

PUBLIC METHODOLOGY · DATA PROVENANCE · VALIDATION

Методология спутникового мониторинга и сценарной аналитики лесов

Наборы исходных данных, формулы индексов, климатические сценарии, обработка пропусков, протокол ретроспективной проверки и нормативные ограничения.

Версия	1.4
Дата	18 августа 2026
Статус	публичная методология
Применение	сайт, проверка, отчёты и аудит

Ключевой принцип: наблюдение, отсутствие сигнала, отсутствие данных и модельный сценарий являются разными состояниями и не подменяют друг друга.

Forest OS Global

1. Назначение и границы документа

Документ раскрывает публично допустимую часть методологии Forest OS: происхождение данных, пространственно-временное агрегирование, формулы, контроль качества, работу с неопределённостью и процедуру валидации. Он предназначен для покупателя, партнёра, научного или регуляторного проверяющего.

Не входит в предмет документа. Внутренние веса risk-моделей, owner-only пороги, ключи доступа, персональные данные и чувствительные пространственные прогнозы. Их непубликация не изменяет раскрытые здесь источники, базовые преобразования и ограничения.

1.1. Пространственная и временная основа

- Глобальный аналитический контур приводится к сетке H3 resolution 7.
- Историческая шкала - месячная; текущая ось содержит 319 месяцев (2000-01...2026-07).
- Для выбранного AOI возможен детальный расчёт по Sentinel-2 или Landsat; глобальный H3-слой не выдаётся за нативное разрешение исходного снимка.
- Дата результата означает дату конкретного исходного слоя или последнего валидного композита, а не единую дату обновления всей платформы.

1.2. Конвейер расчёта

1 · Источник	2 · QA и шкалы	3 · Композит	4 · Пространство	5 · Вывод
официальный продукт + версия	маски, scale/offset, допустимые диапазоны	медиана или среднее валидных наблюдений	H3 r7 либо AOI-пиксели	значение + дата + coverage + limitation

1.3. Минимальный пакет воспроизводимости

Для воспроизведения расчёта фиксируются: ID и версия набора; AOI и CRS; период; названия каналов; scale/offset; QA-маска; правило агрегирования; H3-разрешение; версия сценария/модели; доля валидных наблюдений; идентификатор манифеста или контрольная сумма артефакта.

2. Матрица исходных данных

Периодичность ниже — номинальная характеристика продукта или миссии. Фактический интервал валидных наблюдений может увеличиваться из-за облачности, снега, геометрии съёмки, задержки архива и QA.

Набор и поставщик	Разрешение / шаг	Переменные и обработка	Роль / статус
MOD13A1.061 NASA MODIS / Terra	500 м 16 дней	NDVI, EVI, NIR, MIR; scale 0,0001; допустимые диапазоны; месячная медиана.	Глобальная история. QA-guard.
MOD11A2.061 NASA MODIS / Terra	1 км 8 дней	LST day/night; DN × 0,02 K; диапазон 180–360 K; месячная медиана.	Глобальная история. QA-guard.
MOD09A1/MYD09A1.061 NASA MODIS	500 м 8 дней	RED, NIR, BLUE, GREEN, SWIR1; NDWI, NDMI, SIPI; месячная медиана после QA.	Глобальный backfill v1.4. Staging до QA.
MCD15A3H.061 NASA MODIS	500 м 4 дня	Официальные LAI и fAPAR; FparLai_QC; fill-коды не становятся нулями.	Глобальный backfill v1.4. Staging до QA.
MCD64A1.061 NASA MODIS	500 м месяц	Burn Date 1–366; коды 0/–1/–2 имеют разную семантику; архив отделён от live-точек.	История выгораний. QA-guard.
Sentinel-2 L2A Copernicus	10/20/60 м номинально 5 дней	B02-B08, B8A, B11, B12; red-edge; маска SCL; месячная медиана.	Детальный AOI. По запросу.
Landsat 8/9 C2 L2 USGS / NASA	30 м multispectral 16 дней каждый; ~8 дней вместе	Blue, green, red, NIR, SWIR1/2; DN × 0,0000275 – 0,2; QA_PIXEL.	Детальный AOI. По запросу.
SMAP SPL3SMP_E V006 NASA / NSIDC	9 км ежедневно	Surface soil moisture AM/PM, м³/м³; месячные средние; выборка в центры H3.	Влажность. Производный слой.
ERA5-Land monthly means Copernicus CDS	9 км native; 0,1° CDS месяц	Осадки и влажность почвы; реанализ исторического климата.	Климатический контекст. Материализован.
NASA FIRMS MODIS / VIIRS	точечные события near real time	Тепловые аномалии, время, confidence, FRP; отдельный event feed.	Оперативный пожарный сигнал. Материализован.
NEX-GDDP-CMIP6 NASA	0,25° daily input региональная агрегация	tas, pr; SSP2-4.5/SSP5-8.5; 2030/2040/2050/2070.	Сценарный фон. Guarded.

