

Обнаружение с помощью высотных самолетов небесных тел, наиболее угрожающих Земле

Ю. И. Лобановский

Тот, кто смотрит со стороны, видит восемью глазами.
Поговорка игроков в го

Краткое содержание

В данной статье на основе ранее выполненных работ [1 – 8] описывается наиболее опасная для Земли компонента кометно-метеоритной угрозы – два семейства обломков кометы, разрушившейся несколько десятков тысяч лет назад. Рои этих обломков периодически, раз в 13 лет сближаются с Землей, и некоторые из них входят в ее атмосферу, иногда приводя к разрушениям на поверхности Земли как это было, например, во время Тунгусского и Челябинского инцидентов [2, 4] или Дублинской катастрофы [8]. При этом потенциальные масштабы таких разрушений даже для тел того же самого размера могут быть на порядки больше наблюдавшихся [4].

Показано, что наилучшим средством для обнаружения таких тел и определения их траекторных данных являются инфракрасные телескопы, расположенные на высотных самолетах-разведчиках, использующих солнечную энергию. В работе приводятся основные технические параметры такой системы наблюдения за ближним околоземным космическим пространством. Ее создание должно стать первым этапом программы по защите от космических угроз – пока эти угрозы не выявлены в должной мере, активная борьба с ними может оказаться пустой растратой сил и средств.

Ключевые слова: метеороид – Челябинский объект – Тунгусский объект – болид – телескоп – самолет – инфракрасная система обнаружения

Таблица символов

V – звездная величина
 t – время
 T – температура
 k – коэффициент черноты
 s – солнечная постоянная,
 σ – постоянная Стефана-Больцмана.
 λ – длина волны, удлинение крыла
 Re – число Рейнольдса
 C_y – коэффициент подъемной силы
 C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления
 K – аэродинамическое качество

Индексы

max – максимальный
 opt – оптимальный

I. Наиболее вероятная угроза Земле из космоса

В работах [1 – 8] было доказано существование целого семейства небесных тел, члены которого движутся по орбитам, близким к тем, по которым двигались Тунгусский и Челябинский метеороиды, то есть в резонансе с Землей 13:6. Это означает, что раз в 13 лет эти тела сближаются с Землей и могут войти в ее атмосферу. Обнаружено также второе семейство небесных тел с подобными характеристиками, орбиты которых также находятся в резонансе с Землей 13:6, но несколько отличаются от орбит первого семейства по другим параметрам [4, 8]. По наиболее известным представителям эти семейства были названы семействами Тунгуса и Орла. Составляющие их объекты являются обломками кометы, разрушенной, видимо, несколько десятков тысяч лет назад [4].

Цвет поверхности этих тел – очень темный. Орбиты кометных обломков семейства Тунгуса таковы, что их радианты (направление на воображаемую точку, откуда движутся эти объекты) отклонены от направления на Солнце на угол не более $12^\circ - 16^\circ$ [1, 2]. Таким образом, эти объекты заходят к Земле со стороны Солнца. Именно поэтому они не могут быть обнаружены современными оптическими средствами слежения за околоземным космическим пространством вследствие помех, вызванных солнечной засветкой. В меньшей степени, но то же самое относится и к объектам семейства Орла [4].

Эти 2 группировки кометных обломков представляют собой наибольшую потенциальную опасность вследствие величины составляющих их объектов, их периодического сближения с Землей и практической невозможностью раннего обнаружения. Следовательно, первоочередным этапом программы по борьбе с кометно-метеоритной угрозой должно стать создание средств, способных обнаружить сближение с Землей этих и других аналогичных объектов, и отследить их траектории для прогнозирования движения, чтобы оценить возможность их падения на Землю в последующие сближения.

II. Средства обнаружения – инфракрасные телескопы и прозрачность атмосферы

Кометные обломки представляют собой снежно-ледяную массу, плотность которой составляет около 500 кг/м^3 [2, 3], загрязненную хондритами [9], то есть силикатами, из которых в основном состоят астероиды. Вследствие испарения льда с поверхности под действием солнечного излучения во время длительных блужданий этих небесных тел по околосолнечным орбитам, хондриты постепенно концентрируются на внешней их границе и образуют твердую поверхностную корку часто довольно темного цвета. Вследствие этого у обломков мала величина альбеда (отражательной способности), и их достаточно трудно заметить с помощью оптических телескопов даже в нормальных условиях наблюдения.

