

Научно-практическая конференция с международным участием

"Околоземная астрономия-2022»

ИКИ РАН, 21 апреля 2022 г.

ПРОБЛЕМА ТЕМНОГО И СПОКОЙНОГО НЕБА (DARK AND QUIET SKY)

Б.Шустов

Институт астрономии РАН



Проблема

В последние годы большое внимание в мире уделяется проблеме влияния технологий на перспективы развития астрономических наблюдений с поверхности Земли и из околоземного космического пространства. Это проблема глобальная.

Выделяют три категории искусственных помех, отрицательно влияющих на астрономические наблюдения:

- а) искусственное освещение в ночное время (ALAN - Artificial Light at Night);
- б) оптические/инфракрасные следы спутников на низкой околоземной орбите;
- с) передача радиосигналов наземными и космическими излучателями, особенно со спутников на низкой околоземной орбите.

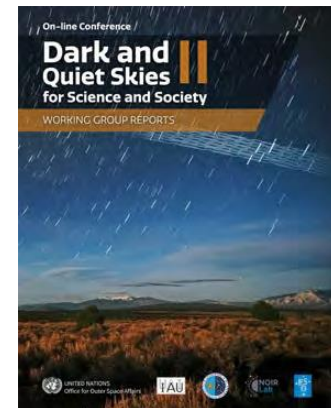
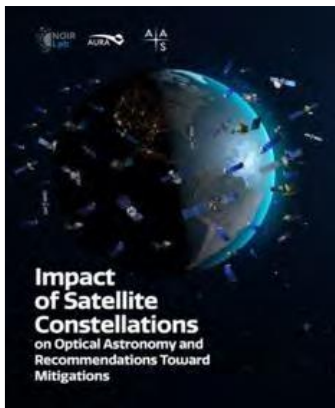
Проблемы б) и с) резко обостряются в связи с проводимыми запусками мегасозвездий ИСЗ. Это основная тема доклада.

Внимание к проблеме растет

IAU EC Working Group Dark and Quiet Sky Protection (Chair Constance Walker, USA)

- **Conference in Defense of the Quality of the Night Sky and the Right to Observe Stars** (La Palma, Canary Islands, 2007).
 - The Declaration approved during the International
- **IAU GA 2009**
 - Resolution B5 in Defense of the Night Sky and the Right to Starlight
- **STSC #54** (2017):
 - Non-Paper presented by the IAU. Approval of the Conference co-organized by UNOOSA and IAU - No satellite constellations yet
- **STSC #57** (2020):
 - IAU Statement “The impact of mega-constellations on Astronomy”
- **SATCON1**, AAS report to NSF, 2020-Aug. [Report PDF](#)

- **Online Workshop (October 2020):**
 - “Dark and Quiet Skies for Science and Society - I”
- **STSC #58 (April 2021)**
 - Conference Room Paper (CRP-17)
- **SATCON2, AAS report to NSF, 2021-Oct. Report PDF**
- **Conference (October 2021)**
 - “Dark and Quiet Skies for Science and Society - II”
- **STSC Symposium on Dark Skies (Vienna, 15 Feb 2022)**



IAU Centre for the Protection of the Dark and Quiet Sky from Satellite Constellation Interference

CPS (Центр по защите тёмного и чистого неба от воздействия спутниковых группировок) действует на базе исследовательской лаборатории NOIRLab и обсерватории SKAO. Он начал свою работу 1 апреля 2022 г. Основная работа центра будет включать разработку программных инструментов для помощи астрономам, работу над национальной и международной политикой в сфере спутниковых группировок, работу с общественностью и промышленностью над технологиями для устранения воздействий спутников на астрономические наблюдения. Он уже установил связь с Amazon, OneWeb и SpaceX.



Центр также будет рассматривать некоторые политические шаги, в том числе через Комитет ООН по использованию космического пространства в мирных целях и Международный союз электросвязи, чтобы поднять дискуссию об устойчивости космической сферы.

https://www.iau.org/science/scientific_bodies/centres/CPS/

ALAN

Помехи астрономическим наблюдениям от искусственного освещения в ночное время, становятся (в ряде мест уже стали) острой проблемой.

МАС установил рекомендуемый максимально допустимый порог светового загрязнения для мест расположения астрономических объектов на 10 процентов выше естественного фонового уровня. Уровень светового загрязнения во всем мире ежегодно возрастает на 2–6 %, в том числе в местах расположения обсерваторий: на площадках мирового класса 10-процентный порог может быть достигнут в следующем десятилетии, а многие площадки уже находятся под угрозой.

Помимо влияния на астрономию, ALAN может оказывать значительное биологическое воздействие на флору и фауну, включая как позвоночных, так и беспозвоночных, и эта проблема требует дальнейшего изучения соответствующими экспертами.

Natural night sky (starlight, airglow): $\sim 200 \mu\text{cd m}^{-2}$



Yuri Belokobyl / ESO

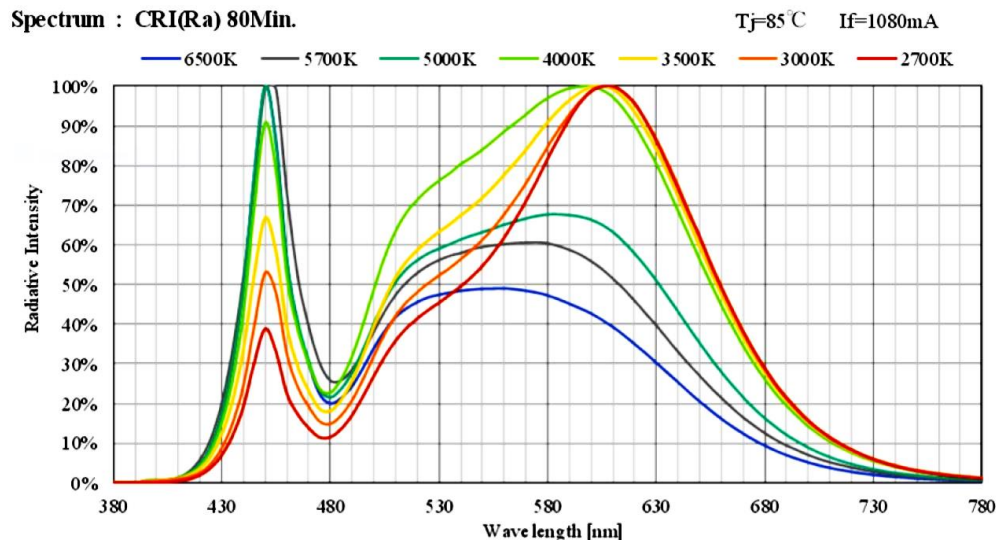
Anthropogenic skyglow: up to $\sim 300000 \mu\text{cd m}^{-2}$



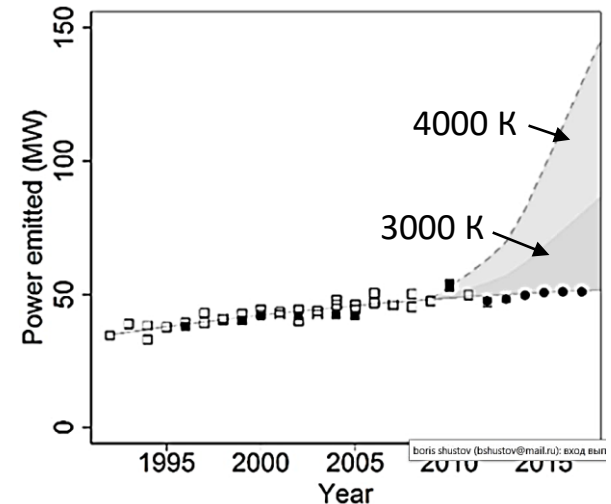
Fernando Tomás

Не только свет, но и цвет

В последнее десятилетие отмечается доминирующий рост белых светодиодных (LED) ламп, имеющих значительную синюю ($\lambda < 500$ нм) компоненту излучения. Вредное воздействие ALAN значительно больше для синего света, из-за зависимости рассеяния света в атмосфере от λ .



