سال نهم، شماره ۸۳ و ۸۴
خردادو تیر ۸۷
ماهانه ۱۱۶ صفحه، ۱۸۰۰۰ ریال

دانش و مردم

فرهنگی، آموزشی، معلومات عمومی

بنیاد فرهنگی پرویز شهریاری

- آندره نیکلایه‌ویچ کولموگوروف
- منطق فازی
- فام شناسی
- دانش ایرانی
- فضاوزمان
- لیزر

نویسندگان: **ولادیمیر و. واسیوتین آرتور آ. تیتچنکو**
برگردان: **دکتر محمد باقری**

فام‌شناسی فضایی

سطح زمین مجموعه‌ی پُر تنوعی از رنگ‌های گوناگون را پیش چشم مشاهده‌گری به نمایش می‌گذارد که در مدار زمین قرار گیرد. گزارش دقیق این رنگ‌ها می‌تواند سیماهای تازه‌ای از طبیعت و نیروی بینایی انسان را آشکار کند.

آن‌چه بیش از همه توجه فضانوردان را در فضا جلب می‌کند منظره‌ی درخشان و رنگارنگ کره زمین و طلوع و غروب‌های خورشید است. منظره‌هایی که با هیچ ابزاری قابل تصویر یا بازسازی نیست. عکس‌های گرفته شده و سایر وسیله‌های مکانیکی به هیچ رو نمی‌توانند غنای رنگ‌ها و نقش‌های دو بعدی پیچیده‌ای را مخابره کنند که با چشم غیرمسلح بشر دیده می‌شود.

سال‌هاست که توصیف رنگ‌های فوق‌العاده پر جلا و متنوع شکل‌ها و پدیده‌های طبیعی به صورت بخشی اساسی از برنامه‌های فضانوردی درآمده است. از زمان نخستین پروازهای فضایی به این سو، وجوه تفاوت مشخصه‌های بینایی رنگی در فضا با آن‌چه در زمین به آن خو کرده‌ایم بررسی شده است. همچنین، از اطلاعات مهمی درباره‌ی زمین استفاده شده که تنها از طریق مشاهده به‌وسیله‌ی انسان قابل دست‌یابی بوده‌اند. فام‌شناسی فضایی اصطلاحی است برای پژوهش‌های مربوط به بینایی رنگی در پروازهای فضایی، ابداع ابزارهایی برای اندازه‌گیریِ آن، ابداع و تکمیل رنگ‌سنج‌های راه دور از نوع چشمی و خودکار، بررسی ویژگی‌های رنگی اشیا و پدیده‌های طبیعی و مطالعه طیف‌های تابش و خطاهای موجود در مشاهده‌ی مشخصه‌های طیفی.

این پژوهش‌ها هم‌زمان با پیدایش ایستگاه‌های مداری حامل انسان در اوایل دهه ۱۹۷۰ شروع شد. این ایستگاه‌ها ماموریت‌های طولانی را امکان‌پذیر ساخت و انجام بررسی‌های دقیقی درباره بینایی رنگی انسان و دریافت اطلاعات بصری از فضا را میسر کرد. حتا پیش از آن نیز، پزشکان متخصص در هوانوردی و پزشکی فضایی اطلاعاتی راجع به‌قدرت دید ضمن پروازهای کوتاه فضایی کسب کرده بودند. آزمایش‌های انجام شده طی ماموریت‌های پیاپی سفینه‌های واسخود و سایوز (۱۹۶۵-۱۹۶۹) نشان می‌داد که ضمن نخستین ۲۴ ساعت پرواز، در حین تطابق بدن با حالت

بی‌وزنی، قدرت تفکیک چشم فضانوردان کم‌تر می‌شود و بینایی رنگی آن‌ها دستخوش تغییرات جالبی می‌شود. برای مثال دریافت ذهنی از درخشندگی رنگ‌ها، به‌خصوص در کناره‌ی سرخ‌رنگ طیف، به اندازه‌ی ۲۰ تا ۲۵ درصد افت می‌کند. با این‌حال چشم‌های فضانوردان برای مشاهده‌ی صحنه‌هایی از زمین که در زیر پایشان واقع بود همچنان ابزار مهمی به‌شمار می‌آمد؛ زیرا چشم و مغز انسان دارای آن‌چنان قابلیت‌هایی است که در هیچ دستگاه مکانیکی سنجش راه دوری یافت نمی‌شود. شگفت‌انگیزترین قابلیت چشم، توانایی آن در پیداکردن و تشخیص‌دادن نقش‌های پیچیده است، حتا وقتی‌که این نقش‌ها در یک زمینه‌ی به‌هم‌ریخته عرضه شوند. این خاصیت به‌عنوان ثبات قدرت دید چشم توصیف می‌شود. انواع مختلفی از ثبات وجود دارد که ثبات عمق نسبی و ثبات جهت از آن‌جمله است و مهم‌ترین آن‌ها ثبات دریافت رنگ است، که حتا ضمن تغییر طیف رنگ، همچنان وجود دارد. این خاصیت، مشاهده‌گر را قادر می‌سازد که بر پدیده‌های مغشوش‌کننده‌ای چون هوای مه‌آلود، سایه‌های پراکنده و تکه‌های آفتابی غلبه کند. این مزیت اصلی دستگاه‌های سنجش راه دوری است که متکی به‌چشم انسانند.

برای انجام مشاهدات چشمی مطلوب از فضا عامل‌های متعددی را باید در نظر گرفت، که برخی از آن‌ها، از جمله زمان انتخاب شده برای مشاهده، نقش حساسی دارند. چشم انسانی که در مدار قرار گرفته است، به راحتی می‌تواند بزرگ‌راه‌ها، کشتی‌ها، خیابان‌ها، جنگل‌ها، زمین‌های لخت و سایر عوارش سطحی را تشخیص دهد. اما یکی از ما (واسیوتین) متوجه شده است که تشخیص جزییات یک منظره و اشیای به نسبت کوچک تا حد زیادی به‌مدت زمان مشاهده بستگی دارد. چشم ظرف چند ثانیه دید خود را بر جزییات کوچک متمرکز می‌کند. اگر مشاهده‌گر چشم‌انداز خود را به ناحیه دیگری برگرداند، تمرکز چشم به‌هم می‌خورد. برای نمونه تشخیص آبکندها در مزارع بین سه تا پنج ثانیه طول می‌کشد. فضانوردانی که پیش از مخابره‌ی مشاهدات خود مدت زمان‌های متفاوتی برای تمرکز روی یک عارضه صرف می‌کنند، ممکن است چیزهای متفاوتی «ببینند.» بنابراین شیوه‌ی کار در مشاهده‌ی این شکل‌ها به‌منظور به‌کارگیری اثر فوق اصلاح شده است.

