

无处藏身

核战争将如何杀死你及几乎其他所有人

作者：弗朗索瓦·迪亚兹-莫林

设计：托马斯·高尔克林

翻译：王娜；审阅：赵通

2022年10月20日

Read in English at thebulletin.org.

中文 (设计：托马斯·高尔克林): <https://thebulletin.org/2022/10/nowhere-to-hide-how-a-nuclear-war-would-kill-you-and-almost-everyone-else-chinese/>

今年夏天，纽约市应急管理部门[发布了一份公共服务公告](#)，指导居民在遭遇核袭击时该如何应对。在这段90秒视频的[开头](#)，一名女主持人若无其事地公布了一条灾难性消息：“现在发生了核袭击。别问我怎么回事，大家只要知道发生了核袭击就行。”然后这段公益广告为纽约人在遭遇核攻击时提供了建议：呆在室内，随时关注媒体和政府的最新消息。

如果你未处于核爆炸半径之内，那么才有必要去谈做好核防护。否则即便你躲入房间、紧闭屋门也无济于事，因为整栋房屋都会被[摧毁](#)。现在，想象一下有数百个核弹爆炸——一场“小型”核战争就是这种情景。如果你足够幸运，不在核爆炸半径之内，就算你暂时躲过一劫，你的后半生也将痛苦不堪。

单次核爆炸的影响

任何核爆炸都会产生辐射效应、热效应和冲击波效应，导致许多人立即死亡。

核武器爆炸最剧烈的影响就是产生[直接辐射](#)，其中主要是伽马射线和中子，由炸弹内部通过核反应释放。

现代核武器的直接辐射持续时间不到一秒，但其爆炸当量相当于几十万吨 TNT，其致命剂量从起爆点向各个方向延伸超过一英里。

核武器爆炸几微秒后，以 X 射线形式释放的能量使周围温度急速升高，形成一个由过热空气组成的火球。这个火球内部的温度和压力非常之高，所有物质都会变成由裸原子核和亚原子粒子组成的热等离子体，宛如数百万度的太阳核心。

30 万吨级核武器——如部署在“民兵 3”洲际弹道导弹（目前在美国核武库中服役）上的 W87 热核弹头——空爆后产生的火球直径可达 600 米（2000 英尺）以上，而且其表面冷却之前会保持长达几秒的炫目亮度。

这种火球热辐射（占热核武器爆炸能量的三分之一以上）所发出的光极其强烈，可在很远的距离引发火灾并造成严重烧伤。30 万吨级核武器发出的热闪光，可导致位于 13 公里（8 英里）以外的人员遭受一级烧伤。

接着是冲击波。

冲击波的能量大约占核爆炸能量的一半，其传播速度最初快于音速，后随着穿越大气而减损，速度也很快减慢。

火球热辐射使周围空气急速升温膨胀，后迅速向外推挤形成冲击波，推倒其所过之处的一切物体，破坏力极强。

冲击波的破坏力取决于核武器的爆炸当量和爆炸高度。

30 万吨级核武器空爆产生的超压可达 5 磅/平方英寸（0.3 个大气压）以上，波及范围最远 4.7 公里（2.9 英里）。这种压力足以摧毁大多数房屋、摩天大楼，在爆炸后不到 10 秒内造成大量人员伤亡。

放射性沉降物

在核爆炸释放大部分直接辐射、热辐射和冲击波后不久，火球开始冷却并逐渐升高，形成大家所熟悉的蘑菇云。其内部是高放射性的分裂原子混合物，风吹后最

终会从云端落下。放射性沉降物可产生延迟辐射效应，核爆炸的幸存者将暴露在接近致命剂量的电离辐射中。

对于核爆炸而言，放射性沉降物的污染程度取决于核弹的裂变当量和爆破高度。对于数十万吨级的核武器来说，爆炸点下风处数千平方公里都属于高危区域。辐射水平最初将由半衰期短的同位素主导，这些同位素能量最高，因此对生物体也最危险。这些沉降物的急性致命效应将持续数天至数周，这就是为什么有关部门建议在室内至少呆 48 小时，等待辐射水平下降。

