2. **Прядкин, В. В.** Охрана труда в нефтегазовой промышленности / В. В. Прядкин. – Текст: непосредственный // Аллея науки. – 2022. – Т. 2, № 6(69). – С. 13-17.

3. **Громовская, Е. А.** Охрана труда на предприятиях нефтегазовой отрасли / Е. А. Громовская. – Текст: непосредственный // Вестник магистратуры. – 2022. – № 12 – 5 (135). – С. 4-6.

4. **Безопасное ведение газоопасных, огневых и ремонтных работ**: методические указания для слушателей программы повышения квалификации «Техника работы с газоанализаторами» / составитель Н. И. Рыбко. – Тобольск: Филиал ТИУ в г. Тобольске, Профессиональный учебный центр, 2018. – 34 с. – Текст: непосредственный.

5. **Охрана труда в 2025 году**: новые требования, штрафы и практические рекомендации. – Текст: электронный // МосТруд Эксперт: [сайт]. – URL: https://www.mostrudexpert.ru/infocentr/ohrana-truda-v-2025-godu-novye-trebovaniya-shtrafy-i-prakticheskie-rekomendatsii (дата обращения: 26.10.2025).

6. **Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ** «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». – Текст: электронный // КонсультантПлюс: [сайт]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/(дата обращения: 26.10.2025).

7. **Leveson, N. G.** Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety / N. G. Leveson. – Cambridge, MA: MIT Press, 2011. – 560 p. – Текст: непосредственный.

УДК 613.63

Рогова Татьяна Станиславовна,
магистрант кафедры «Экология и безопасность деятельности человека»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: 14taty@mail.ru
Краснова Анжела Рашитовна,
к.б.н., доцент кафедры «Экология и безопасность деятельности человека»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: ust-ukir@bk.ru

УГОЛЬНЫЙ ДЫМ И УГОЛЬНАЯ ПЫЛЬ КАК ФАКТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РИСК РАЗВИТИЯ РАКА

Rogova T.S., Krasnova A.R.

COAL SMOKE AND COAL DUST AS ENVIRONMENTAL POLLUTION FACTORS AFFECTING THE RISK OF CANCER DEVELOPMENT

Аннотация. *В статье представлен обзор экспериментальных и эпидемиологических исследований, посвящённых влиянию угольного дыма и угольной пыли на риск развития рака, в первую очередь, лёгких.*

Ключевые слова: *уголь, рак лёгких, угольный дым, канцерогенез, эпидемиология, загрязнение воздуха.*

Abstract. *The article presents a review of experimental and epidemiological studies on the effect of coal smoke and coal dust on the risk of developing cancer, primarily lung cancer.*

Keywords: *coal, lung cancer, coal smoke, carcinogenesis, epidemiology, air pollution.*

Уголь – одно из тех открытий, что когда-то изменило ход истории. Он дарит тепло, движение и свет, став символом промышленного прогресса и человеческой изобретательности. Но вместе с энергией уголь принёс и другую, скрытую сторону – дым, насыщенный токсичными соединениями, который отравляет воздух. В этом дыме заключены сотни веществ, способных разрушать клетки и изменять их генетическую структуру. Исследования показывают, что длительное воздействие угольного дыма связано с ростом случаев рака, прежде всего лёгких. Особенно показателен пример китайского городского уезда Сюаньвэя, где использование «дымного» угля в домах привело к всплеску онкологических заболеваний даже среди некурящих [1-3]. Место исследования было выбрано неслучайно, это сельский регион Китая, где жители обычно сжигают уголь для приготовления пищи и отопления помещений.

