

全球尺度限制采矿区域地图的构建

Development of a Mining Restricted Areas Map at a Global Scale

绿色和平国际、**FERN**、挪威雨林基金会、**Mighty Earth**

v2.0 · 2026年6月

本中文译本仅供阅读和参考。如对相关内容存在任何疑问、歧义或中英文表述不一致之处，请以[英文原版](#)为准。

摘要

全球限制采矿区域框架和地图由绿色和平国际、Mighty Earth、FERN 与挪威雨林基金会共同开发，旨在识别具有较高生态、自然和社会价值，因而应禁止开展采矿等破坏性采掘活动的区域。通过保护这些限制区，可以保留人类活动维持在地球界限之内的可能性，并在尊重原住民和当地社区权利的基础上推动公正能源转型。

本研究依据六项标准识别并汇编相关空间数据集，分别为：保护地、高保护价值区、高碳储量区、重要自然生态系统、关键水体，以及原住民和当地社区的领地。全球空间数据的筛选基于以下原则：来源可靠可信、可公开获取、采用最新版本、具有可获得的最高空间分辨率和精度，并采用可操作的数据格式（多边形或栅格）。

所选数据集在 Google Earth Engine 中处理，以实现动态可视化，并开展定性检查、对比检查和空间表达检查等分析。初始变量被归并为若干标准化聚合图层。由于具有关键重要性，部分数据集被直接认定为默认禁止采矿区，例如保护地、未受侵扰完整森林景观、红树林和全球海洋；其他数据集则根据其数值重分类为中、高和极高三个重要性等级，例如高保护价值和高碳储量数据。研究还分析了全球采矿区域与限制区的空间重叠。

通过专家反复审查以及选定国家层面的咨询和验证，本方法得到持续优化，并最终形成全球限制采矿区域框架和地图。框架界定了四类限制区：一是需要获得自由、事先和知情同意的限制区域（**RA-FPIC**）；二是默认禁止采矿区域（**RA1a**）；三是按价值禁止采矿区域（**RA1b**）；四是额外高自然价值区域（**RA2**）。“热点”图层用于显示采矿区域与 **RA1**、**RA2** 的重叠情况。

最终形成的地图是一张景观尺度的指示性地图，可用于识别采矿可能造成不可接受环境或社会风险的区域，并作为进一步讨论和开展更精细限制区制图的起点。该地图不应被用作土地利用决策工具；此类决策需要开展地方评估并吸收专家意见，尤其是原住民的意见。地图还存在若干局限，包括数据空间分辨率、对全球数据集的依赖，以及一致、完整数据的缺乏，尤其是原住民领地数据不足。

引言

界定限制采矿区域（**Restricted Areas, RA**）是确保矿产勘探和开采活动不损害具有突出环境与生态重要性的区域、原住民领地和当地社区领地的关键步骤。目前，界定地球安全生存空间的 9 项地球界限中已有 7 项被突破（Stockholm University, 2023），而限制区要素与其中至少 4 项密切相关，即气候变化、生物圈完整性、土地系统变化和淡水变化。限制区是指采掘活动与保护生物多样性、生态系统服务、碳储存、淡水系统，以及原住民和当地社区权利的需要根本不相容的区域。

限制区概念（亦称“禁入区”或“No-Go Zone”制图）并非新概念。十多年来，国际自然保护联盟（IUCN）已将其用于保护地 I-IV 类中的采矿活动；近期 IUCN 荷兰委员会决议、“银行与生物多样性”倡议以及印度尼西亚 Auriga 的相关工作也采用了这一概念。禁止采矿的限制区或地带依据国际公认标准、地方法律、科学评估和伦理考量加以识别，目的是保护不可替代的自然与文化价值。明确限制区标准有助于协调保护目标与发展需求，并为政府、行业和利益相关方判断应严格避免采矿或类似活动的地点提供指导。

绿色和平国际总部、挪威雨林基金会、FERN 和 Mighty Earth 正在识别限制采矿区域，以向政府、企业、投资者、认证体系和公众说明地球上哪些区域不应被开采。

限制区的界定标准以绿色和平国际总部此前发布的《能源转型矿产：绿色和平指导原则》（2025）所提出的“敏感价值”区域为基础，包括保护地、高保护价值区、高碳储量区、重要自然生态系统、关键水体，以及禁止采矿的原住民土地。也就是说，应识别在国家、区域或全球层面具有重要或关键生物、生态、社会、权利或文化价值的区域。限制区地图 2.0 版（2026年6月）新增了一个分析图层，用于识别采矿区域与部分限制区类别相重叠的“热点”。

地图 2.0 版已在 <https://restrictedareasfrommining.org/> 公开发布（见图1）。

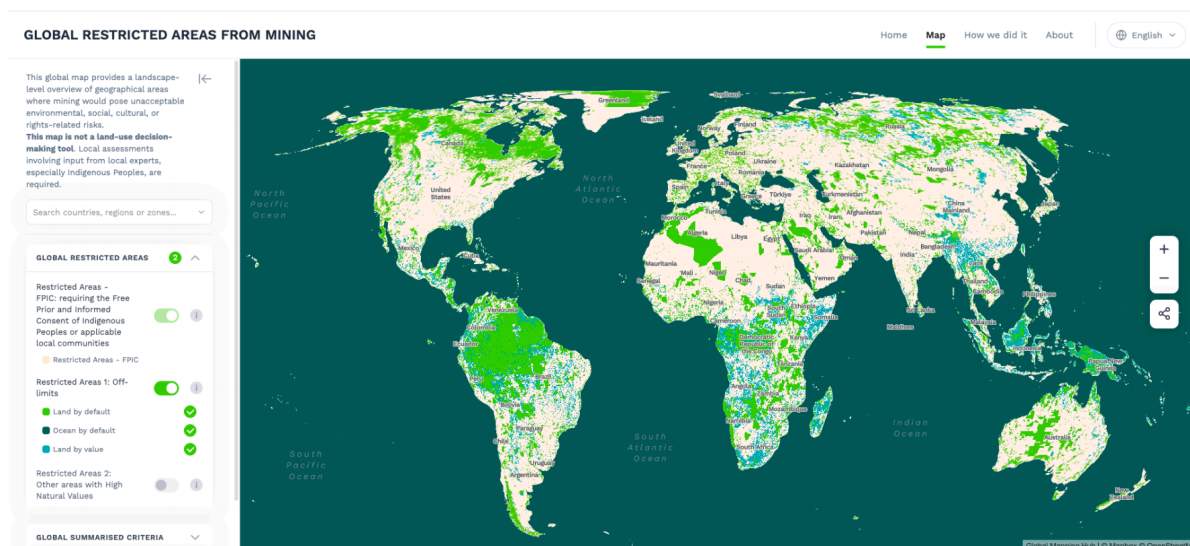


图1 全球限制采矿区域地图截图（2026年6月）。地图包含覆盖全部陆地的“需要获得自由、事先和知情同意的限制区域（RA-FPIC）”总括图层，以及陆地默认禁止采矿区域（绿色）、海洋默认禁止采矿区域（深绿色）和按价值禁止采矿区域（蓝色）；后三者共同构成应禁止采矿区域（RA1）。

1 限制区标准与数据

在上述《能源转型矿产》指导原则基础上，对限制区进行操作性界定需要清晰、可测量的标准。这些标准把广义的关键自然生态系统、自然保护和权利价值转化为可在全球和国家层面一致识别、制图和监测的具体空间类别，为区分采矿活动与环境及自然生态系统保护、碳储存、原住民权利和当地社区权利根本不相容的区域提供实践基础。限制区的界定包括以下关键要素：

1. 保护地及国际公约和协定认可的区域（**PA**）。包括各类陆地和海洋保护地，如 IUCN 保护地管理类别 I-VI、原住民保护地（IPA）、原住民和当地社区保护领地与区域（ICCA）、世界遗产地、拉姆萨尔湿地、南极洲、联合国教科文组织世界地质公园和生物圈保护区。
2. 高保护价值区（**HCV**）。具有特殊生物、生态、社会或文化重要性的区域，包括完整森林景观和生物多样性关键区。这些区域具有六类高保护价值中的一种或多种（Areendran et al., 2020）：物种多样性、景观尺度生态系统、生境、生态系统服务、社区需求和文化价值。应对这些区域进行适当管理，以维持或提升其内在价值。

3. 高碳储量区 (HCS)。指植被或土壤中储存大量碳的区域, 尤其是森林和泥炭地; 若为采矿而清除, 将造成显著排放 (Mervine et al., 2025)。这些区域作为碳汇, 从大气吸收二氧化碳并储存在生物量和土壤中, 对减缓气候变化具有重要意义, 也常可作为高生物多样性的替代指标。其范围包括所有热带原生林、红树林和高生物量泥炭土, 也可能包括其他森林以及部分湿地或草地。保护高碳储量区的关键在于维持其碳储存能力, 防止已储存碳释放到大气中。

4. 重要自然生态系统 (SNE)。包括具有重要生态意义、可能具有高价值的天然草地、湿地、红树林、小岛、珊瑚礁、灌丛和稀树草原系统。其中许多价值也可能已被其他标准覆盖, 沙漠生态系统则仅在有限程度上得到体现。许多重要自然生态系统的显著性仍需结合地方情境评估; 无论何种情况, 都需要进一步开展地方评估并考虑地方数据集。例如, 缺水型沙漠生态系统和完整沙漠生态系统同样可能发挥重要碳汇作用 (Yap, Prabhala & Anderson, 2023; Thomey et al., 2014)。