由于其效应相对滞后，很难估计放射性沉降物造成的人员伤亡——这在很大程度上取决于人员在爆炸后的反应。但是，爆炸现场附近的建筑物将被夷为平地，幸存者无处藏身。距离 30 万吨级核爆炸点不足 460 米（1500 英尺）的人员，将受到相当于 500 雷姆（人体伦琴当量）的电离辐射。美国核管理委员会[指出](#)：“普遍认为，人体一次性暴露在约 500 雷姆的辐射下可能立即死亡，无论治疗与否。”

但是在如此接近原爆点的地方，30 万吨级核爆炸几乎一定会将所有人化为灰烬。核武器的当量越高，急性辐射区相对于其它直接影响就越小。

一枚现代 30 万吨级核弹头的威力相当于投放在广岛和长崎的原子弹的威力之和的近 10 倍，一旦在纽约这样的城市引爆将导致 100 多万人死亡，并且爆炸后 24 小时内的重伤人数将达到 200 万。爆炸点方圆数公里内几乎不会留下生还者。

100 万

爆炸 24 小时后死亡人数

核战争的直接效应

在核战争中，几分钟内发生的核爆炸可达数百至数千次。

印度和巴基斯坦之间一旦爆发区域性核战争，两国的城市地区会遭受约 100 枚 1.5 万吨级核武器的攻击，[2700 万人将丧生](#)。

2700 万

区域性核战争死亡人数

美国和俄罗斯拥有超过 4000 枚 10 万吨级核弹头，两国间一旦爆发全面核战争将直接导致[至少 3.6 亿人死亡](#)*。这个数字比美国全国人口总数还多大约 3000 万人。

3.6 亿 全球性核战争死亡人数

*这一估计是基于美俄两国爆发全面核战争的[场景](#)，其中会涉及到 4400 枚 10 万吨级核武器。根据 2002 年两国签署的《削减进攻性战略武器条约》，美俄各自最多可部署 2200 枚战略核弹头。2010 年两国签署的《新削减战略武器条约》进一步将两国部署的远程核力量限制在 1550 枚弹头以内。但是，由于目前[俄罗斯](#)和[美国](#)战略核力量的平均当量远超 10 万吨级，因此全面核交火（涉及约 3000 件核武器）可能会导致类似的直接伤亡人数和碳烟排放量。

俄罗斯和美国之间一旦爆发全面核战争，它们不仅会向对方本土发射核导弹，还会殃及其他国家——而其中一些也拥有核武器。如此一来，这些国家可能会发射部分或全部核武器进行报复。

据估计，英国、中国、法国、以色列、印度、巴基斯坦和朝鲜目前总共拥有超过[1200 枚核弹头](#)。

这些统计数字看上去非常可怕，核冲突一旦爆发会在最初几天造成数千万乃至数亿人伤亡，但这只是一场最终危及全球的灾难的开始。

核战争幸存者在未来几十年一直需要面对全球气候变化、广泛的放射性污染和几乎无处不在的社会动荡等现实。

核战争（无论大小）发生两年后，仅死于饥荒的人数就可能是数百枚核弹爆炸本身所造成死亡人数的[10 倍以上](#)。

核战争的长期后果

近年来，在美国部分军方和政策圈里出现了一种[越来越受追捧](#)的观点，认为可以打一场有限的核战争并获得胜利。但是，许多专家认为有限核战争不太可能真正做到

有限。两国之间的战术核打击或针锋相对的核交锋可能会[升级](#)为一场全面核战争，最终导致两国的彻底毁灭。

然而，这种灾难将不会止于两个交战国及其盟友。

在公开讨论中，核爆炸可怕而明显的局部后果掩盖了其长期的区域性和全球性影响。军事人员也关注核爆炸的短期影响，因为他们的任务是评估核力量对民用和军事目标的打击能力。从军事角度来看，冲击波、局部辐射沉降物和电磁脉冲（一种能破坏电子设备的无线电波的剧烈爆发）都是核武器导致的结果。

但是，许多核爆炸导致的大面积火灾和其他全球性气候变化，可能并没有在战争计划和核理论中得到考虑。这些附带影响很难预测，对其展开评估需要科学知识，而大多数军事规划人员并不具备这些知识或将其纳入考量。但在核战争结束几年间，这种附带损害可能会导致地球一半以上人口灭亡。

