная зависимость была обнаружена между риском суицидов и «началом» работы/исследования: для наилучшей регрессии (экспоненциальная) $r = -0.509$; $p = 0.091$. Отрицательный знак для r показывает, что работа U miners в прежние времена, а именно в 1940–1950-е гг. (когда имелись повышенные экспозиции

как U, так и Rn) все же более чревата последующими суицидами, но речь здесь идет только о самых ранних периодах начала работы.

3) Следующим ограничением, которое уже имело место и для NW [11, 12], может быть отсутствие коррекции данных в исходных работах на те вмешивающиеся факторы и уклоны (confounder и bias), которые способны отражаться на частоте именно суицидов. Здесь могут быть важными поправки не только на социально-экономический статус (коррекции на который для U miners не проведено ни в каких работах), но даже на курение, способное модулировать частоту суицидов через депрессии [33]. Все рассмотренные здесь работы (табл. 1) не ставили своей целью изучение именно суицидов и психических отклонений у U miners, поэтому соответствующие поправки и оценки авторами сделаны не были.

Практическая значимость исследования

Представленные систематический обзор с мета- и pooled-анализами демонстрирует особый риск суицидов для U miners, величина которого специфична именно для этих горняков и превышает показатель для Coal miners. То есть репер психологического стресса и неблагоприятия у данного типа горняков – один из наиболее высоких среди профессиональных групп. U miners, при всем улучшении в настоящее время условий труда и снижении уровня радиационных экспозиций, все же остается одной из самых вредных и опасных профессий, хотя и без прежнего отрицательного имиджа. Это следует учитывать в системе ФМБА России в плане психологического и психофизиологического сопровождения U miners, а также, возможно, при пересмотре компенсационной политики, хотя соответствующие данные для отечественных U miners и не обнаружены. Исследование может быть важным также для работы Межведомственных экспертных советов по установлению причинной связи между развившимися патологиями и лучевым фактором у персонала предприятий, подведомственных ФМБА России и иным ведомствам.

Заключение

В настоящем разделе ссылки, которые можно найти выше, за некоторым исключением, не приводятся.

Результаты представленного исследования по риску суицидов у U miners находятся в противоречии с закономерностями, выявленными нами ранее для другого подведомственного ФМБА России контингента – NW. Если для NW, согласно данным мета-анализов, по SMR для суицидов имелся значимый «Эффект здорового работника» для мужчин и отсутствие превышения риска у женщин [11, 12], то для U miners (представленных почти нацело мужчинами) по результатам мета-анализа было зарегистрировано статистически значимое превышение SMR для суицидов в 1,5–1,6 раза. Эффект характеризовался специфичностью в плане одного из критериев Хилла, то есть руководящих принципов ('viewpoints'), позволяющих убедиться в достоверности эпидемиологической ассоциации. Выраженная в степени риска специфичность для U miners намного превышала аналогичный показатель для других горняков – Coal miners (для которых SMR, по данным также выполненного здесь мета-анализа, составил всего 1,15–1,18; тенденция оказалась незначимой).

Иными словами, показатель профессионального риска и благополучия/неблагополучия, для которого уровень суицидов служит репером [2–10], для U miners оказывается особенно неблагоприятным даже среди горняков. Согласно проведенному исследованию, причины

данного отличия вряд ли связаны с воздействием Rn и продуктов его распада, поскольку таковые оказались равновеликими для U шахт и Coal шахт. Имеется возможность селекции для горняков двух типов при найме и в процессе деятельности, связанная с неблагоприятным имиджем работы на U рудниках сравнительно с работой в Coal шахтах. Можно предположить, что в первом случае контингент отличается особым складом психики и характера (склонность к авантюризму, предприимчивости, и т.п.; включая иной уровень бытового и социального фона), что влияет на суицидальное поведение. Однако прямых данных подобного рода не обнаружено.

Наиболее вероятным объяснением остается влияние U экспозиций вкупе с работой в шахтах, каковые факторы, возможно, даже потенцируют эффекты друг друга применительно к влиянию на риск суицидов. Подтверждением этого заключения служат данные исследования NW на предприятии по обогащению U в США [77], в котором продемонстрирована прямая связь между величиной воздействия указанного радионуклида (по его уровню в моче) и риском суицидов. Еще одним подтверждением являются данные для двух групп резидентов города Ураван (Uranium, США), работавших и не работавших ранее как U miners. Для группы U miners выявилась отчетливая тенденция к превышению частоты суицидов (источник приведен в табл. 1).

