

Какие источники энергии самые безопасные и чистые?

Материал подготовлен Азатаевой К.Б.

Все источники энергии имеют негативные последствия, но они сильно различаются по размеру: как мы увидим, ископаемое топливо является самым грязным и опасным, в то время как ядерная и современные **возобновляемые источники энергии (ВИЭ)** намного безопаснее и чище. С точки зрения как здоровья человека, так и изменения климата, менее важно, перейдем ли мы на ядерную энергию или возобновляемую, и более важно, чтобы мы перестали полагаться на ископаемое топливо.

Энергия имела решающее значение для человеческого прогресса на протяжении последних нескольких столетий. Как справедливо говорит Организация Объединенных Наций: «энергия играет центральную роль почти в каждой крупной проблеме и возможности, с которыми мир сталкивается сегодня».

Но хотя энергия приносит нам огромные выгоды, она не лишена недостатков. Производство энергии может иметь негативные последствия для здоровья человека и окружающей среды тремя способами.

Первая — **загрязнение воздуха**: миллионы людей умирают преждевременно каждый год из-за загрязнения воздуха. Ископаемое топливо и сжигание биомассы — древесины, навоза и древесного угля — являются причиной большинства этих смертей.

Второе — это **аварии**. Сюда входят аварии при добыче и извлечении топлива — угля, урана, редких металлов, нефти и газа. Сюда также входят аварии при транспортировке сырья и инфраструктуры, строительстве электростанции или ее обслуживании.

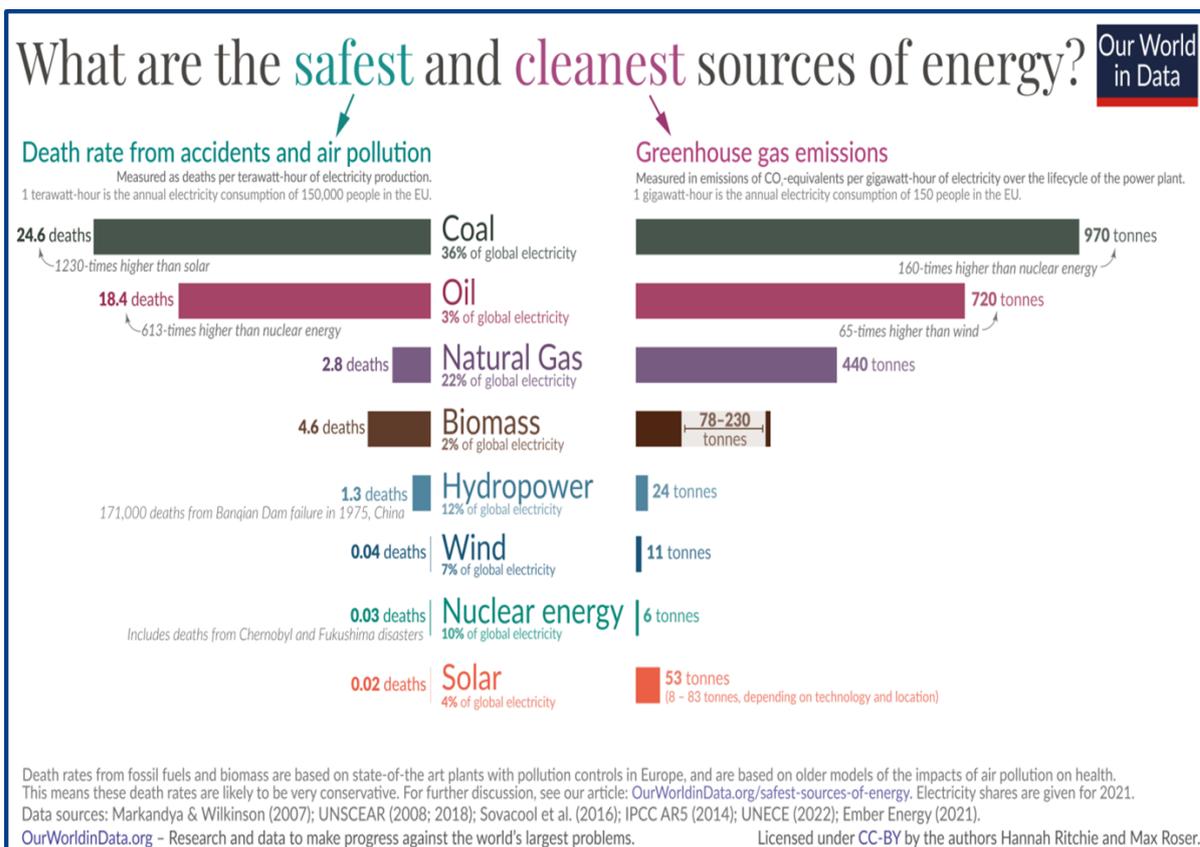
Третий — **выбросы парниковых газов**: ископаемое топливо является основным источником парниковых газов, основным фактором изменения климата. В 2020 году 91% мировых выбросов CO₂ приходилось на ископаемое топливо и промышленность.¹