Представление о цвете поверхности кометных обломков интересующих нас семейств может дать фотография куска корки Челябинского объекта, найденного в окрестности озера Чебаркуль – места падения большого числа осколков, см. рис. 1. Осколки примерно такого же цвета были найдены во всей зоне их падения. Это – ординарный хондрит типа LL5 [10], с очень низким содержанием железа. В нем не должно быть много углерода, как, например, в углистых хондритах, и чем вызван такой выраженный темный цвет, не вполне понятно, так как метеориты, состоящие из ординарных хондритов, обычно заметно более светлые [11]. Однако цвет поверхностной корки Челябинского кометного обломка именно таков, каким мы его видим. Из общности происхождения и условий существования обломков двух рассматриваемых здесь семейств следует, что поверхность их всех примерно такого же цвета. И это еще более снижает дистанцию, на которой они могут быть обнаружены в оптическом диапазоне.



Рис. 1

При степени черноты k_1 в оптическом диапазоне и k_2 – в инфракрасном и при $k_1 \approx k_2 \sim 1$ в окрестности орбиты Земли сферическое небесное тело в равновесном состоянии под действием солнечного излучения нагревается до температуры $T \approx 300 \text{ К}$:

$$T = \left(\frac{k_1 s}{4k_2 \sigma} \right)^{\frac{1}{4}},$$

где s – солнечная постоянная, σ – постоянная Стефана-Больцмана. Длина волны такого черного тела, на которой поток излучения энергии максимален, в соответствии с законом смещения Вина равен

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T},$$

где длина волны измеряется в микрометрах. В рассматриваемых условиях $\lambda_{\max} \approx 10$ мкм, что относится к средневолновому диапазону инфракрасного спектра. Изменение степени черноты на $\pm 10\%$ приведет к изменению температуры T и длины волны λ_{\max} менее чем на $\pm 2.5\%$, то есть на величину, которой в данном первичном анализе можно пренебречь.

Хотя в этом спектральном диапазоне и находится окно прозрачности земной атмосферы, простирающееся примерно от 8.5 до 13.5 мкм, но оно является таковым только в сухом и не запыленном воздухе [12]. А как раз в окрестности длины волны, на которой интересующие нас объекты излучают максимальный поток энергии, имеется локальное снижение коэффициента прозрачности даже сухой и чистой атмосферы примерно до 0.3 на уровне моря и до 0.45 на высоте 4.2 км, см. рис. 2 [13].