با گذشت زمان، تغییرهای دیگری هم در شیوه‌ی کار لازم آمده است و یکی از مساله‌های موجود در مشاهدات چشمی در فضا، از جمله مشاهدات رنگ‌سنجی، عبارت است از آموزش دادن فضانورد برای آن که بتواند بر ویژگی‌های بینایی رنگی خود، یعنی ناتوانی ذاتی در تشخیص برخی اطلاعات مربوط به رنگ غلبه کند. همچنین باید به او چنان آموزشی داد که حتا در دشوارترین شرایط پرواز فضایی بتواند احساس‌های نیمه آگاهانه‌ی خود را در مورد رنگ به مولفه‌هایی از قبیل رنگ اصلی، سیر و روشنی و درخشندگی تفکیک کند. آناتولی ن. بِرزُوُی، که در ۱۹۸۲ در سفینه‌ی ایستگاه مداری سالیوت ۷ به آزمایش‌های فام‌شناسی پرداخت، نخستین کسی است که در این فن

مهارت یافته است. این کار از عهده‌ی هر کسی برنمی‌آید، چرا هم توانایی طبیعی و هم کسب آموزش‌های مربوط لازمه‌ی آن است.

اگر حس بینایی کسی از لحاظ تفکیک طیفی به قدر کافی قوی نباشد، نمی‌تواند اشیا را با نماهای ظاهری مختلف مربوط به پوشش گیاهی، آب، بیابان و غیره تطبیق دهد. گستره‌ی رنگ‌های طبیعت از گوناگونی چشم‌گیری برخوردار است. بنابراین، بینایی چشم فضانورد باید از بالاترین کیفیت‌های مطلوب برخوردار باشد. برای نمونه در حالی‌که راننده‌ی اتومبیل تنها باید سه رنگ چراغ‌های راهنمایی را از هم تشخیص دهد، فضانورد دست‌کم باید بتواند رنگ‌های اصلی موجود در یک رنگ، از جمله سایه‌های مختلف قهوه‌ای مربوط به رنگ‌های مختلف شن در بیابان را تشخیص بدهد.

شرایط مشاهده‌ی درون سفینه‌های فضایی به‌کلی غیرعادی است. درخشش سیمای زمین بر اثر نورافشانی خورشید و جو تابناک زمین دورنمای پیچیده و عجیبی دارد. حتا خلبانان کارکشته‌ای که به فضا می‌روند، از نمودهای غیرعادی چهره‌ی زمین و رنگ‌آمیزی بی‌همتای آن سخن می‌گویند. به‌علاوه، بر اثر سرعت داشتن سفینه نسبت به زمین، حالت نورگیری اشیا و زاویه‌ی دید مشاهده‌گر نسبت به آن‌ها تغییر می‌کند. تغییرات رنگ آسمان ناشی از وضع هوا و زاویه‌ی خورشید است و از طرف دیگر رنگ‌های دلپذیر آسمان حاوی اطلاعاتی راجع به پاکیزگی جو و رطوبت موجود در آن است. خیلی وقت‌ها ابرهای فوق‌العاده درخشان و وجود پرده‌ای از مه در جو، کار مشاهده را دشوار می‌کند. فضانورد باید بتواند این عامل‌ها را از نمودهای رنگی‌شان بشناسد.

گذشته از شرط‌های بینایی و آموزش مطلوب، مشاهده‌ی زمین از فضا به چند عامل فنی نیز بستگی دارد. مهم‌ترین این عامل‌ها راستای سفینه به هنگام مشاهده است: سفینه باید از بالا (یا به تقریب بالا)ی ناحیه‌ی مورد مشاهده بگذرد و روزنه‌ها باید رو به‌جهت مناسبی باشند. فضانورد برای مشاهده‌ی بخش خاصی از کره‌ی زمین مجال بسیار اندکی دارد. طی مدتی بین ۴۰ تا ۶۰ ثانیه، که سفینه به ناحیه‌ی هدف نزدیک می‌شود، مشاهده‌گر باید مکان هدف را با تشخیص عارضه‌های مشخص تعیین کند، دستگاه ثبت را آماده سازد، آن را به‌سوی هدف نشانه رود و سپس به زمان دقیق هر عکس توجه داشته باشد. این اطلاعات مورد نیاز است و بعد در ردیف اطلاعات پرتاب‌شناسی مربوط به مدار سفینه می‌توان از آن برای تعیین زاویه، ارتفاع و فاصله‌ی مشاهده و همچنین زاویه‌ی نورگیری جسم موردنظر از خورشید استفاده کرد. روزنه‌های ایستگاه فضایی هم باید دارای شرایط نوری فوق‌العاده دقیقی باشد. این روزنه‌ها نباید شکل تصویری را که از آن‌ها می‌گذرند یا طیف رنگی نور ورودی را تغییر دهند. این موضوع اهمیت خاصی دارد زیرا فضانوردان اغلب باید اشیایی را مشاهده کنند که دارای تمایز زیادی از لحاظ روشنی و تیرگی نیستند. روزنه‌های ایستگاه‌های فضایی از شیشه کوارتز ساخته می‌شود، که اندکی از نور مرئی را جذب می‌کند، ولی نور فرابنفش با طول

موج کوتاه را که برای چشم زیانبار است از خود عبور نمی‌دهد. روزنه‌ها به‌وسیله‌ی پوشش‌هایی که تنها برای مشاهده باز می‌شوند، محافظت می‌شوند.