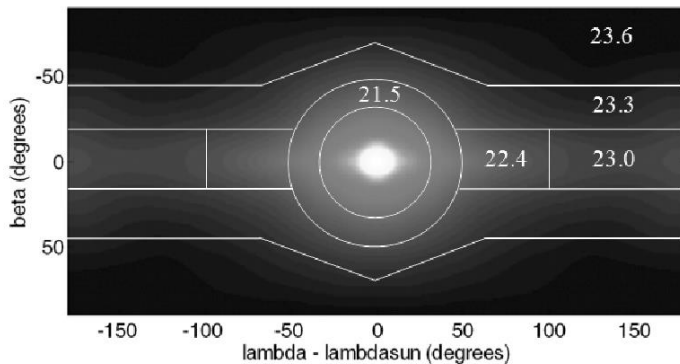
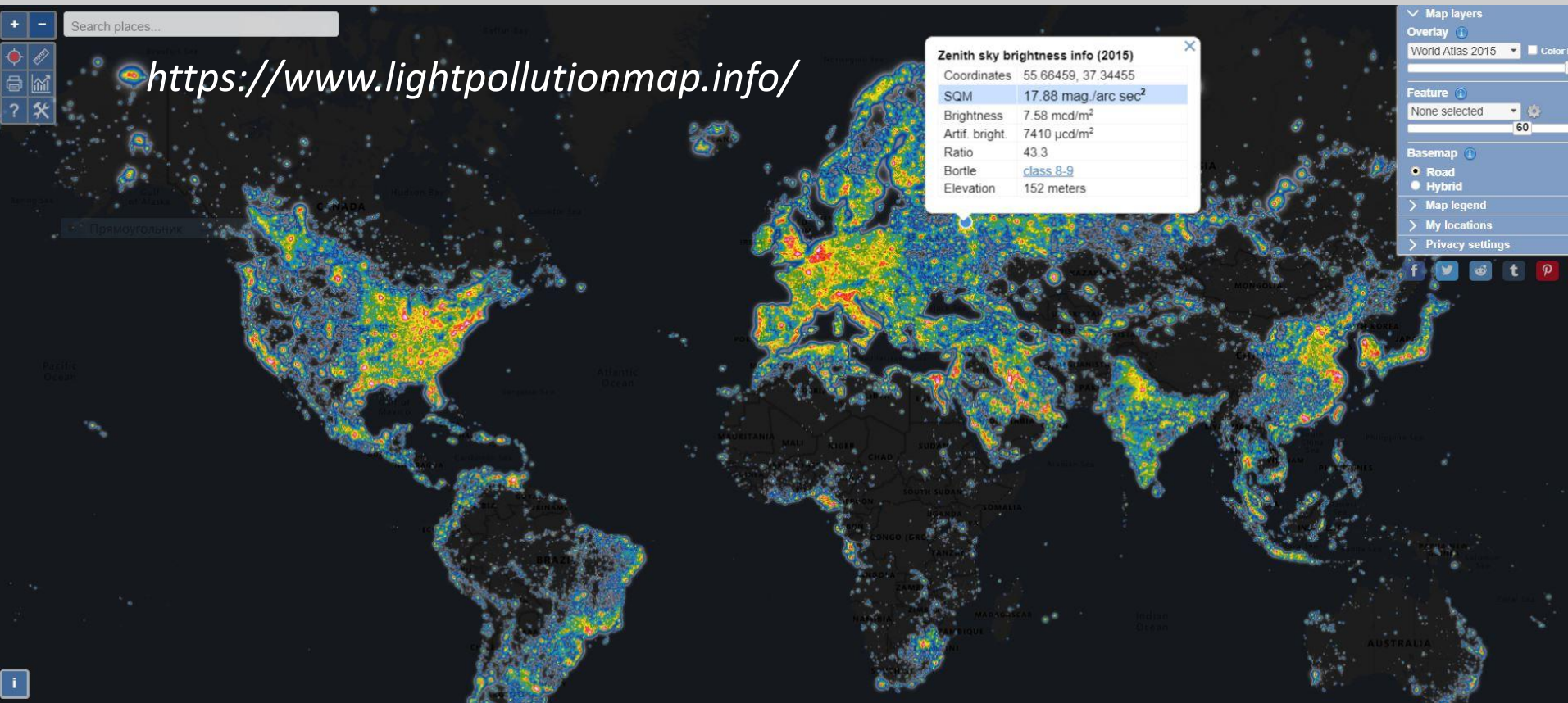
<https://cobkits.ru/products/37651892>



Модель глобальной мощности, излучаемой в синей полосе пропускания (Nikon), на основе спутниковых данных, полученных на более длинных волнах (Sanchez+2021).

R.Green 2015 « ...Синий свет подавляет выработку мелатонина. Наша система сбалансирована так, чтобы подавлять выработку в течение дня, позволяя при этом вырабатываться в темные часы ночи. Поскольку мелатонин может играть определенную роль в подавлении раковых опухолей, синий свет ночью может способствовать увеличению риска для здоровья».

Искусственный и естественный фоны (оптика)



Карта распределения зодиакального света в эклиптических координатах в фильтре V. Числа соответствуют потоку в полосе V выраженному в звездных величинах с одной квадратной секунды (*Leinert+1998*).