全球气候变化

自 20 世纪 80 年代以来，随着核战争威胁达到新的高度，科学家开始研究此类战争对地球生态系统的长期和广泛影响。利用模拟大气温度垂直分布的辐射对流气候模型，美国科学家首次证明在核战争后，核武器引发的大规模森林火灾会产生大量烟尘，由此造成[核冬天](#)。随后，两名俄罗斯科学家[开发](#)出了首个三维气候模型，结果显示全球陆地气温降幅将超过海洋，可能导致全球农业歉收。由于所涉及场景和物理参数的不确定性，核冬天理论最初因结果不精确而受到[质疑](#)，但现在该理论得到了[更精密气候模型](#)的支持。早期研究中提出的核冬天基本原理今天仍然成立，而从最近的计算结果来看，核战争的影响将比此前想象的更持久、更严重。

碳烟注入平流层

热核爆炸产生的热量和冲击波的威力巨大，将在城市和农村地区引发大规模火灾。如果纽约或华盛顿特区等城市发生 30 万吨级核爆炸，无论在什么天气条件下都会至少导致半径 5.6 公里（3.5 英里）内发生[大规模火灾](#)。在这个区域内，空气中将充斥着粉尘和烟气。

核战争不仅会让一座[城市陷入火海](#)，而且将同时引燃数百座城市。即使是一场区域性核战争——比如印度和巴基斯坦之间——也可能导致城市和工业区发生大规模火灾爆发，这有可能导致[全球气候变化](#)，在未来几十年危及地球上所有生灵。

核战争后引发大规模火灾并产生烟尘，可能会导致大量碳烟注入地球的上层大气——平流层。如果印巴爆发全面核战争，两国将发射 100 枚平均当量为 1.5 万吨的核弹头，在平流层积累约 [500 万吨](#)的碳烟。这大约相当于吉萨大金字塔的重量，就像它被粉碎后变成了高温粉尘。

这些保守估计可追溯到 2000 年代末。从那时起，印度和巴基斯坦的核武库扩充明显，核弹头在数量和当量方面都有了显著提升。到 2025 年，印度和巴基斯坦各自拥有的核武器[多达](#) 250 件，低当量为 1.2 万吨，高当量可达数十万吨。拥有此类核武库的印度和巴基斯坦之间爆发核战争，可能会将多达 47 太克的碳烟送入平流层。

相比之下，2017 年的加拿大森林大火、2019 年和 2020 年的澳大利亚森林大火，也只不过产生了 0.3 太克和 1 太克的烟尘。化学分析表明，这些火灾产生的烟尘中只有一小部分是纯碳烟——分别为 0.006 太克和 0.02 太克，这是因为只有树木在燃烧。核战争后的城市火灾会产生更多烟尘，其中碳烟的比例会更高。这两起大规模森林火灾表明，烟尘被注入平流层低层后会被太阳光加热，随后升入 10 至 20 公里（3.3 万至 6.6 万英尺）的高空，从而延长了其在平流层停留的时间。科学家正是利用这一原理，来更好地模拟核战争的长期影响。利用模型，研究人员能够[准确模拟](#)这些大型森林火灾产生的烟尘，由此为核冬天的研究提供了进一步支持。

火山爆发导致的气候变化也为了解核战争的长期影响提供了帮助。火山爆发通常会将[火山灰和粉尘](#)送入平流层，在那里像镜子一样把阳光反射回太空，导致地球表面温度暂时降低。[同样](#)，根据核冬天理论，核战争后的大火向平流层大量注入碳烟气溶胶，这种气候效应将导致平流层升温、臭氧消耗和云层下表面降温。火山爆发也是如此，它们的强度可以达到甚至超过核爆炸的水平。比如，2022 年洪加汤加的海底火山爆发，释放了相当于 [61 兆吨 TNT 当量的能量](#)，比历史上最大的 50 兆吨人造“沙皇炸弹”的威力还要大。蒸汽烟羽上升到了 56 公里（35 英里）左右的高空，将 [50 太克至 146 太克](#)的水蒸汽注入平流层，并将在那里停留数年。如此大量的水注入平流层可能会对气候造成暂时性影响，只是方式不同于碳烟。

自俄乌冲突以来，普京总统及其他俄罗斯官员多次发出[核威胁](#)，显然是为了阻止西方国家进行任何直接军事干预。如果俄罗斯有意或无意地向美国及其他北约国家发动核战争，全面交火引发的毁灭性核爆炸可能会将超过 [150 太克](#)的碳烟注入平流层，由此引发的核冬天将在未来几十年导致地球上所有生命形式的凋敝。