Некоторые ограничения настоящего синтетического исследования (малая репрезентативность найденных по теме исследований только из трех стран для всего массива данных по рискам для U miners 23 стран, относительно давние периоды занятости для изученных когорт, а

также недостаточный учет авторами включенных работ вмешивающихся факторов и уклонов) не могут отменить практическую значимость полученных результатов. Ибо, как указывал один из основателей современной эпидемиологии и доказательной медицины, Austin Bradford Hill в своей работе от 1965 г. [79], называемой, порой, «одним из наиболее важных документов XX в. по эпидемиологическим основам причинности заболеваний» [80]: «Вся научная работа является неполной, будь то наблюдательные или экспериментальные исследования. Вся научная работа может быть разрушена или изменена путем продвижения знания. [Но] это не дает нам свободы игнорировать уже имеющиеся данные или откладывать действие, которое, по-видимому, требуется в данный момент» [79]¹⁹.

Обнаруженные закономерности следует учитывать в системе ФМБА России в плане психологического и психофизиологического сопровождения U miners, а также, возможно, при пересмотре для них компенсационной политики, хотя соответствующие данные для отечественных U miners и не обнаружены. Исследование может быть важным также для работы Межведомственных экспертных советов по установлению причинной связи между развившимися патологиями и лучевым фактором у персонала предприятий, подведомственных ФМБА России и иным ведомствам [81].

¹⁹ 'All scientific work is incomplete – whether it be observational or experimental. All scientific work is liable to be upset or modified by advancing knowledge. That does not confer upon us a freedom to ignore the knowledge we already have, or to postpone the action that it appears to demand at a given time' [79].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Cousteaux A.-S., Pan Ke Shon J.-L. Is Ill-Being Gendered? Suicide, Risk for Suicide, Depression and Alcohol Dependence. R. Fanc. Sociol. 2010;51;5:3–40. Doi: 10.3917/rfs.515.0003.
2. Landy F., Quick J.C., Kasl S. Work, Stress, and Well-Being. International Journal of Stress Management. 1994;1;1:33–73. Doi: 10.1007/BF01857282.
3. Bedeian A.G. Suicide and Occupation: a Review. Journal of Vocational Behavior. 1982;21;2:206–223. Doi: 10.1016/0001-8791(82)90030-6.
4. Boxer P.A., Burnett C., Swanson N. Suicide and Occupation: a Review of the Literature. J. Occup. Environ. Med. 1995;37;4:442–452. Doi: 10.1097/00043764-199504000-00016.
5. Samuels S.W. A Moral History of the Evolution of a Caste of Workers. Environ. Health Perspect. 1996;104;5:991–998. Doi: 10.1289/ehp.96104s5991.
6. Roberts S.E., Jaremin B., Lloyd K. High-Risk Occupations for Suicide. Psychol. Med. 2013;43;6:1231–1240. Doi: 10.1017/S0033291712002024.
7. Baumert J., Schneider B., Lukaschek K., Emeny R.T., Meisinger C., Erazo N., et al. Adverse Conditions at the Workplace are Associated with Increased Suicide Risk. J. Psychiatr. Res. 2014;57:90–95. Doi: 10.1016/j.jpsychires.2014.06.007.
8. Milner A., Witt K., LaMontagne A.D., Niedhammer I. Psychosocial Job Stressors and Suicidality: a Meta-Analysis and Systematic Review. Occup. Environ. Med. 2018;75;4:245–253. Doi: 10.1136/oemed-2017-104531.