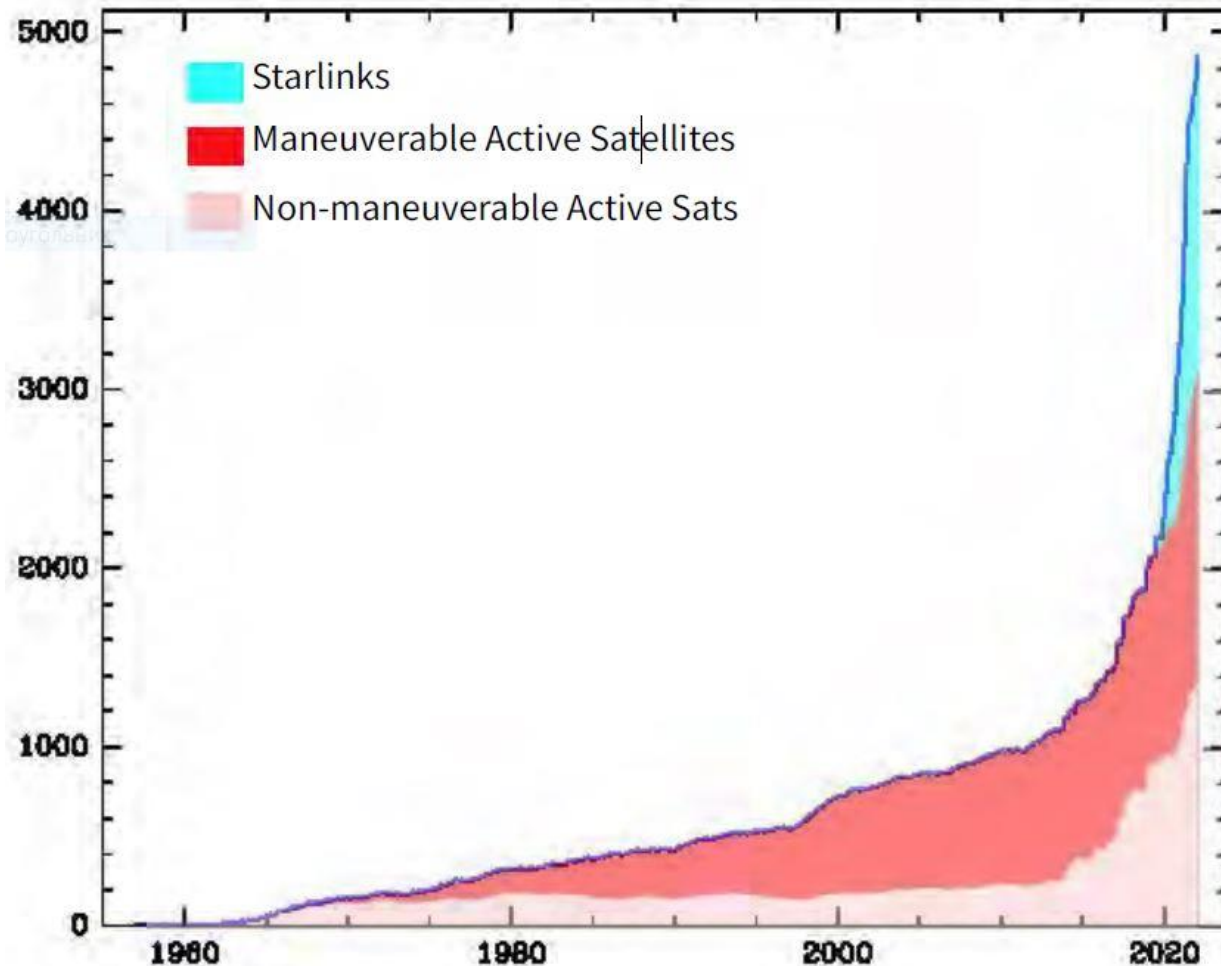
РАН в борьбе за темное небо

Из письма А.М.Сергеева в Минобрнауки и Министерство природных ресурсов и экологии РФ. (декабрь 2021 г.)

РАН проведена предварительная работа по анализу существующей ситуации в Российской Федерации, показывающая, что для ведущих астрономические исследования организаций все большую остроту приобретают проблемы, связанные с активным освоением территорий вокруг обсерваторий и оказывающих негативное влияние на качество и возможность астрономических наблюдений. В то же время в нашей стране не существует никаких нормативных документов, ограничивающих хозяйственную деятельность на прилегающих к местам размещения этих научных инструментов территориях.....

Российская академия наук предлагает рассмотреть возможность внесения изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 17.03.2021 № 392 «Об утверждении Положения об охранной зоне стационарных пунктов наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением,», расширив понятие «стационарные пункты наблюдений за состоянием окружающей среды» на станции и обсерватории, осуществляющие наблюдение объектов и явлений в ближнем и дальнем космосе, геофизических свойств Земли, определив для них предельные размеры охранных зон, запреты на определенные виды хозяйственной деятельности.

Рост количества ИСЗ (1957-2022)



Активные спутники
1 мая 2019 г.: ~2200
1 января 2022 г.: ~5000
Активные + неактивные
спутники ~8,000
Отслеживаемый
космический мусор
~41,000
Мелкие (1-10 см)
обломки ~600,000

McDowell 2022

Планы (ожидания) к 2030 г.

Название группировки	Диапазон высот км	Диапазон наклонений град.	Количество ИСЗ
Starlink Generation 1	335-560	42-97	11 926
Starlink Generation 2	328-614	30-148	30 000
Amazon Kuiper	590-630	33-52	3 236
OneWeb Phase 1	1200	88	1 980
OneWeb Phase 2 revised	1200	40-88	6 372
GuoWang GW-A59	508-1145	30-85	12 992
			66 506

Bassa+2022

Есть и другие проекты. Согласно оценкам ESO общее число может быть ~96.5 тыс.

СМИ, 9 апреля 2022 г. : Д.О. Рогозин: правительство РФ на этой неделе одобрило Федеральный проект “Сфера”

Типичные параметры КА

Satellite	Operational altitude (km)	Mag at op. alt.	Mag dispersion	Mag at 1000 km	pr^2 (m ²)	p	r (m)	Ref.
Starlink original	550 km	4.6	0.7	5.9	0.085	0.25	0.58	1
		4.0	0.7	5.3	0.152	0.25	0.78	2
		4.2	(model)	5.5	0.125	0.25	0.71	3
Starlink DarkSat	550 km	5.1	(single)	6.4	0.056	0.08	0.71	4
Starlink VisorSat	550 km	6.2	0.8	7.5	0.023	0.25	0.30	5
		5.8	0.6	7.1	0.028	0.25	0.33	6
OneWeb	1200 km	7.6	0.7	7.2	0.027	0.25	0.33	7

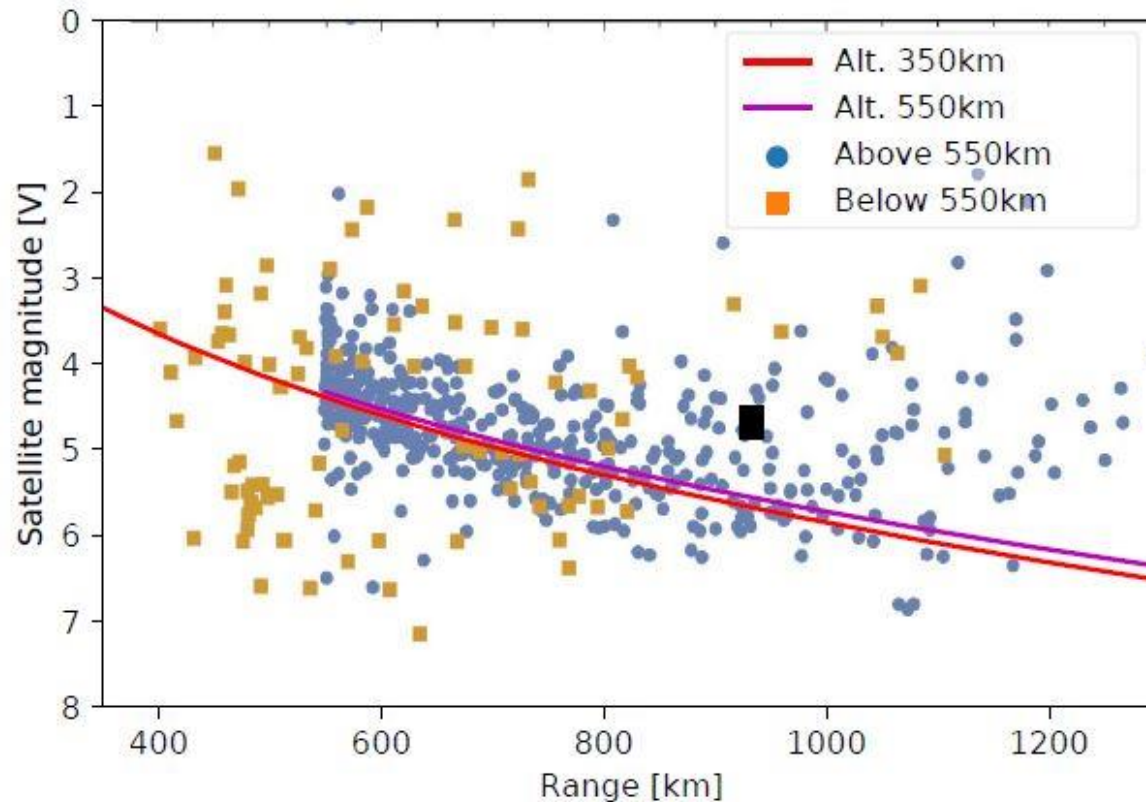
p – геометрическое альbedo

r - радиус КА

(Bassa+2022)

Время жизни КА 5– 15 лет (Cates+2018)