一系列核战争引发的碳烟注入平流层可导致各种重大气候和生物地球化学变化，其中包括大气、海洋和陆地的改变。这种全球气候变化将比此前认为的[更持久](#)，原因在于 20 世纪 80 年代的模型并未充分预测到平流层羽流的上升。现在科学家们了解到，核风暴所产生的碳烟会上升到平流层的更高处，其高度要比此前想象的[高得多](#)，而且通过“黑雨”这种机制来清除碳烟的过程会非常缓慢。这些烟尘一旦在阳光下受热，即会穿透中间层自行飘浮到 [80 公里](#)（50 英里）的高空。

大气层的变化

碳烟被注入高层大气后会在那里停留数月甚至数年，阻挡部分阳光直射到地球表面，地表温度会降低。在高海拔处（即赤道附近 20 公里（12 英里）及以上，两极上空 7 公里（4.3 英里）及以上），核风暴喷射的烟尘也会吸收更多太阳辐射，导致平流层温度升高，并扰乱平流层环流。

在平流层中，高吸收性黑碳气溶胶的存在会导致平流层温度显著升高。比如，在可导致 5 太克碳烟注入平流层的区域性核战争场景中，[平流层温度](#)四年后仍将保持在升高 30 摄氏度的水平。

在核战争后的最初几年，在平流层观测到的极端加热现象将增加全球臭氧层的平均损失量，而臭氧层可保护地球上的人类和其他生命免受紫外线辐射，避免人体健康和环境遭受严重影响。[模拟](#)表明，一场持续三天的区域性核战争将向平流层注入 5 太克的碳烟，由此导致全球臭氧层减少 25%，平流层完全恢复需要 12 年。可导致 150 太克碳烟注入平流层的全球性核战争，将造成全球臭氧损失 75%，且这种损耗将持续 15 年。

陆地的变化

碳烟注入平流层将导致地球表面发生变化，这包括接收的太阳辐射量、气温和降水量。

对地球具有保护作用的臭氧层逐渐消失，将导致地表连续数年遭受极高的紫外线辐射，给人体健康和粮食生产带来危害。最新[研究](#)表明，全球核战争后的臭氧损失将导致热带紫外线指数超过 35，而这种状况将从核战争后三年开始，持续四年。美国环境保护署认为，紫外线指数达到 11 已构成“极端”危险；在紫外线指数 12 的环境下暴露 15 分钟会导致人体未遮盖皮肤被晒伤。在全球，中波紫外线（UV-B）范围内的阳光将平均增加 20%。众所周知，高水平的中波紫外线辐射会[导致](#)人体晒伤、光老化、皮肤癌和白内障，并[抑制](#)叶片伸展和植物生长所需的光解反应。

上升到平流层的烟尘会减少到达地球表面的太阳辐射量，致使全球地表温度大幅降低、降水量明显减少。

如果印巴发生核交火，即便在平流层积聚的碳烟相对较少（5 太克），也可能导致地球上出现千年来的最低温度——这比中世纪后小冰河期的[温度还低](#)。导致 5 太克碳烟注入平流层的区域性核战争有可能使全球平均气温下降 1 摄氏度。

尽管自冷战结束以来，美俄两国核武库的规模和平均当量都有所削减，但双方发生的任何规模的核战争仍可能引发更严酷的核冬天，北半球大部分地区甚至在夏季也会面临低于冰点的温度。导致 150 太克碳烟注入平流层的全球性核战争有可能使地球温度下降 8 摄氏度，这比冰河时代还要低 3 度。

无论是哪一种核战争场景，温度变化都会对中高纬度地区的农业产生重大影响，造成作物生长季节缩短，乃至生长季节期间温度的降低。低于冰点的温度还可能导致海冰和陆地积雪显著增多，造成粮食短缺和航道阻塞，影响到重要港口的货运运输，尤其是对那些尚未受到海冰严重影响的港口来说。

核战争后全球平均降水量也会明显下降，因为到达地表的太阳辐射量减少，导致温度和水分蒸发率降低。[热带地区](#)的降水量减幅最大。比如，即使 5 太克碳烟注入平流层也会导致亚洲季风区降水量减少 [40%](#)，南美和非洲的降雨量也将大幅下降。