Ни один источник энергии не является полностью безопасным. Все они оказывают **краткосрочное** воздействие на здоровье человека, либо через загрязнение воздуха, либо через аварии, и все они оказывают **долгосрочное** воздействие, способствуя изменению климата.

Но их вклад в каждый из них сильно отличается. Ископаемое топливо является одновременно самым грязным и самым опасным в краткосрочной перспективе и выделяет больше всего парниковых газов на единицу энергии. Это означает, что, к счастью, здесь нет компромиссов: **низкоуглеродные источники энергии** (энергия ветра, солнца, гидро- и атомной энергии) также являются самыми безопасными. С точки зрения как здоровья человека, так и изменения климата, менее важно, перейдем ли мы на ядерную энергетику *или* возобновляемую энергию, и более важно, чтобы мы перестали полагаться на ископаемое топливо.

Уровень смертности от несчастных случаев и загрязнения воздуха

Выбросы парниковых газов



Ядерная энергетика и возобновляемые источники энергии намного безопаснее ископаемого топлива

Прежде чем рассматривать долгосрочные последствия изменения климата, давайте рассмотрим, как каждый источник влияет на здоровье в краткосрочной перспективе.

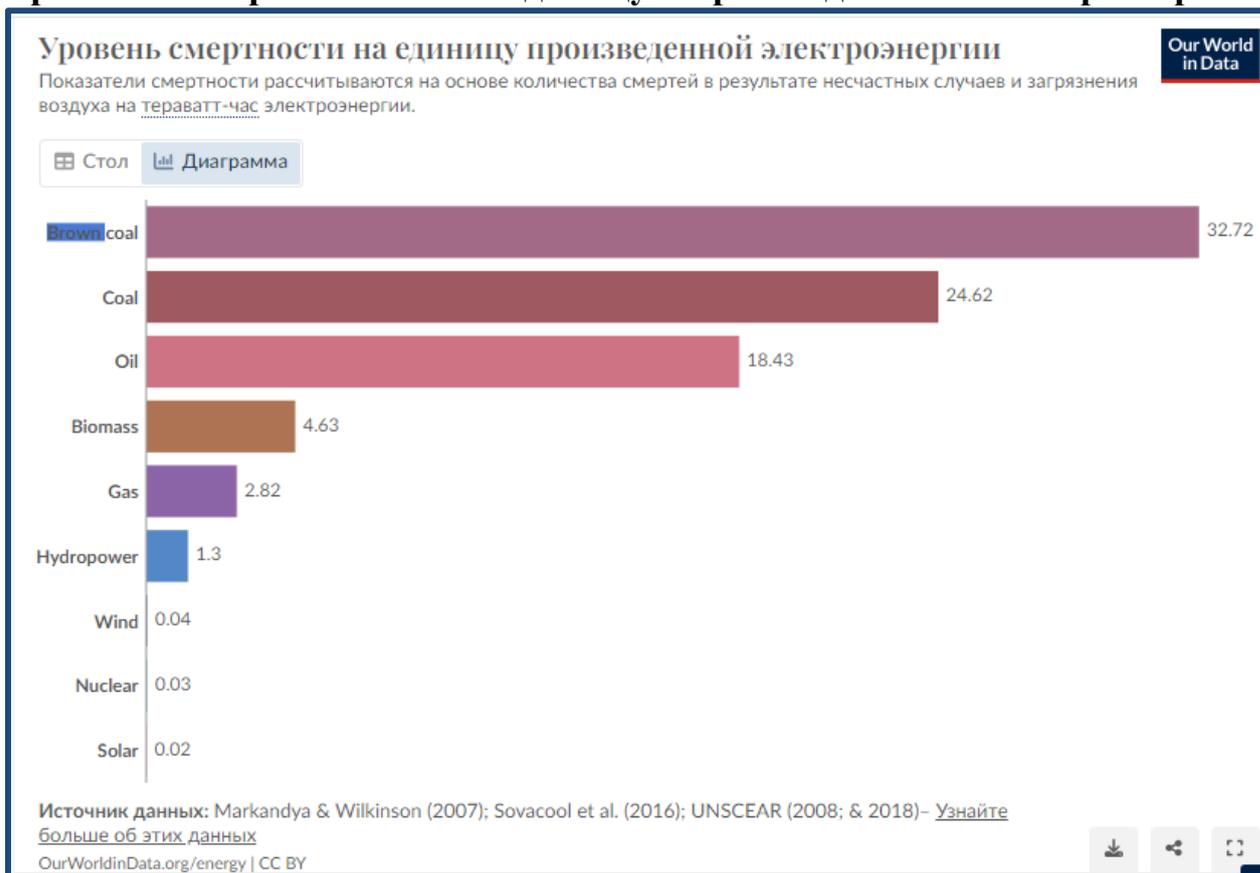
Чтобы сделать эти сравнения справедливыми, мы не можем просто смотреть на *общее количество* смертей по каждому источнику: ископаемое топливо по-прежнему доминирует в нашем мировом энергобалансе, поэтому можно было бы ожидать, что оно убьет больше людей.

Вместо этого мы сравниваем их на основе предполагаемого количества смертей, которые они вызывают *на единицу электроэнергии*. Это измеряется в тераватт-часах. Один тераватт-час примерно равен годовому потреблению электроэнергии 150 000 граждан в Европейском Союзе.

Сюда входят случаи смерти от загрязнения воздуха и несчастные случаи в цепочке поставок.