5. 关键水体 (CWB)。海洋环境包括浅海和深海 (深度大于 200 米)。鉴于其重要的生物多样性与碳价值, 以及依据预防原则, 人类从根本上无法像管理陆地采矿那样预见并控制海底采矿的环境影响——包括对海洋生物多样性、渔业和沿海渔业社区习惯权利的负面影响——因此应将海洋纳入保护类别。关键水体还包括所有河流、湖泊、冰川和其他水体、重要溪流、饮用水供水源, 以及足以确保其得到保护的缓冲区。

6. 原住民领地和当地社区领地。包括传统和习惯性土地、领地、水域、沿海区域、社区共有区域, 以及其赖以生存的自然资源; 在这些区域内必须取得自由、事先和知情同意 (FPIC)。此外, 还包括自愿与世隔离和初步接触外界的原住民领地。

依据上述广泛标准, 本研究以免费可获取、版本最新、空间分辨率最高、精度适当、冗余最少且方法说明充分为原则选择并分析全球空间数据集。所选并用于制图的空间数据图层见表1。

注1 本方法中的“当地社区”(lc)采用广义概念, 可包括“非洲裔人民”“部落人民”(按国际劳工组织第169号公约)、“森林居民”“沿海渔民”“农民社区”“河岸社区”和“依赖当地资源的社区”。这些群体与其土地、生态系统、水域和自然资源具有长期的集体关系, 并在其管护中发挥核心作用。对于这些类型的当地社区, 应适用 FPIC。这并不削弱原住民 FPIC 所依据的自决、不歧视和集体权利基础。若相关社区不具有集体权利和治理结构, 则 FPIC 作为集体决策权并不适用, 应考虑开展知情磋商并形成广泛社区支持等替代做法。来源引用按原文保留。

变量	来源 (见参考文献)	限制区要素
保护地	UNEP-WCMC and IUCN, 2025	1. 保护地
世界遗产地	UNEP-WCMC and IUCN, 2025	1. 保护地
拉姆萨尔湿地	UNEP-WCMC and IUCN, 2025	1. 保护地
南极洲	GADM, 2025	1. 保护地
生物多样性关键区	BirdLife International, 2025	2. 高保护价值区
重要鸟类和生物多样性区	Waliczky et al., 2019	2. 高保护价值区
相对物种丰富度	UNEP-WCMC, 2025	2. 高保护价值区
植物物种丰富度	Sabatini et al., 2022	2. 高保护价值区
完整森林景观	Potapov et al., 2008/2025	2. 高保护价值区

变量	来源(见参考文献)	限制区要素
森林完整性指数	Grantham et al., 2020	2. 高保护价值区
地上活体木本生物量	Xu et al., 2021	3. 高碳储量区
地上和地下生物量碳密度	Spawn et al., 2020	3. 高碳储量区
泥炭地碳储量	Widyastuti et al., 2025	3. 高碳储量区
泥炭层厚度	Widyastuti et al., 2025	4. 重要自然生态系统
红树林	Mazur et al., 2025	4. 重要自然生态系统
湿地	Zhang et al., 2023	4. 重要自然生态系统
草地	Parente et al., 2024	4. 重要自然生态系统
小岛	Sayre, 2022	4. 重要自然生态系统
陡坡	Jarvis et al., 2008	4. 重要自然生态系统
永久性和自然水体	Potapov et al., 2022; Pekel et al., 2016	5. 关键水体
内陆水体表面密度	Lehner et al., 2024	5. 关键水体
流域物理风险	WWF, 2024	5. 关键水体
冰川	GLIMS Consortium, 2005	5. 关键水体
全球海洋	Mikelsons et al., 2021	5. 关键水体
Hongana-Manyawa 自愿隔离部落领地	Survival International, 2024	1. 保护地 / 6. 原住民和当地社区领地

1.1 保护地及国际公约和协定认可的区域(PA)

代表保护地的变量包括：

- 保护地、世界遗产地和拉姆萨尔湿地：数据来自《世界保护地数据库及其他有效区域保护措施数据库》（UNEP-WCMC and IUCN, 2025）。该数据集是目前覆盖陆地和海洋保护地最全面的全球空间数据集；从定义上看，这些区域具有最高保护价值。数据集包括 IUCN 六类保护地管理类别，以及未报告、未指定、未定义或不适用 IUCN 类别的区域，例如巴西的 Terras Indígenas。尽管某些类型的地点可能存在更专业或更全面的数据集（如拉姆萨尔湿地或世界遗产地），本研究仍采用 WDPA/WD-OECM 版本，以确保不同保护地类型之间的一致性和可比性。所用版本尚未完整覆盖部分保护地和保育地类型，尤其是部分原住民保护地（IPA）、原住民和社区保护地（ICCA）等。
- 南极洲：数据来自全球行政区数据库（GADM, 2025）。

注2 IUCN V 类和 VI 类保护地可能允许一定程度的人类利用，包括采掘活动。

1.2 高保护价值区(HCV)

代表高保护价值区的变量包括：

- 生物多样性关键区域：来自全球生物多样性关键区地图（BirdLife International, 2025），包含全球 16,000 多个多边形，保护着 13,100 多种受保护关注物种的重要种群。这些地点依据国际一致认可的科学标准识别，对维持全球生物多样性的长期存续具有显著贡献，涵盖从受威胁或地理分布受限物种的生境，到支撑

大尺度生态过程的区域。生物多样性关键区分布于陆地、淡水和海洋环境，常与现有保护地重叠或形成补充。通过标示对自然最重要的地点，该数据为保护规划、政策和投资提供基础，以保障生物多样性长期保护。

- **重要鸟类和生物多样性区**: 来自重要鸟类和生物多样性区地图 (BirdLife International, 2025)，所识别地点在全球范围内对鸟类种群和更广泛的生物多样性保护至关重要。其标准化识别标准基于物种脆弱性、种群规模和生境重要性，突出受威胁、特有和迁徙鸟类的关键生境。虽然最初以鸟类保护为重点，这些区域也是生态系统健康的重要指标，并常与保护地、生物多样性关键区等其他自然优先区域重叠，可用于指导保护行动、政策制定以及可持续土地和资源管理。
- **相对物种丰富度**: 来自 2022 年、空间分辨率 3 km/像元的数据集，反映两栖类、鸟类、哺乳类、爬行类和具有代表性的植物类群的相对物种丰富程度。数据由基于 IUCN 红色名录、BirdLife International、全球爬行动物分布评估 (GARD) 以及植物信息与生态网络 (BIEN) 的适宜生境范围图推导。其他维管植物分布范围则依据 IUCN 红色名录、国际植物园保护联盟 (BGCI)、全球生物多样性信息设施 (GBIF) 和 iNaturalist 的点位数据构建。鉴于源数据分辨率较低，本研究进一步利用 WWF Hydro Atlas (Linke et al., 2019) 将每个物种丰富度值分配至对应流域，以便与其他数据集更好匹配。
- **植物物种丰富度**: 来自 2013 年、空间分辨率 1 km/像元的数据集。该数据集基于全球 170,272 个地理配准植被样地，在三个空间粒度上描述森林和非森林生态系统的维管植物 α 多样性格局。地图揭示了“尺度异常”，即细尺度高丰富度区域与粗尺度高丰富度区域并不一致，并有助于区分环境因素和采样因素对植物多样性格局的影响。由于源数据分辨率较低，本研究同样利用 WWF Hydro Atlas (Linke et al., 2019) 将物种丰富度值分配至对应流域。
- **完整森林景观**: 来自 2025 年、空间分辨率 30 m/像元的全球完整森林景观数据集。完整森林景观是在现有森林分布范围内，由森林与天然无林生态系统构成的连续镶嵌体，遥感未发现人类经济活动或生境破碎化迹象，且面积足以维持全部本土生物多样性，包括活动范围广的物种可存续种群。完整森林景观被定义为位于当今全球森林覆盖范围内、受人类经济活动影响最小的森林与非森林生态系统区域，面积至少 50,000 公顷，最小宽度 10 km (以可完全内切于区域边界的圆的直径衡量)。其保护价值很高，对稳定陆地碳储存、维持生物多样性、调节水文过程、保障原住民生计及提供其他生态系统功能至关重要。
- **森林完整性指数**: 来自 2020 年、空间分辨率 30 m/像元的森林景观完整性指数数据集，依据人为改造程度表示观测和推断的森林压力以及森林连通性损失。

注3 依据高保护价值方法中的 HCV1-HCV4。

1.3 高碳储量区 (HCS)

代表高碳储量区的变量包括：

- **地上活体木本生物量**: 来自全球地上活体木本生物量密度图 (2021 年, 30 m/像元)，单位为每公顷吨 (兆克) 生物量。估算采用多步骤流程：先利用激光雷达和区域异速生长方程计算 70 多万个点位的地上生物量，再用这些结果训练基于 Landsat 影像的全覆盖模型。
- **地上和地下生物量碳密度**: 来自全球地上和地下生物量碳密度图 (2010 年, 30 m/像元)，提供时间一致、相互协调的全球地上和地下生物量碳密度地图。地上生物量图整合了按土地覆盖类型划分的木本、草地、农田和苔原生物量遥感图层；输入图层来自已发表文献，必要时更新以覆盖研究范围或时间段。地下生物量图则将各类地上生物量图与土地覆盖特定的经验模型相匹配并加以整合。

