

Внимание! Эта статья переехала на <http://geektimes.ru/post/264208/>. Единственная причина, по которой Вы могли бы хотеть читать её здесь -- это падение geektimes и тому подобные катастрофические события. Во всех остальных случаях обновите Ваши закладки и читайте статью на <http://geektimes.ru/post/264208/>

На каком расстоянии от Земли мы можем заметить гипотетических братьев по разуму? На эту тему существует немало хороших обзоров (например, [1, 2, 10]). Из них следует, в частности, что с помощью самого мощного на сегодня радиотелескопа в Аресибо мы можем послать сигнал другой цивилизации, обладающей таким же телескопом, на расстояние до нескольких тысяч световых лет. Разумеется, чтобы это общение состоялось, надо точно знать, куда, когда и на какой частоте передавать и слушать. Если просто сканировать всё небо, подолгу "прислушиваясь" к каждой точке, чтобы выловить сигнал, то покрытие нашей межзвёздной связи уменьшается до радиуса в 5-10 световых лет [10, таблица 4]. Именно на таком удалении мы можем сегодня заметить космических соседей, находящихся на сопоставимом с нами уровне развития.

Вопрос: а как это расстояние менялось в прошлом? Можно ли что-то понять, взглянув на исторические значения этого параметра?

Именно этим мы и займёмся. Мы посмотрим, как **радиус самообнаружения R_s** , то есть расстояние, на котором земная цивилизация могла бы обнаружить другую цивилизацию, находящуюся **на том же** уровне развития, менялось во времени. Оказывается, этот параметр растёт невероятно быстро, и это можно количественно описать.

Почему "на том же"? Потому что проще и определённой. Не надо домысливать, наверняка ошибаясь, могли ли древние египтяне заметить чужой спутник (и сможем ли мы распознать чужую супер-технологии, даже имея её перед глазами).

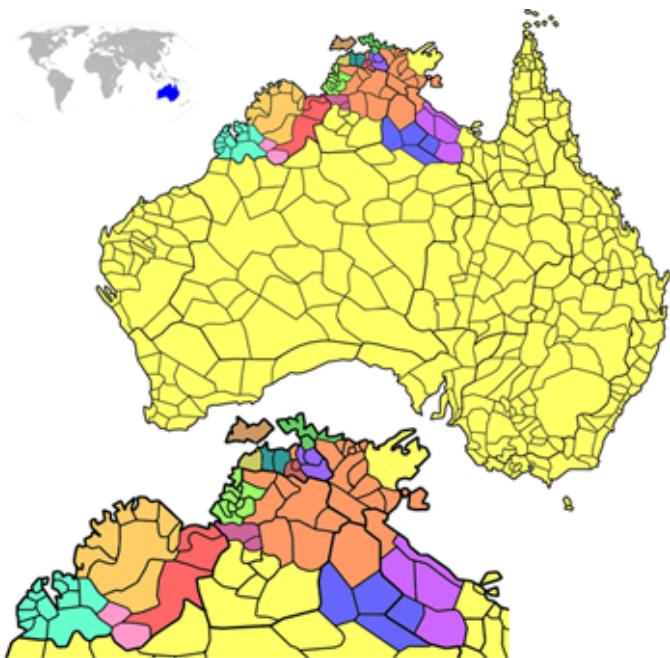
Даже в таком упрощении количественные оценки здесь чрезвычайно трудны и могут содержать существенные неточности. Поэтому поправки, конечно, принимаются, но только если я ошибся эдак хотя бы на порядок.

Итак, приступим.

Первобытные времена: $R_s \approx 1000$ км

Австралию начали заселять примерно 40 тысяч лет назад, а Полинезию -- 3-5. Между этими веками люди не знали ни лошадей, ни сколько-нибудь серьёзного мореходства.

Взглянём на карту языков аборигенов Австралии [15, Image Credit: Wikipedia]:



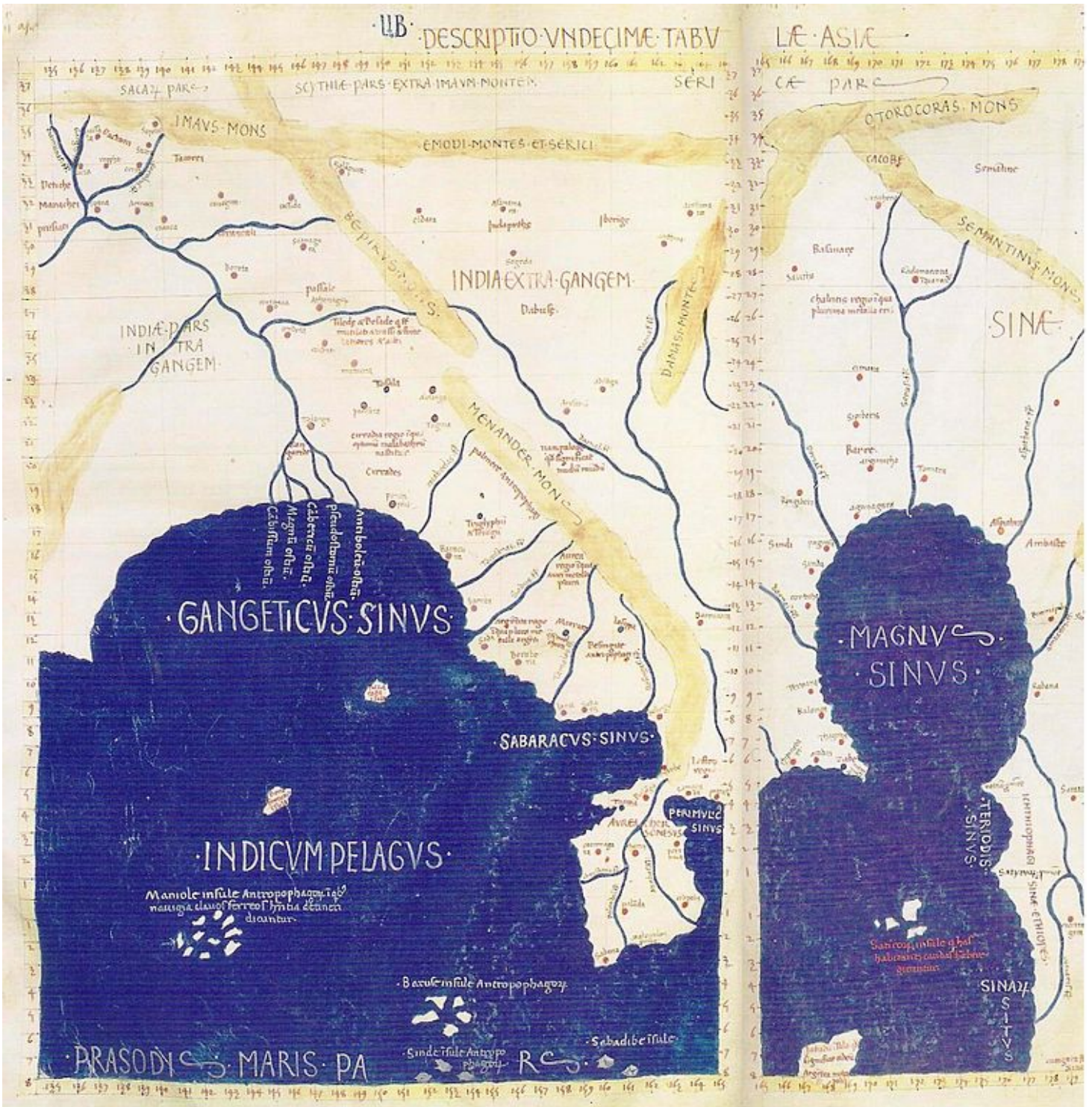
Цветами на ней обозначены не просто языки, а их **семьи**. То есть группы языков, отличающиеся куда больше, чем русский от польского. Очень похожая картина вырисовывается и на карте языков аборигенов Северной Америки [16].

Если верить этим картам, культурная изоляция между разноцветными клочками была крайне высока. Иначе языки, за тысячелетия-то, наверняка бы смешались. А значит, характерным "радиусом самообнаружения" в те времена и был размер территории, где говорили на одном семействе языков. Просто потому, что если непосредственных соседей люди ещё как-то знали, то что творилось за их землями, оставалось почти неизвестным.

Исходя из этих соображений, примем $R_s \approx 10^6$ метров в промежутке между возникновением современного человека (50 тыс. лет назад) и первых государств (около 6 тыс. лет назад).