Давайте посмотрим на это сравнение на графике. Ископаемое топливо и биомасса убивают гораздо больше людей, чем ядерная энергия и современные возобновляемые источники энергии на единицу электроэнергии. Уголь, безусловно, самый грязный.

Уровень смертности на единицу произведенной электроэнергии



Показатели смертности рассчитываются на основе количества смертей в результате несчастных случаев и загрязнения воздуха на тераватт-час электроэнергии.

Даже в этом случае эти оценки для ископаемого топлива, вероятно, будут очень консервативными. Они основаны на электростанциях в Европе, которые имеют хороший контроль загрязнения и основаны на старых моделях воздействия загрязнения воздуха на здоровье. *Глобальные* показатели смертности от ископаемого топлива, основанные на самых последних исследованиях загрязнения воздуха, вероятно, будут еще выше.

На наше восприятие безопасности ядерной энергетики сильное влияние оказали две аварии: Чернобыль в Украине в 1986 году и Фукусима в Японии в 2011 году. Это были трагические события. Однако по сравнению с миллионами, которые *ежегодно умирают от ископаемого топлива*, окончательное число погибших было очень низким. Чтобы рассчитать показатели смертности, используемые здесь, берем данные, что число погибших в Чернобыле составило 433 человека, а в Фукусиме — 2314 человек.

Другим источником, на который сильно повлияло несколько крупных аварий, является гидроэнергетика. Уровень смертности с 1965 года составляет 1,3 смерти на ТВт·ч. Этот показатель почти полностью определяется одним событием: аварией плотины Баньцяо в Китае в 1975

году, в результате которой погибло около 171 000 человек. В остальном гидроэнергетика была очень безопасной, уровень смертности составлял всего 0,04 смерти на ТВт·ч — сопоставимо с ядерной, солнечной и ветровой энергетикой.