- 泥炭地碳储量:来自 PEATGRIDS/carbon 数据集(2024 年, 1 km/像元), 包含全球泥炭地泥炭厚度和碳储量估算。碳储量按预测泥炭厚度的全部深度计算, 分为 0-15 cm、15-30 cm、30-60 cm、60-100 cm 和 100-200 cm 五个深度层。

1.4 重要自然生态系统(SNE)

代表重要自然生态系统的变量包括:

- 泥炭层厚度:来自 PEATGRIDS/depth 数据集(2024 年, 1 km/像元), 包含全球泥炭地泥炭厚度和碳储量估算。
- 红树林:从 Natural Lands 数据集(2024 年, 30 m/像元)中提取。该数据集表示全球“自然”与“非自然”土地范围, 包括森林、低矮植被、水体、红树林、裸地和冰雪等土地覆盖类别。数据集汇集了可获得的最佳地方和全球土地覆盖数据, 并综合多套全球和区域土地覆盖/土地利用数据(如 ESA WorldCover、UMD 土地覆盖、MapBiomass、农田和采矿足迹), 叠加辅助数据以区分自然运行的生态系统与受到农业、建设环境、人工林或高强度管理改造的区域。
- 湿地:来自 2022 年、30 m/像元的全球湿地地图, 采用多源和时间序列遥感影像建立精细分类体系, 包括五类内陆湿地(永久水体、沼泽、草本沼泽、洪泛平地 and 盐碱湿地)以及沿海潮间带湿地(红树林、盐沼和潮滩)。
- 草地:从 Global Pasture Watch 全球草地数据中提取(2022 年, 30 m/像元)。该数据逐年绘制 2000-2022 年草地范围、主导类别和概率, 包括人工草地和天然/半天然草地。本研究仅使用 2022 年天然/半天然草地, 稀树草原和苔原也包含在该类草地中;分析采用概率大于 50% 的结果。
- 小岛:来自基于 Landsat、通过半自动判读生成的全球岛屿多边形数据层(2022 年, 30 m/像元)。本研究仅纳入面积小于 20,000 公顷的岛屿。
- 陡坡:从航天飞机雷达地形测量任务数字高程模型(2000 年, 90 m/像元)中提取, 筛选全球坡度大于 20° 的区域。这些区域对侵蚀高度敏感, 并可能影响水体。

1.5 关键水体(CWB)

代表关键水体的变量包括:

- 永久性和自然水体:由水体动态和水体变化数据聚合而成, 包括季节性水体与冰动态数据(2022 年, 30 m/像元)和全球地表水动态地图集(2020 年, 30 m/像元)。两者表示过去约 40 年全球水面的空间位置和时间分布, 并提供水面范围与变化统计。本研究将两套数据合并为一个变量, 以延长时间覆盖范围。
- 内陆水体表面密度:来自全球湖泊与湿地数据库(2025 年, 500 m/像元), 是一套连续、完整的全球内陆地表水地图, 区分 33 种水体和湿地类型。
- 流域物理风险:来自 Water Risk Filter 的物理风险数据(2024 年), 表示流域的自然条件和人为影响条件。数据包含水资源可用性、干旱、洪水、水质和生态系统服务状态等物理风险维度, 覆盖水量不足、水量过多、水质不适用以及周边生态系统退化并由此损害水生态系统服务等情形。
- 冰川:来自全球陆地冰空间测量(GLIMS)冰川数据库(2005 年), 提供全球 20 多万条冰川的综合数据。
- 全球海洋:从用于卫星海洋水色研究的中等分辨率全球陆地/水体掩膜中提取(2021 年, 约 230 m);本研究仅使用海洋掩膜。

1.6 原住民领地和当地社区领地

原住民领地和当地社区领地被作为预防性的总括图层——“需要获得自由、事先和知情同意的限制区域”(RA-FPIC)。尽管全球和国家层面的原住民领地及水域、当地社区领地及水域数据正在不断增加(如 Indigenous Region Registration Agency, 2025; Native Land Digital, 2025; 巴西 Terras Indígenas; 印度尼西亚原住民土地登记机构), 但现有数据仍不完整且不一致。仅绘制部分或不准确的数据可能产生误导: 某一区域未在地图上显示为原住民或当地社区领地, 并不意味着该区域未登记或无人主张; 错误解读可能导致相关领土权利不被尊重。此外, 公开展示此类领地数据本身也需要取得相关群体的自由、事先和知情同意。

因此, 为最大限度尊重原住民和当地社区领地权利, 并落实预防原则, 本研究假定所有陆地均属于“需要获得自由、事先和知情同意的限制区域”(RA-FPIC)。全球地图不显示任何原住民或当地社区领地的具体数据。但被认定为保护地或保育地的原住民土地, 以及自愿与世隔离和初步接触外界的原住民领地(在有数据的情况下, 例如印度尼西亚 Hongana Manyawa), 被纳入保护地图层。

在部分国家, 如果原住民领地数据(如 Terras Indígenas)及当地社区领地数据较为完整并得到核实, 且已与原住民组织磋商并取得同意, 则可在国家或区域层面的限制区地图和分析中纳入这些数据。

注4 例如, 巴西已划界的原住民领地 Terras Indígenas 已被纳入世界保护地数据库(UNEP-WCMC and IUCN, 2025)的保护地数据集。

2 方法

为开展分析, 本研究将定量和定性指标转换为具有相同空间分辨率和投影、可相互比较的标准化栅格图层。标准化包括将各指标重分类为中、高和极高三个等级, 以反映指标的重要性。随后按照限制区标准对标准化数据集分组聚合, 并在每个像元上选取组内最大值。最终, 将所有聚合图层合并为一个综合图层, 并依据第2.4节所述的三个限制类别, 为综合图层中的每个像元赋予一种限制类型。

本研究采用 Google Earth Engine(GEE)作为全球数据处理和分析平台, 并开发含分析工具的 GEE 应用程序, 用于测试并选择适当参数。陆地生态系统分析的总体流程见图2。

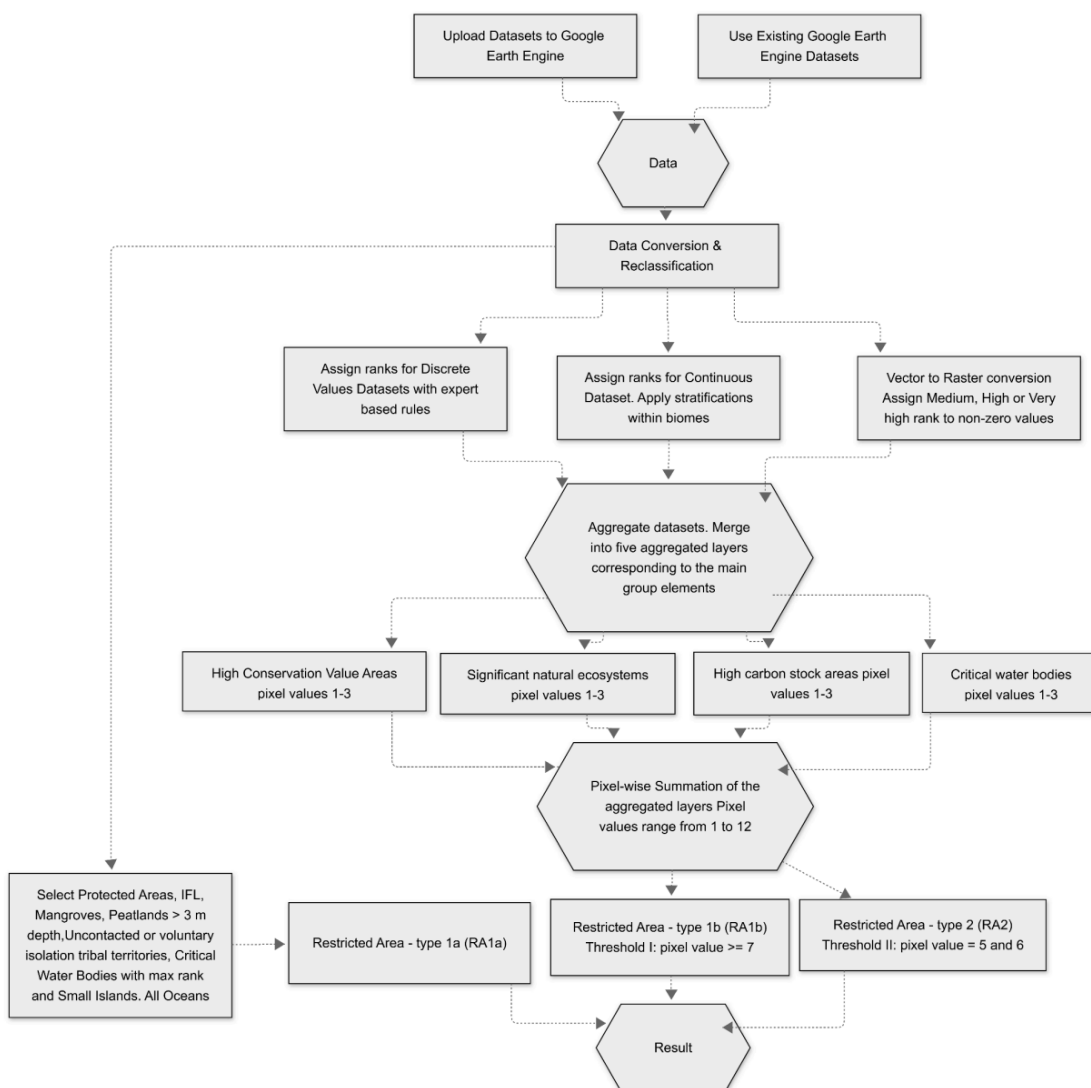


图2 数据分析流程

2.1 数据预处理

为从全部空间数据集中提取定量参数，本研究将其转换为地理坐标系中的全球栅格图层（原文标注为 EPSG:3426 WGS84），统一空间分辨率为 0.0025°/像元（赤道附近约 300 m）。矢量参考地图也被转换为相同栅格格式并重新投影，后续计算均基于这些栅格数据开展。