Римская Империя: $R_s = 8000$ км

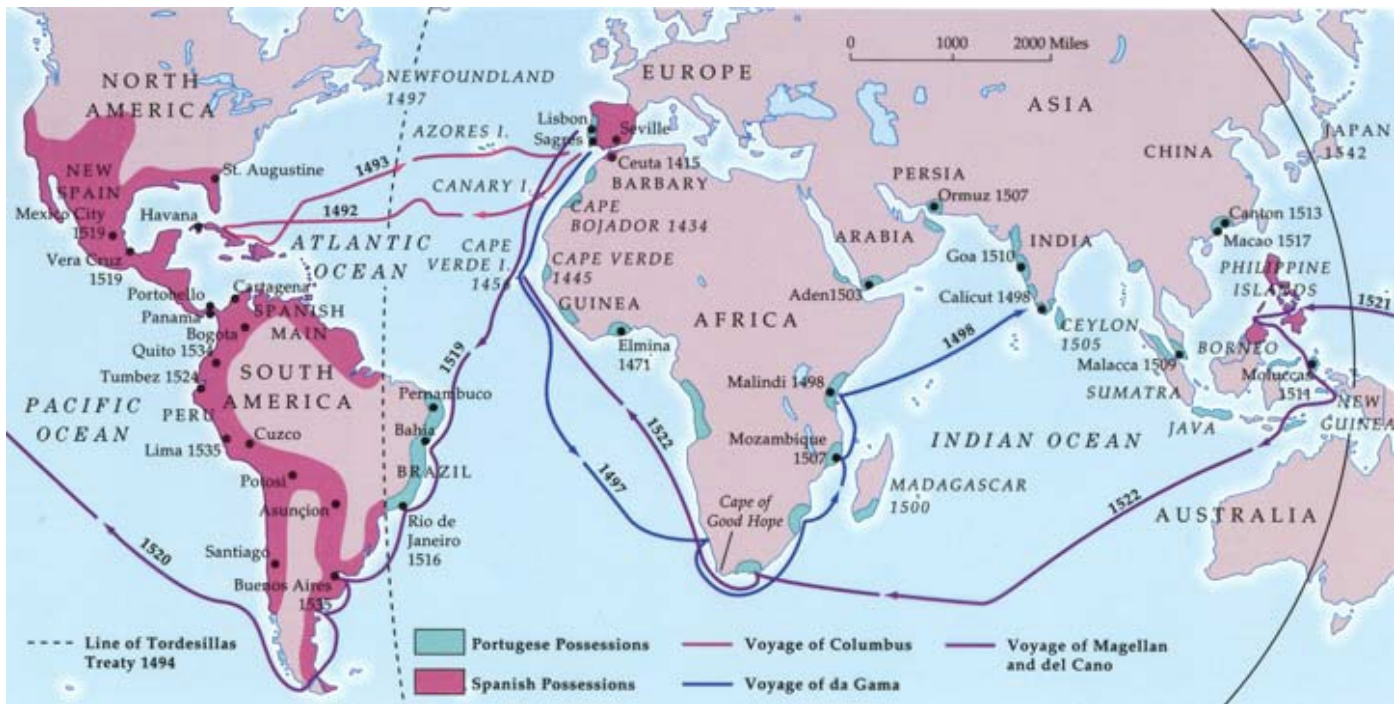
На карте мира работы Птолемея второго века нашей эры уже присутствует Китай, обозначенный словом "Sinae" ([20, Image Credit: Wikipedia]):



Согласно тому же источнику, первый обмен послами между Римской и Китайской империями состоялся в 166-м году. Таким образом, две крупнейшие цивилизации планеты, находящиеся на схожем уровне развития, обнаруживают друг друга на удалении $R_s = 8 \cdot 10^6$ м.

Плавание Магеллана: $R_s = 20000$ км

В 1522-м году экспедиция Магеллана завершает кругосветное путешествие ([30, Image Credit: Wikipedia]):



Если бы на Земле имелась ещё одна европейская цивилизация, шансов оказаться незамеченной к этому моменту у неё практически бы не оставалось. То есть, в 1522 году $R_s = 2 \cdot 10^7$ м.

Наблюдения Луны, 1610-1820-е годы. $R_s = 384$ тыс. км



Галилей ещё в 1609-м году построил телескоп с почти 30-кратным увеличением, позволявшим, при некоторой удаче, различать на Луне подробности размером в 8-10 километров [40]. К сожалению, Лондон (один из крупнейших земных городов на тот момент) достигал тогда лишь примерно одной мили в размерах [50].

К 1657-му году в 100-кратный телескоп Гюйгенса на Луне можно было наблюдать детали в 2-3 километра [40]. Лондон дорос до этой отметки примерно в 1677-м [52]. То есть, если бы он там был, его бы уже увидели.