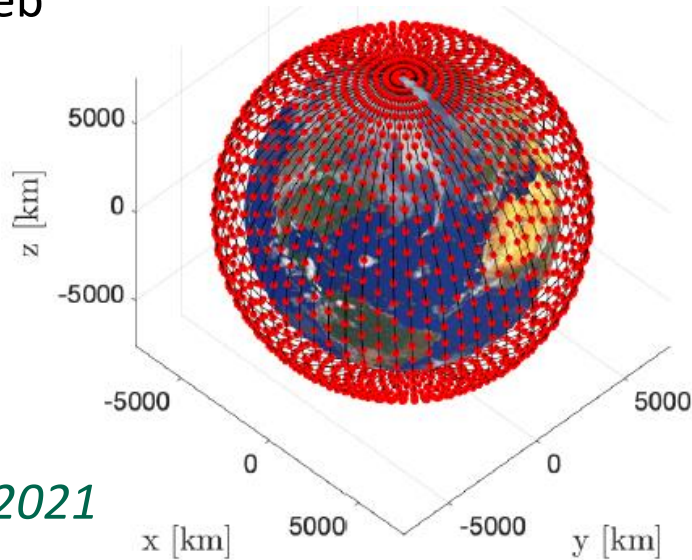
Пример измерений блеска ИСЗ Starlink



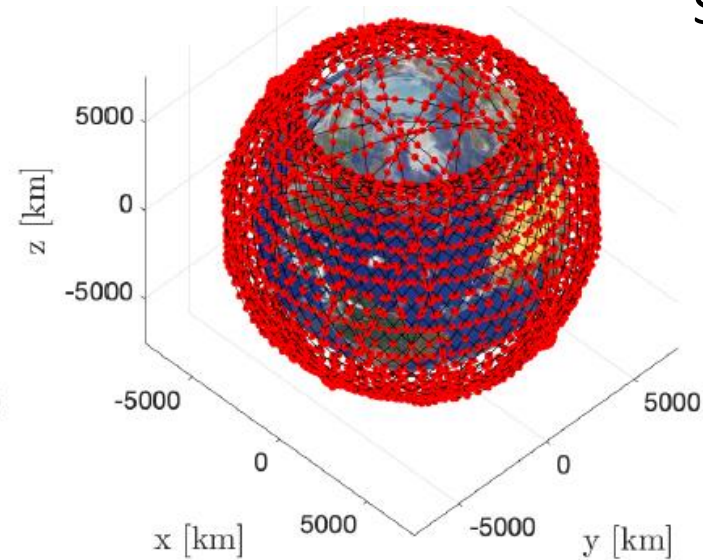
Зв. величина ИСЗ в зависимости от расстояния между наблюдателем и ИСЗ. Точки - это измерения исходного блеска ИСЗ Starlink (мобильный робот телескоп Pomenis, 180 мм, $4.2 \times 4.2^\circ$, Аризона, [Otarola et al. 2020](#)), линии получены с использованием упрощенной модели сферы Ламберта для двух высот. Неизвестный фазовый угол Солнца вносит свой вклад в разброс измерений ([Bassa+2022](#)).

Мега созвездия: доля ИСЗ над горизонтом

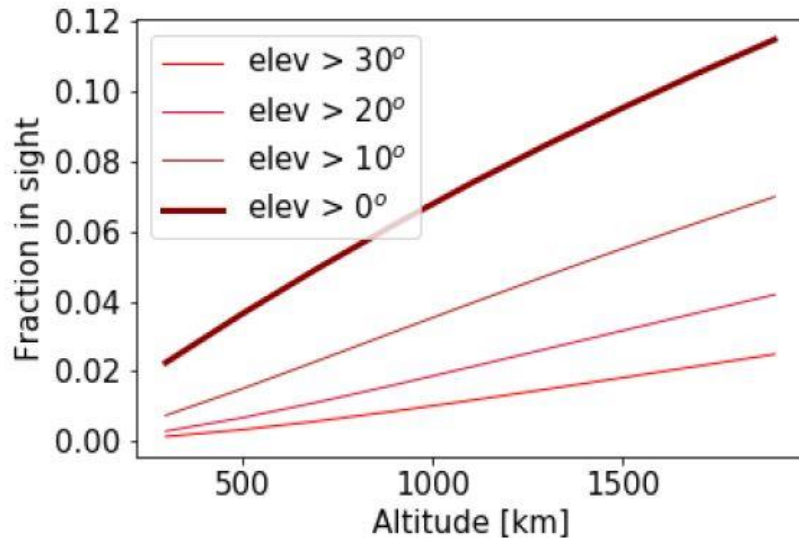
OneWeb



Starlink

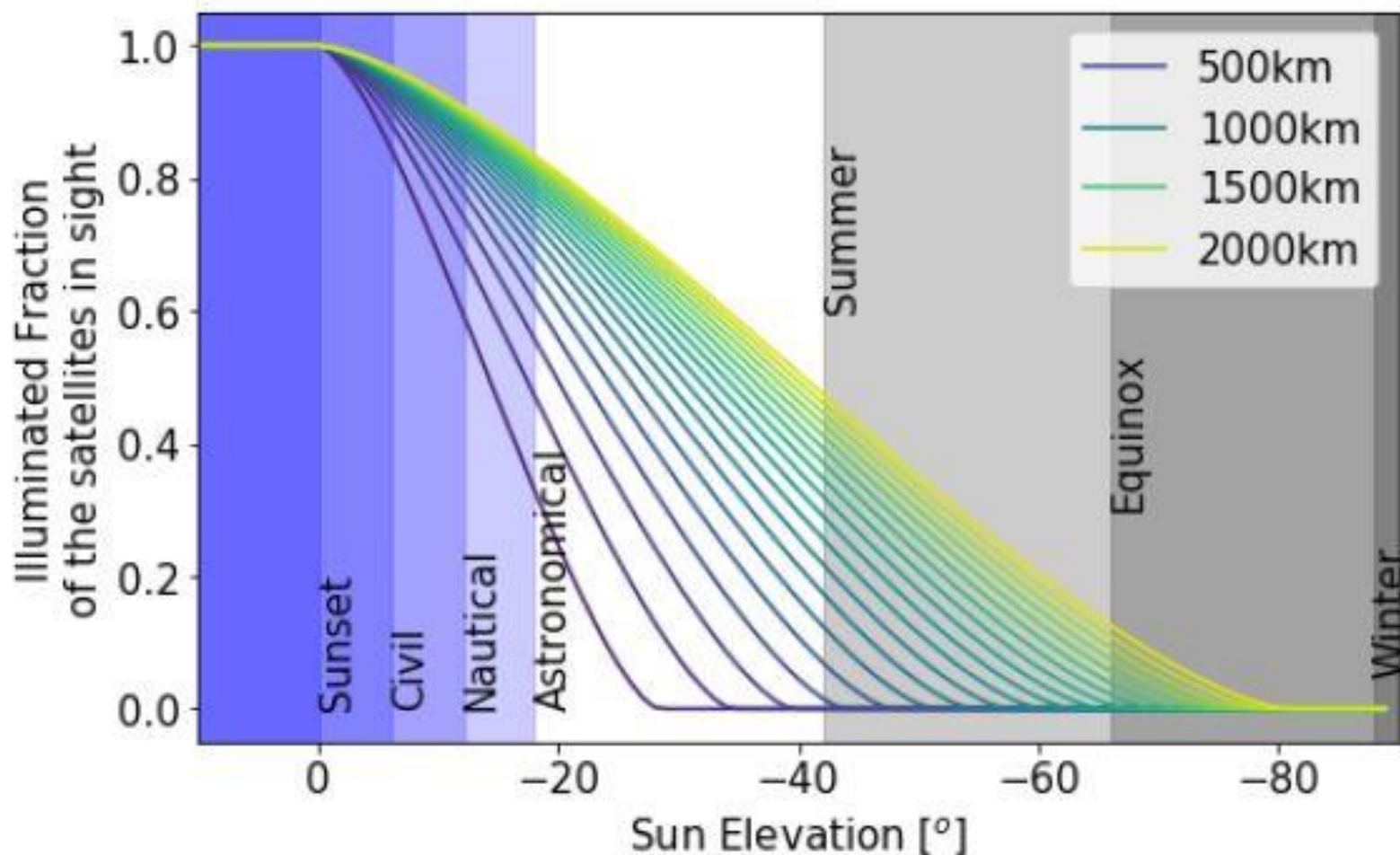


Reiland+2021



Высота, км	Доля ИСЗ над горизонтом,
350	2.6%
550	4,0%
780	5.5%
1200	7.9%
1325	8.6%
2000	11.9%