部分数据集的预处理还包括提取目标指标。例如，从全球数字高程模型中采用 $\geq 21^\circ$ 的阈值生成陡坡图层；又如从 Natural Lands 数据集中提取红树林等特定类别。各图层的详细预处理方法见附录1。

2.2 变量重分类

为形成一致且可比的图层，所有数据均重分类为“中/高/极高”三个等级，对应像元值 1、2 和 3。各变量的重分类与分层细节见附录1。

对于二元数据集，所有非零值按其重要性赋予相应等级。离散图层则依据类别重要性或类别描述进行人工重分类，并转换为等级数据集。

对于连续数据集，全部数值被划分为三个等级，其中高于第 95 百分位数的值被赋予最高等级“极高”。低于最高等级阈值的数值区间再等分为“中”和“高”两类。该缩放方法可降低极端值对总体分布及阈值选择的影响。目前尚未开展采用第 95 百分位数与其他百分位数的敏感性比较。

对于部分连续数据集，除对全部范围进行分析外，还依据 Mazur et al. (2025) 定义的自然生物群系进行额外分层。具体而言，在森林和低矮植被两个生物群系中分别估算最小和最大等级，所有派生图层均作为独立变量使用。在部分情况下，还基于同一数据集采用自然区域掩膜，其中包含森林、低矮植被、水体、裸地和冰雪类别。

以地上活体木本生物量(LWB)为例，研究首先在完整数据范围内将其划分为三个等级(图3):中($0 < \text{LWB} < 9 \text{ Mg/像元}$)、高($9 \leq \text{LWB} < 18 \text{ Mg/像元}$)和极高($18 \leq \text{LWB} \leq 63 \text{ Mg/像元}$)。随后分别针对森林和低矮植被生物群系进行重分类。该步骤不仅可识别碳储量绝对值最高的像元，也可突出特定生物群系内碳储量最高的像元。图3显示，不同生态系统的差异更加清晰:森林生物群系的生物量数值分布范围更广，而低矮植被生物群系主要集中在较低值区间。结果表明，基于分层的重分类既能实现数据集之间的可比性，也能保留生态意义，从而对多样环境进行一致排序。

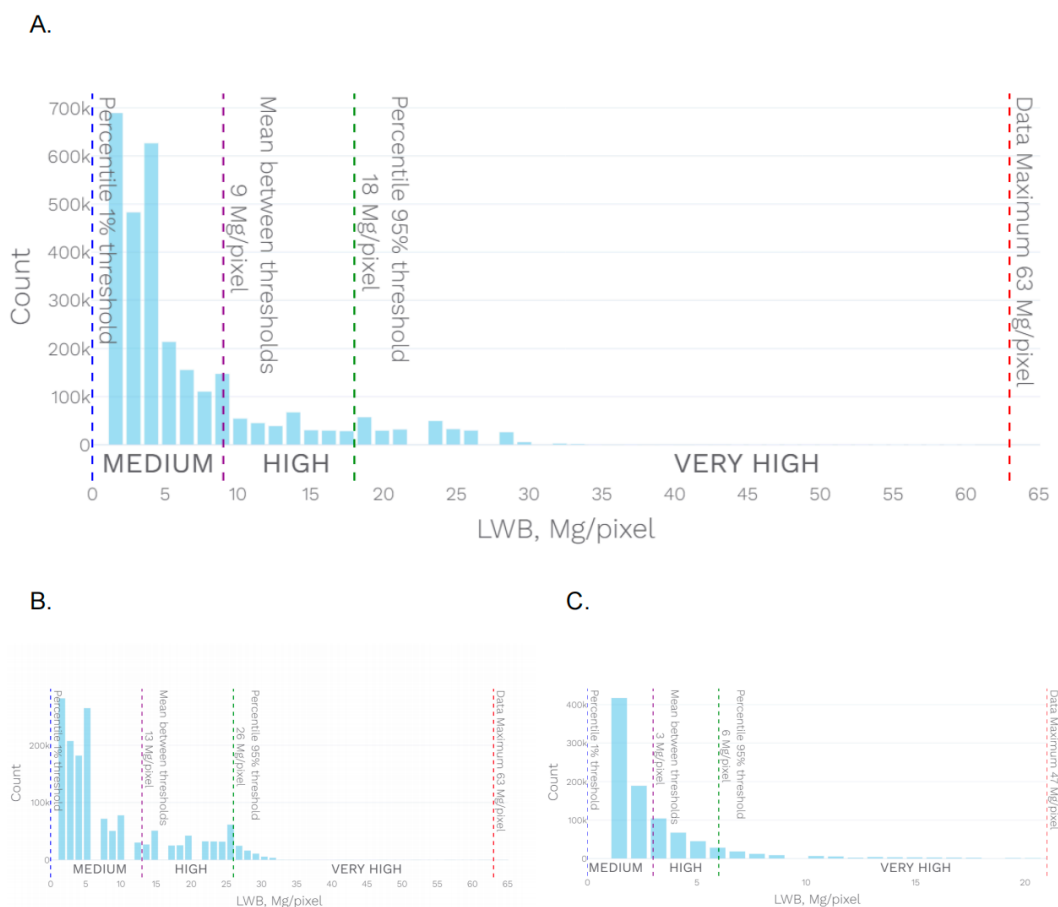


图3 地上活体木本生物量(LWB)在全部范围(A)以及森林(B)和低矮植被(C)生物群系中的分布。

2.3 聚合图层

重分类后的变量被合并为五个聚合图层，对应主要限制区要素(表1)，即保护地、高保护价值区、高碳储量区、重要自然生态系统和关键水体。对于每个聚合图层，在相应数据组内选择各像元的最大等级值。因此，各聚合图层的结果仍分为中(像元值 1)、高(像元值 2)和极高(像元值 3)三个等级。聚合图层见图4。

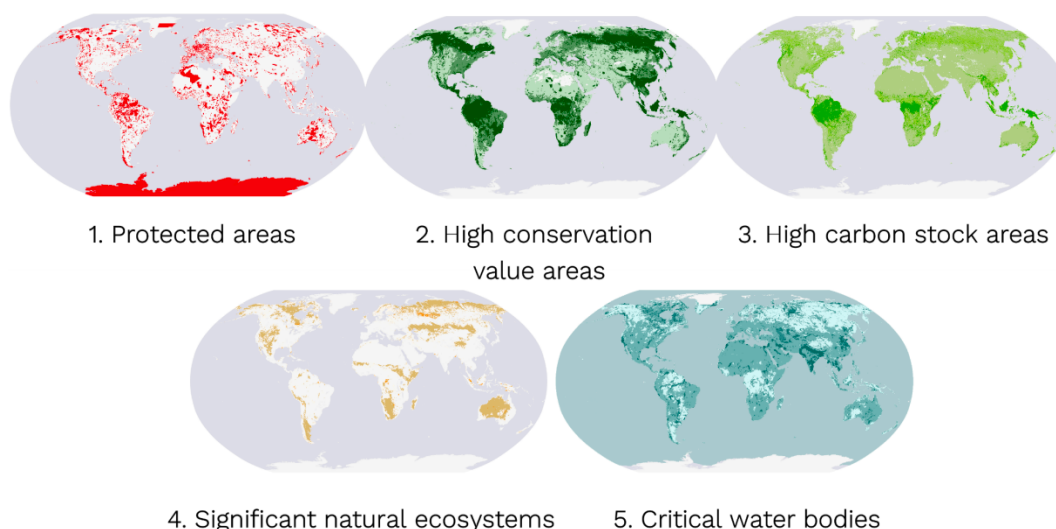


图4 按五类限制区要素生成并划分为三个等级的聚合图层。为提高可视性，第5幅关键水体图中的全球海洋采用较浅颜色显示。

2.4 限制区地图

原住民领地和当地社区领地这一关键要素被作为预防性的总括图层，即覆盖所有国家的“需要获得自由、事先和知情同意的限制区域”(RA-FPIC)。这意味着第一步必须识别是否存在原住民或适用当地社区的权利、实际存在、土地权属或权利主张；如存在，则必须适用 FPIC。由于缺乏完整且一致的数据集，这些领地和水域未在地图中具体显示。