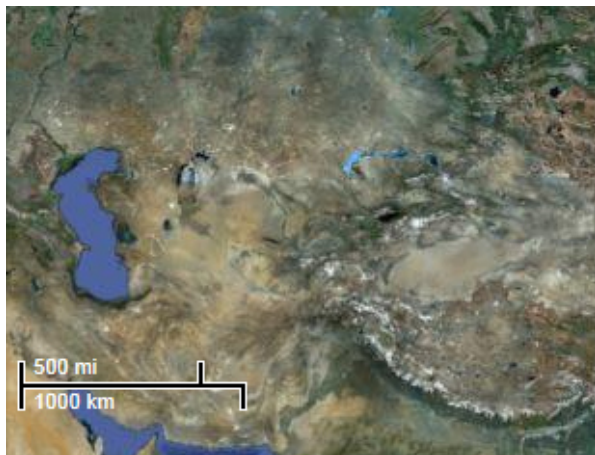
Технически это уже является датой включения лунной орбиты в круг нашего самообнаружения. Однако из-за наблюдательных трудностей отдельные "обнаружения" следов цивилизации на Луне случались вплоть до 19-го века [60], пока спектрографические работы Фраунгофера в 1823-м [70] не закрыли этот вопрос окончательно.

С учётом этой поправки примем, что R_s достиг величины $4 \cdot 10^8$ метров к 1700-му году.

Марс и Венера, $R_s \approx 60$ миллионов км

С 19-го по середину 20-го века R_s рос в основном за счёт усиления влияния нашей цивилизации на природу. Наши постройки, города, каналы становились крупнее и заметнее.

Вот, например, Каракумский Канал:



Анализ параметров телескопов [80, 90] показывает, что его, в виде тёмной полоски на этой картинке, можно было бы разглядеть на Марсе уже к 1897-му году. Что примерно совпадает по времени с открытием знаменитых "марсианских каналов" (1877, [100]). И хотя каналы оказались оптической иллюзией, важно понять: они, в принципе, могли быть и реальными. Наблюдательная астрономия уже тогда позволяла заметить достаточно крупный настоящий канал за счёт сезонного потемнения прилегающей растительности. Правда, Каракумский Канал начали строить только в 1954-м, но сопоставимые по размеру каналы на Земле прокладывались и раньше.

Другой признак -- свечение электрических огней ночных городов. Пользуясь калькулятором [110] (или пересчитав выводы из [115]) можно прикинуть, что, если бы на Венере был свой Нью-Йорк, то его ночные огни на ночной стороне можно было бы заметить где-то между 1900-м и 1960-м годами.

По совокупности этих данных примем $6 \cdot 10^{10}$ метров как радиус самообнаружения земной цивилизации к 1930-му году.

А затем на сцену вышла радиоастрономия.

1960-е. Утечки радаров, $R_s = 0.7$ светового года

США и СССР, опасаясь внезапной ядерной атаки соседа, создали системы раннего предупреждения о ракетном нападении (Ballistic Missile Early Warning System, [120, 122]). Эти системы стали одними из самых мощных постоянно действующих радиоисточников на Земле.

В их основе лежит обыкновенный радар, каждые несколько секунд обегаящий горизонт и слушающий, не придёт ли отражённый сигнал от летящей боеголовки (Image Credit: Wikipedia):



Что происходит с лучом радара, если он на боеголовку не натывается? Правильно. Луч летит дальше. В космос, мимо Луны, планет Солнечной Системы, звёзд, и так далее до бесконечности.

Сила луча такова, что, если заранее знать, какую звезду "слушать", его можно уловить телескопом Аресибо за 19 световых лет, и с хорошей вероятностью за 0.7 светового года, осматривая всё небо [согласно [10](#), таблица 4].

Таким образом, уже где-то к 1965-му году параметр R_s достигает величины в 0.7 светового года, или $7 \cdot 10^{15}$ метров.

2015. Примерно 10 световых лет

Сказать точно, чему равен этот радиус сегодня, довольно непросто. Много новых инструментов, методов, но мало систематических описаний. Оценки зачастую приходится делать на бегу по косвенным данным.

Так, Allen Telescope Array [[145](#)], будучи доведён до ума, должен уверенно обнаруживать радар, эквивалентный Аресибо, на расстоянии до 300 парсек (и 105 парсек в нынешнем виде). Это предполагая направленную передачу. Понятно, что на таком расстоянии вероятность передачи именно для нас мала. Однако если взять ближайšie 5 парсек, то звёзд в этой сфере уже всего полсотни, из которых "приличного" спектрального класса -- вообще лишь штук 30. Это количество вполне можно покрыть направленными

передачами. Из чего следует, что если "они" не идиоты, желают общаться, и живут в радиусе нескольких парсек, то наши шансы услышать "их" оказываются весьма высоки.

