

# Научно-исследовательская работа

## Астрономия

### ИСТИННАЯ СВЕТИМОСТЬ «ГОРОДСКИХ» ЗВЕЗД

*Выполнил:*

*Фролов Джеймс Янович*

*учащийся 4 класса*

*МАУДО «ДПШ» им. Н. К. Крупской, Россия, г. Челябинск*

*Папулова Наталика Владимировна*

*научный руководитель,*

*МАУДО «ДПШ» им. Н. К. Крупской, Россия, г. Челябинск*

#### **Введение**

Очень часто, глядя на небо, я задумывался о звездах. Какие-то, очень яркие, привлекают к себе внимание. Но есть и совсем незаметные, несущие в себе тайны. Всем знакомо то, что далекие объекты выглядят маленькими. Также и звезды. Мы понимаем, что они находятся на разных расстояниях от нас. Сравнить их просто глазом не имеет смысла. А специальных приборов у меня никаких нет. Вот я и решил узнать побольше о звездах и нарисовать небо таким,

каким бы оно выглядело, если бы все они находились от нас на одинаковом расстоянии. Тогда и можно будет говорить о том, какая из них больше, какая ярче, а, может быть, мы стали бы и цвет далеких звезд различать.

Я выбрал тему, связанную со звездами, потому что они окружают нас, и мне интересно сравнение их характеристик. Я хочу в будущем продолжить свои исследования, чтобы сделать новые открытия, касающиеся таких объектов нашей Вселенной, как звезды, туманности и черные дыры. Как говорил Стивен Хокинг: «Моя цель очень проста: я хочу понимать Вселенную, почему она устроена так, как устроена, и зачем мы здесь» [4].

**Целью** данной работы является проведение сравнительного анализа светимости звезд в зависимости от расстояния.

Для осуществления этой цели были поставлены следующие **задачи**:

- узнать, от чего зависит светимость звезд;
- дать определение видимой и абсолютной звездных величин;
- пронаблюдать в условиях города за видимостью звезд в созвездиях;
- рассмотреть только видимые в городе звезды и нарисовать карты созвездий, где эти звезды будут условно отмечены абсолютной звездной величиной.

**Основные методы исследования** по указанной теме – изучение теоретического материала, данных из Атласа звездного неба, изданного в Москве в 1991 г. Академией наук СССР и Всесоюзным астрономо-геодезическим обществом, а также практические наблюдения звездного неба и работа с программным обеспечением Stellarium 0.15.0.

**Гипотеза:** вид созвездий полностью изменится, мы не сможем выделять знакомых астеризмов.

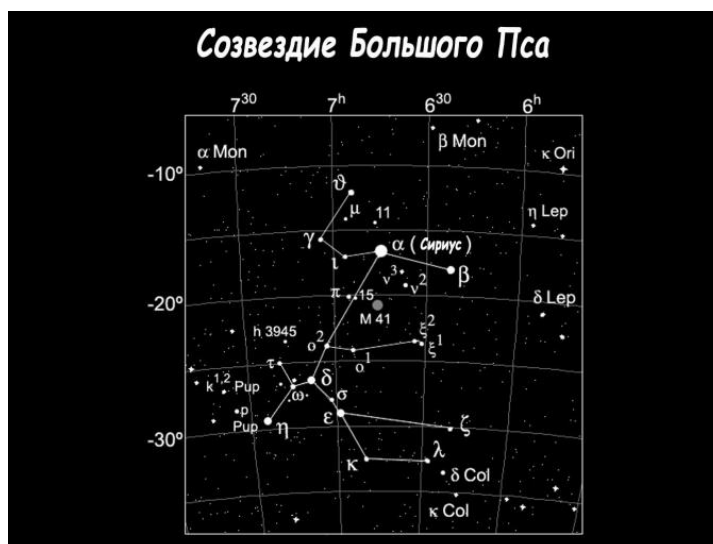
**Объект исследования** – звезды.

**Предмет исследования** – абсолютная и видимая звездная величина.

## 1. Наблюдаемые характеристики звезд и их классификация

### 1.1. Звездная величина

При взгляде на небо сразу бросается в глаза различие звезд по блеску. Ярчайшая звезда ночного неба – Сириус ( $\alpha$  Большого Пса), тогда как соседние звезды становятся заметными лишь на довольно большой высоте ( $3-5^\circ$ ).



*Рисунок 1. Сириус ( $\alpha$  Большого Пса)*

Еще в глубокой древности астрономы пытались выразить различия в блеске звезд числами. Звезды были разделены на 6 групп, названных звездными величинами. Самые яркие светила называли звездами первой величины, немного более тусклые – звездами второй величины и т.д. Самые тусклые звезды, которые может различить глаз, отнесли к звездам шестой величины. Обычно это деление звезд по блеску связывают с именем Гиппарха (2 в. до н.э.), который впервые применил его в составленном им звездном каталоге. [1]



*Рисунок 2. Гиппарх, древнегреческий астроном (190-120 г.г до н.э.)*

Таким образом, говоря о «звездной величине» имеют в виду блеск, а не размер звезды.