在此基础上，通过组合全部聚合数据图层生成三类限制区，各类别采用略有不同的判定标准：

a) 默认禁止采矿区域(RA1a)。此类区域因其关键重要性，原则上应默认禁止采矿，包括：被认定为保护地或保育地的原住民土地；自愿与世隔离和初步接触外界的原住民领地(在有数据的情况下，例如印度尼西亚 Hongana Manyawa)；IUCN I-VI 类保护地、原住民保护地(IPA)和原住民及社区保护地(ICCAs)、世界遗产地、拉姆萨尔湿地、南极洲、联合国教科文组织世界地质公园和生物圈保护区；完整森林景观、深层泥炭地(>3 m)、红树林、小岛，以及多数重要性等级为极高的关键水体，包括全球海洋(见附录1)。这些区域不考虑各聚合图层的累计值，直接合并为 RA1a，且不叠加其他掩膜；在后续分析中，这些区域被排除在进一步分类之外。

b) 按价值禁止采矿区域(RA1b)。完成 RA1a 分析后，对其余聚合图层进行求和。各聚合图层的像元等级为 1-3，逐像元相加后形成数值范围 1-12 的综合图层。研究选择阈值 7，因为达到该值至少意味着：一个图层为极高(3)且另一个图层为高(2)，或至少三个图层为高(2)。对综合栅格应用“像元值≥7”的阈值生成二元图，并

使用自然土地掩膜(Mazur et al., 2025)裁剪, 定义为 RA1b。此类区域因多种高自然价值的组合而应禁止采矿。换言之, 在高保护价值区、高碳储量区、重要自然生态系统和关键水体四类标准的综合评分中, 其数值达到或超过 7。

c) 额外高自然价值区域(RA2)。RA2 同样依据上述图层的综合数值判定, 但阈值较低, 即 $5 \leq \text{像元值} < 7$, 并使用自然土地掩膜裁剪。此类区域包含极高、高或中等偏高自然价值的不同组合, 仍应视为高度敏感或具有较高自然价值的其他区域, 其价值来自高保护价值区、高碳储量区、重要自然生态系统和关键水体。

重要提示: RA2 区域尤其需要补充更高分辨率、针对具体地点的地方数据或评估, 并吸收地方专家(包括原住民)的意见, 以清楚评估和识别其价值, 再依据预防原则判断哪些区域也应被划为禁止采矿并予以保护。

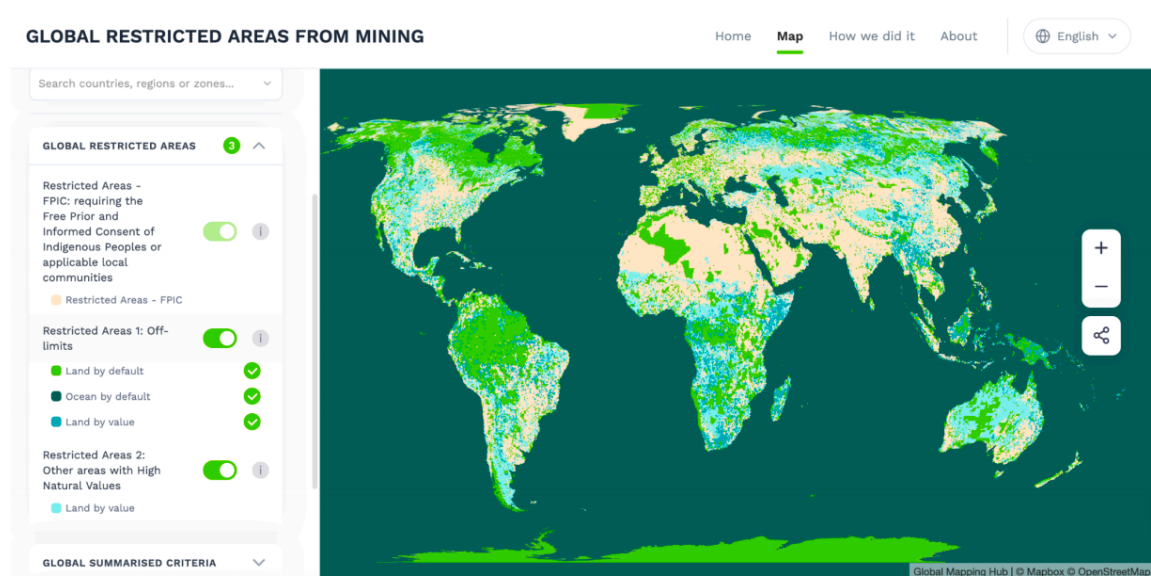


图5 全球限制采矿区域最终结果。

采矿和矿产区域与限制区重叠的“热点”图层

为评估采矿区域与限制区的重叠, 本研究对 Maus(2026)的数据进行协调, 并与 Teske et al.(2026)的“储量代理区域”制图结果整合。在 WGS84 地理坐标系下建立连续六边形网格, 所有面积均按 WGS84 椭球上的大地测量面积计算, 以避免投影造成的畸变。网格单元分辨率为 0.1 十进制度(半径约 5 km), 作为统一分析单元。

在每个六边形网格单元内, 计算五项归一化面积比例, 数值均为 0-1: ①RA1的面积比例(pRA1); ②RA2的面积比例(pRA2); ③RA1与采矿多边形的空间重叠比例(ovIRA1); ④RA2与采矿多边形的空间重叠比例(ovIRA2); ⑤采矿活动占据的总面积比例(pMine)。

为评价累积空间脆弱性和暴露程度, 将上述维度合并为一个按局地采矿足迹归一化的“重叠指数”。每个网格单元的最终评分范围为 0-3, 公式如下:

$$\text{最终评分(重叠指数)} = [\text{pRA1} + \text{pRA2} + (\text{ovIRA1} \times 2) + \text{ovIRA2}] \times \text{pMine}$$

重叠指数以连续色带显示地理空间“热点”，从而突出当前和潜在未来采矿活动对 RA1 和 RA2 完整性构成较高风险的地理区域。

本版地图重点分析 13 种受关注原材料：铝（铝土矿）、煤、钴、铜、金、石墨、铁、锂、锰、镍、磷酸盐、稀土（包括钕和镝）以及钒。这些原材料或在能源转型技术中发挥重要作用，或具有 Maus(2026)所指出的较高固有风险。

由于分析尺度为全球，六边形网格内的部分原材料可能被误分类。发现明显错误时，相关源数据已从地图中删除。13 种原材料中常见误分类包括泥炭开采、油气开发以及骨料或工业矿物开采。因此，在任何具体区域准确识别采矿活动驱动因素时，地方核验仍是关键步骤。

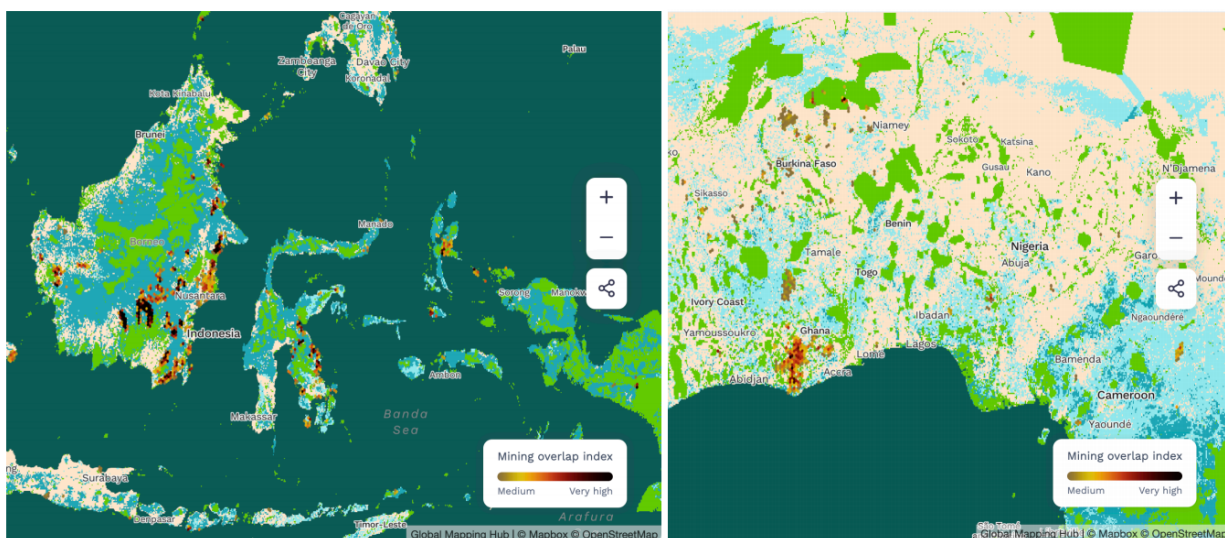


图6 采矿区域与RA1、RA2重叠的热点地图。

3 结果与讨论

基于六项标准，在 Google Earth Engine 平台上对聚合图层进行初步分析后，研究团队与合作伙伴、专家及绿色和平不同国家办公室开展了咨询。收到的意见和反馈被纳入方法优化和限制区表达。咨询的关键问题包括：四类价值标准综合图层应采用何种阈值；该图层应被视为“禁入/禁止采矿”，还是仅归类为“高风险”或“高保护优先级”；数据源是否覆盖所有关键价值；全部海洋是否都应作为禁入/禁止采矿区。随后，在两个背景差异很大的国家开展验证，将全球数据与地方数据集和地方知识进行比对；此外，还在印度尼西亚和巴西与当地非政府组织举行咨询研讨会。下文讨论全球限制采矿区域制图的一般结果、其在国家层面的适用和调整、验证结果以及方法的优势和局限。