Исследование проводили на мышах линии CBA весом 21 грамм, в эксперименте

участвовали I групп из 113 – 160 самцов и II группа 50 – 58 самок. Экспериментальные животные подвергались воздействию загрязненного воздуха внутри помещений в течение 15 месяцев. В условиях эксперимента при естественной вентиляции помещения был организован очаг сжигания, где битуминозный уголь сжигался не полностью, чтобы имитировать состав воздуха внутри помещений, при котором происходит воздействие на человека. Контрольная группа мышей содержалась в условиях отсутствия воздействия «дымного» угля. Загрязняющие вещества контролировались несколько раз в день и включали: TSP (сумма взвешенных частиц и аэрозоль с размером менее 100 мкм) (0,91 мг/м^3 для группы контроля и 14,38 мг/м^3 экспериментальной группы); пары серной кислоты и оксид углерода. Концентрации бенз(а)пирена составили: контрольная группа - 1,47 мкг/м^3; угольный дым - 506,44 мкг/м^3. Общая заболеваемость раком легких составила 17 % из 171 мыши в контрольной группе (только аденокарциномы) и 89,5 % из 210 мышей в группе, подвергшейся воздействию угольного дыма. Группа под воздействием угольного дыма также имела самую высокую заболеваемость всеми тремя типами рака лёгких, выявленными, включая плоскоклеточный рак (11,4 %), аденоплоскоклеточный рак (21,4 %) и аденокарциномы (56,6 %). Общая заболеваемость опухолями лёгких (включая аденомы) в группе, подвергшейся воздействию угольного дыма, составила 196/210 (93,3 %) (Liang et al., 1988) [4].

Риск рака лёгких, связанный с бытовым использованием угля, подтверждается и данными наблюдения с 1976 по 1996 гг. в округе Xuanwei County провинция Юньнань, Китай (37 272 человека), где сравнивали смертность от рака лёгких среди тех, кто всю жизнь вдыхал «дымный» (битуминозный) уголь и тех, кто вдыхал «бездымный» (антрацит) уголь. Смертность от рака лёгких была существенно выше среди потребителей «дымного» угля, чем среди потребителей «бездымного» угля. Абсолютный риск смерти от рака лёгких до 70 лет для мужчин и женщин, вдыхавшие «дымный уголь», составил 18 % и 20 % соответственно, по сравнению с менее чем 0,5 % среди тех, кто вдыхал «бездымный уголь», обоих полов. Только рак легких составлял около 40 % всех случаев смерти до 60 лет среди лиц, использующих дымный уголь. Как итог, использование «дымного угля» в быту связано со значительным увеличением абсолютного риска развития рака лёгких в течение жизни и, вероятно, представляет собой один из наиболее сильных факторов загрязнения окружающей среды, влияющих на риск развития рака. Использование менее канцерогенных видов угля может привести к значительному снижению риска развития рака лёгких [5]. Уникальным результатом исследования стал факт того, что у женщин, которые никогда не курили, в г. Сюаньвэе (Китай), один из самых высоких показателей заболеваемости раком лёгких в стране [5].

Также в условиях исследования были рассчитаны и сравнены показатели смертности, скорректированные по возрасту и причинам, за период с 1976 по 2011гг. среди 42 420 мужчин и женщин. Смертность среди потребителей «дымного» угля была обусловлена раком (41 %), причем на рак легких приходилось 88 % случаев смерти от рака. Напротив, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) составляли 32 % случаев смерти среди потребителей «бездымного» угля, с 7 % смертей от рака. Общая смертность от рака была в четыре раза выше среди потребителей «дымного» угля по сравнению с потребителями «бездымного» угля, особенно для рака легких (стандартизированное отношение показателей (SRR (это отношение показателей, в котором числитель и знаменатель стандартизированы (взвешены) к одному (стандартному) распределению населения)) = 17,6). У потребителей «бездымного» угля были более высокие показатели смертности от сердечно-сосудистых заболеваний (SRR = 2,9) и пневмонии (SRR = 2,5) по сравнению с потребителями «дымного» угля. Эти тенденции были схожи у мужчин и женщин, хотя женщины редко курили сигареты. У женщин, независимо от типа используемого угля, был более чем в три раза более высокий уровень общей смертности по сравнению с женщинами в Шанхае. Эти наблюдения свидетельствуют о том, что полный отказ от использования угля для приготовления пищи и отопления помещений является важным шагом на пути к улучшению общественного здоровья [1].

Хотя риск развития рака лёгких связывают с использованием битуминозного угля в быту, ни одно исследование не проводило комплексной оценки риска развития рака лёгких, связанного с добычей этого угля в г. Сюаньвэе. В г. Сюаньвэе уголь обычно до-

бывают подземным способом, без вентиляции, и транспортируют на поверхность с помощью тележек, приводимых в движение рабочей силой или электричеством. У работающих шахтеров наблюдался повышенный уровень риска развития рака легких по сравнению с лицами, не занимающимися добычей угля. Исследования проводили с учетом профессионального анамнеза – сведений о трудовой деятельности и условий труда. Кроме того, была выявлена зависимость между риском рака лёгких и стажем работы шахтером (Р(тренд) = 0,02), при этом у тех, кто проработал шахтером более 10 лет, риск был почти в четыре раза выше по сравнению с лицами, не занимающимися добычей угля. Полученные данные свидетельствуют о том, что добыча угля в г. Сюаньвэе может быть фактором риска развития рака лёгких [6].