Все звезды – и самые яркие, и самые слабые – всегда казались астрономам светящимися точками, не имеющими размеров. Лишь в начале 20 века удалось измерить угловой размер некоторых из них, а совсем недавно, в конце 20 века, были получены изображения дисков некоторых особенно крупных и близких звезд. Конечно, в наши дни понятие звездной величины получило точное определение. Теперь это не группа звезд примерно одинакового блеска. Видимая звездная величина – это число, которое можно определить для каждой звезды как характеристику ее блеска с точки зрения земного наблюдателя.

Какую физическую величину мы воспринимаем как блеск звезды? Наше восприятие освещенности подчиняется психофизическому закону Вебера-Фехнера: при изменении освещенности в геометрической прогрессии наше ощущение меняется в арифметической прогрессии. Это открытие было сделано в 19 веке, но уже древние астрономы бессознательно следовали этой закономерности: они так поделили звезды на величины, что в среднем отношение освещенностей, создаваемых звездами первой и второй звездной величин, почти в точности равно отношению освещенностей от звезд второй и третьей величин, и т.д. Современные астрономы сохранили эту традицию, чуть-чуть уточнив ее: ныне отношение освещенностей, создаваемых светилами со звездными величинами, различающимися на 1 единицу, принимают равным 2,512.

Приняв некоторую звезду за эталон и приписав ей определенную звездную величину, можно сравнивать с ней по звездному потоку все другие звезды и определять их звездные величины. [2]

На темном небе при нормальном зрении невооруженный глаз видит звезды до 6 звездной величины, и таких звезд на всем небе около 5000, их называют яркими, и они входят в специальный Каталог ярких звезд.

Истинную светимость звезды выражают при помощи абсолютной звездной величины. Абсолютная величина звезды непосредственно связана с мощностью ее излучения, которую астрономы называют светимостью. Светимость звезды можно измерять в физических величинах (например, в ваттах), но астрономы чаще выражают светимость звезд в единицах светимости Солнца.

У большинства звёзд абсолютные величины лежат диапазоне от -10 до +20. Различие на 30 абсолютных звездных величин означают различие в светимости в триллион ( $10^{12}$ ) раз. Как видим, звёзды различаются по светимости чрезвычайно сильно. [7]

## **2. Почему у звезд отличаются светимости**

### **2.1. Физические и химические характеристики звезд**

Разберемся, почему у звезд отличаются светимости. Температура вещества в недрах звёзд измеряется миллионами Кельвинов, а на их поверхности — тысячами Кельвинов (от 2 000 до 100 000 Кельвинов). Энергия подавляющего большинства звёзд выделяется в результате термоядерных реакций превращения водорода в гелий, происходящих при высоких температурах во внутренних областях. Оказалось, что всё многообразие видов звёзд — это отражение количественных характеристик звёзд (такие как масса и химический состав) и эволюционного этапа, на котором в данный момент находится звезда. Законы физики, определяющие строение и эволюцию звезды, одинаковы для всех звезд. Но есть важнейшие характеристики, которые делают жизненный путь каждой звезды уникальным: это ее исходные масса и химический состав. В ходе эволюции звезды изменяется химический состав ее недр, перераспределяется плотность, меняется тип ядерных реакций, а также ее радиус, светимость и температура поверхности.

Светимость звезды характеризует поток энергии, излучаемой звездой по всем направлениям. Она определяется, если известны видимая величина и расстояние до звезды. Если для определения видимой величины астрономия располагает вполне надежными инструментальными методами, то расстояние

до звезд определить не так просто. Абсолютная звездная величина Солнца во всем диапазоне излучения (болومترическая величина)  $M = 4,72$ , его светимость  $L = 3,86 \cdot 10^{26}$  Вт. Это известные величины. [6] Поэтому проще определять светимости других звезд, сравнивая со светимостью Солнца. Известны звезды, излучающие в десятки тысяч раз меньше, чем Солнце. А звезда S Золотой Рыбы, видимая только в странах южного полушария Земли как звездочка 8-й звездной величины (не видимая невооруженным глазом!), в миллион раз ярче Солнца, ее абсолютная звездная величина  $M = -10,6$ . Среди звезд очень высокой светимости выделяют гиганты и сверхгиганты. Большинство гигантов имеет температуру 3 000–4 000 К, поэтому их называют красными гигантами. Например, Альдебаран – красный гигант в созвездии Тельца. Альфа Ориона – Бетельгейзе – это сверхгигант, один из самых мощных источников света. Звезды, имеющие маленькую светимость, называются карликами. Небольшая точка рядом с Сириусом – его спутник, белый карлик Сириус В.