Что ещё? В работе [150] люди занимались поиском спектральных сигнатур трития в радиодиапазоне в радиусе примерно 20 световых лет от Солнца. Тритий, как известно, в природе почти не встречается, поэтому всякое его обнаружение почти наверняка свидетельствовало бы о деятельности космической цивилизации, активно использующей термоядерную энергию. Скажем, для межпланетных перелётов на ракетах типа "Хиус". Уровень несколько выше нашего, но всё же сопоставимый и понятный.

В [153] утверждается, что современное или вот-вот ожидающееся радиотелескопостроение дошло-таки до уровня, достаточного для регистрации шума инопланетных телевизионных сигналов на расстояниях в 10-500 парсек. Разумеется, в режиме тщательного прослушивания "интересных" звёзд, а не всего неба подряд, что на практике означает скорее нижнюю границу этого диапазона.

Кроме радио, стали появляться и другие интересные каналы.

Так, лазерные передачи (тоже направленные) мощностью всего в 90 Ватт детектируются современными методами с расстояний до 100 световых лет, согласно [155]. Что, с учётом уже использованного аргумента про фокусировку на ближайших соседях, опять же сводится к высоковероятному обнаружению на единицах парсеков.

Последствия глобальной ядерной войны (в виде свечения ионизированного воздуха) находятся на пределе обнаружимости современными методами у ближайших звёзд [156]. Там же сообщается, что James Webb Space Telescope, планируемый к запуску в 2018-м, будет способен детектировать загрязнение планетарных атмосфер техногенными фреонами на межзвёздных расстояниях.

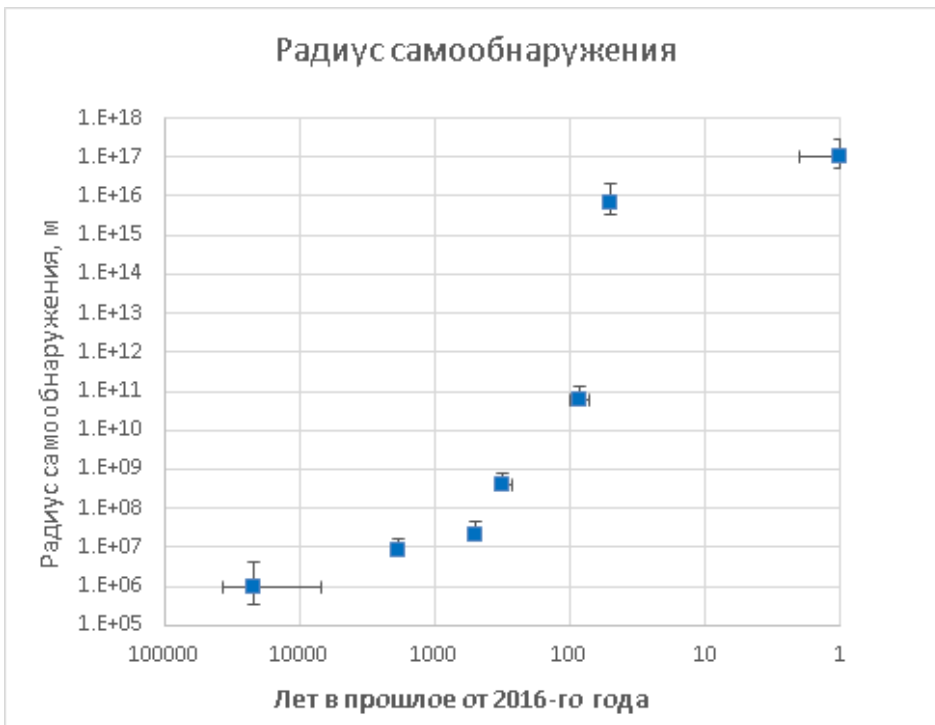
Наконец, если "они" догадаются сбрасывать свои радиоактивные отходы на местное солнце (у нас есть такие проекты), то по спектральным линиям редчайших "осколков" деления (Tc, Pr, Nd, Pu, Ba, Zr) подобную деятельность, при достаточно серьёзном её масштабе, можно засечь вообще чуть ли не за тысячи световых лет [160, 156].

Суммируя все эти разнообразные подходы с их сильными и слабыми сторонами, заключим, что если бы у нас были соседи в радиусе десятка световых лет от Солнца, то мы бы их, пожалуй, уже заметили.