海洋的变化

任何核战争的长期影响都会波及到[海洋](#)。核战争无论其地点和规模，核风暴产生的烟尘都会迅速升至平流层并向全球扩散，最终遮蔽阳光、减弱太阳对海洋表面的辐

射。海洋表面对辐射变化的反应比大气和陆地要慢，原因在于海洋表面的比热容（即单位质量物体升高温度所需的热量）更高。

核战争后的三到四年，全球海洋温度将大幅下降：印巴核战争（47 太克烟尘被注入平流层）将使温度下降约 3.5 摄氏度，全球性美俄核战争（150 太克）将下降 6 摄氏度。一旦变冷，海洋将需要更长时间才能恢复到战前温度水平——即使平流层的碳烟已消失、太阳辐射恢复到正常水平也是如此。变化的延迟和持续时间将随水深呈线性增长。异常低温可能在海洋表面持续数十年，而在更深处则会持续数百年甚至更长时间。对于全球性核战争(150 太克)，北极的海洋温度变化可能会持续数千年——时间如此之久，以至于研究人员称之为“核小冰河期”。

随着太阳辐射的减少和海洋表面温度的下降，海洋生态系统将受到初始扰动的严重破坏，新出现的、持久的海洋状态更让它雪上加霜。这将对渔业等生态系统产生全球性影响。比如，任何核战争后，海洋净初级生产量（衡量作为海洋食物网基础的海洋藻类的新生长情况）将急剧下降。在美俄核战争场景下（150 太克），全球海洋净初级生产量在战后数月内将减少近一半，并在随后四年时间保持 20% 至 40% 的降幅，其中降幅最大的是北大西洋和北太平洋。

对粮食生产的影响

核战争后，大气、地表和海洋的变化将对全球农业生产和粮食供应产生重大而持久的影响。农业生产，与种植季的长短、温度、光照水平、降水等因素[密切相关](#)。在全球范围内，核战争将在很大程度上影响所有这些因素，而且这种影响将持续数年甚至数十年。

利用新的气候、作物和渔业模型，研究人员现已[证明](#)注入平流层的碳烟若在 5 太克以上，将会导致几乎所有国家出现大规模粮食短缺，尽管各国的饥荒风险程度不尽相同。在全球范围内，畜牧业生产和渔业将无法弥补作物产量的减少。核战争后，粮食储备将很快被消耗掉，各国可获得的粮食总热量将急剧下降，数百万人面临饥饿或营养不良的风险。即使采取缓解措施，比如转变家畜饲料和农作物的生产消费方式，也不足以弥补全球可用热量的损失。

上述粮食生产影响因素还没有考虑到放射性对人类的长期和直接影响，以及核战争后可能对粮食造成的广泛放射性污染。随着各国囤积粮食，国际粮食贸易可能会大

幅下降或停止。即使粮食生产系统受影响较小的国家慷慨解囊，国际贸易也可能因核战争的另一个后果而中断：海冰。

在核战争后最初几年，海洋表面变冷会导致海冰面积扩大，此时的粮食短缺最严重。这种扩大将影响到一些重要港口的航运，比如黄海——这些港口地区目前尚未被海冰所覆盖。

核饥荒

核战争两年后可能死于饥饿的人数和人口百分比。区域性核战争场景：印度和巴基斯坦共发射 100 枚 1.5 万吨级核武器，产生 5 太克的碳烟。大规模核战争场景：俄罗斯和美国共发射 4400 枚 10 万吨级核武器，产生 150 太克的碳烟。（资料来源：[Xia 等人，《自然-食品》3, 第 8 \(2022\)期: 586-596。](#)

地区战争/全球战争

无处可藏

核战争对农业粮食系统将产生重大影响并波及战争幸存者。

核战争在全球范围导致的整体后果（包括短期和长期影响）更加可怕，数亿甚至数十亿人将饿死。

53.41 亿

核战争结束两年后，几乎所有人都可能面临饥饿。

人类将无处藏身。

弗朗索瓦·迪亚兹-莫林([@francoisdm](#))是《原子科学家公报》的核事务副主编
(*Bulletin of the Atomic Scientists*)。