9. Guseva-Canu I., Bovio N., Mediouni Z., Bochud M., Wild P. Swiss National Cohort (SNC). Suicide Mortality Follow-Up of the Swiss National Cohort (1990–2014): Sex-Specific Risk Estimates by Occupational Socio-Economic Group in Working-Age Population. Soc. Psychiatry Psychiatr. Epidemiol. 2019;54;12:1483–1495. Doi: 10.1007/s00127-019-01728-4.
10. Aberg M., Staats E., Robertson J., Schioler L., Toren K., LaMontagne A.D., et al. Psychosocial Job Stressors and Risk of Suicidal Behavior – an Observational Study among Swedish Men. Scand. J. Work Environ. Health. 2022;48;6:435–445. Doi: 10.5271/sjweh.4039.
11. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Вайнсон А.А., Кретов А.С., Паринов О.В., Лебедев А.О., Бушманов А.Ю. Частота суицидов у работников ядерной индустрии – отличия для мужчин и женщин обратны популяционным (синтетическое исследование). Сообщение 1. Постановка проблемы, поиск источников и характеристика выборки исследований // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2026. Т.71. №2. С. 53–65 [Koterov A.N., Ushenkova L.N., Vaynson A.A., Kretov A.S., Parinov O.V., Lebedev A.O., Bushmanov A.Yu. The Frequency of Suicide among Nuclear Industry Workers—Differences for Men and Women are the Opposite of those in the Population (Synthetic Study). Report 1. Statement of the Problem, Search for Sources and Characteristics of the Research Sample. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2026;71;2:53–65 (In Russ.)]. Doi: 10.33266/1024-6177-2026-71-2-53-65.
12. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Вайнсон А.А., Кретов А.С., Паринов О.В., Лебедев А.О., Бушманов А.Ю. Частота суицидов у работников ядерной индустрии – отличия для мужчин и женщин обратны популяционным (синтетическое исследование). Сообщение 2. Мета-анализы и pooled-анализы // Мед. радиология и радиац. безопасность. 2026. Т.71. №3. С. 66–79. [Koterov A.N., Ushenkova L.N., Wainson A.A., Kretov A.S., Parinov O.V., Lebedev A.O., Bushmanov A.Yu. Suicide Rates among Nuclear Workers: Differences for Male and Female are Inverse to Population-Based Results (Synthetic Study). Report 2. Meta-Analyses and Pooled-Analyses. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2026;71;3:66–79 (In Russ.)]. Doi: 10.33266/1024-6177-2026-71-3-66-79.
13. Boice J.D. Jr, Cohen S.S., Mumma M.T., Chadda B., Blot W.J. A Cohort Study of Uranium Millers and Miners of Grants, New Mexico, 1979–2005. J. Radiol. Prot. 2008;28;3:303–325. Doi: 10.1088/0952-4746/28/3/002.
14. OCRC-2015. The Occupational Cancer Research Centre, Cancer Care Ontario. Ontario Uranium Miners Cohort Study Report. Prepared for: The Canadian Nuclear Safety Commission. Toronto, Occupational Cancer Research Centre, 2015. 137 p. URL: <https://www.occupationalcancer.ca/wp-content/uploads/2023/01/RSP-0308.pdf> (Date of access 15.12.2025).
15. Kreuzer M., Schnelzer M., Tschense A., Walsh L., Grosche B. Cohort Profile: the German Uranium Miners Cohort Study (WISMUT Cohort), 1946–2003. Int. J. Epidemiol. 2010;39;4:980–987. Doi: 10.1093/ije/dyp216.
16. Glass D.C., Gwini S.M., Del Monaco A., Fritschi L., Abramson M.J., Sim M.R., Walker-Bone K. Mortality and Cancer Incidence among Queensland Coal Mine Workers: a Retrospective Cohort. Occup. Environ. Med. 2025;82;3:120–127. Doi: 10.1136/oemed-2024-109549.

17. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Буланова Т.М., Богданенко Н.А. Отраслевые библиографические базы данных: перспективы использования в ФМБА России для научной экспертизы при принятии решений. Сообщение 2. База данных по медико-биологическим и иным эффектам у шахтеров урановых рудников // Мед. радиология и радиац. безопасность. 2025. Т.70. №4. С. 66–77 [Koterov A.N., Ushenkova L.N., Bulanova T.M., Bogdanenko N.A. Industry-Specific Bibliographic Databases: Prospects for Use at the Federal Medical and Biological Agency of Russia for Scientific Expertise in Decision-Making. Report 2. Database on Biomedical and Other Effects in Uranium Miners. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70;4:66–77 (In Russ.)]. Doi: 10.33266/1024-6177-2025-70-4-66-77.
18. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Буланова Т.М., Богданенко Н.А. Отраслевые библиографические базы данных: перспективы использования в ФМБА РОССИИ для научной экспертизы при принятии решений. Сообщение 1. Общие вопросы и база данных по медико-биологическим и иным эффектам у работников ядерной индустрии // Мед. радиология и радиац. безопасность. 2025. Т.70. №2. С. 88–106 [Koterov A.N., Ushenkova L.N., Bulanova T.M., Bogdanenko N.A. Industry Bibliographic Databases: Prospects for Use in the Federal Medical and Biological Agency of Russia for Scientific Expertise in Decision-Making. Report 1. General Issues and a Database on Medical, Biological and other Effects in Workers in the Nuclear Industry. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70;2:88–106 (In Russ.)]. Doi: 10.33266/1024-6177-2025-70-2-88-106.
19. Veiga L.H.S., Amaral E.C.S., Colin D., Koifman S. A Retrospective Mortality Study of Workers Exposed to Radon in a Brazilian Underground Coal Mine. *Radiat. Environ. Biophys.* 2006;45;2:125–134. Doi: 10.1007/s00411-006-0046-3.
20. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Дибиргаджиев И.Г., Буланова Т.М. Сравнение риска общей смертности для работников ядерной индустрии, шахтеров урановых рудников и других профессий с риском пассивного курения (мета-анализы) // Мед. радиология и радиац. безопасность. 2024. Т.69. №5. С. 75–86. [Koterov A.N., Ushenkova L.N., Dibirgadzhev I.G., Bulanova T.M. Comparison of All-Cause Mortality Risk for Nuclear Workers, Uranium Miners, and Other Occupations with Exposure to Secondhand Smoke (Meta-Analyses). *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2024;69;5:75–86 (In Russ.)]. Doi: 10.33266/1024-6177-2024-69-5-75-86.
21. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Вайнсон А.А., Усупжанова Д.Ю., Бушманов А.Ю. «Эффект здорового работника» у сотрудников медико-биологических и химических лабораторий: сравнение с эффектами у работников ядерной индустрии, у иных профессиональных контингентов (мета-анализы), и роль радиационного фактора // Мед. радиология и радиац. безопасность. 2025. Т.70. №3. С. 70–82 [Koterov A.N., Ushenkova L.N., Wainson A.A., Usupzhanova D.Yu., Bushmanov A.Yu. The «Healthy Worker Effect» in Employees of Biomedical and Chemical Laboratories: Comparison with the Effects in Workers in the Nuclear Industry, in Other Professional Groups (Meta-Analyses), and the Role of the Radiation Factor. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70;3:70–82. (In Russ.)]. Doi: 10.33266/1024-6177-2025-70-3-70-82.