Наконец, у нас есть солнце и ветер. Уровень смертности от обоих этих источников низок, но не равен нулю. Небольшое количество людей погибает в результате несчастных случаев в цепочках поставок — от столкновений вертолетов с турбинами, пожаров во время установки турбин или панелей до утоплений на морских ветровых площадках.

Люди часто фокусируются на незначительных различиях в нижней части графика — между ядерной, солнечной и ветровой энергетикой. Главное в том, что *все* они намного, намного безопаснее ископаемого топлива.

Например, **ядерная энергия приводит к 99,9% меньшему количеству смертей, чем бурый уголь; 99,8% меньшему, чем уголь; 99,7% меньшему, чем нефть; и 97,6% меньшему, чем газ. Ветер и солнце так же безопасны.**

Перспективы показателей смертности от энергетики

Рассматривать смертность на тераватт-час может показаться абстрактным. Давайте попробуем рассмотреть это в перспективе.

Давайте подсчитаем, сколько смертей каждый источник вызовет для среднего города с населением 150 000 человек в Европейском Союзе, (Население г.Костанай: 237 478 человек – данные на 2017 г. Организация Объединённых Наций, 2021г. - 251 825, на 01.12.2023г.- 267 855 человек по переписи населения) который — как я уже говорил — потребляет один тераватт-час электроэнергии в год. Назовем этот город «Евровиль».

Если бы Евровиль работал исключительно на угле, мы бы ожидали, что *по крайней мере* 25 человек будут преждевременно умирать от него каждый год. Большинство из этих людей умрут от загрязнения воздуха.

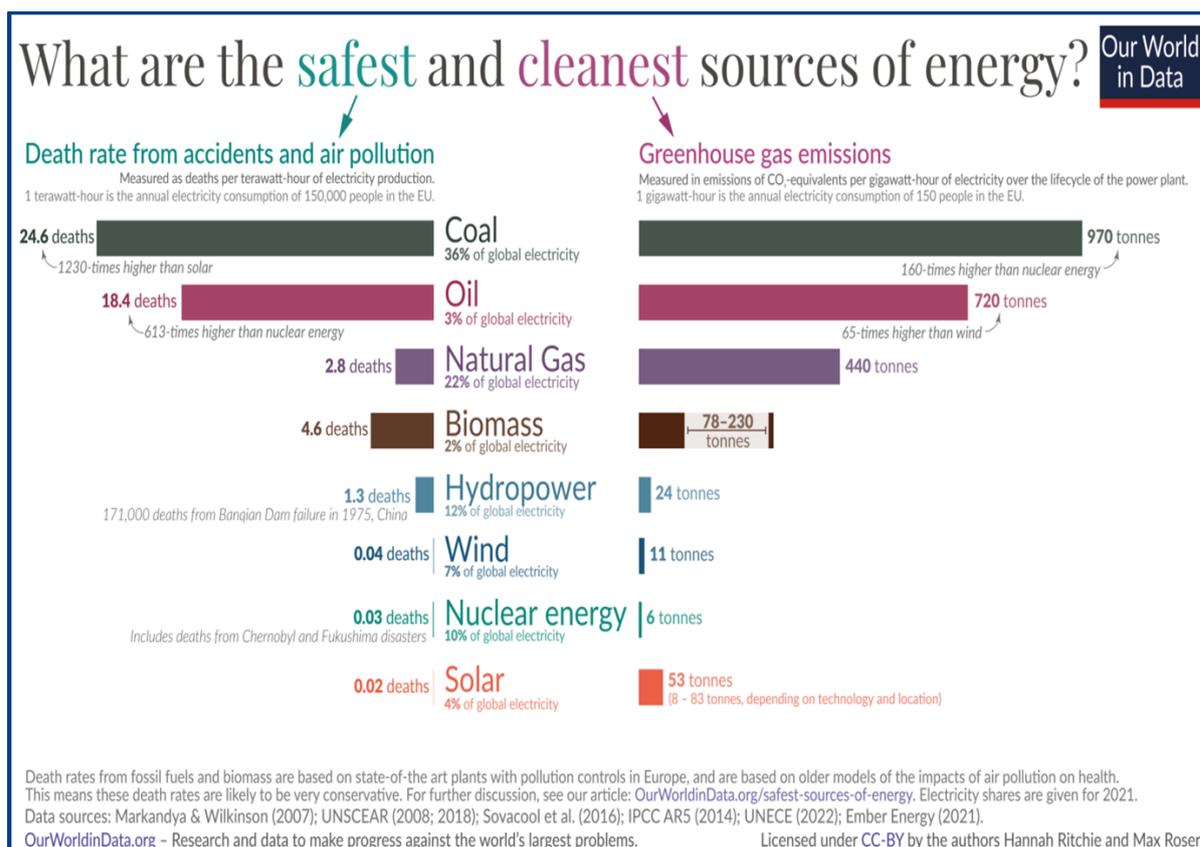
Вот как Евровиль, работающий на угле, будет выглядеть по сравнению с городами, работающими исключительно на каждом источнике энергии:

- **Уголь:** 25 человек будут умирать преждевременно каждый год;
- **Нефть:** 18 человек умирали бы преждевременно каждый год;
- **Газ:** 3 человека будут умирать преждевременно каждый год;
- **Гидроэнергетика:** в среднем за год умирает 1 человек;
- **Ветер:** В среднем за год никто не умрет. Уровень смертности 0,04 смерти на тераватт-час означает, что только каждые 25 лет умрет один человек;
- **Ядерная энергия:** в среднем за год никто не умрет — только каждые 33 года кто-то умрет.
- **Солнечная энергия:** В среднем за год никто не умирает — только раз в 50 лет кто-то умирает.

Самые безопасные источники энергии также являются самыми чистыми

Хорошей новостью является то, что нет компромисса между наиболее безопасными источниками энергии в краткосрочной перспективе и наименее вредными для климата в долгосрочной перспективе. Это одно и то же, как показывает диаграмма ниже.

Уровень смертности от несчастных случаев и загрязнения воздуха	Выбросы парниковых газов
--	--------------------------



На диаграмме слева мы имеем то же самое сравнение показателей смертности от несчастных случаев и загрязнения воздуха, которое мы только что рассматривали. Справа у нас есть количество парниковых газов, выбрасываемых *на единицу* производства электроэнергии.

Это не только выбросы от сжигания топлива, но и выбросы от добычи, транспортировки и обслуживания в течение срока службы электростанции.

Опять же, уголь — самое грязное топливо. Он выделяет гораздо больше парниковых газов, чем другие источники — более чем в сто раз больше, чем ядерное топливо.

Нефть и газ также намного хуже, чем атомная энергия и возобновляемые источники энергии, но в меньшей степени, чем уголь.

К сожалению, в мировом электроэнергетическом балансе по-прежнему доминирует ископаемое топливо: уголь, нефть и газ составляют около 60%. Если мы хотим остановить изменение климата, перед нами открывается

прекрасная возможность: мы можем перейти от них к ядерной и возобновляемой энергетике, а также сократить количество смертей от несчастных случаев и загрязнение воздуха в качестве побочного эффекта.

Этот переход не только защитит будущие поколения, но и принесет огромную пользу для здоровья нынешнего поколения.

Материал подобран из свободного доступа интернета:

1. Потребление электроэнергии на душу населения в странах ЕС-27 в 2021 году составило около 6400 кВтч. 1 тераватт-час равен 1 000 000 000 киловатт-часов. Итак, мы получаем эту цифру, разделив 1 000 000 000 на $6\,400 \approx 150\,000$ человек. Для расчета показателя смертности использовались следующие источники.
Ископаемое топливо и биомасса = эти цифры взяты непосредственно из Markandya, A., & Wilkinson, P. (2007). Производство электроэнергии и здоровье. *The Lancet*, 370(9591), 979-990.
Ядерный = Я рассчитал эти цифры, исходя из предположения о 433 смертях от Чернобыля и 2314 от Фукусимы. Эти цифры основаны на последних оценках НКДАР ООН и правительства Японии. В связанной статье я подробно рассказываю, откуда взялись эти цифры. Я рассчитал *уровень смертности*, разделив эту цифру на совокупное мировое производство электроэнергии на АЭС с 1965 по 2021 год, что составляет 96 876 ТВт·ч.
Гидроэнергетика = В статье Sovacool et al. (2016) приводится *уровень смертности* для гидроэнергетики с 1990 по 2013 год. Однако этот период исключает некоторые очень крупные аварии на гидроэлектростанциях, произошедшие до 1990 года. Поэтому я рассчитал *уровень смертности* для гидроэнергетики с 1965 по 2021 год на основе списка аварий на гидроэлектростанциях, предоставленного Sovacool et al. (2016), который охватывает период с 1950-х годов. Поскольку эта база данных заканчивается в 2013 году, я также включил аварию на плотине Сэддл в Лаосе в 2018 году, в результате которой погиб 71 человек. Общее число погибших в результате аварий на гидроэлектростанциях с 1965 по 2021 год составило около 176 000 человек. Из них 171 000 человек погибли в результате аварии на плотине Баньцзянь в Китае в 1975 году. Я рассчитал *уровень смертности*, разделив эту цифру на совокупное мировое производство электроэнергии на гидроэлектростанциях с 1965 по 2021 год, что составляет 138 175 ТВт·ч.
Солнечная и ветровая энергия = эти цифры взяты непосредственно из Sovacool, BK, Andersen, R., Sorensen, S., Sorensen, K., Tienda, V., Vainogijs, A., ... & Bjørn-Thygesen, F. (2016). Баланс безопасности с устойчивостью: оценка риска аварий для современных низкоуглеродных энергетических систем. *Журнал чистого производства*, 112, 3952-3965. В этом анализе авторы составили базу данных как можно большего количества аварий, связанных с энергетикой, на основе обширного поиска в академических базах данных и новостных сообщениях и вывели показатели смертности для каждого источника с 1990 по 2013 год. Поскольку эта база данных с тех пор не расширялась, невозможно предоставить показатели смертности после 2013 года.
2. НКДАР ООН (2008). Источники и эффекты ионизирующего излучения. Отчет НКДАР ООН 2008 Генеральной Ассамблее с научными приложениями. Доступно онлайн.
Доклад Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Официальные отчеты Генеральной Ассамблеи, шестьдесят восьмая сессия, Дополнение № 46. Нью-Йорк: Организация Объединенных Наций, шестидесятая сессия, 27–31 мая 2013 г.
3. Основные данные, использованные в этом анализе, взяты из Оценки жизненного цикла вариантов производства электроэнергии Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН), опубликованной в 2022 году.
Эти цифры аналогичны данным, опубликованным МГЭИК и другими энергетическими организациями.
Schlömer S., T. Bruckner, L. Fulton, E. Hertwich, A. McKinnon, D. Perczyk, J. Roy, R. Schaeffer, R. Sims, P. Smith и R. Wiser, 2014: Приложение III: Параметры стоимости и производительности, специфичные для технологий. В: Изменение климата 2014: Смягчение последствий изменения климата. Вклад Рабочей группы III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel и JC Minx (ред.)]. Издательство Кембриджского университета, Кембридж, Соединенное Королевство и Нью-Йорк, штат Нью-Йорк, США.