## 2.2. Спектры звезд

Спектры звезд – это их паспорта, по которым мы узнаем все характеристики. Звезды состоят из тех же химических элементов, которые известны на Земле, но в процентном отношении в них преобладают легкие элементы: водород и гелий. По спектру звезды можно узнать ее светимость, расстояние до звезды, температуру, размер, химический состав ее атмосферы, скорость вращения вокруг оси, особенности движения вокруг общего центра тяжести. Спектральный аппарат, устанавливаемый на телескопе, раскладывает свет звезды по длинам волн в полоску спектра.

Цвет и спектр звезд связан с их температурой. В холодных звездах с температурой фотосферы 3 000 К преобладает излучение в красной области спектра. В спектрах таких звезд много линий металлов и молекул. В горячих голубых звездах с температурой свыше 10 000–15 000 К большая часть атомов

ионизована. Полностью ионизованные атомы не дают спектральных линий, поэтому в спектрах таких звезд линий мало.

### **3. История определения спектральной классификации звезд**

#### **3.1. Классификация Секки**

В 1860 году итальянский астроном Анджело Секки первым начал визуальные наблюдения спектров звезд. Он установил большую призму перед объективом телескопа, чтобы изображения звезд превращались в спектры.



*Рисунок 3. Анджело Секки, итальянский астроном (1818-1878 г.г.)*

Благодаря этому он смог изучить спектры более 4000 звезд. Секки впервые заметил, что спектры звезд различаются по своему виду и что в этих различиях есть определенная закономерность, позволяющая разделить все звезды на несколько групп. В 1868 году Секки разделил все звездные спектры на четыре типа. В спектрах 1-го типа хорошо видны только линии поглощения водорода. Спектры 2-го типа испещрены линиями поглощения более тяжелых элементов. А к 3-ему и 4-ому типам Секки отнес те звезды, в спектрах которых наблюдаются уже не линии, а полосы поглощения. В 1878 году Секки ввел еще одну группу, пятую, выделив в нее некоторые спектры, не укладывающиеся в обычную классификацию (звезды с эмиссионными линиями и новые звезды). Также большой научный вклад в изучения спектров звезд внес Уильям Хёггинс, который одним из первых использовал принцип Доплера-Физо для определения

лучевых скоростей звезд по сдвигу линии поглощения в их спектрах: в 1868 году он измерил лучевую скорость Сириуса. [3]

### 3.2. Гарвардская классификация

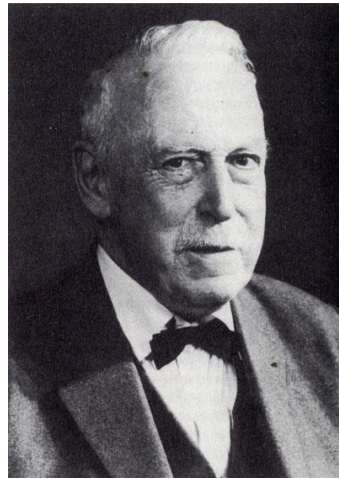
В 1889 году английский ученый из Гарварда Эдуард Пикеринг собрал группу специалистов для получения спектров максимально возможного числа звезд и последующего создания классификации этих звезд в соответствии с их спектрами.



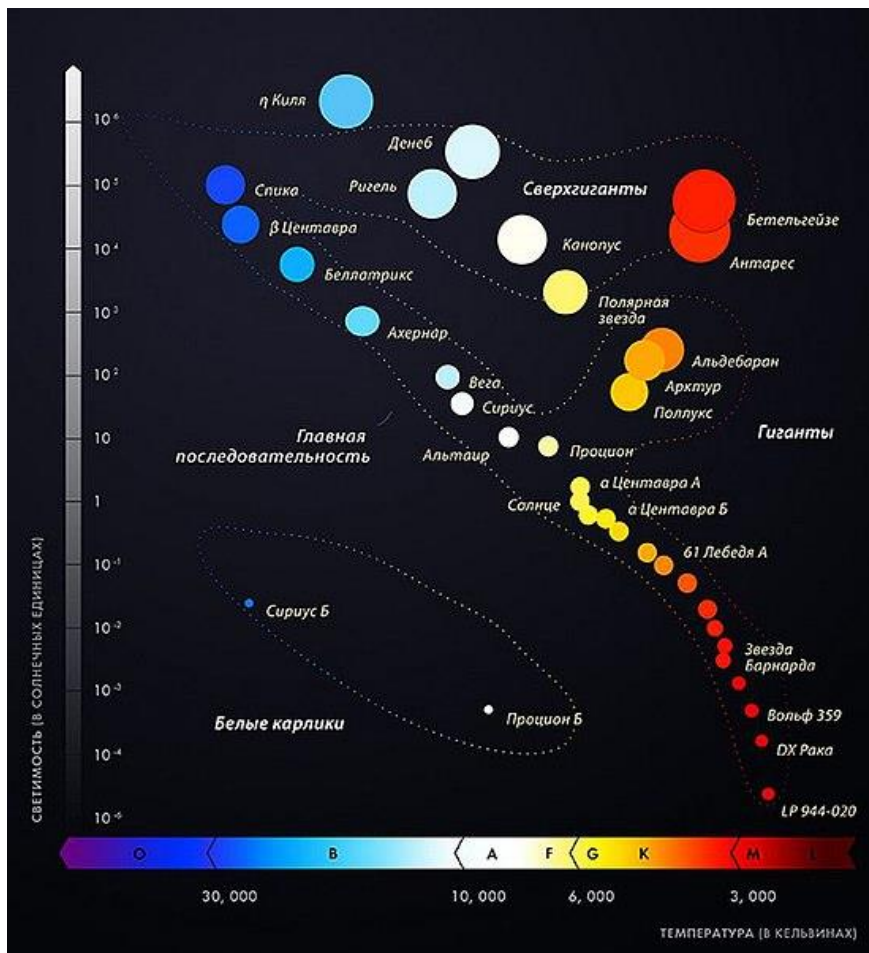
*Рисунок 4. Эдуард Пикеринг, американский астроном (1846-1919 г.г.)*