在咨询过程中，利益相关方提出希望增加显示采矿区域与 RA1、RA2 重叠情况的“热点”图层，因此本研究增加了相应分析和图层。全球地图无法显示采矿与原住民或当地社区领地的重叠及潜在威胁（纳入 RA1a 的区域除外），但已有一些全球或区域研究和制图工作对此进行了尝试，例如 Owens et al.(2022)、Kennedy et al.(2023)以及 InfoAmazonia。

对于本地图首要图层 RA-FPIC 所体现的核心要求——在原住民领地和适用当地社区领地中取得 FPIC——全球已有大量指导文件和资料可供支持，包括 SIRGE Coalition FPIC Guide、FAO《土地权属治理技术指南3》(2014)、负责任采矿保证倡议(IRMA)《原住民与自由、事先和知情同意补充指南》(2025)以及铝业管理倡议(ASI)指南(2025)。相关引用和链接按原文保留。

3.1 全球和国家层面的制图

限制区地图提供了一个全球尺度框架，用于识别采矿对气候稳定、生物多样性和自然生态系统以及人类造成不可接受风险的区域。该框架和地图基于符合科学可靠性、开放性、空间分辨率和全球一致性标准的国际可获取数据集，首次将关键区域和价值相关数据集中整合，作为行星尺度上考虑采矿活动的共同参考，促使决策符合控制全球升温在 1.5°C 以内、保护生物多样性和自然生态系统，以及尊重原住民和当地社区权利的迫切需要。

然而，全球尺度数据集在国家或地方决策中存在固有局限。其空间分辨率和概化程度无法充分反映地方生态条件、环境价值或各国可能掌握的更新数据。此外，完整的原住民和当地社区领地数据集非常少。因此，全球限制采矿区域地图虽然提供了有力基线，但不能替代地方评估和地方专家意见，尤其不能替代原住民的意见，也不能替代项目实施决策所需的咨询。

可采用相同方法整合更高分辨率或更新的国家数据，例如详细生境图、国家保护地名录、原住民土地边界或地方生物多样性调查，从而建立地方限制区地图。新增数据可归入相应标准(如重要自然生态系统或碳储存)，并按 1-3 重要性等级分类。由于本方法对标准化图层进行聚合，可纳入的地方数据集数量没有上限，每套数据都会按比例贡献于最终综合图层。

尤其鉴于全球地图空间分辨率约为 300 m×300 m，RA1a(默认禁止采矿区域)、RA1b(按价值禁止采矿区域)和 RA2(额外高自然价值区域)的精确边界，可依据国家、区域和地方数据、评估结果及专家知识进行核验和调整。

最终可形成结构与全球地图一致、但分辨率更高并纳入地方情境数据的地方限制区地图，从而提高地方尺度精度。鼓励绿色和平各办公室、合作组织和地方专家根据其专业知识和对当地景观的了解，提出并贡献更多数据集。全球框架提供基础，地方地图则提供支持国家或区域层面知情决策、倡导和政策制定所需的细节。

研究以印度尼西亚(图7)和瑞典(图8)为例，将全球数据与国家数据进行比较，以验证全球数据并判断是否需要补充国家数据。总体而言，在数据分辨率、概化和时效性局限范围内，两国的全球数据集均能较好反映国家数据。印度尼西亚案例突出显示小岛数据的重要性，部分原因在于其国家法律框架；经评估后，小岛数据被补充进全球数据集。瑞典案例使用萨米人领地作为关键测试数据，该数据是完整、公开且经验证的国家级原住民领地数据，但未纳入全球地图；此类数据更适合纳入特定国家或区域限制区地图，并作为需要获得自由、事先和知情同意(FPIC)的图层。



图7 印度尼西亚重点区域限制区地图。为提高可视性，海洋未着色。

Restricted Areas

2025 SWEDEN

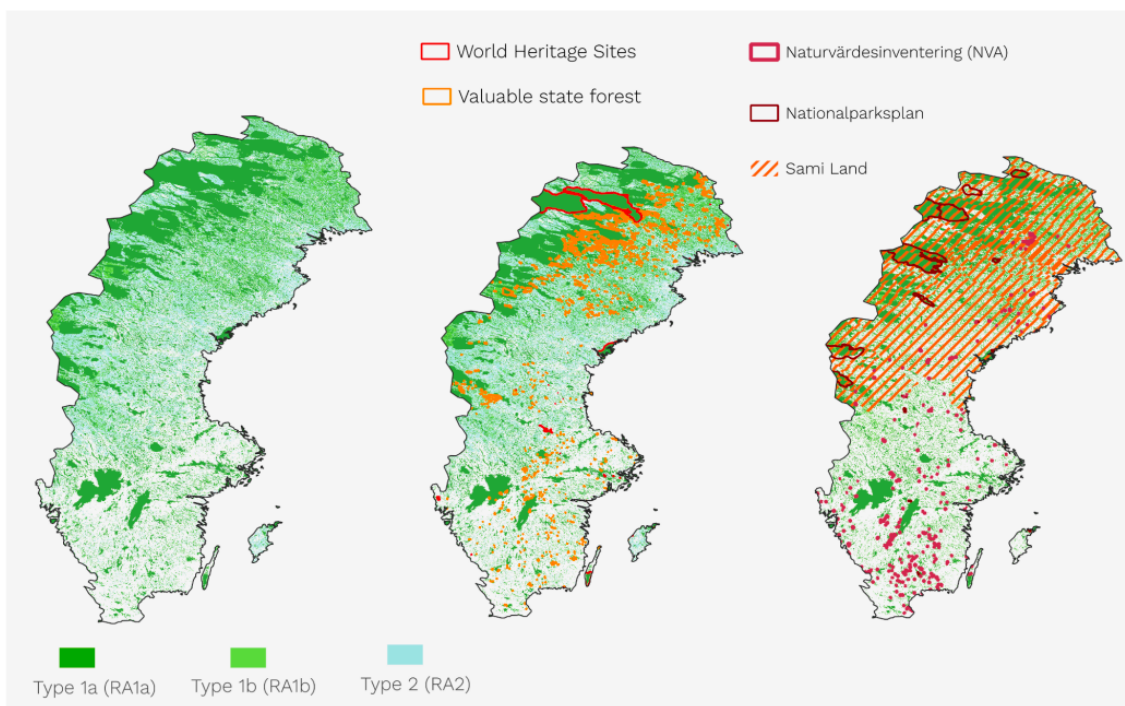


图8 瑞典重点区域限制区地图。为提高可视性, 海洋未着色。

3.2 限制区制图方法的优势与局限

限制区制图方法提供了一个有用的全球框架和筛查工具, 用于识别因具有关键环境、生态、自然和/或社会意义而应被限制或禁止采矿的区域。通过加入采矿与 RA1、RA2 重叠的热点分析, 该地图也可指示采矿可能与关键环境、生态和自然区域及其价值保护发生冲突的地点; 这些区域及价值对于避免进一步突破关键地球界限至关重要。

该方法具有独特性: 它首次针对原材料采矿快速扩张的威胁, 系统汇编并分析了既有、可信的限制区数据集。该结果应被理解为景观尺度的指示性成果, 而不是项目实施或土地利用层面的最终判断; 它是一个可继续测试、加强、调整和扩展的方法学起点。此外, 该通用方法具有可扩展性, 可适应并整合更详细的国家、区域和地方数据及地图。

为确保地图得到恰当解释和使用, 应特别注意以下局限:

数据缺口与准确性: 分析依赖全球数据集, 而不同数据集在细节、质量和覆盖范围上存在差异, 可用数据也存在缺口和不一致。在部分地区, 数据缺失、过时或过于粗糙, 无法反映地方实际。因此, 由于缺乏标准化的全球数据, 一些重要区域——如具有重要生态系统意义的地点、局地生物多样性热点或特定生物多样性生境——可能未被完整捕捉。例如, 遥感土地覆盖产品常有误分类, 坡度模型可能受到地形平滑影响。除可能包含城市/居民区的保护地外, 本方法未纳入人口、居民区、地方条例、农业用地、气候脆弱性(如洪水和滑坡)和冲突地区等数据。许多数据集也不覆盖北极和南极区域。

简化带来的挑战: 为实现可比性, 连续数据采用基于百分位数的排序进行标准化和重分类, 离散数据则采用专家判断的二元分类。尽管数据协调需要这种简化, 但它会引入主观性, 也可能削弱原始分类的信息丰富度。对于部分环境数据, 研究按生态区(生物群系)调整分析, 以避免对某些生态系统(如森林)产生不公平的低估。该做法有助于提升全球尺度的平衡性, 但仍无法充分解释地方环境差异或特定景观的独特重要性。即使方法得到专家知识支持, 所选阈值也可能与政策相关阈值或生态关键阈值不一致。