پس از آن‌که فضانورد در مورد اشیای روی زمین که در زیر پایش قرار گرفته مشاهداتی انجام داد، باید بتواند مشاهدات خود را به‌صورتی ارسال کند که دیگران بتوانند آن‌چه را او مشاهده کرده بازسازی کنند و به‌کار گیرند. غیر از دوربین عکاسی، که اطلاعات رنگی را به‌طور مستقیم منتقل می‌کند (ولی فاقد مهارت‌هایی است که ناظر انسانی در تشخیص نقش‌ها و رنگ‌ها دارد)، ابزار مهم دیگر اطلس رنگ‌هاست. این اطلس مجموعه‌ای از نمونه‌های مرجع است که رنگ‌های مشاهده شده را می‌توان با آن‌ها مقایسه کرد. با ورود اطلس رنگ به کابین سفینه‌های فضایی و ایستگاه‌های مداری در اواخر دهه‌ی ۱۹۶۰، فضانوردان به‌جای توصیف‌های احساسی از رنگ‌ها، که بر پایه‌ی تداعی معانی یا عنصرهای عاطفی آن‌ها قرار داشت، به یک دستگاه کدگذاری عددی بر مبنای ویژگی‌هایی چون رنگ، شدت و درخشندگی روی آوردند. کدگذاری عددی، شبهه‌هایی را که پیش‌تر به لحاظ توصیف‌های بشری از اشیای دیده شده از فضا وجود داشت، از میان برداشته است. این شیوه، همچنین موجب کنار رفتن توصیف‌هایی خودمانی شده است، از این قبیل «دریاچه‌ای می‌بینم به رنگ سماور» یا «الان از بالای مصب رودخانه‌ی سولاک رد شدم، که رسوب‌های آجری رنگ داشت.» یا «زمین موشی رنگ شخم‌خورده‌ای را می‌توانم ببینم.» با داشتن اطلس رنگ کافی است تنها عددهای مربوط به رنگ را به زمین مخابره کنید تا در آن‌جا بتوانند با استفاده از اطلس مشابهی مشاهدات را بازسازی کنند.

نخستین اطلس رنگ با ۳۰ نمونه رنگ در سال ۱۹۶۸ به‌وسیله‌ی گئورگی ت. بِرگُوی در کابین سایوز ۳ برای سنجش رنگ‌های سپیده‌دمان در فضا به‌کار گرفته شد. اما شدت و تابندگی رنگ‌ها در هنگام برآمدن خورشید چنان بود که این اطلس کوچک برای توصیف آن‌ها کافی نبود. در سال ۱۹۷۴ فضانوردان در کابین ایستگاه مداری سالیوت ۴ نوعی اطلس به‌کار بردند که به‌وسیله‌ی اقیانوس‌شناسان بر اساس درجه‌بندیِ قُرِل تهیه شده و مبتنی بر مجموعه‌ای از ۲۳ محلول شیمیایی قراردادی است، که رنگ‌های آبی تا قهوه‌ای را در بر می‌گیرند. در سال ۱۹۷۷ فضانوردان سالیوت ۶ اطلسی با حدود ۳۰۰ نمونه رنگ را آزمایش کردند.

تجربه‌های به‌دست آمده طی استفاده از نخستین اطلس‌های رنگ در فضا نشان داد که گستره‌ی بسیار متنوع‌تری از رنگ‌ها برای توصیف دقیق اشیا لازم است. طبیعت را نمی‌توان در چنین تعداد محدودی از نمونه‌ها محصور کرد. در سال ۱۹۸۲ فضانوردان سرنشین ایستگاه مداری سالیوت ۷ اطلس ۱۰۰۰ـ ATS رایج در هواشناسی را با خود به همراه بردند. این اطلس در سال ۱۹۷۰ به‌وسیله‌ی ی. ن. یوستوا از موسسه پژوهشی سراسری مندلیف در هواشناسی تهیه شده است. نتایج

مندرج در این مقاله بیش‌تر با همین اطلس به‌دست آمده است.

اطلس رنگ ۱۰۰۰ـ ATS شامل ۱۰۰۰ نمونه است که رنگ، شدت و درخشندگی آن‌ها به‌طور دقیق اندازه‌گیری شده است. از لحاظ رنگ، دقت نمونه‌ها حدود پنج نانومتر است که به مقدار آستانه برای تمایز رنگ‌ها نزدیک است. اطلس ۱۰۰۰ـ ATS با وجود کمبودهایش ـ حجم زیادش که استفاده از آن را در کنار روزنه دشوار می‌کند ـ و با وجود آن که بعدها انواع مختلف رنگ‌سنج‌های راه دور ابداع شد، همچنان ابزار با ارزشی است که اغلب در موردهای غیرمنتظره‌ای مفید واقع می‌شود. از جمله این اطلس نقش مهمی در موفقیت آزمایش «نورنگار الکترونیکی» داشت، که به‌وسیله‌ی آلکساندر پ. آلکساندرف. و ولادیمیر آ. لیاخف در ۱۹۸۳ در کابین سالیوت ۷ انجام شد. این آزمایش برای اندازه‌گیری تغییرهای حاصل در مصالح ساختمانی وقتی در معرض شرایط فضایی قرار گیرند، طرح شده بود و پوشش سطحی خاصی، عیب‌های سطحی فوق‌العاده ریز در نمونه‌ها را قابل رویت می‌ساخت. فضانوردان متوجه شدند پوشش این مواد، که در آغاز به رنگ خاکستری بود، ضمن عبور از اتاقک هوا تغییر رنگ می‌دهد و در عمل موجب تحریف نتایج آزمایش می‌شود.

طراحان این آزمایش و یکی از ما (تیشچنکو) به روشی برای ثبت رنگ روی آوردند که در آن، هم از اطلس ۱۰۰۰ـ ATS و هم از اندازه‌گیری‌های طیفی و تابندگی نمونه‌ها استفاده می‌شد. به این ترتیب فضانوردان توانستند روند آزمایش را تصحیح کنند و میزان اطلاعات حاصل را افزایش دهند.

بین سال‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۸۳ دانشمندان مرکز دولتی پریرودا (طبیعت) در مسکو، رنگ‌سنج چشمی قابل حملی ابداع کردند که روی دوربین انعکاسی تک لنزی نصب می‌شد و آن را تسوت (رنگ) -۱ نامیدند. این رنگ‌سنج، حاوی کاست قابل تعویضی است با رنگ‌های مبنا، که از درون چشمی تصویریاب دستگاه دیده می‌شوند. استفاده کننده‌ی این دستگاه، با استفاده از تصویریاب، دستگاه را به‌سوی یک شیء طبیعی نشانه می‌رود و سپس به تنظیم سه اهرم می‌پردازد تا رنگ مبنایی را برگزیند که با رنگ، شدت و درخشندگی رنگ موضوع عکس‌برداری تطبیق کند. آن‌گاه از شیء عکس می‌گیرد و عددهای مربوط به رنگ‌ها را در دفترچه ثبت مشاهدات یادداشت می‌کند. این داده‌ها، ضمن نوبت بعدی تماس، به زمین مخابره می‌شود. رنگ‌سنج تسوت - ۱ نخستین بار در سال ۱۹۸۳ به‌وسیله‌ی لیاخف و آلکساندرف در ایستگاه مداری سالیوت ۷ در فضا به‌کار گرفته شد. میزان دقت حاصل در اندازه‌گیری با رنگ‌سنج چشمی خیلی بیش‌تر از کار با اطلس است. از طرف دیگر، کار با اطلس در کنار روزنه، این اشکال را هم دارد که نور تابیده به درون، به اطلس هم می‌خورد، به‌طوری که فضانورد نمی‌تواند نمونه‌ی رنگ‌ها را به‌نحو مطلوب مقایسه کند. در تسوت ۱-، رنگ‌های مبنا به‌وسیله‌ی منبع نور مستقل، ثابت و درجه‌بندی شده‌ای روشن می‌شوند.