Вильямина Флеминг, входящая в эту группу, за 9 лет составила каталог спектров более чем 10 000 звезд. В 1910 году она опубликовала работу, в которой говорилось об открытии «белых карликов», маленьких, но очень горячих и плотных звезд, имеющих белый цвет. Теперь мы знаем, что белые карлики – это звезды на самой поздней стадии своей эволюции. Работу В. Флеминг по усовершенствованию системы спектральной классификации звезд продолжила Антония Мори, которая впервые ввела в систему второй параметр – индексы а, b и с для звезд с диффузными, нормальными и резкими линиями. В 1897 году Мори составила каталог 681 яркой звезды северного неба с такой классификацией. В 1905 году датский астроном Эйнар Герцшпрунг на основе системы Мори построил зависимость, которую мы теперь называем диаграммой Герцшпрунга-Рассела, и которая является одной из основ современной звездной астрофизики.





*Рисунок 5. Эйнар Герцшпрунг, датский астроном (1873-1967 г.г.)*



*Рисунок 6. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела*

Гарвардские астрономы решили обозначать спектральные классы звезд буквами латинского алфавита от А до Q. В целом они сохранили принципы классификации Секки - от простых спектров к сложным, - но разработали ее более детально. Типу 1 по Секки соответствовали гарвардские классы А, В, С и

D, типу 2 – классы от E до L, типу 3 – класс M, а типу 4 – класс N. Кроме того, гарвардские астрономы отнесли все спектры с эмиссионными линиями к классу Q, а спектры планетарных туманностей – к классу P. Последний класс Q служил «долгим ящиком»: его приписывали совсем непонятным спектрам. [3]

В ходе многолетней работы некоторые классы были исключены, а между оставшимися обнаружился плавный переход, имеющий физический смысл (изменение температуры поверхности звезд), но не согласующийся с алфавитным порядком. В окончательном варианте Гарвардской классификации спектральные классы, соответствующие трем первым типам по Секки, идут в следующем порядке: O-B-A-F-G-K-M.

Класс	O	B	A	F	G	K	M
Температура (Кельвин)	60 000 — 30 000	30 000 — 10 000	10 000 — 7 500	7 500 — 6 500	6 000 — 5 000	5 000 — 3 500	3 500 — 2 000
Цвет	Голубой	Белый, голубой	Белый	Белый, желтый	Желтый	Желтый, оранжевый	Оранжевый, красный
Солнечных масс	60	18	3,1	1,7	1,1	0,8	0,3
Солнечных радиусов	15	7	2,1	1,3	1,1	0,9	0,4
Солнечных светимостей	1 400 000	20 000	80	6	1,2	0,4	0,04
Линии водорода	Слабые	Средние	Сильные	Средние	Слабые	Очень слабые	Очень слабые

### ***Рисунок 7. Гарвардская спектральная классификация***

Плавный переход между спектральными классами позволил ввести между основными «буквенными» классами «цифровые» подклассы. Так, например, спектр класса F, похожий на спектр класса A, определяют, как F0, а наиболее похожий на спектр класса G – как F9.

Сначала некоторые исследователи полагали, что спектральные различия между звездами вызваны различным содержанием химических элементов в их атмосферах. Но к середине 1920-х годов было установлено, что содержание химических элементов в атмосферах большинства нормальных звезд всех спектральных классов различается не слишком сильно – самым распространенным элементом в атмосферах почти всех звезд является водород.