Наблюдения и выводы

Для начала неплохо бы построить график **Rs** от времени. Это оказывается отнюдь не просто! Наши инструменты и зрение пасуют перед зависимостью, простирающейся на 20 тысяч лет и 11 порядков величины, но набирающей 6 нм за каких-то полвека. Даже в логарифмическом масштабе это выглядит просто "стенкой".

Чтобы передать эту зависимость, приходится изобретать весьма неестественные системы координат. Например, логарифм радиуса самообнаружения как функция логарифма числа лет в прошлое от (искусственно выбранного) 2016-го года:



Нарисовали. Рост, как видите, быстрый и всё время ускоряющийся.

Что интересно, в исторической перспективе он выглядит цельным непрерывным процессом, начавшимся задолго до программы SETI или изобретения телескопа. Похоже, поиск иных цивилизаций является естественной частью взросления цивилизации нашей.

Второй вопрос: а какова аналитическая форма этой зависимости? И можно ли её проэкстраполировать в будущее?

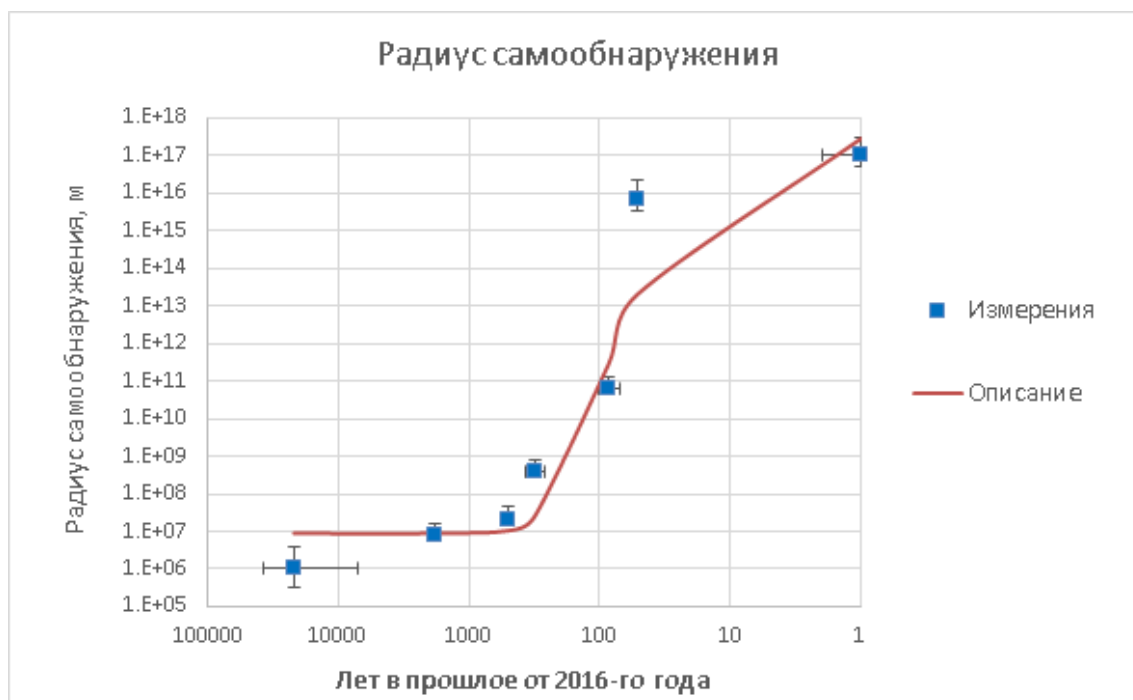
По-хорошему, делать этого нельзя. Через семь точек можно провести почти что угодно, а обжечься на экстраполяции -- легче лёгкого. Из скорости роста ребёнка в первые 10 лет вовсе не следует, что к 300-летнему возрасту он станет перешагивать через башенные краны.

Поэтому нельзя. Но если **очень** хочется, то немножко можно. Хотя бы в качестве упражнения по работе со столь резкими зависимостями?