22. Alif S.M., Sim M.R., Ho C., Glass D.C. Cancer and Mortality in Coal Mine Workers: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Occup. Environ. Med.* 2022;79;5:347–357. Doi: 10.1136/oemed-2021-107498. URL: https://www.researchgate.net/profile/Sheikh-Alif-2/publication/356840918_oemed-2021-107498-inline-supplementary-material-pdf/data/61aff25f1a5f480388c0ac89/oemed-2021-107498-inline-supplementary-material.pdf?origin=publication_list (Date of access 09.01.2025).
23. Higgins J.P., Thompson S.G., Deeks J.J., Altman D.G. Measuring Inconsistency in Meta-Analyses. *Brit. Med. J.* 2003;327;7414:557–560. Doi: 10.1136/bmj.327.7414.557.
24. Blettner M., Sauerbrei W., Schlehofer B., Scheuchenpflug T., Friedenreich C. Traditional Reviews, Meta-Analyses and Pooled Analyses in Epidemiology. *Int. J. Epidemiol.* 1999;28;1:1–9. Doi: 10.1093/ije/28.1.1.
25. Омельяновский В.В., Авксентьева М.В., Сура М.В., Хачатрян Г.Р., Федяева В.К. Методические рекомендации по проведению мета-анализа. М.: Центр экспертизы и контроля качества медицинской помощи Минздрава России, 2017. 28 с. [Omel'yanovskiy V.V., Avksent'yeva M.V., Sura M.V., Khachatryan G.R., Fedyaeva V.K. *Metodicheskiye Rekomendatsii po Provedeniyu Meta-Analiza Guidelines for Conducting a Meta-Analysis* = Methodological Recommendations for Conducting Meta-Analysis. Moscow, Tsentr Ekspertizy i Kontrolya Kachestva Meditsinskoy Pomoshchi Minzdrava Rossii Publ., 2017. 28 p. (In Russ.)].
26. Egger M., Davey Smith G., Schneider M., Minder C. Bias in Meta-Analysis Detected by a Simple, Graphical Test. *Brit. Med. J.* 1997;315;7109:629–634. Doi: 10.1136/bmj.315.7109.629.
27. Sterne J.A.C., Egger M. Funnel Plots for Detecting Bias in Meta-Analysis: Guidelines on Choice of Axis. *J. Clin. Epidemiol.* 2001;54;10:1046–1155. Doi: 10.1016/S0895-4356(01)00377-8.
28. Кокунин В.А. Статистическая обработка данных при малом числе опытов // Украинский биохимический журнал. 1975. Т.47. №6. С. 776–790 [Kokunin V.A. Statistical Processing of Data with a Small Number of Experiments. *Ukrainskiy Biokhimicheskiy Zhurnal* = Ukrainian Journal of Biochemistry. 1975;47;6:776–91 (In Russ.)].
29. Moher D., Liberati A., Tetzlaff J., Altman D.G. (PRISMA Group). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: the PRISMA Statement. *PLoS Med.* 2009;6;7:Art.1000097. 6 p. With 'PRISMA 2009 Checklist' and 'PRISMA 2009 Flow Diagram'. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>; https://legacyfiles.elsevier.com/promis_misc/PRISMA-2009-Checklist1.pdf; https://legacyfiles.elsevier.com/promis_misc/prisma-2009-flow-diagram.pdf (Date of access 17.12.2025).
30. Суворов А.Ю., Латушкина И.В., Гуляева К.А., Буланов Н.М., Надинская М.Ю., Заикин А.А. Базовые аспекты мета-анализа. Часть 1 // Сеченовский вестник. 2023. Т.14. №1. С. 4–14 [Suvorov A.Yu., Latushkina I.V., Gulyayeva K.A., Bulanov N.M., Nadin'skaya M.Yu., Zaikin A.A. Basic Aspects of Meta-Analysis. Part 1. *Sechenovskiy Vestnik* = Sechenov Medical Journal. 2023;14;1:4–14 (In Russ.)]. Doi: 10.47093/2218-7332.2023.14.1.4-14.
31. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions, 2nd Edition'. Ed. J.P.T. Higgins, T. James, J. Chandler, et al. Cochrane, Wiley Blackwell, 2019. 694 p. Doi: 10.1002/9781119536604 (Date of access 12.15.2025).
32. Boice J.D., Jr. Lauriston S. Taylor Lecture: Radiation Epidemiology – the Golden Age and Future Challenges. *Health Phys.* 2011;100;1:59–76. Doi: 10.1097/HP.0b013e3181f9797d.