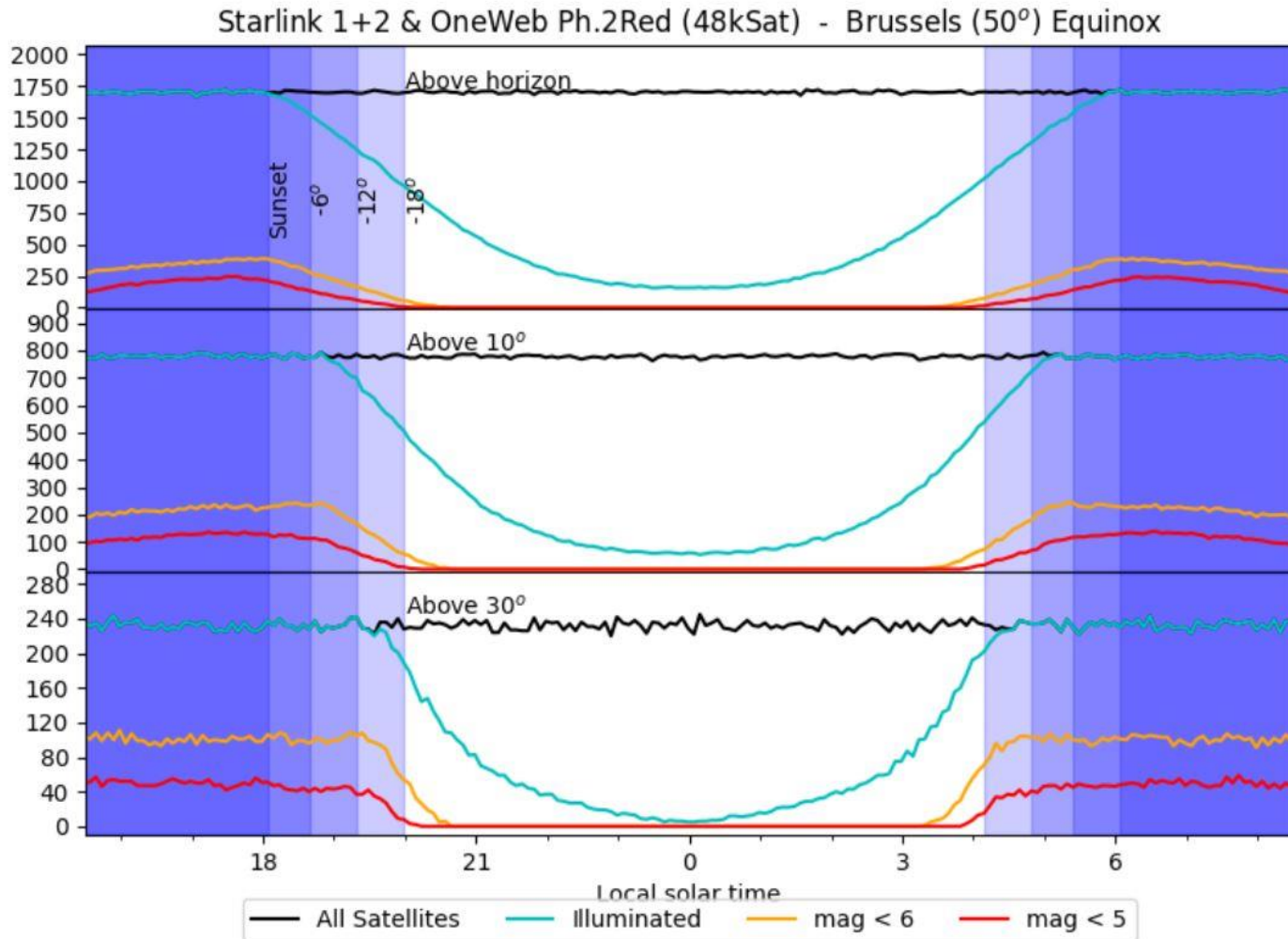
Количество ИСЗ: различные условия видимости



Доля спутников в поле зрения, освещенных солнцем, в зависимости от высоты солнца горизонтом на различных высотах спутников. Высота солнца в полночь указана для равноденствий и солнцестояний в Паранале (24.5° ю.ш.).

Bassa+2022

Количество освещенных ИСЗ в течение ночи



Для широты 50° (Брюссель, Благовещенск). В равноденствии.

<https://www.eso.org/~ohainaut/satellites/>

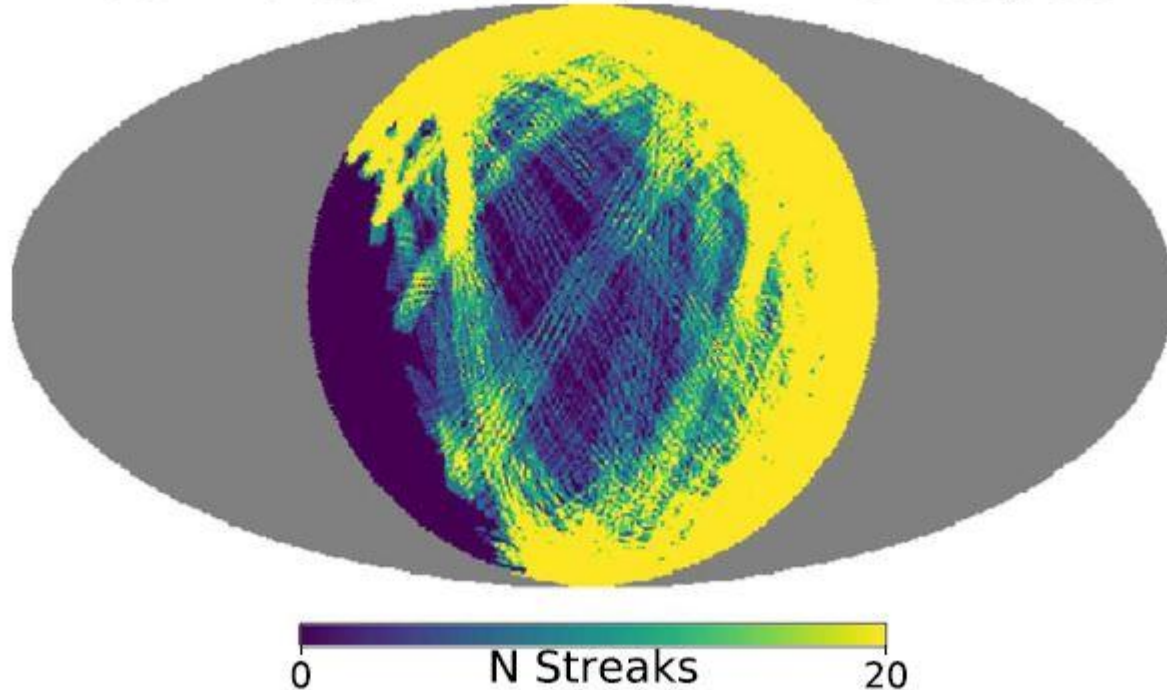
Первые наблюдения



Изображение группы галактик NGC 5353/4, сделанное в обсерватории Лоуэлла в Аризоне, США, в ночь на 25 мая 2019 года. Диагональные линии, оставлены 25-ю из 60 недавно запущенных спутников Starlink. Нужно иметь в виду, что плотность и блеск спутников значительно выше в первые дни после запуска (как показано здесь), а также что блеск спутников будет уменьшаться по мере достижения их конечной орбитальной высоты. https://www.williamsseaandsky.com/?page_id=8169