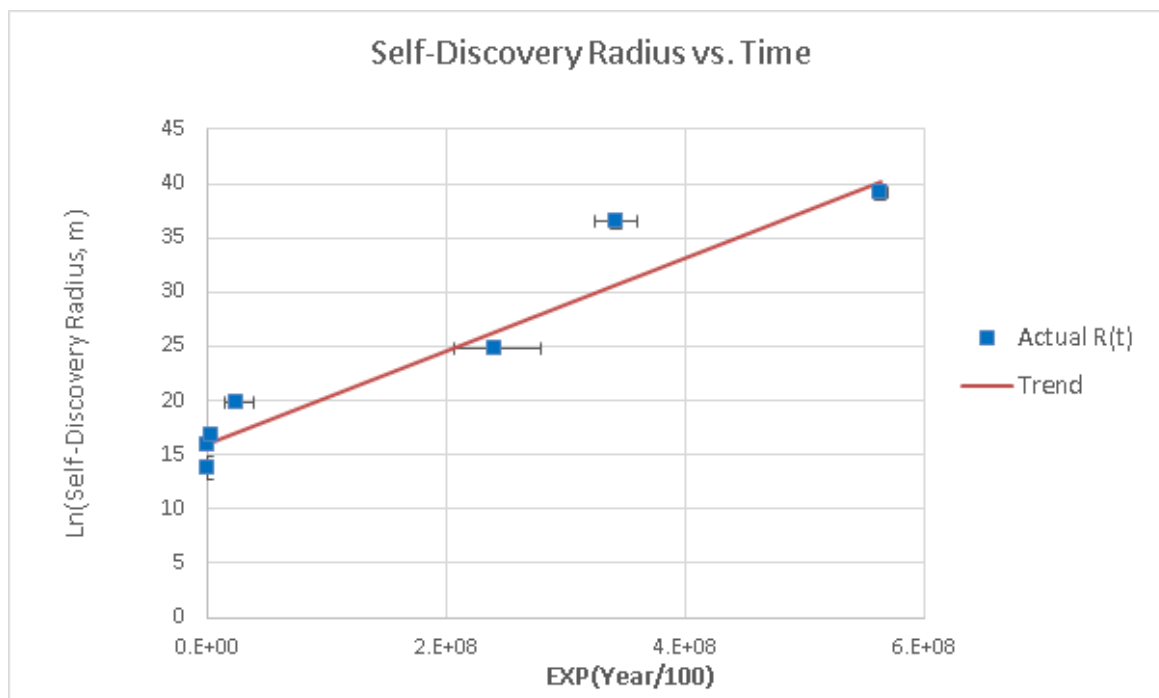
С первых же опытов становится ясно, что зависимость эта более резкая, чем экспоненциальная. Попытка вписать в неё экспоненту оканчивается провалом ($R^2 = 0.227$). Следовательно, исключаются и степенные функции. Они растут даже медленнее экспоненты. Нам же нужно что-то, что растёт, наоборот, быстрее.

Что мы знаем про нашу зависимость? Что она по логике своей везде положительна, везде монотонно растёт, и не имеет особенностей в прошлом. Следовательно, для её описания не подходят ни Гамма-функция (есть особенности), ни (сдвинутая) экспонента от степени вида $R = \exp((Y-Y_0)^n)$ -- ибо у неё есть особенности и/или немонотонности при любых n , кроме нечётных целых, принятие чего бы шаманством и натягиванием ответа на глобус.

Следующей по классу скорости оказывается экспонента от экспоненты. Её, наконец, удаётся вписать в зависимость ($R^2 \approx 0.92$). В выбранной безумной системе координат это выглядит так:



В более естественных для неё координатах "логарифм радиуса, экспонента от столетия" это выглядит почти даже изящно:



Аналитическое выражение имеет вид:

$$\ln(R_s(t)) = (4.2878708257 \cdot 10^{-8}) \cdot e^{(Y/100)} + 16.0063874034$$

Где Y -- текущий год, а R_s выражен в метрах.

В более удобном для восприятия виде эту зависимость можно переписать так:

$$\ln(R_s/8940 \text{ км}) = e^{C-16.9648904452}$$

Где C -- текущий момент, выраженный в столетиях (т.е., например, для 2015 года $C = 20.15$). Тут видны следующие забавные "совпадения":

- а) Радиус самообнаружения "натурально" выражается в единицах, сопоставимых с радиусом планеты.
- б) 1696 год -- в некоторой степени переломный. До него рост радиуса самообнаружения можно было описывать и как экспоненциальный. После -- как принципиально более быстрый.
- в) Характерный масштаб обновления скорости нашего обзора -- 100 лет.

К сожалению, непонятно, соответствуют ли эти цифры какой-то объективной реальности, или же являются артефактами интерполяции по слишком малому числу точек.

Экстраполируя эту зависимость в будущее, можно получить, что радиус самообнаружения покроет нашу Галактику (180 тысяч световых лет) к 2046-му году, а видимую Вселенную (14 миллиардов светолет) -- к 2075-му.