Любопытно, что более старая классификация звездных спектров Секки верно отражала температурную последовательность звезд, а Гарвардская классификация в своем исходном виде не отражала этого важного физического параметра. Также в классической гарвардской схеме отсутствовал один из классов, введенных Секки, - тот, в который попадают звезды с полосами углерода в спектрах, поэтому ее пришлось дополнить. Звезды с углеродными полосами в спектре отнесли к новым двум классам – R и N, сейчас их принято объединять в один класс C. Еще один известный сейчас класс звезд с молекулярными полосами не заметил и Секки. В спектрах таких звезд, относимых ныне к классу S, видны полосы окиси циркония. При этом звезды классов M, C и S имеют одинаково низкие температуры. Таким образом, у холодных звезд вид спектра может быть связан не только со значением температуры, но и с чем-то еще. [8]

### **3.3. Эволюция спектральных классов звезд**

Чтобы объяснить расщепление спектральной классификации у холодных звезд пришлось вернуться к идее о том, что это расщепление отражает реальные различия в химическом составе звездных атмосфер, прежде всего в относительно содержании кислорода и углерода. Звезды, в атмосферах которых много кислорода, показывают в спектре полосы окиси титана и составляют спектральный класс M. Если же в атмосфере преобладает углерод, спектр звезды попадает в класс C. Промежуточный случай – звезды класса S. Цвет у звезд класса C и S очень красный. Поэтому классификацию пришлось дополнить.

Позже Гарвардская классификация спектров подверглась еще одному важному усовершенствованию. Среди звезд одинаковой температуры выявились экземпляры, очень сильно различающиеся по светимости. Причина может быть только одна – у них разный размер. Пришлось разделить звезды на карлики, субгиганты, гиганты и сверхгиганты. К счастью, выяснилось, что по спектру можно определить, является ли звезда гигантом или карликом:

физические условия в атмосферах звезд одинаковой температуры, но разной светимости немного различаются, что проявляется в интенсивности и ширине некоторых спектральных линий. При сравнимых массах гиганты значительно больше карликов, следовательно, сила тяжести у их поверхности гораздо ниже. Поэтому у гигантов очень протяженная атмосфера, и наш взгляд может проникнуть лишь в самые верхние, разреженные ее слои. А в разреженном газе атомы сталкиваются редко и не мешают друг другу излучать и поглощать кванты на строго определенных частотах спектральных линий. Поэтому в спектрах гигантов линии узкие, а у карликов с их плотной атмосферой и частыми столкновениями атомов линии в спектре более широкие. Кроме того, при одинаковой температуре газа относительное число нейтральных, возбужденных и ионизированных атомов зависит от плотности: чем выше плотность, тем чаще происходят встречи ионов и электронов, приводящих к рекомбинации. Именно поэтому вид спектра при одинаковой температуре зависит от плотности газа.

Итак, классификация звездных спектров стала двумерной: помимо спектральных классов, в основном указывающих температуру поверхности звезды, были введены классы светимости, указывающие размер звезд. Чаще всего используют следующие классы светимости, обозначаемые римскими цифрами, иногда с добавлением буквы:

0 – гипергиганты (звезды самой высокой светимости);

Ia – яркие сверхгиганты;

Ib – более слабые сверхгиганты;

II – яркие гиганты;

III – нормальные гиганты;

IV – субгиганты;

V – карлики (звезды главной последовательности).

Эволюция спектральных классов звезд, наверное, никогда не прекратится: новые исследования постоянно требуют ее расширения. И оно происходит, причем в обе стороны – как в область самых горячих, так и в область наиболее

холодных звезд и звездоподобных объектов. Слева от класса звезд O появились более горячие звезды типа Вольфа-Райе с температурой до 100 000 Кельвинов и мощными эмиссионными линиями в спектрах, указывающих на истечение газа из атмосферы. Этот класс обозначают буквой W (иногда WR). Иногда слева от класса W можно встретить еще два класса спектров – P и Q. Класс P – это эмиссионные спектры планетарных туманностей, которые можно считать «улетающими» оболочками старых звезд. Буква Q употребляется для обозначения спектров, наблюдаемых при вспышке новых звезд. Совсем недавно были введены новые спектральные классы L и T – так называемые коричневые карлики, чья температура ниже 2 000 Кельвинов.

#### 4. Размеры и массы звезд

Диаметр Солнца 1 392 000 км, что в 109 раз больше диаметра Земли и примерно в 10 раз – диаметра Юпитера. Самые массивные среди звезд примерно в 100 раз массивнее Солнца. Самые массивные звезды всего в 1500 раз «тяжелее» самых маломассивных. Удивительно, что светимости звезд при этом различаются почти в триллион раз! Размеры звезд различаются не так сильно, но тоже значительно – почти в миллиард раз (если принимать в расчет нейтронные звезды). При этом самые большие звезды – необязательно самые массивные. Известны звезды, которые больше нашего Солнца по диаметру примерно в 1500 раз. Но при этом некоторые из них не отличаются существенно от Солнца по массе, а значит, имеют среднюю плотность в миллионы раз меньше, чем Солнце. И это при том, что средняя плотность Солнца равна  $1,4 \text{ т/м}^3$ , лишь немногим больше плотности воды.