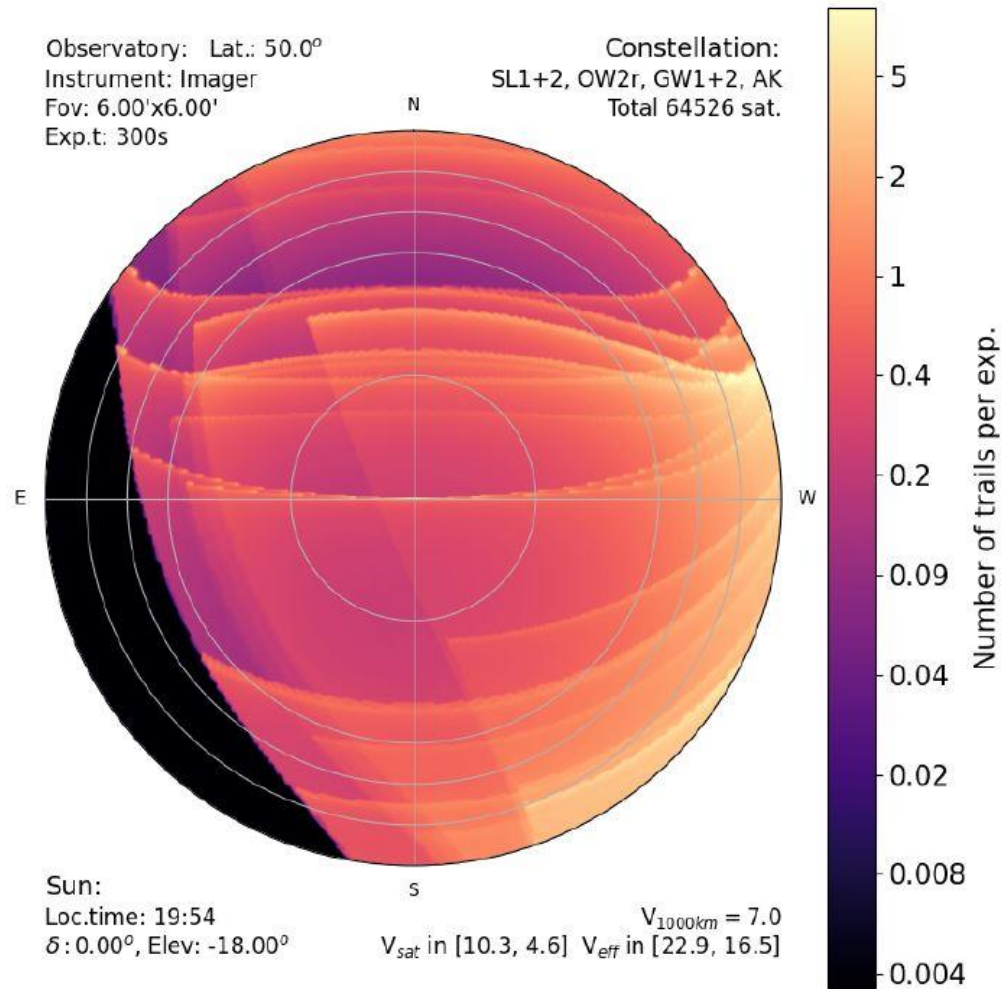
Прогноз: LSST

10.0 minutes, 47708 sats, sunAlt=-18.4 degrees

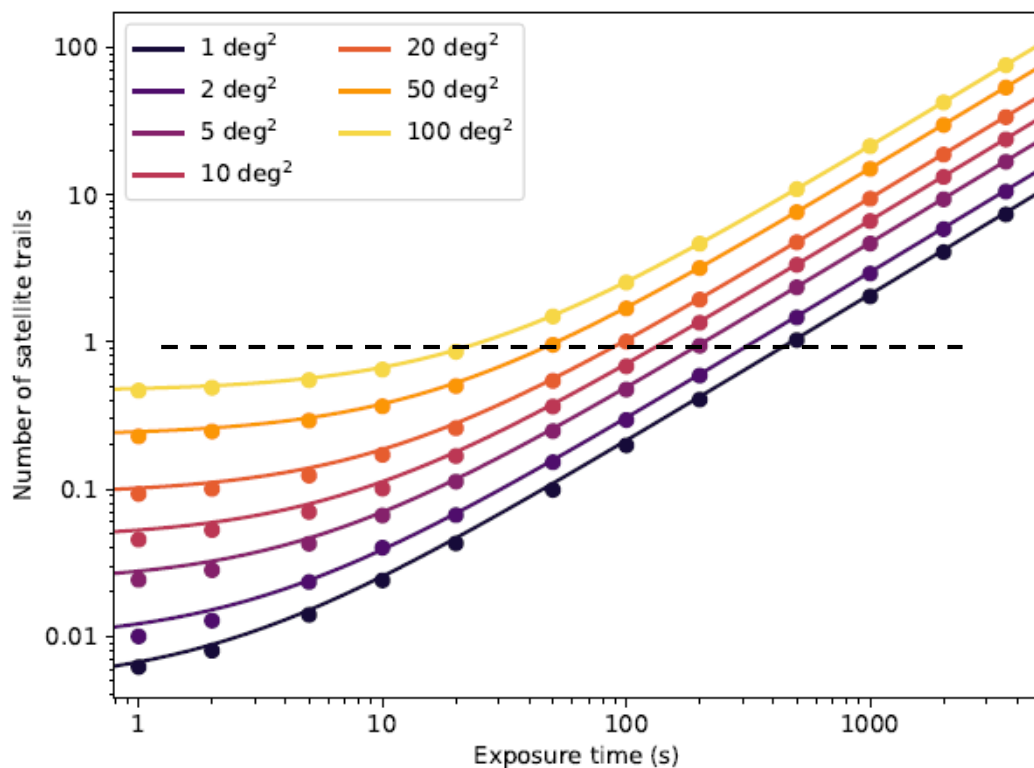


Проекционная карта Моллвейде всего неба, показывающая полосы, которые Starlink созвездие могло бы сделать за 10 минут в случайно выбранную дату (11 октября 2022 года) сразу после вечерних сумерек на LSST (обсерватории им. Веры Рубин). Зенит находится в центре, север вверху, а восток слева. Трассы сгруппированы, потому что они заполняют орбитальные плоскости. Область, свободная от следов, вызвана тенью Земли. Серые области находятся ниже горизонта (*Tyson+2020*).