Уточнение по влажности: реально материализованный продукт — SMAP Enhanced L3 V006 (SPL3SMP_E), 9 км.
Наименование L4 не используется в этой публичной версии.

3.1. Публичные индексы v1.4

Публичный каталог содержит 11 индексов: NDVI, EVI, NBR и восемь новых рабочих индексов NDWI, LAI, dNBR, fAPAR, NDMI, CCI, BAIS2 и SIPI.

NDWI и NDMI

$$\text{NDWI} = (\text{GREEN} - \text{NIR}) / (\text{GREEN} + \text{NIR})$$

$$\text{NDMI} = (\text{NIR} - \text{SWIR1}) / (\text{NIR} + \text{SWIR1})$$

Глобально используются quality-screened MOD09A1/MYD09A1 surface reflectance: GREEN b04, NIR b02 и SWIR1 b06. Для Sentinel-2 AOI применяются B03/B08 и B08/B11; для Landsat - green/nir08 и nir08/swir16. Alert оценивает сезонную аномалию, а не единственный универсальный порог.

LAI и fAPAR

$$\text{LAI_global} = \text{MCD15A3H Lai_500m} \times 0,1$$

$$\text{fAPAR_global} = \text{MCD15A3H Fpar_500m} \times 0,01$$

Канонические глобальные слои используют официальный MCD15A3H.061 после FparLai_QC. Для AOI допустимы только явно маркированные проху: LAI_proxу = clip(3,618 × EVI - 0,118; 0; 8) и fAPAR_proxу = clip(1 - exp(-0,5 × LAI); 0; 1). Proxу не смешивается с MCD15 без поля method/source.

dNBR

$$\text{dNBR} = \text{NBR_before} - \text{NBR_after}$$

Глобальный месячный слой использует NBR(t-1) - NBR(t). Для конкретного пожара окна before/after привязываются к событию. Ориентировочные классы: 0,10-0,27 низкая; 0,27-0,44 умеренно низкая; 0,44-0,66 умеренно высокая; >0,66 высокая тяжесть. Требуются MCD64A1/FIRMS и региональная калибровка.

SIPI

$$\text{SIPI} = (\text{NIR} - \text{BLUE}) / (\text{NIR} - \text{RED})$$

Глобально: MOD09A1/MYD09A1 NIR/BLUE/RED. AOI: Sentinel-2 B08/B02/B04 или Landsat nir08/blue/red. Формула с GREEN вместо BLUE не маркируется как SIPI.

3.2. Индексы детального AOI

CCI red-edge proxy

$$\text{CCI_proxy} = (B07 / B05) - 1$$

Sentinel-2 AOI proxy для раннего стресса. Он не выдаётся за официальный MERIS terrestrial chlorophyll index и не получает глобальный H3-статус до внешней валидации.

BAIS2

$$\text{BAIS2} = (1 - \sqrt{B06 \times B07 \times B8A / B04}) \times (((B12 - B8A) / \sqrt{B12 + B8A})) + 1$$

BAIS2 является Sentinel-2 AOI-индексом. Выражение $(B12 - B08) / (B12 + B08)$ не используется как BAIS2: это обратный знак NBR и другая методика.

3.2.1. QA и promotion

- MOD09: cloud, shadow, bad aerosol, cirrus, snow/ice и adjacent cloud исключаются по state QA.
- MCD15: принимается clear retrieval главного алгоритма; fill-коды 249-255 остаются NoData.
- Новый массив опубличен только после полного manifest, range/coverage QA и promotion из staging.
- Хранение: scaled integer + scale/offset + fill; float16 не применяется из-за точности и chunking.