Самые маленькие в мире звезд – белые карлики и нейтронные звезды. Белые карлики сравнимы по размеру с Землей, но при этом их массы близки к солнечной. Поэтому средняя плотность вещества белого карлика превышает солнечное в десятки миллионов раз. Нейтронные звезды в несколько раз массивнее белых карликов и намного меньше их – всего несколько километров в диаметре. А значит, они еще в миллион раз плотнее ( $\sim 10^{14} \text{ т/м}^3$ ). Это самые

плотные тела, известные человеку. Точные данные о массах, радиусах и светимости звезд – это фундамент, на котором покоится теория строения и эволюции звезд.[5]






К сожалению, астрономы не могут похвастаться высокой точностью определения этих параметров. Для вычисления каждого из них необходимо знать расстояние до звезды, а измерить его с высокой точностью удастся лишь для ближайших к Солнцу звезд, среди которых преобладают маломассивные карлики и почти нет гигантов и звезд большой массы. Кроме этого, определить массу звезды возможно лишь в том случае, если она является членом двойной или кратной системы, что еще сильнее сужает круг пригодных для измерения объектов. Но еще труднее измерить размер звезды. Сделать это удастся, если в двойной системе звезды затмевают друг друга, сканируя своим диском оказавшегося за ним соседа; но при этом взаимная близость звезд может существенно исказить их эволюцию.

## **5. Практическая часть**

В ходе своего знакомства со звездами я узнал очень многое про них. Я понял, что светимость звезд – не единственная их характеристика, но самая «видимая». Моей задачей осталось создание звездной карты, на которой отмечены абсолютные звездные величины звезд. Все звезды отметить невозможно, да и не нужно. Ведь, проживая в городе, мы можем увидеть только их малую часть, учитывая засветку мегаполиса. Для выполнения задачи я решил выяснить, какие же звезды я могу наблюдать в городе. Несколько раз проводил наблюдения в ясную погоду и отмечал на обыкновенной звездной карте видимые для меня объекты. Наблюдения проводил в разные времена года (работу я начал в 2018 году). Звезд получилось не так уж много (порядка 10 в созвездиях Персея, Льва, Кассиопеи и Большого Пса). В основном, это звезды не тусклее 2 звездной величины.

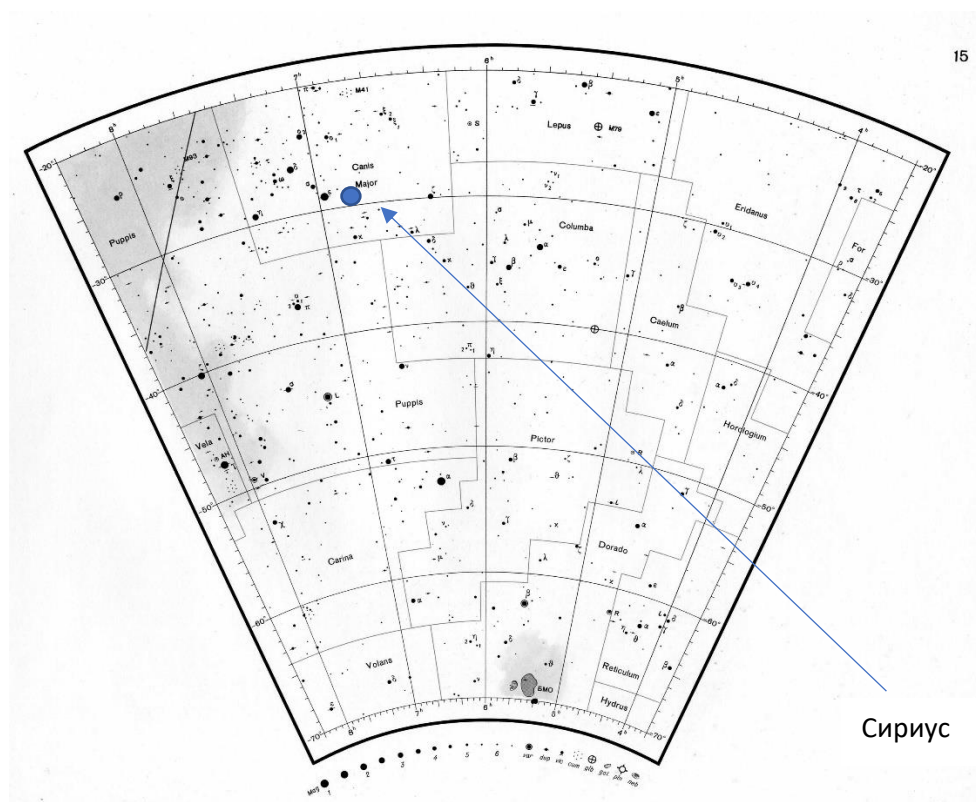
Практическую часть работы я выполнял следующим образом: так как я сравнивал видимые и абсолютные звёздные величины, информацию я брал из

Атласа звёздного неба [9] и программы Stellarium. Для наглядного изображения результатов практической части я создал шкалу светимости звёзд в зависимости от их звёздных величин.