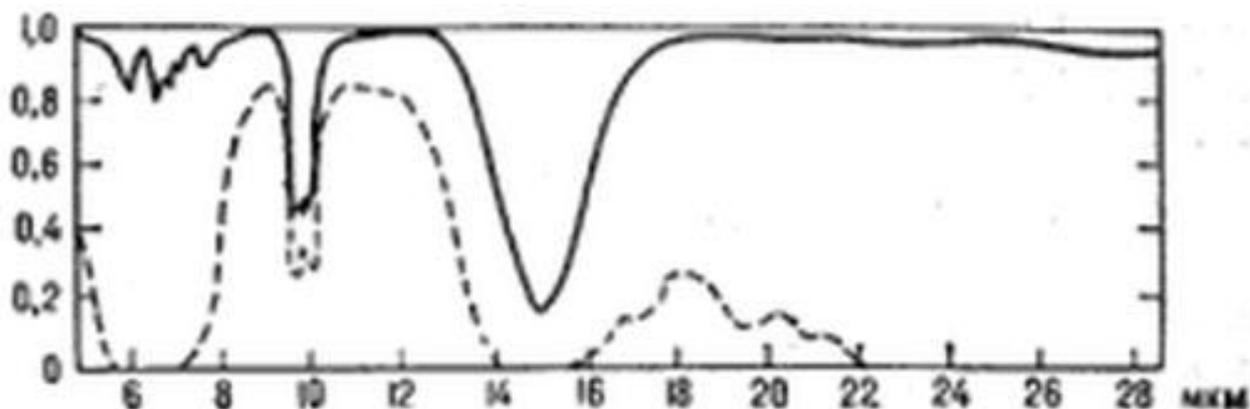


Рис. 2

Таким образом, для наблюдения за небесными телами в рассматриваемом спектральном диапазоне необходимо поднимать средство наблюдения – инфракрасный телескоп вверх и выносить его за пределы нижнего слоя атмосферы на воздушном шаре, самолете или космическом аппарате. Воздушные шары не могут быть основой оперативной системы наблюдения, находящейся в постоянной готовности, а выбор между самолетами и космическими аппаратами может быть сделан после более глубокого анализа тактико-технических требований к системе.

III. Космические и воздушные инфракрасные обсерватории

Как самолеты, так и космические аппараты ранее уже использовались и используются в настоящее время в качестве носителей инфракрасных телескопов, работающих, в том числе, и в интересующем нас спектральном диапазоне. Наиболее интересными с точки зрения рассматриваемой проблемы являются инфракрасные обсерватории WISE (Вайз) [14] и Kuiper (Койпер) [15].

Запущенная 14 декабря 2009 года на солнечно-синхронную орбиту обсерватория WISE (см. рис. 3) оснащена инфракрасным телескопом диаметром 0.4 м, который в диапазоне длин волн 3 – 12 мкм способен обнаруживать объекты типа астероидов не менее чем 21 – 22 звездной величины [16]. Ее стартовая масса составляла 662 кг [17]. Если исключить хотя бы такие подсистемы космической обсерватории как солнечные батареи, аккумуляторы и двигатели системы управления, которые нужны только при автономном полете телескопа в космосе, можно полагать, что масса собственно телескопа такого типа не превысит 500 кг.

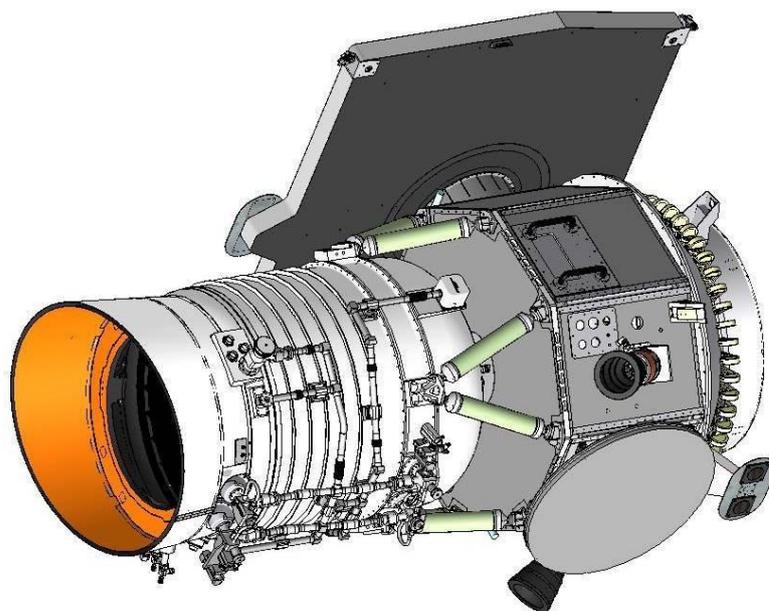


Рис. 3

Авиационная инфракрасная обсерватория Койпер с телескопом диаметром 0.915 м размещалась на самолете Локхид С-141А и успешно проработала более двух десятков лет с 1974 по 1995 годы. При этом полеты проводились вплоть до высоты 14 км [15]. В настоящее время к полномасштабному использованию готовится более крупная инфракрасная летающая обсерватория, размещенная на самолете Боинг 747 [18]. Таким образом, сейчас уже накоплен большой и успешный опыт работы как с космическими, так и авиационными инфракрасными обсерваториями, на который можно опираться при решении поставленной задачи.