Для подтверждения комплексной оценки риска развития рака легких взяты данные интрахеальной модели, где исследовалась угольная пыль при добыче угля в Рурской области Германии. Исследовали пять видов пыли, которую вводили самкам крыс путём интратрахеального введения суспензии 6 мг пыли 10 или 20 раз в неделю. Содержание SiO_2 в двух видах пыли из измельченного угля не определялось (среднее значение <0,1 %), а содержание золы было низким (5 и 6 %). Другие виды пыли, содержащие уголь, содержали больше SiO_2 (1,3 %, 9 %, 16,7 %) и больше золы (~40 %, ~60 %, 86 %). Медианные метрические диаметры составляли от 1,8 до 4,0 нм, а плотность — от 1,4 (измельченный уголь) до 2,4 г/мл (каменная пыль). После обработки меньшей дозой злокачественные и/или доброкачественные опухоли лёгких были обнаружены у 57–72 % животных, за исключением 34 % животных, которым вводили каменную пыль с 86 % золы и 16,7 % кварца. Результаты показывают, что относительно крупнодисперсная угольная пыль с содержанием в лёгких около 40 мг вызывала неожиданно высокую частоту опухолей лёгких при использовании чувствительной интратрахеальной модели. Учитывая более ранние результаты [3], объём низкотоксичной пыли, по-видимому, важнее для ответа опухоли, чем размер частиц. Различное содержание кварца в исследованных образцах угольной пыли не оказало заметного влияния на канцерогенность [3].

Эти исследования суммарно показывают убедительную и многослойную картину: бытовое и профессиональное использование угля (особенно низкого качества, с высоким содержанием канцерогенов) — значимый фактор риска развития рака лёгкого.

В России также проводятся исследования в данной области, показывающие характер взаимосвязи между добычей угля, загрязнениями атмосферы и прогноз заболеваемости раком легкого при увеличении добычи угля на примере Кемеровской области [9]. Результаты исследования показали, что, принимая расчетные (ожидаемое) количество выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу (Хзв=2620,7 тыс. т) при добыче угля 260 млн т, было рассчитано ожидаемое количество показателей заболеваемости раком легкого (УРЛ =59,6 на 100000 населения). Следовательно, прирост показателей заболеваемости раком легкого (40,2 на 100000 нас.) вследствие фактического увеличения количества выбросов ЗВ в окружающую среду составит 48,3 %. Если в будущем сохранятся существующие в настоящее время зависимости показателей заболеваемости рака легкого от количества вредных выбросов в атмосферу, а эти количества выбросов ЗВ – от объемов добычи угля, то число заболевших может увеличиться на 500 человек в год. Но учитывая то, что канцерогенные факторы воздуха являются неблагоприятными в развитии других онкологических заболеваний, человеческих потерь может быть и больше [9].

Таким образом, когда-то уголь стал топливом прогресса – теперь он всё чаще становится топливом болезней. Его дым, некогда символ силы и индустриального роста, оказался источником тихой, накопительной угрозы. На клеточном уровне он оставляет след – микроскопические повреждения, что со временем превращаются в опухоли. Исследования на людях и животных убедительно показывают: воздействие угольного дыма вызывает цепочку биохимических изменений, ведущих к раку. От эпидемии рака лёгкого в китайском Сюаньвэе до лабораторных опытов на крысах и мышах – закономерность одна: длительное вдыхание продуктов сгорания угля разрушает здоровье и повышает риск злокачественных новообразований.