33. Kudo S., Ishida J., Yoshimoto K., Mizuno S., Ohshima S., Furuta H., Kasagi F. Direct Adjustment for Confounding by Smoking Reduces Radiation-Related Cancer Risk Estimates of Mortality among Male Nuclear Workers in Japan, 1999–2010. *J. Radiol. Prot.* 2018;38;1:357–371. Doi: 10.1088/1361-6498/aa65c.
34. Chen D.-G. (Din), Peace K.E. Applied Meta-Analysis with R. A Chapman & Hall Book. Boca Raton, London, New York, CRC Press. Taylor & Francis Group, 2013. 336 p.
35. Bravata D.M., Olkin I. Simple Pooling Versus Combining in Meta-Analysis. *Eval. Health Prof.* 2001;24;2:218–230. Doi: 10.1177/01632780122034885.
36. Smith S.J., Steinberg K.K., Thacker S.B. Methods for Pooled Analyses of Epidemiologic Studies. *Epidemiology.* 1994;5;3:381–383. Doi: 10.1097/00001648-199405000-00024.
37. Sziro A., Hazlehurst M., Karr C., Kaufman J., LeWinn K., Loftus C., et al. Meta-Analysis vs Pooling: Tradeoffs in Precision, Confounder Control, Mixtures, and Nonlinear Dose-Response. Abstracts of the 2019 Annual Conference of the International Society for Environmental Epidemiology', August 25–28 2019. Utrecht, the Netherlands. *Environmental Epidemiology* 2019;3;1:389. Doi: 10.1097/01.EE9.0000610336.09715.b9.
38. Friedenreich C.M. Methods for Pooled Analyses of Epidemiologic Studies. *Epidemiology.* 1993;4;4:295–302. Doi: 10.1097/00001648-199307000-00004.
39. Olsen J. Meta-Analyses or Collaborative Studies. *J. Occup. Environ. Med.* 1995;37;8:897–902. Doi: 10.1097/00043764-199508000-00002.
40. Altman D.G., Deeks J.J. Meta-Analysis, Simpson's Paradox, and the Number Needed to Treat. *BMC Med. Res. Methodol.* 2002;2:Art.3. 5 p. Doi: 10.1186/1471-2288-2-3.
41. Lievre M., Cucherat M., Leizorovicz A. Pooling, Meta-Analysis, and the Evaluation of drug Safety. *Curr. Control Trials Cardiovasc. Med.* 2002;3;1:Art.6.4. Doi: 10.1186/1468-6708-3-6.
42. Cardis E., Gilbert E.S., Carpenter L., G. Howe, Kato I., Armstrong B.K., et al. Effects of Low Doses and Low Dose Rates of External Ionizing Radiation: Cancer Mortality among Nuclear Industry Workers in Three Countries. *Radiat. Res.* 1995;142;2:117–132. Doi: 10.2307/3579020.
43. Richardson D.B., Leuraud K., Laurier D., Gillies M., Haylock R., Kelly-Reif K., et al. Cancer Mortality after Low Dose Exposure to Ionising Radiation in Workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS): Cohort Study. *Brit. Med. J.* 2023;382:Art. e074520.12. Doi: 10.1136/bmj-2022-074520.
44. Cardis E., Vrijheid M., Blettner M., Gilbert E., Hakama M., Hill C., et al. Risk of Cancer after Low Doses of Ionising Radiation: Retrospective Cohort Study in 15 Countries. *Brit. Med. J.* 2005;331;7508:77–80. Doi: 10.1136/bmj.38499.599861.E0.
45. Richardson D.B., Rage E., Demers P.A., Do M.T., DeBono N., Fenske N., et al. Mortality among Uranium Miners in North America and Europe: the Pooled Uranium Miners Analysis (PUMA). *Int. J. Epidemiol.* 2021;50;2:633–643. Doi: 10.1093/ije/dyaa195.
46. Berrington de Gonzalez A., Bouville A., Rajaraman P., Schubauer-Berigan M. Ionizing Radiation. Schottenfeld and Fraumeni Cancer Epidemiology and Prevention. 4th Edition. Ed. M.J. Thun, M.S. Linet, J.R. Cerhan, C. Haiman, D. Schottenfeld. New York, Oxford University Press. Printed by Sheridan Books, Inc. 2018. P. 227–248.