При объяснении, почему Челябинский объект не был обнаружен заранее системами слежения NASA за околоземным космическим пространством [19], был приведен график, показывающий как в зависимости от времени (фактически от дистанции до наблюдателя) изменялась звездная величина V некоего темного объекта диаметром около 17 м (то есть тех размеров, какими обладал по тогдашнему мнению специалистов этой организации Челябинский объект [20]). Этот график был пересчитан с учетом того, что ожидаемый средний размер кометных обломков, представляющих реальную угрозу, равен примерно 110 м [4], что при прочих равных условиях уменьшает их наблюдаемую звездную величину примерно на 4 единицы. По данным пересчета построен график, представленный на рис. 4, где на оси ординат указана звездная величина V , а на оси абсцисс – время t с момента возможного обнаружения такого небесного тела до его входа в атмосферу в часах, если используемый для этого телескоп способен разрешить объекты звездной величины, указанной на оси ординат. Так как максимальная звездная величина объектов, наблюдаемых инфракрасным телескопом типа WISE не ниже 22, получается, что такой телескоп может обнаружить «типовой» кометный обломок примерно за 4 часа до его входа в атмосферу Земли, или на расстоянии порядка 200 тысяч километров от планеты, если не помешает солнечная засветка (см. рис. 4). Наблюдения в течение такого промежутка времени позволили бы определить параметры орбиты обнаруженного объекта, что является необходимым условием для оценки угрозы от него и подобных ему небесных тел.

Можно также отметить, что буквально в последнее время сообщалось о создании нового датчика инфракрасного излучения (NEOSam chip), обладающего более высокой чувствительностью, чем предыдущие поколения инфракрасных датчиков. Он оптимизирован именно для обнаружения излучения от небесных тел, подобных тем, которые рассматриваются в данной работе. Кроме всего прочего – это первый сенсор такого рода, способный работать без охлаждения до криогенных температур, что снижает сложность и массу инфракрасного телескопа [21].