طی همین دوران، رنگ سنج فتوالکتریک خودکار تسوت -۲ نیز ساخته شد. تسوت -۲ در

پژوهش‌های انجام شده در هواپیماهایی به‌کار رفت که پروازشان هم‌زمان با انجام مشاهدات از مدار فضایی زمین بود. نخستین آزمایش‌کنندگان این دستگاه از آن برای مطالعه‌ی رنگ اقیانوس استفاده کردند. در عمل معلوم شد که اقیانوس ساده‌ترین شاهد برای آزمایش شیوه‌های رنگ‌سنجی است، زیرا شیء پهناوری است که بخش اعظم سطح زمین را پوشانده و در جریان یک پرواز تغییر چندانی نمی‌کند. بعد از انجام چندین آزمایش از درون هواپیما، پژوهشگران شگفت‌زده دریافتند که اقیانوس تنوع رنگ بی‌پایانی از خود نشان می‌دهد؛ سطح اقیانوس در زمان‌های مختلف حتا در یک ناحیه، متفاوت به‌نظر می‌رسید.

نخستین مشاهدات چشمی با برخورداری از ابزارهای ویژه در مورد زمین، از درون سالیوت ۶ به‌وسیله‌ی گئورگی م. گرچکو، ولادیمیر و. کووالیونوک و والری و. ریومین نخستین فضانوردان سفرهای بسیار دراز مدت، صورت گرفت. چنین مشاهداتی پیش‌تر ناممکن بود، زیرا دو الی سه هفته وقت لازم است تا حس بینایی به شرایط موجود در مدار عادت کند و شخص بتواند جزییات دقیق‌تری از یک منظره را ببیند. آنان موج‌های انفرادی غول‌پیکری به طول ۱۰۰ کیلومتر، آثار بازمانده از توفان‌ها بر سطح آب (که برآورد دقیقی از اندازه‌ی این توفان‌ها را ممکن می‌سازد) و برخی از عارضه‌های ویژه‌ی کف اقیانوس را مشاهده کردند. اقیانوس در سکونی ابدی، جنب و جوش دایمی و رنگ‌آمیزی درخشان و پر تنوع خود را دارد. در سال ۱۹۸۴ لئونید د. کیزیم، ولادیمیر آ. سولوویف و اولگ یو. آتکف، سومین دسته از سرنشینان سالیوت ۷، رنگ اقیانوس آرام را بررسی و در مدت دو هفته نقشه‌ی رنگ‌های آن را تهیه کردند. از طریق کشتیرانی روی آب همین نقشه‌برداری بین پنج تا ۱۰ سال زمان می‌برد. به‌علاوه، اندازه‌گیری روی سطح آب، که متکی است بر درجه‌بندی فُرل برای محلول‌های رنگی و صفحه‌ی مدور سفید رنگی که از روی عرشه به پایین فرستاده می‌شود، از لحاظ تعداد رنگ‌های درجه‌بندی‌شده چندان غنی نیست.

نخستین مشاهدات سازمان یافته‌ی فضایی از اقیانوس در ۱۹۷۸ به‌وسیله‌ی کووالیونوک ضمن دومین ماموریتش درون ایستگاه فضایی سالیوت ۶ انجام گرفت. وی اقیانوس‌شناسان را به همکاری در این پژوهش‌ها فرا خواند. این همکاری پراهمیت، منافع اقتصادی برای دریانوردی و ماهی‌گیری در بر داشت. پیامدهای این همکاری به زودی خود را نشان داد: کشتی‌ها وجود انبوه ماهی‌ها را در جاهایی که فضانوردان اعلام کرده بودند تایید می‌کردند؛ کشتی‌های دیگری توصیه‌هایی از فضا دریافت می‌کردند، راجع به این‌که چگونه از ورود به حوزه‌های یخ‌بندان و نواحی پر تلاطم احتراز کنند (از دهه‌ی ۱۹۴۰ به این‌سو ناوگان‌های ماهی‌گیری، هواپیماهای کاوشگری حامل مشاهده‌گران فوق‌العاده تیزچشم را به‌کار گرفته‌اند؛ این کاوندگان با تجربه می‌توانند از روی شکل و رنگ دسته‌ای از ماهیان، نوع ماهی‌های آن دسته را معین کنند.)

مشاهدات مداری کووالیونوک و بررسی‌های بعد از پرواز وی در مورد رنگ آب با استفاده از اطلس، نخستین آزمایش‌های واقعی فام‌شناسی فضایی را پایه‌ریزی کرد. بِرزُوی و والتنین و. لبدف در سال ۱۹۸۲ این مطالعات را درون سالیوت ۷ انجام دادند. این دو فضانورد آموزش‌های نظری و عملی ویژه‌ای در فام‌شناسی دیده بودند. آموزش‌های عملی آنان درون یک هواپیما مجهز به آزمایشگاه، ضمن پروازهایی بر فراز دریای سیاه، دریای خزر، دریای اختسک و دریای ژاپن صورت گرفت. یک ماه پس از آغاز ماموریت، برزوی نخستین طرح خود از ساختار سطحی اقیانوس را در دفترچه یادداشتش رسم کرد. وی ضمن ۲۱۱ روز اقامت در مدار زمین، بیش از ۲۰ ساختار سطحی مشخصه‌ی جریان‌های عمودی و افقی موجود در اقیانوس، شکل‌های مختلف چرخش آب و صورت‌بندی‌های وابسته به غلظت ذرات معلق آلی و غیرآلی در ژرفای اقیانوس را ثبت کرد. در این ساختارها، که خیلی از آن‌ها تا کنون مشاهده نشده بود، دریاهای متلاطم و جریان‌های باد با هم ترکیب شده بود.