47. Wakeford R. Nuclear Worker Studies: Promise and Pitfalls. *Br. J. Cancer*. 2014;110:1:1–3. Doi: 10.1038/bjc.2013.713.
48. Zeeb H., Merzenich H., Wicke H., Blettner M. Radiation Epidemiology. Handbook of Epidemiology. 2nd Edition. Ed. W. Ahrens, I. Pigot. New York, Heidelberg, Dordrecht. London, Springer, 2014. P. 2003–2037.
49. Kelly-Reif K., Sandler D.P., Shore D., Schubauer-Berigan M.K., Troester M.A., Nylander-French L., Richardson D.B. Radon and Cancer Mortality among Underground Uranium Miners in the Pribram Region of the Czech Republic. *Am. J. Ind. Med.* 2020;63:10:859–867. Doi: 10.1002/ajim.23167.
50. ICRP Publication. Supporting Guidance 5. Analysis of the Criteria Used by the International Commission on Radiological Protection to Justify the Setting of Numerical Protection Level Values. Ed. by J. Valentin. Ann. ICRP, 2006. V.36, No.4. 85 p.
51. Kreuzer M., Grosche B., Dufey F., Schnelzer M., Tschense A., Walsh L. The German Uranium Miners Cohort Study (Wismut cohort), 1946–2003. Bundesamt für Strahlenschutz. Technical Report. Oberschleissheim, 2011. 50 p.
52. Eichstaedt P.H. If You Poison Us – Uranium and Native AMERICANS. Santa Fe, Red Crane Books, 1994. 272 p.
53. Chen J., Harley N.H. A Review of Radon Equilibrium Factors in Underground Mines, Caves, and Thermal Spas. *Health Phys.* 2020;119:3:342–350. Doi: 10.1097/HP.0000000000001214.
54. Tabachnick N., Litman R.E., Osman M., Jones W.L., Cohn J., Kasper A., Moffat J. Comparative Psychiatric Study of Accidental and Suicidal Death. *Arch. Gen. Psychiatry*. 1966;14:1:60–68. Doi: 10.1001/archpsyc.1966.01730070062008.
55. Stammeler L., Uhl A., Mayer B., Keller F. Renal Effects and Carcinogenicity of Occupational Exposure to Uranium: a Meta-Analysis. *Nephron Extra*. 2016;6:1:1–11. Doi: 10.1159/000442827.
56. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Дибиргаджиев И.Г., Калинина М.В. Смертность от всех причин и от всех раков для работников ядерной индустрии и шахтеров урановых рудников сравнительно с наиболее вредными/опасными профессиями (синтетическое исследование) // Здоровье и окружающая среда / Под ред. С.И. Сычик и др. Гомель: Гомельская правда, 2024. С. 59–69. [Koterov A.N., Ushenkova L.N., Dibirgadzhiyev I.G., Kalinina M.V. Mortality from all Causes and from All Cancers for Workers in the Nuclear Industry and Uranium Miners Compared with the Most Harmful/Dangerous Professions (Synthetic Study). *Zdorov'ye i Okruzhayushchaya Sreda* = Health and Environment. Ed. S.I. Sychik, et al. Gomel, Gomel'skaya Pravda Publ., 2004. P. 59–69. (In Russ.)].
57. Tsai S.P., Hardy R.J., Wen C.P. The Standardized Mortality Ratio and Life Expectancy. *Am. J. Epidemiol.* 1992;135:7:824–831. Doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a116369.
58. Marazziti D., Baroni S., Catena-Dell'Osso M., Schiavi E., Ceresoli D., Conversano C., et al. Cognitive, Psychological and Psychiatric Effects of Ionizing Radiation Exposure. *Curr. Med. Chem.* 2012;19:12:1864–1869. Doi: 10.2174/092986712800099776.
59. Логановский К.Н., Василенко З.Л. Депрессия и ионизирующее излучение // Проблемы радиационной медицины и радиобиологии. 2013. №18. С. 200–219 [Loganovskiy K.N., Vasilenko Z.L. Depression and Ionizing Radiation. *Problemy Radiatsionnoy Meditsiny i Radiobiologii* = Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2013;18:200–219 (In Russ.)].
60. Taylor B.K., Pulliam H., Smith O.V., Rice D.L., Johnson H.J., Coutant A.T., et al. Effects of Chronic Home Radon Exposure on Cognitive, Behavioral, and Mental Health in Developing Children and Adolescents. *Front. Psychol.* 2024;15:Art.1330469. 9 p. Doi: 10.3389/fpsyg.2024.1330469.
61. Boice J.D. Jr, Cohen S.S., Mumma M.T., Howard S.C., Yoder R.C., Dauer L.T. Mortality among Medical Radiation Workers in the United States, 1965–2016. *Int. J. Radiat. Biol.* 2023;99:2:183–207. Doi: 10.1080/09553002.2021.1967508.
62. Lee W.J., Cha E.S., Bang Y.J., Hsu C.Y., Chang S.S. Suicide Deaths among Diagnostic Medical Radiation Workers in South Korea, 1996–2017. *Occup. Environ. Med.* 2020;77:10:675–680. Doi: 10.1136/oemed-2020-106446.
63. Berrington de Gonzalez A., Ntwe E., Kitahara C.M., Gilbert E., Miller D.L., Kleinerman R.A., Linet M.S. Long-Term Mortality in 43,763 U.S. Radiologists Compared with 64,990 U.S. Psychiatrists. *Radiology*. 2016;281:3:847–857. Doi: 10.1148/radiol.2016152472.
64. Miller R.W., Jablon S. A Search for Late Radiation Effects among Men Who Served as X-Ray Technologists in the U.S. Army during World War II. *Radiology*. 1970;96:2:269–274. Doi: 10.1148/96.2.269.