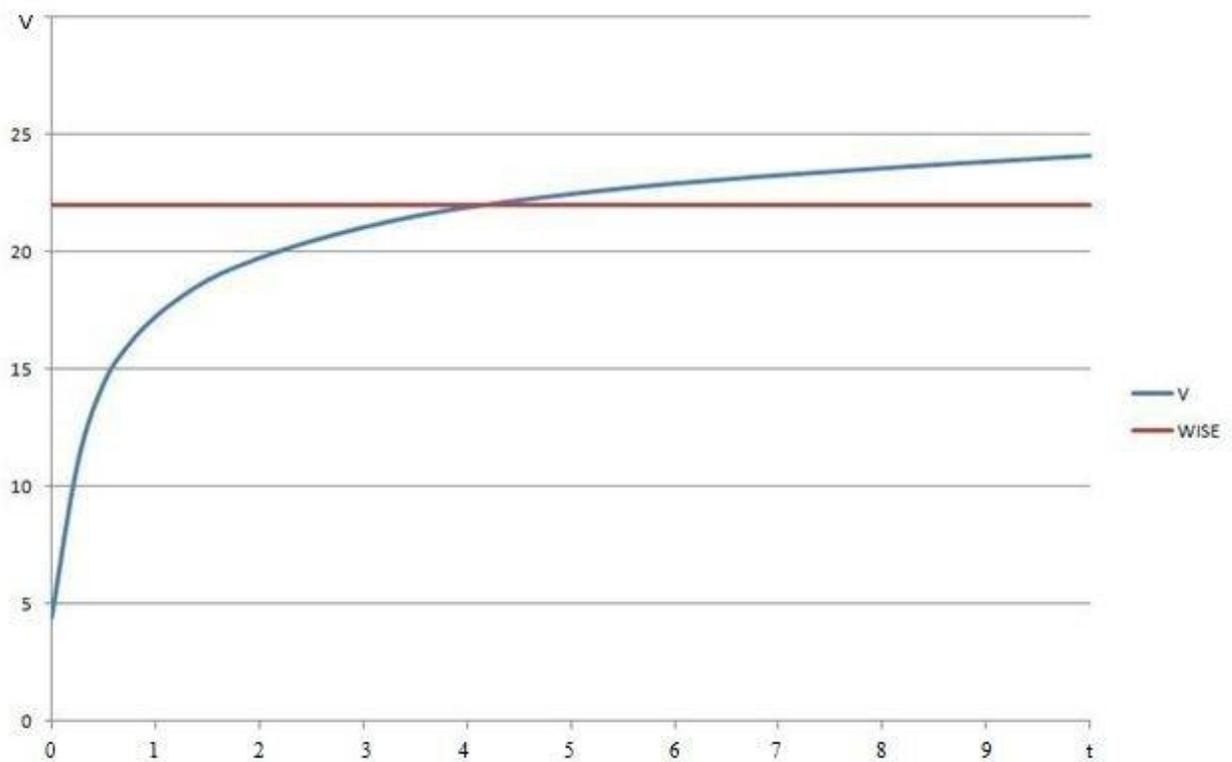


Рис. 4

Однако, солнечная засветка является серьезнейшей проблемой при работе инфракрасного телескопа по объектам семейства Тунгуса. Поэтому, учитывая то, что радианты всех этих объектов отклонены от направления на Солнце на угол около $12^{\circ} - 16^{\circ}$, следует полагать, что наиболее эффективный режим обнаружения и наблюдения тесно сближающихся с Землей обломков реализуется, когда из-за этого различия объекты видны над горизонтом, а Солнце находится под ним, то есть перед рассветом или после заката. При этом из-за параметров орбит кометных обломков при их сближении с Землей, перед рассветом кометные обломки, которые вскоре войдут в атмосферу Земли, можно наблюдать во втором окне сближения, а после заката – в первом (см. [1, 2]). Те объекты, которые пройдут мимо Земли на расстоянии меньшем, чем дальность их обнаружения, но большем, чем максимальное прицельное расстояние, могут быть зафиксированы и в другое время. И эти наблюдения и измерения элементов орбит позволят выявить те обломки, которые могут оказаться опасными в следующих циклах сближения. Отсюда вытекает необходимость управления как направлением телескопов, так и их местоположением в периоды наблюдения кометных обломков рассматриваемых здесь семейств (особенно, семейства Тунгуса) – телескопы должны располагаться определенным образом в зависимости от окна сближения в окрестности утренней или вечерней линий терминатора.

С учетом выведения телескопов как минимум, из тропосферы Земли, представляется, что остается единственный вариант размещения таких систем наблюдения – на самолетах, обладающих необходимым уровнем высотности. Для минимизации общих затрат требуется длительное барражирование беспилотных самолетов минимально возможной массы на рабочем эшелоне – отсюда следует, что в качестве таких самолетов целесообразно использовать высотные самолеты с электрическими двигателями, работающими от солнечных батарей, в качестве основного назначения которых сейчас предполагается высотная разведка.

IV. Предварительные характеристики самолетов – носителей инфракрасных телескопов

Рассмотрим существующий проект такого самолета, в наибольшей степени удовлетворяющего предварительным требованиям, вкратце сформулированным в предыдущем разделе данной работы. Это – Solar Eagle (Солнечный Орел), проектируемый компанией Boeing (Боинг), см. [22 – 24] и рис. 5.



Рис. 5

Основные его характеристики ожидаются следующими: размах крыла – 120 м, полетная масса – 1270 кг, масса полезной нагрузки – 450 кг, высота полета 17 – 20 км, скорость – 18 – 32 м/с, продолжительность полета – 5 лет. Из этих условий, параметров атмосферы на высоте 18.5 км и основных формул, описывающих характеристики самолетов с прямым крылом следует, что площадь крыла самолета близка к 500 м^2 , средняя аэродинамическая хорда примерно равна 4 м, характерное число Рейнольдса $Re \sim 0.7 \cdot 10^6$. Тогда $C_{x0} \approx 5.25 \cdot 10^{-3}$, удлинение крыла $\lambda \approx 29$, максимальное аэродинамическое качество $K_{\max} \approx 67$, коэффициент подъемной силы $C_{y \text{ орт}} \approx 0.70$, и требуемая на скорости 28 м/с мощность силовой установки составит около 5.3 кВт, что согласуется с приведенными в источнике [23] данными.