托马斯·高尔克林([@ThomasGaulkin](#))是《原子科学家公报》的多媒体编辑
(*Bulletin of the Atomic Scientists*)。

王娜就职于中国对外翻译有限公司下属的中译语通科技股份有限公司。
赵通是卡内基世界和平研究院的资深研究员及普林斯顿大学科学与全球安全项目访问学者。

参考文献和致谢

本文参考了20世纪80年代以来多个核战争影响研究人员的著述。作者要特别感谢普林斯顿大学的亚历克斯·格拉泽 (Alex Glaser)、罗格斯大学的艾伦·罗伯克 (Alan Robock) 和史蒂文斯理工学院的亚历克斯·韦勒斯泰因 (Alex Wellerstein)。

Aleksandrov, Vladimir V., and Georgiy L. Stenchikov. "On the modelling of the climatic consequences of the nuclear war." In *The Proceeding on Applied Mathematics* (1983), 21 pp. Moscow: Computing Centre, USSR Academy of Sciences. Available at: <http://climate.envsci.rutgers.edu/pdf/AleksandrovStenchikov.pdf>

Bardeen, Charles G., Douglas E. Kinnison, Owen B. Toon, Michael J. Mills, Francis Vitt, Lili Xia, Jonas Jägermeyr et al. "Extreme ozone loss following nuclear war results in enhanced surface ultraviolet radiation." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 126, no. 18 (2021): e2021JD035079. <http://dx.doi.org/10.1029/2021JD035079>

Bele, Jean. M. "Nuclear Weapons Effects Simulator", Nuclear Weapons Education Project, Massachusetts Institute of Technology. Available at: <https://nuclearweaponsedproj.mit.edu/Node/103>

Coupe, Joshua, Charles G. Bardeen, Alan Robock, and Owen B. Toon. "Nuclear winter responses to nuclear war between the United States and Russia in the whole atmosphere community climate model version 4 and the Goddard Institute for Space Studies ModelE." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 124, no. 15 (2019): 8522-8543. <http://dx.doi.org/10.1029/2019JD030509>

Eden, Lynn. *Whole world on fire: Organizations, knowledge, and nuclear weapons devastation*. Cornell University Press, 2004.

Glaser, Alex. "Plan A". Program on Science & Global Security, Princeton University. Available at: <https://sgs.princeton.edu/the-lab/plan-a>

Harrison, Cheryl S., Tyler Rohr, Alice DuVivier, Elizabeth A. Maroon, Scott Bachman, Charles G. Bardeen, Joshua Coupe et al. "A new ocean state after nuclear war." *AGU Advances* 3, no. 4 (2022): e2021AV000610. <https://doi.org/10.1029/2021AV000610>

Kataria, Sunita, Anjana Jajoo, and Kadur N. Guruprasad. "Impact of increasing Ultraviolet-B (UV-B) radiation on photosynthetic processes." *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 137 (2014): 55-66. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.02.004>

Kristensen, Hans M., and Matt Korda. "Russian nuclear weapons, 2022." *Bulletin of the Atomic Scientists* 78, no. 2 (2022a): 98-121. <https://doi.org/10.1080/00963402.2022.2038907>

Kristensen, Hans M., and Matt Korda. "United States nuclear weapons, 2022." *Bulletin of the Atomic Scientists* 78, no. 3 (2022b): 162-184. <https://doi.org/10.1080/00963402.2022.2062943>

Mackie, R. M. "Effects of ultraviolet radiation on human health." *Radiation Protection Dosimetry* 91, no. 1-3 (2000): 15-18. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a033186>

Millan, Luis, Michelle L. Santee, Alyn Lambert, Nathaniel J. Livesey, Frank Werner, Michael J. Schwartz, Hugh Charles Pumphrey et al. "The Hunga Tonga-Hunga Ha'apai Hydration of the Stratosphere." (2022). <https://doi.org/10.1029/2022GL099381>

Mills, Michael J., Owen B. Toon, Richard P. Turco, Douglas E. Kinnison, and Rolando R. Garcia. "Massive global ozone loss predicted following regional nuclear conflict." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, no. 14 (2008): 5307-5312. <https://doi.org/10.1073/pnas.0710058105>

Robock, Alan. "Volcanic eruptions and climate." *Reviews of geophysics* 38, no. 2 (2000): 191-219. <https://doi.org/10.1029/1998RG000054>

Robock, Alan. "The latest on volcanic eruptions and climate." *Eos, Transactions American Geophysical Union* 94, no. 35 (2013): 305-306.