65. Chen J. Comparative Study of Radon Exposure in Canadian Homes and Uranium Mines – a Discussion on the Importance of National Radon Program. *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2017;177:1–2:83–86. Doi: 10.1093/rpd/ncx132.
66. Chen J. A Review of Radon Exposure in Non-Uranium Mines-Estimation of Potential Radon Exposure in Canadian Mines. *Health Phys.* 2023;124:4:244–256. Doi: 10.1097/HP.0000000000001661.
67. Nunes L.J.R., Curado A., Lopes S.I. The Relationship between Radon and Geology: Sources, Transport and Indoor Accumulation. *Transport and Indoor Accumulation. Appl. Sci.* 2023;13:13:Art.7460. 34 p. Doi: 10.3390/app13137460.
68. Skubacz K., Michalik B., Wysocka M. Occupational Radiation Risk Caused by NORM in Coal Mining Industry. *Radioprotection*. 2011;46:6:S669–S674. Doi: 10.1051/radiopro/20116735s.
69. Monleau M., Bussy C., Lestaevl P., Houpert P., Paquet F., Chazel V. Bioaccumulation and Behavioural Effects of Depleted Uranium in Rats Exposed to Repeated Inhalations. *Neurosci. Lett.* 2005;390:1:31–36. Doi: 10.1016/j.neulet.2005.07.051.
70. Barber D.S., Hancock S.K., McNally A.M., Hinckley J., Binder E., Zimmerman K., et al. Neurological Effects of Acute Uranium Exposure with and without Stress. *Neurotoxicology*. 2007;28:6:1110–11109. Doi: 10.1016/j.neuro.2007.05.014.
71. Gagnaire B., Adam-Guillermin C., Bouron A., Lestaevl P. The Effects of Radionuclides on Animal Behavior. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 2011;210:35–58. Doi: 10.1007/978-1-4419-7615-4_2.
72. Howland J.W. Studies on Human Exposures to Uranium Compounds. *Pharmacology and Toxicology of Uranium*. Ed. C.H. Voegtlin. New York, McGraw-Hill Book Company, 1949. P. 993–1017.
73. Kathren R.L., Moore R.H. Acute Accidental Inhalation of U: a 38-Year Follow-Up. *Health Phys.* 1986;51:5:609–619. Doi: 10.1097/00004032-198611000-00004.
74. Tomasek L., Swerdlow A.J., Darby S.C., Placek V., Kunz E. Mortality in Uranium Miners in west Bohemia: a Long-Term Cohort Study. *Occup. Environ. Med.* 1994;51:5:308–315. Doi: 10.1136/oem.51.5.308.
75. Kreuzer M., Deffner V., Schnelzer M., Fenske N. Mortality in Underground Miners in a Former Uranium ore Mine—Results of a Cohort Study Among Former Employees of Wismut AG in Saxony and Thuringia. *Dtsch. Arztebl. Int.* 2021;118:4:41–48. Doi: 10.3238/arztebl.m2021.0001.
76. Дайкес Н.А., Панкова В.Б., Серебряков П.В., Сааркоппель Л.М., Федина И.Н., Бомштейн Н.Г., Учуров А.Г. Особенности профессиональной заболеваемости работников уранодобывающих производств // Медицина экстремальных ситуаций. 2024. Т.26. №4. С. 66–73 [Daykhes N.A., Pankova V.B., Serebryakov P.V., Saarkoppel' L.M., Fedina I.N., Bomsheteyn N.G., Uchurov A.G. Features of Occupational Morbidity of Uranium Mining Workers. *Medit-sina Ekstremal'nykh Situatsiy* = Extreme Medicine. 2024;26;4:66–73 (In Russ.)]. Doi: 10.47183/mes.2024-26-4-66-73.
77. Figgs L.W., Holsinger H., Freitas S.J., Brion G.M., Hornung R.W., Rice C.H., Tollerud D. Increased Suicide Risk among Workers Following Toxic Metal Exposure at the Paducah Gaseous Diffusion Plant from 1952 to 2003: a Cohort Study. *Int. J. Occup. Environ. Med.* 2011;2:4:199–214. URL: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/193290> (Date of access 12.15.2025).
78. Stare J., Bouch D.M. Odds Ratio, Hazard Ratio and Relative Risk. *Metodoloski Zvezki*. 2016;13:1:59–67. Doi: 10.51936/uwah2960.
79. Hill A.B. The Environment and Disease: Association or Causation? *Proc. R. Soc. Med.* 1965;58:5:295–300. Doi: 10.1177/0141076814562718.
80. Shakir S.A., Layton D. Causal Association in Pharmacovigilance and Pharmacoepidemiology: Thoughts on the Application of the Austin Bradford-Hill Criteria. *Drug Saf.* 2002;25:6:467–471. Doi: 10.2165/00002018-200225060-00012.
81. Галстян И.А., Кретов А.С., Мерзликін Л.А., Власова И.В., Бушманов А.Ю., Удалов Ю.Д. Возможные критерии установления диагноза профессионального рака легкого у работников урановых шахт // Мед. радиология и радиац. безопасность. 2019. Т.64. №1. С. 26–30 [Galstyan I.A., Kretov A.S., Merzlikin L.A., Vlasova I.V., Bushmanov A.Yu., Udalov Yu.D. Possible Criteria for Establishing the Diagnosis of Occupational Lung Cancer in Uranium Mine Workers. *Medit-sinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2019;64;1:26–30 (In Russ.)]. Doi: 10.12737/article_5c55fb303a76b7.90880128.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила. 20.04.2026. Принята к публикации: 25.05.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.04.2026. Accepted for publication: 25.05.2026.