Сегодня наука больше не задаётся вопросом, есть ли связь между угольным дымом и онкологией. Вопрос звучит иначе: как быстро человечество сможет отказаться от этого источника яда. Пока уголь продолжает

гореть – пусть ради тепла, света или выгоды – дым от него остаётся невидимым предвестником болезни. Осознание этой истины – первый шаг к тому, чтобы сделать воздух снова источником жизни, а не причиной смерти.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.**Теджа Нагарадона.** Общие и специфические показатели смертности среди мужчин и женщин, подверженных высокому уровню загрязнения воздуха внутри помещений в результате использования дымного и бездымного угля: когортное исследование в Сюаньвэе, Китай/ Теджа Нагарадо-на, Брайан А. Бэссиг, Дин Хосгуд, Роэл СН Вермюлен, Бофу Нин, Вэй Цзе Соу, Вэй Ху, Лютцен Портенген 3 , Джейсон Вонг, Сяо-Оу Шу, Вэй Чжэн, Натан Ап-пель, Ю-Тан Гао, Цю-Инь Цай, Гун Ян, Инь Чен, Джордж Даунвард, Цзихуа Ли, Кайюнь Ян, Лорен Маккалоу, Дебра Силь-веман, Юньчао Хуан, Цин Лань. – DOI 10.1136/bmjopen-2021-058714 – Текст: электронный // URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9667990/ (дата обращения: 15.09.2025г.)

2.**Уайли Д.** Риски развития рака у населения, связанные с добычей угля: систематический обзор/ Уайли Д., Дженкинс, У. Джей Кристиан, Джорджия Мюллер, К. Томас Роббинс. – DOI10.1371/journal.pone.0071312 – Текст: электронный// URL: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371%2Fjournal.pone.0071312&utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 15.09.2025г.)

3. **Риттингхаузен С.** Опухоли лёгких у крыс после многократного интратрахеального введения угольной пыли/ Риттингхаузен С., Потт, Ф., Роллер, М., Альтофф, Г.-Х., Эрнст, Х., Мору. 2000г. Конференция. Международный симпозиум по ингаляциям 1999г. – Текст: электронный// URL: https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/406a85ca-131b-4934-b1a0-be3be8b2190a (дата обращения 13.09.2025г.)

4. **Liang CK**. Естественное вдыхание угольного и древесного дыма вызывает рак лёгких у мышей и крыс. Biomed Environ Sci, 1:42–50. PMID:3268107 - Текст: Электронный// URL: file:///C:/Users/User/Downloads/mono95-6%20(1).pdf стр. 230-231 (дата обращения 27.10.2025г.)

5. **Франческо Бароне-Адези.** Риск рака лёгких, связанным с бытовым использованием угля в Сюаньвэе, Китай: ретроспективное когортное исследование./ Франческо Бароне-Адези, Роберт С. Чепмен , Дебра Т. Сильверман , Синчжоу Хэ , Вэй Ху , Роэль Вермёлен , Бофу Нин , Джозеф Ф. Фраумени-младший , Натаниэль Ротман , Цин Лан/ 2012год. DOI: 10.1136/bmj.e5414 – Текст: Электронный// URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22936785/?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 15.09.2025г.)

6. **Линлин Ли**. Связьмежду угольной пылью и риском смертности от рака лёгких: метаанализ/ Линлин Ли, Мин Цзян, Сюэлян Ли, Баосен Чжоу/ 2021г. DOI: 10.1155/2021/6624799 – Текст: электронный// URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33763477/?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 15.09.2025г)

7. **Антон Барчук.** Рак в мире: заболеваемость и смертность от рака в Российской Федерации/ Антон Барчук, доктор медицинских наук; Юлия Раскина, к.б.н; Рустам Тунсун-Заде; Хоуп Крейг, магистр здравоохранения; Чандракант Аре, MBBS, MBA, FSSO, FACS; Вадим Гущин, доктор медицинских наук, FACS, ФССО/ 2022г. Текст: электронный//URL: https://ascopost.com/issues/february-10-2022/cancer-on-the-global-stage-incidence-and-cancer-related-mortality-in-the-russian-federation/?utm_source=chatgpt.com(дата об-ращения: 15.09.2025г.)

8. **Каприн А.Д**. Злокачественные новообразования в России 2021 году /А.Д. Каприн, В.В. Старинский, А. О. Шахзадова. МНИОИ им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрав России. 252 стр. 2022г. стр. 4, стр. 11-12, стр. 80-81, стр. 131, стр. 135-136. Текст: электронный// URL: https://oncology-association.ru/wp-content/uploads/2022/11/zlokachestvennye-novoobrazovaniya-v-rossii-v-2021-g_zabolevaemost-i-smertnost.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 15.09.2025г.).

9. **Мун С.А., Ларин С.А., Глушков А.Н.** Влияние роста добычи угля на загрязнения атмосферы и заболеваемость раком легкого в Кемеровской области. // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. Текст: электронный//URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=8406 (дата обращения: 25.11.2025г.).