Прогноз: узкопольный телескоп

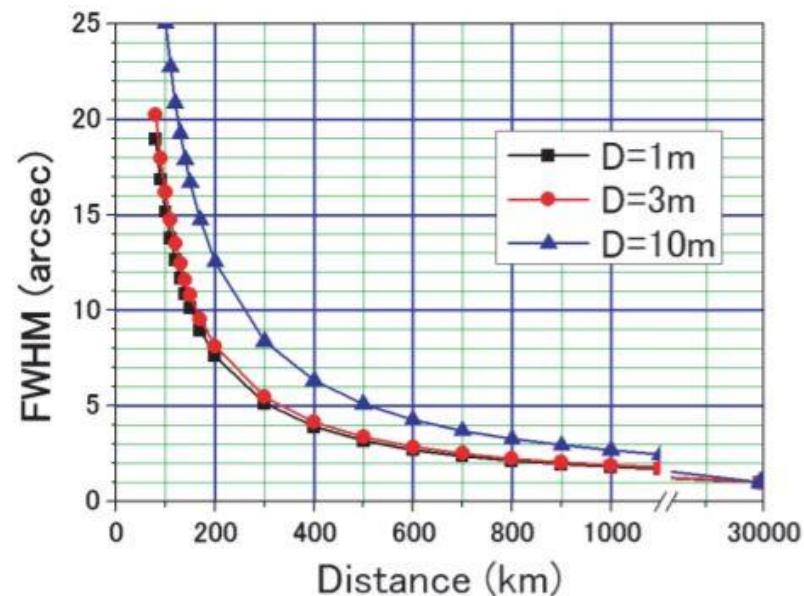
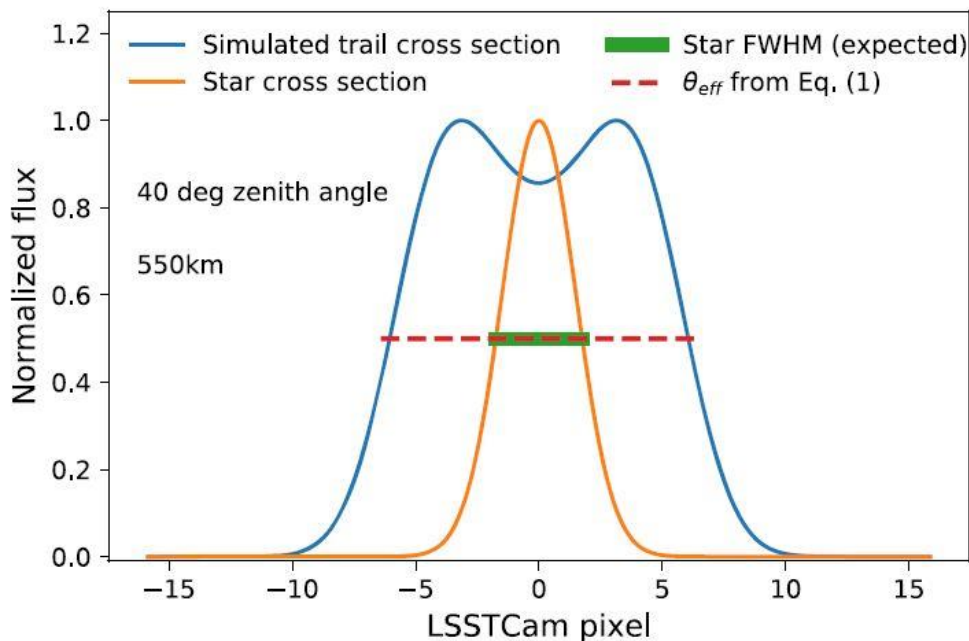


Карта неба с количеством следов за экспозицию 5 мин. Круги обозначают высоту 0 , 10 , 20 , 30 и 60 градусов. Широта обсерватории 50°; высота Солнца -18° ; FOV диаметр 6'; В черной области на юго-востоке спутники находятся в тени Земли. Полосы, идущие с северо-востока на юго-запад, соответствуют оболочкам созвездий на более низких высотах, юго-восточные части которых уже находятся в тени. Резкие черты, идущие с востока на запад, соответствуют краям оболочек созвездий, наклоны которых близки к широте обсерватории. (*Bassa+2022*)



Зависимость количества следов спутников, от времени экспозиции и площади поля зрения прибора. В модели рассмотрена группировка из 10 000 спутников в единой орбитальной оболочке из 100 орбитальных плоскостей и 100 спутников на плоскость; высота орбит 1000 км; наклонение 53° ; широта места наблюдения -30° ; наблюдения в направлении зенита. *Bassa+2022*

О толщине следа



Смоделированное поперечное фотометрическое сечение следа ИСЗ (размер 2 м, высота 550 км), наблюдаемого на зенитном угле 40 градусов телескопом LSST. LSSTCam пиксель 0 2”.

Размер дефокусированного изображения на камере SuprimeCam (Subaru). Seeing 0.8”.
(Iye+2007)

Bektesevic+2018

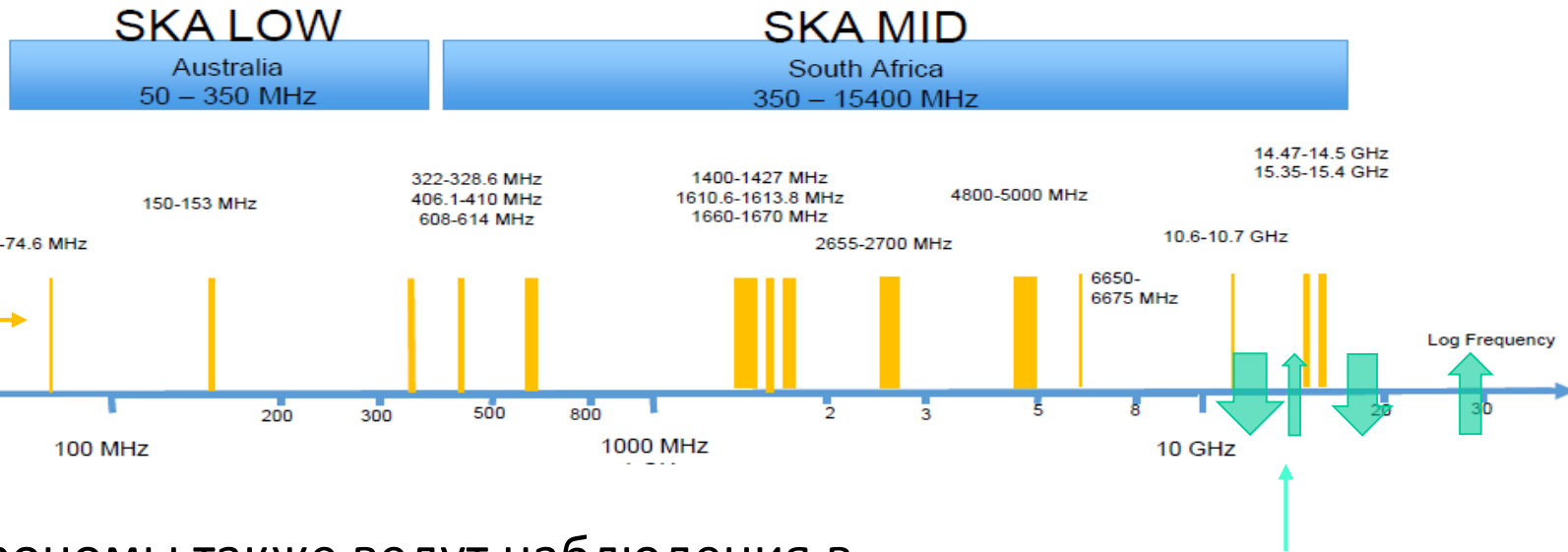
$$\theta_{eff}^2 = \theta_{atm}^2 + \frac{D_{satellite}^2 + D_{mirror}^2}{d^2}$$

О проблемах для радиоастрономии

RQZ

South Africa: 100 MHz - 25.5 GHz
Australia: 70 MHz - 24.5 GHz

di Vruno 2020



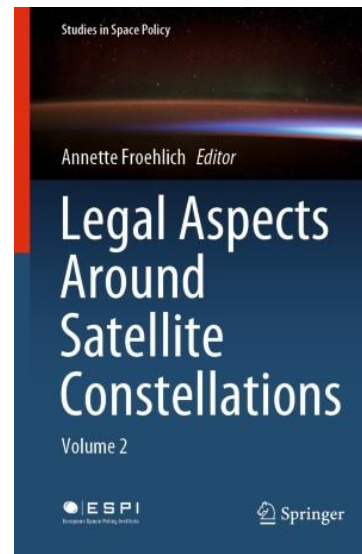
Радиоастрономы также ведут наблюдения в незащищенных диапазонах в RQZ. Но излучение со спутников создает проблемы для всех радиотелескопов и телескопов СМВ в Чили и на Южном полюсе. Внеполосные и паразитные излучения в защищенных радиоастрономических диапазонах и боковые лепестки могут быть проблемой.