طی این ماموریت، فضانوردان بیش از ۱۵۰ اندازه‌گیری رنگی از اقیانوس به‌عمل آوردند. آنان صورت‌بندی‌هایی از سطح اقیانوس را که اندازه‌شان بین ۱۰ تا ۵۰۰ کیلومتر بود ثبت کردند. این مشاهدات سه ناحیه‌ی اساسی را در زمینه‌های آبی تیره مشخص کرد. آبی روشن آب‌های «بیابانی»، نواحی سبز رنگ سرشار از پلانکتن و آب‌های قهوه‌ای حاوی کانی‌های معلق و پلانکتن‌های کهنه، میانگین تمایز رنگ بین نواحی مشاهده شده و آب‌های زمینه، چیزی در حدود ۱۰ نانومتر بود.

مشاهدات روی اقیانوس در نزدیکی سواحل آرژانتین نمونه‌ی گویایی از آزمایش‌های رنگ‌سنجی بِرزُوی است. وی به بررسی تمایز رنگی جریان‌های اقیانوس پرداخت، که دما و غلظت انواع نمک در آن‌ها با پیرامونشان متفاوت است. ساختار این جریان‌ها و پیدایش آن‌ها در طول زمان موضوع‌های پژوهشی مهمی برای اقیانوس‌شناسان است. جریان‌های موجود در اقیانوس بر تعادل بین اقیانوس و جو تاثیر چشم‌گیری می‌گذارد. این جریان‌ها وضع آب و هوا را در نواحی نزدیک و نیز نواحی دوردست نسبت به خود تعیین می‌کند.

پژوهشگران علاوه بر بررسی عوارض سطح اقیانوس، زمان لازم را برای مشاهده‌ی این عوارض از مواد زمین نیز برآورد کرده‌اند. آنان به ثبت مدت زمانی پرداختند که برای سنجش شیء هدف در حین نزدیک‌شدن به آن، برای پی بردن به ویژگی‌های رنگی هدف در هنگام نزدیک‌شدن به موضعی در بالای آن، همچنین برای ثبت رنگ‌های شیء و زمینه در ضمن پرواز مستقیم بر فراز آن لازم است.

نتایج به‌دست آمده غیرمنتظره بود. وقتی تمایز رنگ‌ها به‌میزان مطلوب بود، یعنی وقتی خورشید حدود ۳۰ تا ۴۵ درجه بالای افق و در یک طرف مشاهده‌گر یا پشت سر او قرار داشت ـ شیء روی سطح اقیانوس را طی سه تا چهار دقیقه می‌شد دید. فضانوردان قادر بودند اشیایی با

تمایز رنگی زیاد روی خشکی، از جمله واحه‌هایی در بیابان را از افق تا افق، حداکثر طی شش دقیقه مشاهده کنند. از طرف دیگر، شیوه‌های ثبت نورنگاشتی و ویدئویی تنها درون ۴۵ درجه‌ی سمت‌القدم برای مدت مشاهده‌ی ۱/۵ تا ۲ دقیقه کارآیی دارند. توانایی چشم انسان در غلبه بر تاثیر مانع‌های جوی و مشاهده‌ی عارضه‌ها طی مدت طولانی، برتری اصلی مشاهده‌گر انسانی است.

پژوهشگران، علاوه بر گردآوری اطلاعات درباره‌ی عارضه‌های زمین و اقیانوس‌ها، به بررسی ویژگی‌های بینایی رنگی انسان طی پروازهای طولانی فضایی نیز پرداخته‌اند. نخستین انگیزه‌ی این کار لزوم ارزیابی دقت در اندازه‌گیری‌های رنگی انجام شده با چشم بود. هر فضانورد یک رشته آزمون انجام می‌داد که طی آن‌ها نمونه‌هایی از یک جدول ویژه حاوی ۳۰ رنگ (۱۰ نمونه رنگ، هرکدام در سه درجه‌ی مختلف از لحاظ شدت و درخشندگی) با رنگ‌های مبنا در یک اطلس رنگی یا رنگ‌سنج چشمی تطبیق می‌شد. تفاوت میان رنگ‌های ادراک شده و واقعی بیانگر خطای مطلق اندازه‌گیری‌های رنگی فضانورد بود. این آزمون‌ها، در پروازهای طولانی، به‌طور پیاپی انجام می‌شد، تا داده‌های کافی برای مشخص‌کردن الگوهای واقعی تغییرات فراهم آید.

از این آزمون‌ها الگوهای گوناگونی به‌دست آمد. قدرت تشخیص رنگ در کناره‌ی آبی طیف پایدار بود و این بدان معناست که مشاهده‌ی چشمی در مورد اقیانوس‌ها دارای کارآیی مطلوب است. بینایی رنگی در ناحیه‌ی آبی مایل به سبز (حدود ۴۹۰ نانومتر) و در ناحیه‌ی زرد مایل به نارنجی (حدود ۵۸۰ نانومتر) از طیف نیز پایدار و حساسیت فضانورد به اختلاف رنگ زیاد بود. در این نواحی خطاهای مربوط به تشخیص رنگ حداقل بود. از حسن اتفاق، رنگ‌های سبز، آبی، نارنجی و زرد رنگ‌هایی هستند که دانشمندان علوم زیستی بیش از همه با آن‌ها سروکار دارند، زیرا اقیانوس‌ها، جنگل‌ها و بیابان‌ها پهنه‌ی تجلی این رنگ‌هایند.

نامطلوب‌ترین کارآیی فضانوردان در تطبیق نمونه‌های رنگ متعلق به کناره‌ی سرخ رنگ طیف بود. خطای تشخیص رنگ قرمز روی زمین هم خیلی زیاد است، ولی در فضا وضع به مراتب بدتر است. با این وجود، فضانوردان توانستند رنگ‌های نواحی وسیع قهوه‌ای کم‌رنگ را که در برخی بیابان‌ها و ناحیه‌های صخره‌ای دیده می‌شود به‌طور دقیق تشخیص دهند.