При снижении высоты полета до 16 км максимальное качество вследствие увеличения характерного числа Рейнольдса растет до величины $K_{\max} \approx 69$, а допустимая полетная масса увеличивается до 1870 кг (правда, при этом требуемая мощность силовой установки на крейсерском режиме составит уже 7.5 кВт), что приводит к увеличению полезной нагрузки до значений, превышающих массу не только телескопа как такового, но и всей инфракрасной обсерватории WISE в целом. Таким образом, высотный самолет-разведчик с размерностью самолета Solar Eagle и с параметрами, близкими к тем, что ожидаются от этого аппарата, способен перемещать на высотах 16 – 17 км инфракрасный телескоп, который, как минимум, имел бы характеристики не ниже, чем у телескопа WISE, и мог бы обнаруживать недоступные сейчас наблюдению небесные тела, которые, как следует из инцидента, произошедшего 15 февраля 2013 года в небе над Челябинском, несут наибольшую угрозу Земле из космоса. Ночью, а также вне окон сближения этих обломков кометы с Землей подобная система могла бы использоваться для обнаружения и определения траекторий других подобных небесных тел, которые вследствие своего очень низкого альbedo плохо заметны в видимом оптическом диапазоне.

Самолет на солнечных батареях практически все время полета должен находиться над облаками. В средних широтах верхняя граница основных типов облачности обычно достигает высоты около 13 км [25]. Еще одну опасность для таких низкоскоростных самолетов чрезвычайно легкой и хрупкой конструкции несут струйные течения, которые возникают во фронтальных зонах раздела в верхней тропосфере и в стратосфере. Оси струйных течений, где скорость ветра может иногда доходить до 80 м/с, обычно находятся на высоте 8 – 10 километров зимой и 9 – 11 километров летом [26]. Толщина струйных течений доходит до «нескольких километров» [27, 28]. Таким образом, для того, чтобы избежать серьезных проблем, связанных с

климатическими проявлениями земной атмосферы, высота барражирования самолетов на солнечных батареях с инфракрасными телескопами не должна быть ниже 15 – 16 км, что вполне согласуется с ранее сделанными оценками их характеристик.

Для того чтобы непрерывно наблюдать за участками неба перед восходом и после заката Солнца в течение нескольких часов потребуются эскадрилья из нескольких таких самолетов. Их точное число может быть определено после того как будет ясно, какое отклонение от направления на Солнце будет допустимо для установленных на них инфракрасных телескопов.

Выводы

1. Результаты предварительного анализа показывают, что уже существующие телескопы и разрабатываемые высотные самолеты-разведчики на солнечной энергии после некоторой доработки могут стать основой эффективной инфракрасной системы наблюдения за околоземным пространством, способной обнаруживать и отслеживать наиболее опасную для Земли компоненту кометно-метеоритной угрозы – два семейства обломков кометы, разрушившейся несколько десятков тысяч лет назад.
2. Вдобавок к этому система наблюдения может оказаться не менее эффективной и при работе по другим опасным для Земли небесным телам кометного и астероидного происхождения.
3. И только после проведения тщательной и полноценной разведки можно принимать какие-либо решения о необходимости и способах активной борьбы с кометно-метеоритной угрозой.