В StarLink и OneWeb предполагается использовать Ku диапазон (10.7..12.7 и 14-14.5 ГГц) и Ka диапазон (17.8-19.3 и 27.5-30.0 ГГц).

«Неастрономические» проблемы

Пока довольно много брака в запусках и в обеспечении функционирования созвездий, так что представления о существенном нарастании рисков в контексте проблемы КМ вполне обоснованы. Прорабатываются алгоритмы, см., например, *Reiland+, Assessing and minimizing collisions in satellite mega-constellations, 2021AdSpR..67.3755R*
Arnas+2021, 2021arXiv211007817A

Правовые аспекты
и коллизии см. в

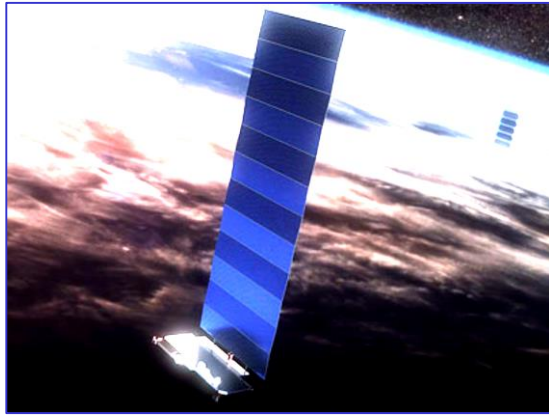


2021

Некоторые рекомендации

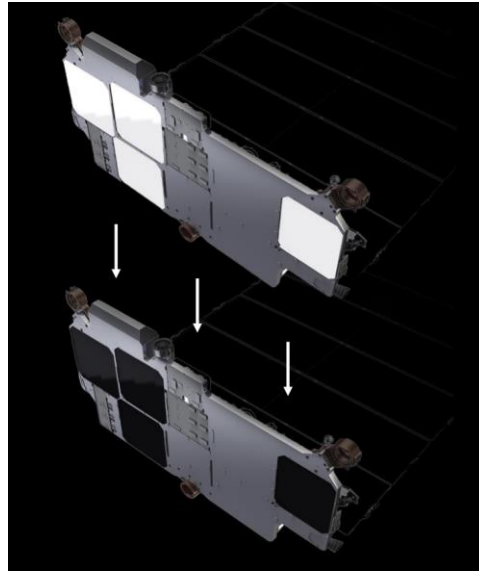
- Делать спутники как можно более темными ($V > 7^m$)
- Уменьшить видимость спутников
 - Свести к минимуму общее количество спутников
 - Орбитальная высота < 600 км
 - Управлять положением ИСЗ, чтобы не отражать свет на обсерватории
 - Учитывать условия изменения видимости при орбитальных маневрах (сход, подъем и т.д.)
- Предоставлять общедоступные данные высокой точности о местоположении спутника с тем, чтобы можно было оптимизировать программы наблюдений
- Избегать прямого освещения радиообсерваторий
- Придерживаться предельных значений эквивалентной плотности потока мощности МСЭ для электромагнитных помех, а также внеполосные, паразитные излучений
- Развивать сотрудничество астрономического и спутникового сообществ

Пример

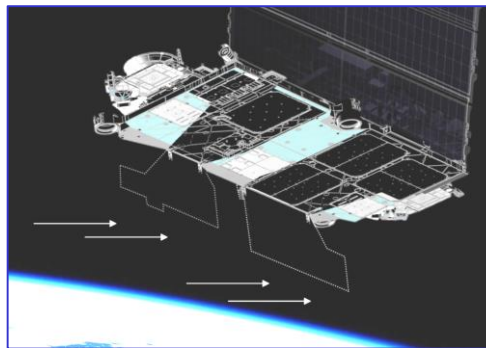


STARLINK

Тонкая прямоугольная шина (3,0 x 1,5 м, изготовлена в основном из Al со многими конструктивными особенностями, такими как двигатели и плоские антенны, обращенные к надиру) и большая солнечная батарея.

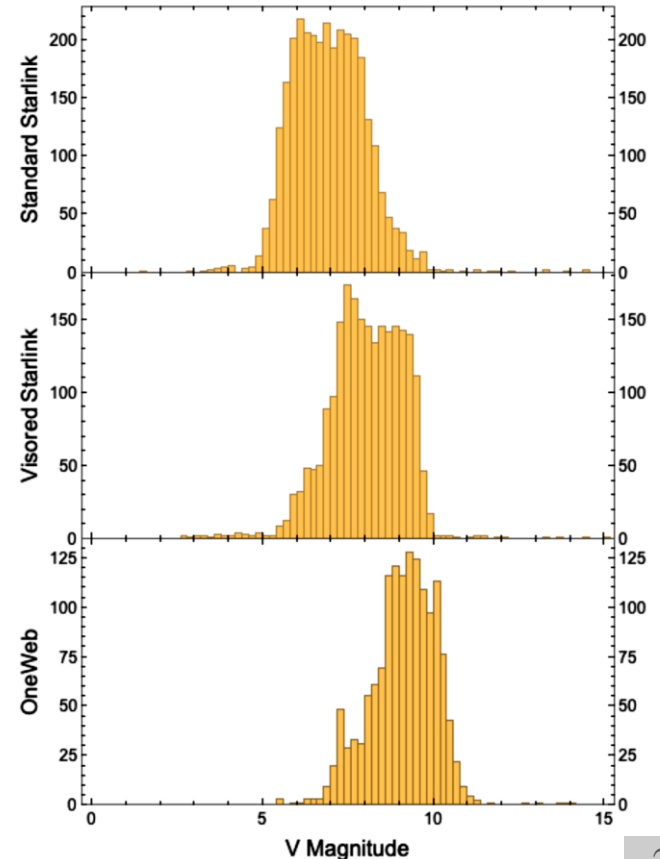
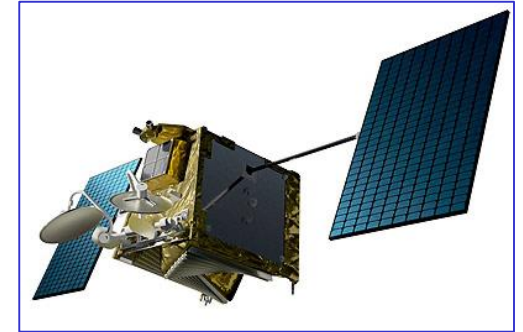


STARLINK DARKSAT



STARLINK VISORSAT

Krantz+2021



Выводы

- Проблема влияния мегасозвездий ИСЗ на астрономические наблюдения есть. Пока она не является критичной, но быстро нарастает.
- Негативный эффект спутниковых следов более существенен:
 - для ИСЗ на высоких орбитах спутников,
 - для широкопольных камер,
 - в первые и последние часы ночи.
- Спектрографы с низким и средним разрешением подвержены меньшему помеховому воздействию, но помехи могут быть примерно на том же уровне, что и у полезного сигнала. Спектрографы с высоким разрешением, по сути, будут невосприимчивы.
- Нет универсальных рекомендаций по смягчению последствий спутниковых следов для всех типов научных приборов и всех научных задач.

Всем всего доброго!