- 存在覆盖所有国家的总括限制区分类 RA-FPIC, 要求取得原住民或适用当地社区的自由、事先和知情同意。由于缺乏完整数据集, 这些领地和水域未被具体显示。
- 全球限制采矿区域地图应被视为景观尺度上提供禁采区指示信息的全球筛查工具, 而不是最终决策产品。在作出任何土地利用决定前, 必须开展具体地点和地方数据评估、吸收专家意见, 并与权利主体和利益相关方进行磋商。
- 地图采用一系列可信、公开来源的最佳可用全球数据。建立该框架和地图的非政府组织未自行采集或使用其自身数据。地图所采用的国家范围等地理底图数据(见“数据来源”链接)不代表制图机构对其作出认可。
- 限制区地图绝不意味着对特定指示性 RA1a/RA1b 应禁止采矿区域之外的采矿活动发出“绿灯”或给予认可。RA2 区域同样具有较高价值, 经地方评估、专家意见和利益相关方磋商后, 也可能需要划为禁采区。禁采区以外的区域也可能具有高价值, 在任何采矿开发前都必须接受全面、严格的环境和社会评估及筛查, 包括地方评估; 而且, 对任何采矿开发的考虑首先仍须满足 FPIC 要求。

References

- Areendran, G., Sahana, M., Raj, K., Kumar, R., Sivadas, A., Kumar, A., Deb, S., Gupta, V.D., 2020. A systematic review on high conservation value assessment (HCVs): Challenges and framework for future research on conservation strategy. *Science of The Total Environment* 709, 135425. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135425>
- BirdLife International, 2025. *The World Database of Key Biodiversity Areas*. Developed by the KBA Partnership: BirdLife International, International Union for the Conservation of Nature, Amphibian Survival Alliance, Conservation International, Critical Ecosystem Partnership Fund, Global Environment Facility, Re:wild, NatureServe, Rainforest Trust, Royal Society for the Protection of Birds, Wildlife Conservation Society and World Wildlife Fund. Available at <https://www.keybiodiversityareas.org/sites/search>
- Druel, E., Ecologically or Biologically Significant Marine Areas (EBSAs): the identification process under the Convention on Biological Diversity (CBD) and possible ways forward. Working Paper N°17 /12 July 2012, IDDRI, Paris, France. https://www.iddri.org/sites/default/files/import/publications/wp1712_ed_ebsas.pdf. Available at <https://www.cbd.int/ebsa>
- GADM 2025. GADM maps and data. <https://gadm.org/>
- GLIMS Consortium, 2005. *GLIMS Glacier Database*. (NSIDC-0272, Version 1). [Data Set]. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.7265/N5V98602>. Available at <https://www.glims.org/maps/glims>
- Grantham, H.S., Duncan, A., Evans, T.D., Jones, K.R., Beyer, H.L., Schuster, R., Walston, J., Ray, J.C., Robinson, J.G., Callow, M., Clements, T., Costa, H.M., DeGemmis, A., Elsen, P.R., Ervin, J., Franco, P., Goldman, E., Goetz, S., Hansen, A., Hofsvang, E., Jantz, P., Jupiter, S., Kang, A., Langhammer, P., Laurance, W.F., Lieberman, S., Linkie, M., Malhi, Y., Maxwell, S., Mendez, M., Mittermeier, R., Murray, N.J., Possingham, H., Radachowsky, J., Saatchi, S., Samper, C., Silverman, J., Shapiro, A., Strassburg, B., Stevens, T., Stokes, E., Taylor, R., Tear, T., Tizard, R., Venter, O., Visconti, P., Wang, S., Watson, J.E.M., 2020. Anthropogenic modification of forests means only 40% of remaining forests have high ecosystem integrity. *Nat Commun* 11, 5978. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19493-3>. Available at <https://www.forestintegrity.com>
- Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2008. Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). Available at https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/CGIAR_SRTM90_V4
- Kennedy et. al., 2023. Indigenous Peoples' lands are threatened by industrial development; conversion risk assessment reveals need to support Indigenous stewardship. *Science Direct*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332223003408>

- Lehner, B., Anand, M., Fluet-Chouinard, E., Tan, F., Aires, F., Allen, G.H., Bousquet, P., Canadell, J.G., Davidson, N., Finlayson, C.M., Gumbrecht, T., Hilarides, L., Hugelius, G., Jackson, R.B., Korver, M.C., McIntyre, P.B., Nagy, S., Olefeldt, D., Pavelsky, T.M., Pekel, J.-F., Poulter, B., Prigent, C., Wang, J., Worthington, T.A., Yamazaki, D., Thieme, M., 2024. Mapping the world's inland surface waters: an update to the Global Lakes and Wetlands Database (GLWD v2). <https://doi.org/10.5194/essd-2024-204>. Available at <https://www.hydrosheds.org/products/glwd>
- Linke, S., Lehner, B., Ouellet Dallaire, C., Ariwi, J., Grill, G., Anand, M., Beames, P., Burchard-Levine, V., Maxwell, S., Moidu, H., Tan, F., Thieme, M., 2019. Global hydro-environmental sub-basin and river reach characteristics at high spatial resolution. *Sci Data* 6, 283. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0300-6>. Available at https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/WWF_HydroATLAS_v1_Basins_level11
- Mazur, E., Sims, M., Goldman, E., Schneider, M., 2025. SBTN Natural Lands Map – Technical Documentation. https://sciencebasedtargetsnetwork.org/wp-content/uploads/2025/02/Technical-Guidance-2025-Step3-Land-v1_1-Natural-Lands-Map.pdf. Available at https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/WRI_SBTN_naturalLands_v1
- Maus, V., 2026. A data-driven approach to mapping global commodity-specific mining land-use. *Journal of Cleaner Production*, 540, 147437. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.147437>
- Mervine, E.M., Valenta, R.K., Paterson, J.S., Mudd, G.M., Werner, T.T., Nursamsi, I., Sonter, L.J., 2025. Biomass carbon emissions from nickel mining have significant implications for climate action. *Nat Commun* 16, 481. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-55703-y>
- Mikelsons, K., Wang, M., Wang, X.-L., Jiang, L., 2021. Global land mask for satellite ocean color remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 257, 112356. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112356>. Available at <https://data.mendeley.com/datasets/9r93m9s7cw/1>
- Minerals for Energy Transition: Guiding Principles, 2025. Greenpeace. Available at https://www.greenpeace.org/static/planet4-international-stateless/2025/06/d9693389-minerals-for-transition_guide-principles.pdf
- Owens et. al., 2022. Energy transition minerals and their intersection with land-connected peoples. *Nature Sustainability*, volume 6, pages 203–211 (2023). <https://www.nature.com/articles/s41893-022-00994-6#Bib1>
- Parente, L., Sloat, L., Mesquita, V., Consoli, D., Stanimirova, R., Hengl, T., Bonannella, C., Teles, N., Wheeler, I., Hunter, M., Ehrmann, S., Ferreira, L., Mattos, A.P., Oliveira, B., Meyer, C., Şahin, M., Witjes, M., Fritz, S., Malek, Z., Stolle, F., 2024. Annual 30-m maps of global grassland class and extent (2000–2022) based on spatiotemporal Machine Learning. *Sci Data* 11, 1303. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-04139-6>. Available at <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/publisher/global-pasture-watch>
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., Belward, A.S., 2016. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540, 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>. Available at https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/JRC_GSW1_4_GlobalSurfaceWater
- Potapov, P., Hansen, M.C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., Zalles, V., Li, X., Khan, A., Stolle, F., Harris, N., Song, X.-P., Baggett, A., Kommareddy, I., Kommareddy, A., 2022. The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive: First Results. *Front. Remote Sens.* 3, 856903. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>. Available at <https://glad.umd.edu/dataset/GLCLUC2020>