آزمایش‌های فضایی وجود یک الگوی دوره‌ای خطا را در تشخیص رنگ سبز نشان دادند: خطاهای رنگی تا حدودی در چهار ماه نخست پرواز افزایش می‌یافت و پس از آن رو به کاهش می‌گذاشت. از لحاظ سنجش کیفیت کلی بینایی رنگی فضانورد، رنگ سبز اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا در چشم‌اندازهای طبیعی خیلی زیاد ظاهر می‌شود و همچنین به این خاطر که رستنی‌ها دارای اهمیت زیستی و اقتصادی زیادی هستند. با وجود این وضع، بسیاری از فضانوردان، پس از ماموریت‌های خود ابراز داشته‌اند که هیچ ناحیه‌ی سبز رنگی ندیده‌اند. مشاهده‌ی جنگل‌ها کار بسیار

دشواری است، زیرا شدت رنگ‌های سبز آن‌ها در آستانه‌ی قدرت تفکیک چشم است. ضمن یک آزمایش فام‌شناسی، واسیوتین به مشاهده‌ی یک ناحیه‌ی جنگلی در متن بیابانی واقع در کناره‌ی دریای مدیترانه در لیبی مشغول بود. مختصات رنگی که او گزارش می‌کرد، نه به سبز، بلکه بیش‌تر به کبود مایل به خاکستری مربوط می‌شد. مشاهده‌ی دقیق بعدی از جنگل نشان داد که رنگ آن خاکی، ولی با شدت خیلی کم است. در آن هنگام یک ماه از اقامت فضانوردان در مدار می‌گذشت.

آزمون‌های استانداردشده‌ی تفکیک رنگ، تنها گوشه‌ای از ماجراست. در واقع امر، فضانوردان باید اشیای طبیعی را در روشنایی با شدت‌ها و طیف‌های گوناگون مشاهده کنند. اما در بسیاری از موارد، فضانوردان قادرند رنگ اشیای طبیعی را دقیق‌تر از آن‌چه رنگ آن‌ها و آزمون‌های انجام شده حکم می‌کند، تفکیک کنند. این توانایی عالی در تفکیک رنگ اشیای واقعی روی زمین، تنها به خاصیت دید فضانوردان مربوط نمی‌شود، بلکه علاوه بر آن ناشی از کاهش تضاد رنگی اشیا هنگام مشاهده شدن از فضا نیز هست. همه‌ی فضانوردان به درخشندگی و شدت رنگ‌هایی که از فضا دیده‌اند اشاره کرده‌اند. دلیل‌های این پدیده هنوز به‌طور کامل روشن نیست، گرچه شاید شباهتی به پر رنگ‌ترشدن نقاشی‌هایی داشته باشد که نقاشان روی آن‌ها یک دست جلای براق می‌مالند.

برخی داده‌های جالب در این مورد ضمن آزمایشی به‌دست آمد که در بهار ۱۹۸۲ بر فراز بخش شمالی دریاری خزر به‌طور هم‌زمان از درون ایستگاه سالیوت ۷ و در یک هواپیمای AH-۳۰ مجهز به آزمایشگاه صورت گرفت. قرار شد لبدف و برزوی، سرنشینان سالیوت ۷ به مشاهده‌ی شکفتگی بهاری پلانکتن‌ها در خلیج کیسلیار و حوالی شبه جزیره اگراخانسکی بپردازند. در نیمه ماه مه، هر دو وجود نوارهای سبز پر رنگ را در نزدیکی شبه جزیره اگراخانسکی و موازی با خط ساحلی گزارش کردند. در روز ۲۰ مه یک گروه پژوهشی با هواپیما عازم هشترخان شد تا به انجام مشاهدات «زیر ماهواره‌ای» بپردازد. یکی از ما (تیشچنکو) می‌توانست به مطالعه دقیق این ناحیه و سنجش رنگ‌های آن بپردازد. آن‌طور که از هواپیما دیده می‌شد، پلانکتن‌ها به‌صورت یک نوار منفرد به پهنای ۴۰۰ متر رشد کرده بودند، که متشکل بود از پلکان‌های متعددی که با دورشدن از ساحل کم رنگ‌تر می‌شدند و به فاصله‌های منظمی نسبت به خط ساحل قرار گرفته بودند.

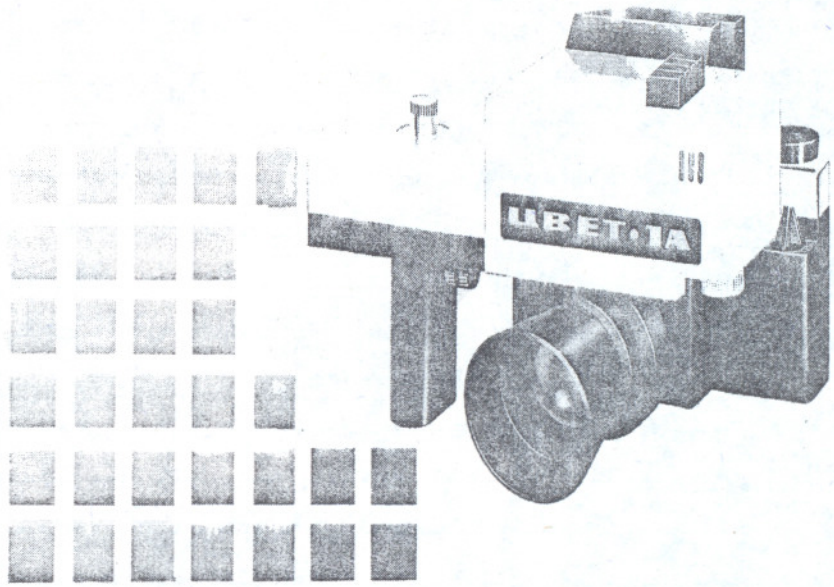
در بازگشت به مسکو در روز ۳۰ مه، تیشچنکو از لبدف و برزوی ـ همچنان درگیر قضیه بودند، خواست که رنگ‌های مربوط به پلکان‌های سبز روشن را مشخص کنند. عجیب بود که آن‌ها به‌جای یک نوار، رنگ‌های پنج نوار را گزارش کردند. درخشندگی و تضاد رنگ نوارها در مشاهده‌ی از فضا خیلی زیادتر بود. این نوع شدت‌یافتن رنگ‌ها را گاهی در شرایط آب و هوایی مناسب از درون هواپیمای در حال پرواز بر فراز آب در ارتفاع حدود ۱۰ کیلومتری نیز می‌توان دید. از آن پس، به‌تقریب در همه ماموریت‌ها از فضانوردان خواسته‌شده است برخی صورت‌بندی‌های طبیعی را که