				
-2	-1	0	1	2

**Рисунок 8. Шкала светимости (в зависимости от звездной величины)**

Затем на основе данной шкалы я, используя изображения звёздного неба из программы Stellarium, создал сравнительные картинку с масштабированными звёздами. В качестве одного из примеров я могу продемонстрировать созвездие Большого Пса с обозначенным на нем Сириусом.



**Рисунок 9. «Городская» светимость Сириуса**

Таким образом, я создал приложение к данной работе (Приложение А), включающее сравнительные изображения, основанные на данных, полученных мною как из научных источников (литература и компьютерная программа), так и эмпирическим путём.

Я выдвигал гипотезу: вид созвездий полностью изменится, мы не сможем выделять знакомых астеризмов. В конце работы могу сказать, что частично гипотеза подтвердилась. Ведь связанные астеризмами звезды на самом деле могут находиться очень далеко друг от друга, на разных расстояниях от Земли. А в тех созвездиях, которые сохранили знакомые очертания, звезды действительно расположены относительно рядом (например, Большая медведица).

## **Заключение**

В своей работе я затронул общие понятия, связанные с характеристиками таких космических объектов, как звезды. Даже те звезды, о которых мы знаем очень много, остаются для нас далекими и полными загадок мирами. Я часто сравниваю их жизнь с человеческой, ведь звезды так же рождаются, «взрослеют», проживают свою жизнь и умирают.

Нам они кажутся маленькими светящимися точками без объема и массы, но благодаря астрономическим наблюдениям и физико-математическим расчетам мы знаем, что это не так.

Поэтому в своей работе я стремился на примерах звезд со звездной величиной до 2 доказать, что они являются очень яркими космическими объектами, которые просто удалены от нас на многие десятки и сотни световых лет, но дарят нам свой свет и все еще хранят свои секреты.