Литература

1. Ю. И. Лобановский – Первоочередная задача оценки остроты кометно-метеоритной угрозы. *Synerjetics Group*, 28.03.2013 // <http://www.synerjetics.ru/article/memorandum.htm>
2. Ю. И. Лобановский – Параметры Челябинского и Тунгусского объектов и характеристики вызванных ими взрывов. *Synerjetics Group*, 12.04.2013 // <http://www.synerjetics.ru/article/objects.htm>
3. Ю. И. Лобановский – Оценка адекватности условий на ударной волне вдали от эпицентра взрыва. *Synerjetics Group*, 19.04.2013 // <http://synerjetics.ru/article/border.htm>
4. Ю. И. Лобановский – Два семейства обломков одной кометы и их родители. *Synerjetics Group*, 24.04.2013 // <http://www.synerjetics.ru/article/families.htm>
5. Ю. И. Лобановский – О возможных последствиях удара кометы. *Synerjetics Group*, 28.04.2013 // <http://www.synerjetics.ru/article/after.htm>
6. Yu. I. Lobanovsky – Parameters of Chelyabinsk and Tunguska Objects and their Explosion Modes. *Arxiv.org*, 08.07.2013 // <http://arxiv.org/abs/1307.1967>
7. Ю. И. Лобановский – Акустические способы оценки энергии взрывов небесных тел. *Synerjetics Group*, 20.07.2013 // <http://synerjetics.ru/article/acoustics.htm>
8. Ю. И. Лобановский – Кометно-метеоритная угроза: исторический аспект. *Synerjetics Group*, 30.07.2013 // <http://www.synerjetics.ru/article/history.htm>
9. Chondrite. *Wikipedia* // <http://en.wikipedia.org/wiki/Chondrite>
10. Тип челябинского метеорита оказался уникальным для России. *Wiki.ru, Астрономия*, 28.02.2013 // <http://wiki.ru/sites/астрономиа/id-news-437779.html>
11. Недифференцированные метеориты или хондриты. *ProМетеорит* // <http://meteorit.pro/klassifikatsiya/kamennyie/>
12. Инфракрасное излучение. *Энциклопедия физики и техники* // http://www.femto.com.ua/articles/part_1/1411.html
13. Прозрачность земной атмосферы. *Astronet* // <http://www.astronet.ru/db/msg/1188575>
14. WISE. Mapping the Infrared Sky. *NASA*, 04.01.2010 // <http://wise.ssl.berkeley.edu/documents/FactSheet.2010.1.4.pdf>
15. About the Kuiper Airborne Observatory. *NASA Quest* // <http://quest.arc.nasa.gov/lfs/about-kaos5E.html>
16. A. Mainzer – A message from the WISE project. *Yahoo! Groups* // <http://tech.groups.yahoo.com/group/mpml/message/22864>
17. Wide-field Infrared Survey Explorer. *Wikipedia* // http://en.wikipedia.org/wiki/Wide-field_Infrared_Survey_Explorer
18. Kuiper Airborne Observatory. *Wikipedia* // http://en.wikipedia.org/wiki/Kuiper_Airborne_Observatory
19. В NASA рассказали, почему челябинский метеорит не заметили заранее. *Наука и техника*. 20.02.2013 // http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=222&d_no=52262
20. Russia Meteor Not Linked to Asteroid Flyby. *JPL, Caltech, Latest News*, 15.02.2013 // <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2013-061>
21. NASA-Funded Asteroid Tracking Sensor Passes Key Test. *NASA Lunar Science Institute* // <http://lunarscience.nasa.gov/articles/nasa-funded-asteroid-tracking-sensor-passes-key-test/>

22. Boeing wins DARPA Vulture II Program. *Boeing, Media*, 16.09.2010 // <http://boeing.mediaroom.com/index.php?s=43&item=1425>
23. В США строят беспилотный самолет Solar Eagle на солнечных батареях. *Commercerpro.ru*, 11.03.2011 // <http://commercerpro.ru/hi-tech/120-v-ssha-stroyat-bespilotnyy-samolet-solar-eagle-na-solnechnyh-batareyah.html>
24. Remote robots: Human-free by land, sea and air. *NewScientist.com*, 16.12.2011 // <http://www.newscientist.com/gallery/drones/3>
25. Облака. *Wikipedia* // <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%B0>
26. Ураганые ветры. Струйные течения в атмосфере. *Климат и человек* // <http://klimat-factor.ru/uragan.html>
27. Аэрологические наблюдения. *Погода и климатические явления*, 26.04.2012 // <http://smenapogodi.ru/uragannye-vetry-na-vysotax-strujnye-techeniya/aerologicheskie-nablyudeniya/>
28. Х. П. Погосян – Струйные течения в атмосфере. *Москва, Гидрометеиздат*, 1960.

Москва,
30.07.2013

Ю. И. Лобановский