<https://doi.org/10.1002/2013EO350001>

Robock, Alan, Luke Oman, and Georgiy L. Stenchikov. "Nuclear winter revisited with a modern climate model and current nuclear arsenals: Still catastrophic consequences." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 112, no. D13 (2007).

<https://doi.org/10.1029/2006JD008235>

Robock, Alan, Luke Oman, Georgiy L. Stenchikov, Owen B. Toon, Charles Bardeen, and Richard P. Turco. "Climatic consequences of regional nuclear conflicts." *Atmospheric Chemistry and Physics* 7, no. 8 (2007): 2003-2012. <https://doi.org/10.5194/acp-7-2003-2007>

Robock, Alan, and Owen B. Toon. "Local nuclear war, global suffering." *Scientific American* 302, no. 1 (2010): 74-81. <https://www.jstor.org/stable/26001848>

Rogers, Jessica, Hans M. Kristensen, and Matt Korda. "The long view: strategic arms control after the New START Treaty." *Bulletin of the Atomic Scientists*. Forthcoming November 2022.

Teller, Edward. "Widespread after-effects of nuclear war." *Nature* 310, no. 5979 (1984): 621-624. <https://doi.org/10.1038/310621a0>

Toon, Owen B., Charles G. Bardeen, Alan Robock, Lili Xia, Hans Kristensen, Matthew McKinzie, Roy J. Peterson, Cheryl S. Harrison, Nicole S. Lovenduski, and Richard P. Turco. "Rapidly expanding nuclear arsenals in Pakistan and India portend regional and global catastrophe." *Science Advances* 5, no. 10 (2019): eaay5478.

<https://doi.org/10.1126/sciadv.aay5478>

Toon, Owen B., Alan Robock, and Richard P. Turco. "Environmental consequences of nuclear war." *Physics Today* 61, no. 12 (2008): 37. <https://doi.org/10.1063/1.3047679>

Toon, Owen B., Richard P. Turco, Alan Robock, Charles Bardeen, Luke Oman, and Georgiy L. Stenchikov. "Atmospheric effects and societal consequences of regional scale

nuclear conflicts and acts of individual nuclear terrorism." *Atmospheric Chemistry and Physics* 7, no. 8 (2007): 1973-2002. <https://doi.org/10.5194/acp-7-1973-2007>

Turco, Richard P., Owen B. Toon, Thomas P. Ackerman, James B. Pollack, and Carl Sagan. "Nuclear winter: Global consequences of multiple nuclear explosions." *Science* 222, no. 4630 (1983): 1283-1292. <https://doi.org/10.1126/science.222.4630.1283>

Vömel, Holger, Stephanie Evan, and Matt Tully. "Water vapor injection into the stratosphere by Hunga Tonga-Hunga Ha'apai." *Science* 377, no. 6613 (2022): 1444-1447. <https://doi.org/10.1126/science.abq2299>

Wellerstein, Alex. "NUKEMAP v.2.72". Available at:

<https://nuclearsecrecy.com/nukemap/>

Wolfson, Richard, and Ferenc Dalnoki-Veress. "13: Effects of Nuclear Weapons." In *Nuclear Choices for the Twenty-First Century: A Citizen's Guide*. (MIT Press, 2021): 281-304. <https://doi.org/10.7551/mitpress/11993.003.0017>

Xia, Lili, Alan Robock, Kim Scherrer, Cheryl S. Harrison, Benjamin Leon Bodirsky, Isabelle Weindl, Jonas Jägermeyr, Charles G. Bardeen, Owen B. Toon, and Ryan Heneghan. "Global food insecurity and famine from reduced crop, marine fishery and livestock production due to climate disruption from nuclear war soot injection." *Nature Food* 3, no. 8 (2022): 586-596. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00573-0>

Yu, Pengfei, Owen B. Toon, Charles G. Bardeen, Yunqian Zhu, Karen H. Rosenlof, Robert W. Portmann, Troy D. Thornberry et al. "Black carbon lofts wildfire smoke high into the stratosphere to form a persistent plume." *Science* 365, no. 6453 (2019): 587-590. <https://doi.org/10.1126/science.aax1748>