- Potapov, P., Yaroshenko, A., Turubanova, S., Dubinin, M., Laestadius, L., Thies, C., Aksenov, D., Egorov, A., Yesipova, Y., Glushkov, I., Karpachevskiy, M., Kostikova, A., Manisha, A., Tsybikova, E., Zhuravleva, I., 2008. Mapping the World's Intact Forest Landscapes by Remote Sensing. *Ecology and Society* 13. <https://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art51>. Data available at <https://intactforests.org/data.ifl.html>
- Sabatini, F.M., Jiménez-Alfaro, B., Jandt, U., Chytrý, M., Bruehlheide, H., the sPlot Consortium, 2022. Global patterns of vascular plant alpha-diversity. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32063-z>. Available at <https://idata.idiv.de/ddm/Data/ShowData/3506?version=70>
- Sayre, R., 2022. Global Islands - Public Domain Data [Data set]. GEO Knowledge Hub. Available at <https://doi.org/10.60566/7yze-2g558>
- Spawn, S.A., Sullivan, C.C., Lark, T.J., Gibbs, H.K., 2020. Harmonized global maps of above and belowground biomass carbon density in the year 2010. *Sci Data* 7, 112. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0444-4>. Available at https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_ORNL_biomass_carbon_density_v1
- Survival International 2024. Driven to the edge: How the demand for electric cars is destroying uncontacted Indigenous people's lives and lands in Indonesia. P24-28. <https://www.survivalinternational.org/documents/DrivenToTheEdge>
- Teske, S., Niklas, S., Miyake, S., Hamilton, S. (2026); Beyond Extraction: Pathways for a 1.5°C-aligned Energy Transition with Less Minerals; prepared for Greenpeace International by The University Technology Sydney, Institute for Sustainable Futures; March 2026. Available at <https://www.uts.edu.au/news/2026/03/looking-beyond-extraction-for-renewables>
- Thomey, M., Ford, P., Reeves, M., Finch, D., Litvak, M., Collins, S. 2014. Review of climate change impacts on future carbon stores and management of warm deserts of the United States. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-316. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 26 p. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-316>
- Waliczky, Z., Fishpool, L.D.C., Butchart, S.H.M., Thomas, D., Heath, M.F., Hazin, C., Donald, P.F., Kowalska, A., Dias, M.P., Allinson, T.S.M., 2019. Important Bird and Biodiversity Areas (IBAs): their impact on conservation policy, advocacy and action. *Bird Conservation International* 29, 199–215. <https://doi.org/10.1017/S0959270918000175>. Available at <https://datazone.birdlife.org/search>
- Widyastuti, M.T., Minasny, B., Padarian, J., Maggi, F., Aitkenhead, M., Beucher, A., Connolly, J., Fiantis, D., Kidd, D., Ma, Y., Macfarlane, F., Robb, C., Rudiyanto, Setiawan, B.I., Taufik, M., 2025. Digital mapping of peat thickness and carbon stock of global peatlands. *CATENA* 258, 109243. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.109243>. Available at <https://zenodo.org/records/12559239>
- World Wide Fund for Nature, 2024. WWF Water Risk Filter Methodology Documentation. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.13768279>. Available at <https://riskfilter.org/water/explore/map>
- Xu, L., Saatchi, S.S., Yang, Y., Yu, Y., Pongratz, J., Bloom, A.A., Bowman, K., Worden, J., Liu, J., Yin, Y., Domke, G., McRoberts, R.E., Woodall, C., Nabuurs, G.-J., de-Miguel, S., Keller, M., Harris, N., Maxwell, S., Schimel, D., 2021. Changes in global terrestrial live biomass over the 21st century. *Sci. Adv.* 7, eabe9829. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abe9829>. Available at <https://data.globalforestwatch.org/datasets/gfw::aboveground-live-woody-biomass-density/about>
- UNEP-WCMC, 2025. Species richness. Derived from Areas of Habitat maps created from data from the IUCN Red List, BirdLife International, the Global Assessment of Reptile Distributions (GARD), the Botanical Information and Ecology Network (BIEN) database and additional vascular plant species ranges were

created from point data from the IUCN Red List, Botanic Gardens Conservation International (BGCI), the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) and iNaturalist. Cambridge, UK. Available at https://data-gis.unep-wcmc.org/server/rest/services/NatureMap/Species_richness/MapServer

UNEP-WCMC and IUCN, 2025. Protected Planet: [The World Database on Protected Areas (WDPA)/The World Database on Other Effective Area-based Conservation Measures (WD-OECM)/The Global Database on Protected Areas Management Effectiveness (GD-PAME)] [On-line], 05/2025, Cambridge, UK:

UNEP-WCMC and IUCN. Available at https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/WCMC_WDPA_current_polygons

Yap, T., Prabhala, A., Anderson, I., 2023. Hidden in Plain Sight: California's Native Habitats are valuable carbon sinks. <https://www.biologicaldiversity.org/programs/urban/pdfs/Hidden-in-Plain-Sight-report.pdf>

Zhang, X., Liu, L., Zhao, T., Chen, X., Lin, S., Wang, J., Mi, J., Liu, W., 2023. GWL_FCS30: a global 30 m wetland map with a fine classification system using multi-sourced and time-series remote sensing imagery in 2020. Earth Syst. Sci. Data 15, 265–293. <https://doi.org/10.5194/essd-15-265-2023>. Available at <https://zenodo.org/records/7340516>

附录

附录1 数据集预处理与分类细节

数据	预处理与重分类说明	最终等级	建议限制区类别
保护地；世界遗产地；拉姆萨尔湿地	- 从源数据中选择适当的保护地类型 - 重投影为地面分辨率 300 m/像元的栅格 - 赋予最高等级值 3	极高	RA1a
南极洲	- 从源数据中选择适当的保护地类型 - 重投影为 300 m/像元栅格 - 赋予最高等级值 3	极高	RA1a
完整森林景观	- 重投影为 300 m/像元栅格 - 赋予最高等级值 3	极高	RA1a
生物多样性关键区	- 重投影为 300 m/像元栅格 - 赋予最高等级值 3	极高	RA1b
重要鸟类和生物多样性区	- 重投影为 300 m/像元栅格 - 赋予最高等级值 3	极高	RA1b
相对物种丰富度	- 源数据分辨率较低(约 3 km/像元)，利用 WWF Hydro Atlas 将源值分配到流域，在 300 m/像元尺度采用均值聚合 - 将结果转换为栅格并重投影为 300 m/像元 - 以全部数据范围的第 1 至 95 百分位数作为最小/最大范围，重分类为三个等级	中；高；极高	RA1b 与 RA2
植物物种丰富度	- 源数据分辨率较低(约 1 km/像元)，利用 WWF Hydro Atlas 将源值分配到流域，在 300 m/像元尺度采用均值聚合 - 将结果转换为栅格并重投影为 300 m/像元 - 以全部数据范围的第 1 至 95 百分位数作为最小/最大范围，重分类为三个等级	中；高；极高	RA1b 与 RA2
森林完整性指数	- 重投影为 300 m/像元栅格 - 分别按全部范围、森林和矮矮植被生物群系的第 1 至 95 百分位数范围重分类为三个等级	中；高；极高	RA1b 与 RA2
地上活体木本生物量	重投影为 300 m/像元栅格	中；高；极高	RA1b 与 RA2

数据	预处理与重分类说明	最终等级	建议限制区类别
	分别按全部范围、森林和低矮植被生物群系的第 1 至 95 百分位数范围重分类为三个等级		
地上和地下生物量碳密度	- 重投影为 300 m/像元栅格 - 分别按全部范围、森林和低矮植被生物群系的第 1 至 95 百分位数范围重分类为三个等级	中;高;极高	RA1b 与 RA2
泥炭地碳储量	- 重投影为 300 m/像元栅格 - 按全部范围的第 1 至 95 百分位数范围重分类为三个等级	中;高;极高	RA1b 与 RA2
泥炭层厚度	- 重投影为 300 m/像元栅格 - 分别按全部范围、森林和低矮植被生物群系的第 1 至 95 百分位数范围重分类为三个等级 - 选择厚度大于 3 m 的区域作为 RA1a	中;高;极高	RA1a(>3 m); RA1b 与 RA2
红树林	- 选择源数据中所有红树林类别像元 - 重投影为 300 m/像元栅格 - 赋予最高等级值 3 - 使用自然区域(Natural Lands)图层裁剪	极高	RA1a
湿地	- 选择湿地类别并赋值:swamp=3、marsh=3、flooded flat=1、saline=3、salt marsh=3、tidal flat=2 - 重投影为 300 m/像元栅格 - 使用自然区域图层裁剪	中;高;极高	RA1b 与 RA2
草地	- 选择概率>50%的像元 - 重投影为 300 m/像元栅格 - 赋予等级值 2 - 使用自然区域图层裁剪	高	RA1b 与 RA2
小岛	- 选择源数据中面积小于 20,000 公顷的岛屿 - 重投影为 300 m/像元栅格 - 赋予等级值 3	极高	RA1a
陡坡	- 选择坡度>20°的像元 - 重投影为 300 m/像元栅格 - 按全部范围的第 1 至 95 百分位数范围重分类为三个等级	中;高;极高	RA1b 与 RA2
永久性和自然水体	- 将两套数据重投影为 300 m/像元栅格 - 第一套数据赋值:Permanent Water=3、Water loss=3、Water gain=0、Lost seasonal=3、Stable seasonal=3、High frequency=3 - 第二套数据赋值:Permanent=3、Lost permanent=3、New permanent=0、Seasonal=3、Ephemeral=3 - 合并两个结果图层 - 使用自然区域图层裁剪	极高	RA1a
内陆水体表面密度	- 重投影为 300 m/像元栅格 - 按全部范围的第 1 至 95 百分位数范围重分类为三个等级 - 等级3使用自然区域图层裁剪	中;高;极高	RA1a(极高); RA1b 与 RA2
流域物理风险	- 重投影为 300 m/像元栅格 - 将源风险等级重分类:1、2、3→1;4、5、6→2;7、8、9、10→3 - 等级3使用自然区域图层裁剪	中;高;极高	RA1b 与 RA2
冰川	- 重投影为 300 m/像元栅格 - 赋予最高等级值 3	极高	RA1a
全球海洋	- 重投影为 300 m/像元栅格 - 赋予等级值 3	极高	RA1a
自然土地	- 将源数据 21 类归并为 5 类:1=森林、2=低矮植被、3=水体、4=裸地、5=冰雪 - 用于分层和创建掩膜:类别1生成森林掩膜,类别2生成低矮植被掩膜,类别1-5生成自然区域类别 - 重投影为 300 m/像元栅格	-	-
Hongana-Manyawa 自愿隔离部落领地	- 重投影为 300 m/像元栅格 - 赋予最高等级值 3	极高	RA1a