3.3. Рабочие диапазоны и кейсы

Диапазоны ниже - первичная проверка правдоподобия в сезон активной вегетации, а не универсальная норма или диагноз. Production-alert сравнивает участок с его многолетней нормой, типом леса и месяцем.

Тип покрова	LAI	fAPAR	NDMI	NDWI
Хвойный сомкнутый	3...8	0,60...0,95	0,20...0,65	-0,65...-0,10
Лиственный leaf-on	2...7	0,50...0,95	0,15...0,60	-0,60...-0,05
Редколесье / нарушенный	0,2...4	0,10...0,75	-0,10...0,45	-0,70...0,10
Открытая вода	н/п	н/п	н/п	обычно >0

Отрицательный NDWI у растительности сам по себе не означает засуху. CCI, SIPI и BAIS2 не получают универсальных порогов до калибровки; dNBR оценивается относительно события.

Кейсы совместной интерпретации

- Засуха/пожар: падение NDMI/NDWI + рост LST + дефицит soil moisture; один индекс не доказательство.
- Биомасса/MRV: LAI и fAPAR дополняют NDVI; carbon-вывод требует отдельной модели и ground truth.
- Пожар/восстановление: dNBR и BAIS2 + MCD64A1/FIRMS, затем динамика NDVI/LAI.
- Ранний стресс: CCI/SIPI назначают полевую проверку, но не диагностируют болезнь.

3.4. Базовые индексы, каналы и преобразования

3.4.1. NDVI — состояние фотосинтетически активной растительности

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

Sentinel-2: NIR B08 и RED B04. Landsat 8/9: NIR Band 5 и RED Band 4. Для глобального ряда Forest OS читает готовый NDVI из MOD13A1.061, применяет scale factor 0,0001 и оставляет значения −0,2...1,0. Формула приведена для научной интерпретации и AOI-расчёта; глобальный NDVI не пересчитывается из сырых MODIS-каналов заново.

3.4.2. EVI и NBR

$$\begin{aligned} \text{EVI} &= 2,5 \times (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + 6 \times \text{RED} - 7,5 \times \text{BLUE} + 1) \\ \text{NBR} &= (\text{NIR} - \text{SWIR2}) / (\text{NIR} + \text{SWIR2}) \end{aligned}$$

EVI снижает влияние атмосферы и фона почвы. NBR чувствителен к нарушениям и выгораниям, но сам по себе не устанавливает юридическую причину ущерба. Sentinel-2: B08/B12; Landsat: B5/B7; глобальный контур NBR использует NIR/MIR reflectance MOD13A1 с scale factor 0,0001.

3.4.3. Температура поверхности (LST)

$$\text{LST}[K] = \text{DN} \times 0,02; \quad \text{LST}[^{\circ}\text{C}] = \text{LST}[K] - 273,15$$

Используются MOD11A2 LST_Day_1km и LST_Night_1km. Продукт основан на официальном split-window retrieval; Forest OS не восстанавливает температуру поверхности из одной визуальной полосы. Значения вне 180–360 K исключаются, затем вычисляется месячная медиана валидных композитов.

3.4.4. Влажность почвы

$$\text{SM_month} = \text{mean}(\text{valid daily SM_AM, SM_PM}), \text{ единица — м}^3/\text{м}^3$$

SMAP SPL3SMP_E V006 предоставляет физическую оценку поверхностной влажности; это не оптический индекс. Ежедневные утренние и вечерние поля агрегируются помесечно. ERA5-Land используется как отдельный реаналитический климатический контекст, а не как скрытая замена пропусков SMAP.

3.4.5. QA детального AOI

- Sentinel-2 L2A: исключаются SCL 0, 1, 3, 8, 9, 10, 11 (дефекты, тени, облака, cirrus, снег/лёд).
- Landsat C2 L2: исключаются QA_PIXEL bits 1, 3 и 4 (diluted cloud, cloud, cloud shadow).
- Из валидных сцен месяца вычисляется медиана; пустой результат остаётся отсутствующим.