رنگشان پایدار دانسته می‌شود، مشاهده کنند. همان عارضه‌ها از هواپیما نیز به‌طور منظم بررسی شده‌اند. پژوهش‌های فام‌شناسی که تاکنون انجام گرفته، پایه‌ای برای ایجاد شیوه‌های نوین گردآوری اطلاعات طیف در مورد زمین شده است. بر خلاف شیوه‌های مبتنی بر ماهواره‌های سنجش راه دور، از قبیل لندست که درخشندگی زمین زیرشان را در چند نوار طیفی اندازه‌گیری و سپس این اطلاعات را به‌صورت کدهای مربوط به رنگ عرضه می‌کنند، شیوه‌های فام‌شناسی متکی به مشاهده‌گران انسانی رنگ‌های ویژه‌ی عارضه‌های مهم طبیعی را تعیین و این رنگ‌ها را به‌طور مستقیم ارایه می‌کند. در ضمن در این روش‌ها، از توانایی‌های مشاهده‌گر انسانی در دریافت الگوها، که با ابزارهای نورنگاری یا وسیله‌های مکانیکی دیگر قابل دست یافتن نیست، استفاده می‌شود. انتظار می‌رود که این روش‌های سنجش راه دور، به خاطر برتری‌هایی که دارند، نقش روزافزونی در تلاش‌های علمی و اقتصادی بپذیرند.

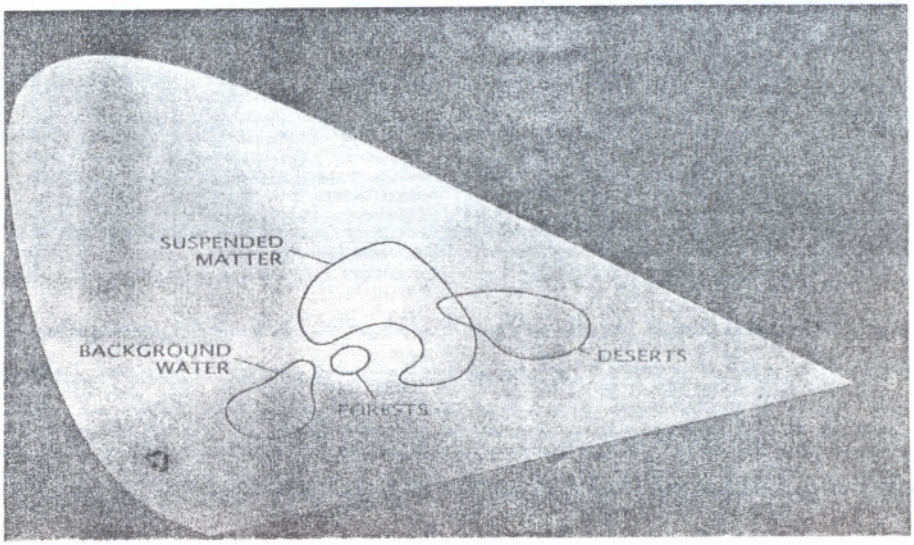
پژوهش‌های مربوط به بینایی رنگی در فضا نقش کارکرد فضانورد را در اموری که ربطی به مطالعه‌ی زمین ندارد نیز افزایش داده است. به‌علاوه، فام‌شناسی فضایی امکان تنظیم استانداردهای تازه‌ای را برای بررسی موفقیت‌آمیز طبیعت از فضا فراهم کرده است، که به نوع شیء مورد مشاهده بستگی دارند. نخستین اندازه‌گیری‌های چشمی از پارامترهای رنگی اشیای طبیعی که چندان شناخته شده نبوده‌اند، امکان تعیین مشخصات مناسب‌تری برای طیف سنج‌ها و دستگاه‌های نورنگاری راه دور را فراهم آورده است. شرایط غیرعادی زندگی در فضا و عامل‌های جدید ـ مثل تغییرات در بینایی ـ موثر بر زندگی و کار، که در مدار فضایی زمین‌شناسایی شده‌اند، می‌تواند به فعلیت یافتن توانایی‌های نهفته‌ای از بشر کمک کند.

توضیح درباره نویسندگان مقاله: ولادیمیر و. واسیوتین آرتور آ. تیشچنکو به‌طور مشترک در زمینه‌ی رنگ‌هایی که از مدار زمین دیده می‌شود پژوهش می‌کنند. واسیوتین، که خلبان و فضانورد است، در حال حاضر در فرهنگستان گاگارین، وابسته به نیروی هوایی، در مسکو کار می‌کند. وی در ۱۹۷۳ از مدرسه عالی نظامی پروازهای هواپیمایی در خارکف فارغ‌التحصیل شد و در ۱۹۷۶ کار فضانوردی را آغاز کرد. در ۱۹۸۶، شصت و پنج روز در کابین ایستگاه فضایی سالیوت ۷ به‌سر برد و طی این مدت آزمایش‌هایی در زمینه فام‌شناسی انجام داد. وی موفق به دریافت عنوان قهرمان اتحاد شوروی شد. تیشچنکو سرپرست آزمایشگاهی در مرکز دولتی پریرودا (طبیعت) و رییس بخش محیط‌زیست فدراسیون فضانوردی روسیه است. او به‌کار ساختن رنگ‌سنج‌های چشمی خودکار و راه دور برای استفاده در فضا یاری رسانده است. آزمایش‌های فام‌شناسی در داخل ایستگاه‌های سالیوت ۵، ۶، ۷ و ایستگاه مداری میر تحت‌نظارت وی انجام شده است. این مقاله نخست در مجله روسی و میرنائوکی (در دنیای علوم)، نشر روسی ساینتیفیک آمریکن نشر یافته است.

دماغه‌ی جنوبی ماداگاسکار (که ساحل شرقی آن در بالای شکل دیده می‌شود) در این شکل، که مبتنی بر مشاهدات انجام شده از مدار زمین است، تضاد شدیدی در رنگ‌ها را به نمایش می‌گذارد. رنگ سبز روشن نزدیک ساحل، پلانکتن‌ها را نشان می‌دهد. جریان‌های موجود در این ناحیه، گردابی پدید می‌آورند (پدیده‌ی مدور شکل فوق) که آب‌های لایه‌های مختلف اقیانوس را مخلوط می‌کند؛ اختلاف میزان کانی‌های معلق در آب، موجب بروز تضاد در رنگ‌ها می‌شود. پلانکتن‌ها در حد فاصل بین توده‌های مختلف آب رشد می‌کنند.