Показатели для некоторых технологий, например, солнечной энергетики, значительно различаются в зависимости от того, где они производятся (и от электроэнергетического баланса страны). Оценки варьируются от 23 граммов CO₂ на кВт·ч до 82 граммов. Углеродоемкость производства этих технологий, вероятно, со временем улучшится. Carbon Brief дает четкое обсуждение значимости более поздних анализов жизненного цикла в деталях здесь.
Поскольку нефть традиционно не используется для производства электроэнергии, она не включена в сообщаемые МГЭИК цифры на киловатт-час. Поэтому цифры для нефти были взяты из Turconi et al. (2013). В нем приводятся выбросы в килограммах CO₂-экв на мегаватт-час. Коэффициенты выбросов для всех других технологий согласуются с результатами МГЭИК. Диапазон, который он дает для нефти, составляет 530–900: я взял среднюю оценку (715 кг CO₂-экв/МВт·ч или 715 г CO₂-экв/кВт·ч).
Туркони, Р., Болдрин, А. и Аструп, Т. (2013). Оценка жизненного цикла (LCA) технологий производства электроэнергии: обзор, сопоставимость и ограничения. *Обзоры возобновляемой и устойчивой энергетики*, 28, 555-565.
4. Бургерр, П. и Хиршберг, С. (2014). Сравнительная оценка риска серьезных аварий в энергетическом секторе. *Энергетическая политика*, 74, S45-S56.
МакКомби, К. и Джефферсон, М. (2016). Возобновляемая и ядерная электроэнергия: сравнение воздействия на окружающую среду. *Энергетическая политика*, 96, 758-769.
Hirschberg, S., Bauer, C., Burgherr, P., Cazzoli, E., Neck, T., Spada, M., & Treyer, K. (2016). Влияние технологий на здоровье для производства электроэнергии: вклад от нормальной эксплуатации, тяжелых аварий и террористической угрозы. *Надежность техники и безопасность систем*, 145, 373-387.
Людерер, Г., Пель, М., Арвесен, А., Гибон, Т., Бодирски, Б. Л., де Бур, Х. С., ... и Мима, С. (2019). Экологические сопутствующие выгоды и неблагоприятные побочные эффекты альтернативных стратегий декарбонизации энергетического сектора. *Nature Communications*, 10(1), 1-13.
Hertwich, EG, Gibon, T., Bouman, EA, Arvesen, A., Suh, S., Heath, GA, ... и Shi, L. (2015). Комплексная оценка жизненного цикла сценариев электроснабжения подтверждает глобальную экологическую выгоду низкоуглеродных технологий. *Труды Национальной академии наук*, 112(20), 6277-6282.
5. Xie, L., Huang, Y., & Qin, P. (2018). Пространственное распределение угольных электростанций в Китае. *Environment and Development Economics*, 23(4), 495-515.
6. Уголь: 24,62 смерти на ТВт·ч * 10 042 ТВт·ч = 247 000 смертей Нефть: 18,43 смерти на ТВт·ч * 852 ТВт·ч = 16 000 смертей Газ: 2,82 смерти на ТВт·ч * 6 098 ТВт·ч = 17 000 смертей. В сумме это составляет 280 000 человек.
7. Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Burnett, RT, Haines, A., & Ramanathan, V. (2019). Влияние ископаемого топлива и полного удаления антропогенных выбросов на общественное здоровье и климат. *Труды Национальной академии наук*, 116(15), 7192-7197.

8. Vohra, K., Vodonos, A., Schwartz, J., Marais, EA, Sulprizio, MP, & Mickley, LJ (2021). Глобальная смертность от загрязнения мелкодисперсными частицами на открытом воздухе, образующимися при сжигании ископаемого топлива: результаты GEOS-Chem . Исследования окружающей среды, 195, 110754.
9. Chowdhury, S., Pozzer, A., Haines, A., Klingmueller, K., Münzel, T., Paasonen, P., ... и Lelieveld, J. (2022). Глобальное бремя для здоровья от атмосферных PM2.5 и вклад антропогенного черного углерода и органических аэрозолей . Environment International, 159, 107020.
10. Lelieveld et al. (2019) подсчитали, что 8,8 миллиона человек умирают от всех источников загрязнения воздуха каждый год. Если умножить эту цифру на 12%, то получим **1,1 миллиона** человек. Vohra et al. (2021) подсчитали, что число погибших в 2,4 раза выше, чем Lelieveld et al. (2019). Это дало бы цифру в 2,55 миллиона смертей [1,1 миллиона * 2,4]
11. ЕЭК ООН (2021). Оценка жизненного цикла вариантов генерации электроэнергии . Европейская экономическая комиссия ООН.