4. CMIP6, downscaling и неопределённость

4.1. Текущий подтверждённый контур

Forest OS материализовал региональные агрегаты NASA NEX-GDDP-CMIP6 по двум сценариям: SSP2-4.5 (промежуточный уровень воздействия) и SSP5-8.5 (очень высокий). Переменные: tas — near-surface air temperature и pr — precipitation. Контрольные годы: 2030, 2040, 2050 и 2070. Макрорегионы: Амазония, бассейн Конго, бореальная Евразия, бореальная Северная Америка, Юго-Восточная Азия и Австралия.

SSP1-1.9 не указан как используемый. Подключённый рабочий контур NEX-GDDP-CMIP6 в Forest OS подтверждён только для SSP2-4.5 и SSP5-8.5.

4.2. Что означает downscaling

NEX-GDDP-CMIP6 уже является статистически downscaled и bias-corrected производным набором CMIP6. Forest OS выполняет последующую пространственно-временную агрегацию для сценарного контекста. Собственная динамическая региональная климатическая модель не заявляется.

Внутренний слой переноса прогнозных anchor-точек на H3 имеет статус guarded_pre_validation. Он построен для owner-QA, а сценарные и 5/25-летние поверхности пока производны от baseline/10y anchor-точек. Этот слой не заменяет публичный прогноз до scenario-specific anchors и validation gate.

4.3. Неопределённость

- Сценарии сравниваются между собой и не получают трактовку единственного будущего.
- Показываются дата, масштаб, coverage, источник и ограничения пространственного переноса.
- Доверительный или процентильный интервал публикуется только при сохранённой модельной выборке и прошедшей калибровке. Если этого основания нет, Forest OS показывает диапазон сценариев, а не изобретённую вероятность.
- Региональный CMIP6-агрегат не переносится автоматически на участок как вероятность пожара, потери покрова или восстановления.

5. Калибровка и ретроспективная валидация

5.1. Протокол no-lookahead

Для каждого исторического cutoff модель использует только месяцы до даты отсечения. Тренд оценивается по предшествующему окну до 60 месяцев, baseline — по последним 36 месяцам. Фактическое 12-месячное окно после прогнозного горизонта открывается только на стадии проверки.

Элемент	Текущая реализация
Выборка	100 агрегатов country × biome, связанных с НЗ г7.
Cutoff-годы	2005–2014.
Горизонты	60, 120 и 300 месяцев (5, 10 и 25 лет).
Объём	16 884 прогнозных исхода; 200 loop-backtests.
Непрерывные метрики	MAE, RMSE.
Событийные метрики	Precision, recall, F1, TP/FP/FN/TN.
Пропуск факта	qa_status=actual_missing; не считается доказательством качества.
Статус публикации	private_not_public_ready — требуется QA и owner signoff.

Публичная методология подтверждает наличие воспроизводимой процедуры проверки, но не заявляет уже доказанную точность пятилетнего, десятилетнего или двадцатипятилетнего прогноза для любого участка. Численные benchmark-метрики публикуются только после release gate.

5.2. Классификация результатов

- confirmed — прогнозируемое событие наблюдалось; not_confirmed — прогнозировалось, но не наблюдалось.
- missed — событие наблюдалось без прогнозного сигнала; true_negative — сигнала и события не было.
- inconclusive — данных недостаточно или сравнение неприменимо.

5.3. Независимые контрольные слои

Для внешней проверки по доступности могут применяться Hansen Global Forest Change, RADD disturbance alerts и ESA WorldCover 2021. Текущие артефакты имеют статус региональных benchmark/probe-выборок и не выдаются за полностью материализованные глобальные слои.

6. Пропуски, нули и семантика пожарных данных

Состояние	Как хранится	Как интерпретируется
Нет данных	null / NaN + QA-статус	Не участвует в среднем; не заменяется нулём.
Нет положительного сигнала	Валидное наблюдение без события	Не доказывает отсутствие малых или пропущенных событий.
Ноль	Только допустимое продуктивное значение	Используется, если физическая семантика переменной это разрешает.
Сценарий	Отдельный тип результата	Не смешивается с наблюдением и не объявляется фактом.

6.1. Особый случай MCD64A1

В исходном Burn Date: 1–366 — день года для пикселя с сигналом выгорания; 0 — обработанная суша без сигнала; –1 — не картировано из-за недостатка данных; –2 — вода. Публичный H3-слой показывает положительный сигнал вместе с полнотой календаря. Отсутствие положительного H3-значения нельзя самостоятельно трактовать как доказательство «пожаров не было».