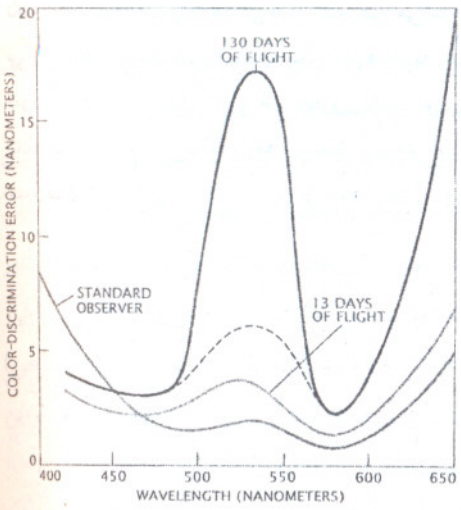


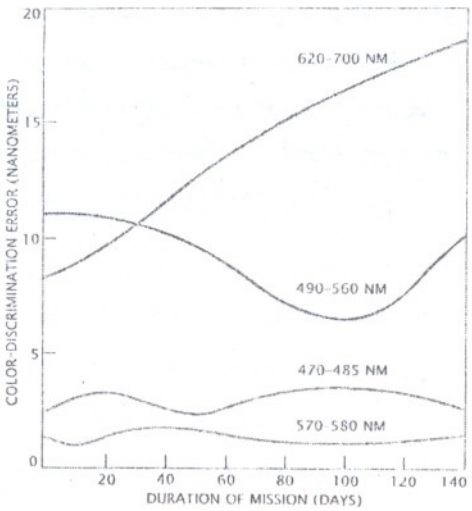
اطلس رنگ و رنگ سنج مشاهده‌گر را به تعیین رنگ اصلی، سیر و روشنی و درخشندگی عوارض طبیعی قادر می‌سازد. اطلس ATS - ۱۰۰۰ که در موسسه پژوهشی هواشناسی سراسری مندلیف ساخته شده، حاوی ۱۰۰۰ نمونه استاندارد است که اختلاف طول موج رنگ‌ها در آن، حدود پنج نانومتر است. این اطلس بعدها جای خود را به رنگ‌سنج تسوت - ۱ داد، که هم استانداردهای رنگ و هم شیء موردنظر را در تصویریاب دوربین نشان می‌دهد.



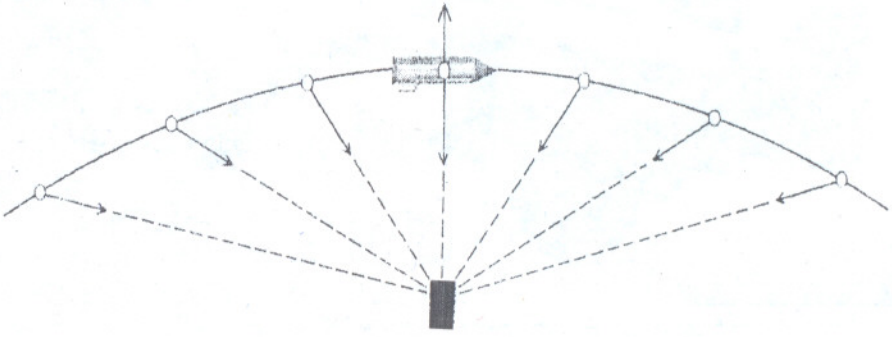
شکل‌های موجود در طبیعت ناحیه به‌نسبت کوچکی از رنگ‌ها را می‌پوشانند. این ناحیه‌ها در مثلث رنگ شکل فوق نشان داده شده است. ناحیه‌های مختلف رنگ مبتنی بر مشاهده‌های انجام شده از مدار زمین است. گرچه هر شیء روی زمین رنگ منحصر به‌خود را دارد، رده‌ی آن را با توجه به این‌که در کدام ناحیه از لحاظ رنگ، سیر و روشنی و درخشندگی واقع است، به‌سرعت می‌توان تعیین کرد.

فعالیت آتشفشان آلائید در جزیره‌ی آتلاسوا واقع در مجمع الجزایر کوریل. در این عکس، که از مدار زمین گرفته‌شده، جزییات قابل مشاهده از فضا دیده می‌شود رنگ قرمز به‌تقریب نامرئی دود، که رنگ دقیق آن را فضانوردانی به‌نام ولادیمیر و. کوالیونوک و ویکتور پ. ساوینیخ گزارش کرده‌اند، اطلاعات مهمی راجع به‌ترکیب و غلظت مواد خروجی در اختیار آتشفشان‌شناسان گذاشته است.





بینایی رنگی فضانوردان با دید عادی نسبت به اشیا در زمین تفاوت محسوسی دارد. خطاهای موجود در تعیین رنگ دقیق اشیا هم به طول موج بستگی دارد (نمودار سمت چپ) و هم به‌مدت زمانی که در مدار صرف این کار شده است (نمودار سمت راست). خطاهای تفکیک رنگ فضانوردان، در کناره‌ی آبی طیف کم‌تر و در کناره‌ی قرمز طیف بیش‌تر از آن است که در زمین وجود دارد. قدرت تفکیک رنگ آن‌ها در ناحیه‌های آبی مایل به سبز و زرد مایل به نارنجی ثابت می‌ماند. خطای موجود در تفکیک رنگ‌های سبز در جریان پروازهای طولانی تغییراتی دوره‌ای دارد که علت آن هنوز روشن نشده است.



دوره‌ی مشاهده با ظاهرشدن شیء روی افق نسبت به ایستگاه مداری آغاز می‌شود. بسته به شکل و تضاد رنگی شیء چندین ثانیه یا چندین دقیقه طول می‌کشد تا بتوان آن را دید. وقتی سفینه از بالای هدف می‌گذرد، شرایط دید بهتر می‌شود و رنگ‌های شیء قابل تشخیص است. با دورترشدن سفینه همین روند در جهت عکس تکرار می‌شود: ابتدا رنگ‌ها غیرقابل تشخیص می‌شوند و سپس خود شیء در متن زمین یا اقیانوس محو می‌شود. مدت زمان قابل استفاده برای مشاهده، به تضاد رنگی بین شیء و زمینه و نحوه‌ی بازتابش نور به‌وسیله‌ی شیء بستگی دارد. اشیای روی زمین نور را به‌طور پراکنده باز می‌تابانند و عوارض اقیانوس نور را مانند آینه منعکس می‌کنند. ذره‌های معلق زمینه‌ی آب جنگل بیابان خطای تفکیک رنگ (نانومتر) مشاهده‌گر متعارف ۱۳۰ روز پرواز ۱۳ روز پرواز نانومتر طول موج (نانومتر) مدت ماموریت فضایی (روز)