Можно ли верить этим цифрам? Конечно, нет. Но можно достоверно утверждать, что радиус самообнаружения растёт **очень** быстро. И если мы, как цивилизация, не загубим себя ядерной войной или каким-нибудь позорным развалом образования, то у нас будут все шансы узнать ещё очень много нового и интересного даже при жизни нынешнего поколения.

Ссылки и источники

- [1]. [Интересный факт о современных возможностях межзвездной связи.](#)
- [2]. [Оценка вероятности обнаружения случайного радиосигнала от внеземной цивилизации.](#)
- [10]. [Detectability of Extraterrestrial Technological Activities by Guillermo A. Lemarchand.](#)
- [15]. [List of Australian Aboriginal languages \(Wikipedia\).](#)
- [16]. [Native American Languages.](#)
- [20]. [Sino-Roman relations \(Wikipedia\).](#)
- [30]. [Ferdinand Magellan \(Wikipedia\).](#)
- [40]. [The Developmental History of the Telescope.](#)
- [50]. [History of London \(Wikipedia\).](#)
- [52]. [Карта Лондона 1677 года \(City of London Ogilby and Morgan's Map of 1677.jpg\) \(Wikipedia\).](#)
- [60]. [Communication with extraterrestrial intelligence, #History \(Wikipedia\).](#)
- [70]. [MOON INHABITATION, p 277.](#)
- [80]. [Timeline of telescope technology \(Wikipedia\).](#)
- [90]. [Yerkes Observatory \(Wikipedia\).](#)
- [100]. [Martian canal \(Wikipedia\).](#)
- [110]. [Telescope Limiting Magnitude Calculator.](#)
- [115]. [Detection Technique for Artificially Illuminated Objects in the Outer Solar System and Beyond.](#)
- [120]. [Ballistic Missile Early Warning System \(Wikipedia\).](#)

[122]. [Radars for the Detection and Tracking of Ballistic Missiles, Satellites, and Planets.](#)

[145]. [Allen Telescope Array, #Key science goals \(Wikipedia\).](#)

[150]. [A Search for the Tritium Hyperfine Line from Nearby Stars.](#)

[153]. [Eavesdropping on Radio Broadcasts from Galactic Civilizations with Upcoming Observatories for Redshifted 21cm Radiation.](#)

[155]. [A Search for Optical Laser Emission Using Keck HIRES5.](#)

[156]. [Observational Signatures of Self-Destructive Civilisations.](#)

[160]. [Nuclear waste spectrum as evidence of technological extraterrestrial civilizations.](#)

Евгений Бобух, 18.10.2015

===

Text Author(s): Eugene Bobukh === Web is volatile. Files are permanent. **Get a copy:** [[PDF](#)] [[Zipped HTML](#)] === **Full list of texts:** <http://tung-sten.no-ip.com/Shelf/All.htm>] === **All texts as a Zip archive:** <http://tung-sten.no-ip.com/Shelf/All.zip>] [mirror: <https://1drv.ms/u/s!AhYC4Qz62r5BhO9Xopn1yxWMSxtaOQ?e=b1KSiI>] === **Contact the author:** h o t m a i l (switch name and domain) e u g e n e b o (dot) c o m === **Support the author:** 1. **PayPal** to the address above; 2. **BTC:** 1DAptzi8J5qCaM45DueYXmAuiyGPG3pLbT; 3. **ETH:** 0xbDf6F8969674D05cb46ec75397a4F3B8581d8491; 4. **LTC:** LKtdnrau7Eb8wbRERasvJst6qGvTDPbHcN; 5. **XRP:** ranvPv13zqmUsQPgazwKkWCEaYecjYxN7z === **Visit other outlets:** Telegram channel <http://t.me/eugeneboList>, my site www.bobukh.com, Habr <https://habr.com/ru/users/eugenebo/posts/>, Medium <https://eugenebo.medium.com/>, Wordpress <http://eugenebo.wordpress.com/>, LinkedIn <https://www.linkedin.com/in/eugenebo>, ЖЖ <https://eugenebo.livejournal.com>, Facebook <https://www.facebook.com/EugeneBo>, SteemIt <https://steemit.com/@eugenebo>, MSDN Blog https://docs.microsoft.com/en-us/archive/blogs/eugene_bobukh/ === **License:** Creative Commons BY-NC (no commercial use, retain this footer and attribute the author; otherwise, use as you want); === **RSA Public Key Token:** 33eda1770f509534. === **Contact info** relevant as of 7/15/2022.

===