6.2. FIRMS не равен архиву выгораний

FIRMS — оперативный поток тепловых аномалий MODIS/VIIRS. MCD64A1 — месячный архив выгоревших площадей. Одна тепловая точка не равна одному пожару, а один пожар может включать множество точек и пикселей. Для события нужны пространственно-временная кластеризация и, когда требуется, внешняя проверка.

6.3. Release gate

- Проверка календарной полноты и числа валидных наблюдений выполняется отдельно от наличия артефакта.
- Значение публикуется только с понятной единицей, датой, источником и ограничением.
- Непрошедший QA слой остаётся guarded или owner-only; его нельзя подменять демонстрационными числами.

Принцип Forest OS: «не найдено» не подменяется «не было», а «нет данных» не подменяется нулём.

7. Нормативный контекст и ограничения применения

7.1. Приказ Минприроды России от 12.05.2025 № 256

Приказ утвердил Порядок осуществления мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожаров. Документ зарегистрирован Минюстом России 10.10.2025 № 83815, официально опубликован 13.10.2025 (№ опубликования 0001202510130009) и вступил в силу 24.10.2025.

Официальный текст: publication.pravo.gov.ru/document/0001202510130009

Forest OS учитывает предмет приказа в части прозрачного разделения космических наблюдений, тепловых точек, архива выгораний и аналитических выводов. Это не декларация полного нормативного соответствия. Forest OS — вспомогательная аналитическая система; она не заменяет официальный государственный мониторинг, проверку термических точек уполномоченными лицами, лесоустроительные материалы или ФГИС ЛК.

7.2. Ограничения выводов

- Спутниковый сигнал изменения не устанавливает юридическую причину: рубку, пожар, ущерб или виновное лицо.
- Климатический сценарий не является обещанием события и не заменяет локальную калибровку.
- Углеродные benchmark-оценки не равны готовому MRV или выпуску углеродных единиц.
- Границы заказчика должны иметь однозначные CRS, геометрию и единицы площади.

7.3. Публичные точки доступа к данным

Источник	Публичная точка доступа
Sentinel-2	Copernicus Data Space Ecosystem
Landsat 8/9	USGS EarthExplorer
MODIS и SMAP	NASA Earthdata Search
ERA5-Land	Copernicus Climate Data Store
Тепловые аномалии	NASA FIRMS
NEX-GDDP-CMIP6	Earth Engine Data Catalog

8. Ссылки на спецификации и чек-лист проверяющего

8.1. Спецификации продуктов

1. [MOD13 Vegetation Indices Collection 6.1 User Guide](#)
2. [MODIS Land Surface Temperature User Guide](#)
3. [MCD64A1 Collection 6.1 User Guide](#)
4. [MCD15 LAI/FPAR Collection 6.1 User Guide](#)
5. [BAIS2 method - Filippini 2018](#)
6. [Sentinel-2 Level-2A Algorithm Theoretical Basis](#)
7. [USGS Landsat 8 mission and band specifications](#)
8. [USGS Landsat 8/9 acquisitions](#)
9. [SMAP Enhanced L3 V006 — NSIDC](#)
10. [ERA5-Land monthly means — Copernicus CDS](#)
11. [NASA NEX-GDDP-CMIP6 catalog](#)

8.2. Чек-лист воспроизведения одного расчёта

- Получить AOI в указанном CRS и зафиксировать его контрольную сумму.
- Выбрать тот же продукт, collection/version и временной диапазон.
- Применить те же scale/offset, QA-маски и допустимые диапазоны.
- Собрать месячный композит тем же правилом медианы/среднего по валидным наблюдениям.
- Пересечь результат с теми же НЗ г7 центрами либо тем же AOI-grid.
- Сравнить coverage, число валидных наблюдений, дату источника и контрольную сумму артефакта.
- Для прогноза дополнительно зафиксировать cutoff, horizon, scenario, model version и validation status.

Запрос на технический пакет воспроизводимости для конкретного отчёта: Sibkub@yandex.ru. Состав пакета определяется тарифом или договором; публичный документ не раскрывает персональные данные, ключи и owner-only артефакты.

Конец документа · Forest OS Global · публичная методология v1.4