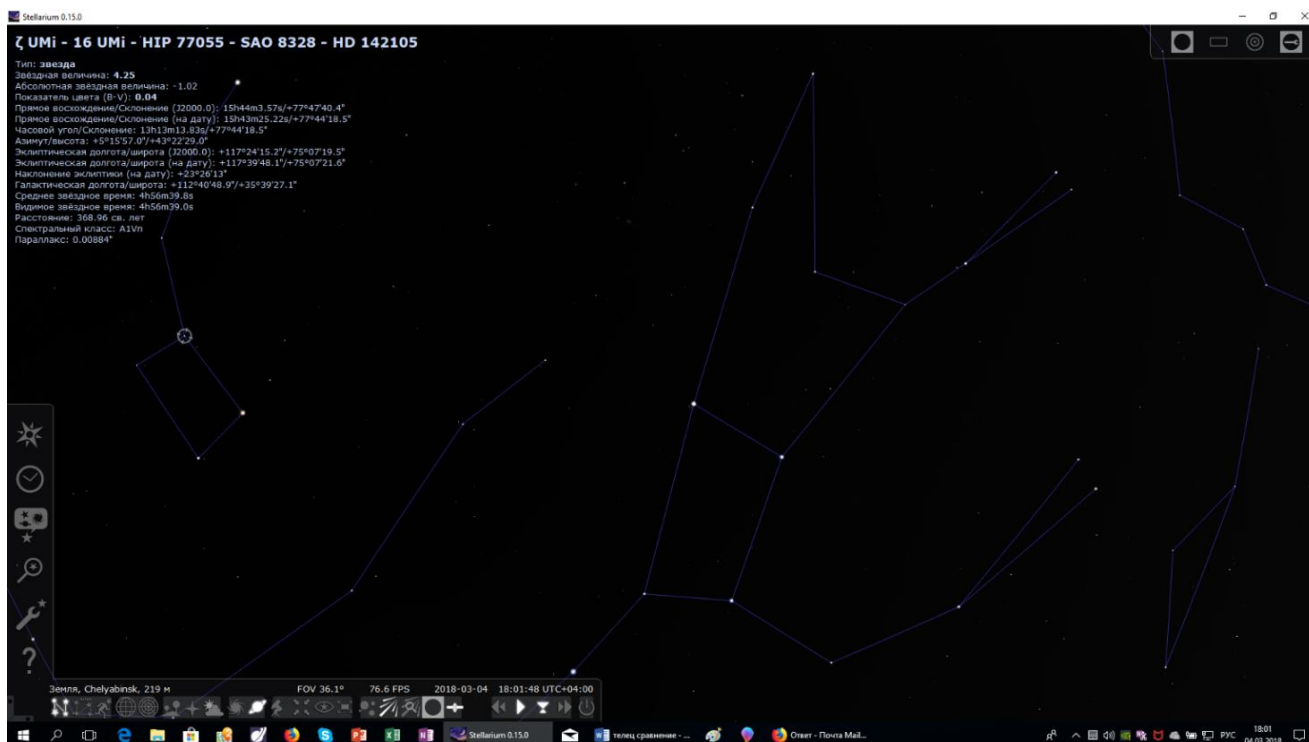


## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джексон Т. Вселенная. Иллюстрированная история астрономии. – Москва: Эксмо, 2015. – 144 с.
2. Ликсо В.В. Космос. Уникальная иллюстрированная энциклопедия. – Москва: АСТ, 2015. – 160 с.
3. Сурдин В.Г. Звезды. – Москва: Физматлит, 2013. – 428 с.
4. Хокинг С.У. Мир в ореховой скорлупке (The Universe in a Nutshell). – Москва: Амфора, 2008. – 218 с.
5. Светимость звезды [Электронный ресурс] - <http://spacegid.com/svetimost-zvezdyi.html>
6. Светимость звезд [Электронный ресурс] - <http://v-kosmose.com/zvezdyi-vselennoi/svetimost/>
7. Светимость звезд [Электронный ресурс] - [http://skywatching.net/astro/zvezda\\_svet.php](http://skywatching.net/astro/zvezda_svet.php)
8. Звезды: их строение, жизнь и смерть [Электронный ресурс] - [http://www.astronet.ru/db/msg/1169759/evolution/hr\\_diagram/ms.htm](http://www.astronet.ru/db/msg/1169759/evolution/hr_diagram/ms.htm)
9. Атлас звездного неба: пояснение и каталог / под ред. В. К. Абалакина / составили Д. Н. Пономарев, К. И. Чурюмов. – Москва: Всесоюзное астрономо-геодезическое общество, 1991. - 80 с.

## Приложение А (практическая работа с программой Stellarium)

Рисунок А.1 Созвездие Большой Медведицы -  
«Городская» светимость



## Истинная светимость

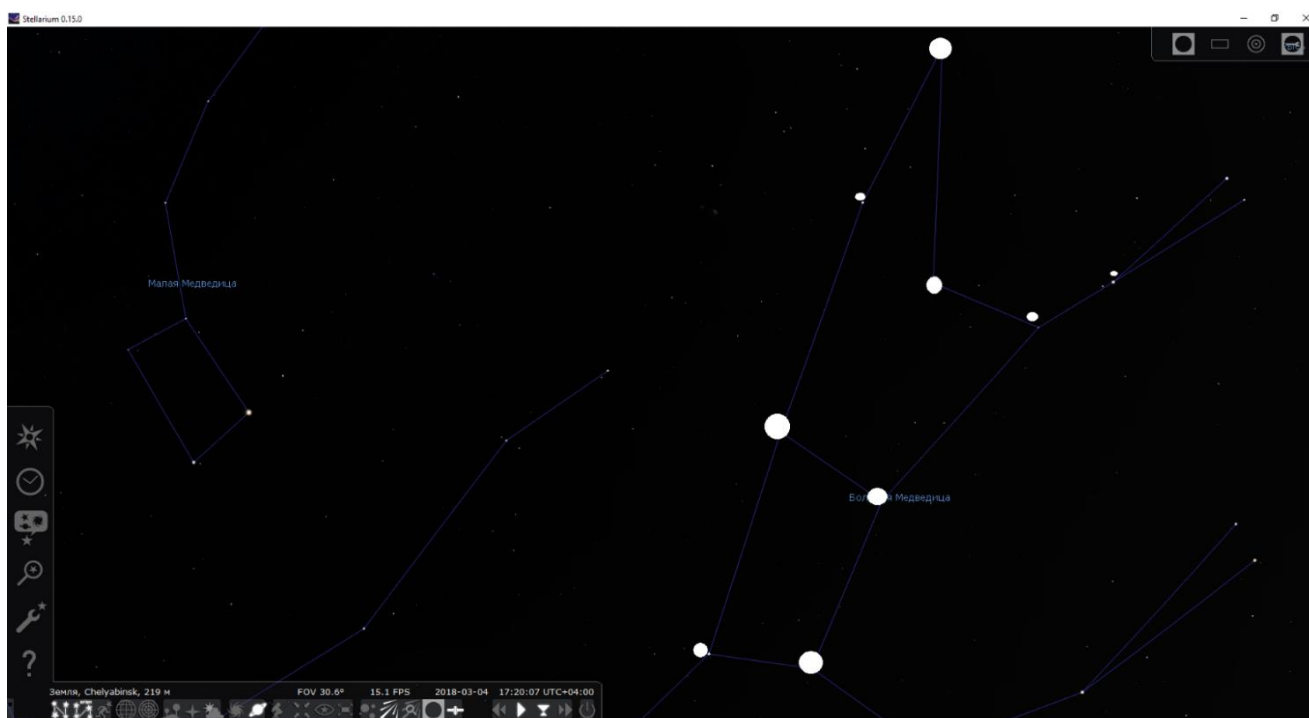
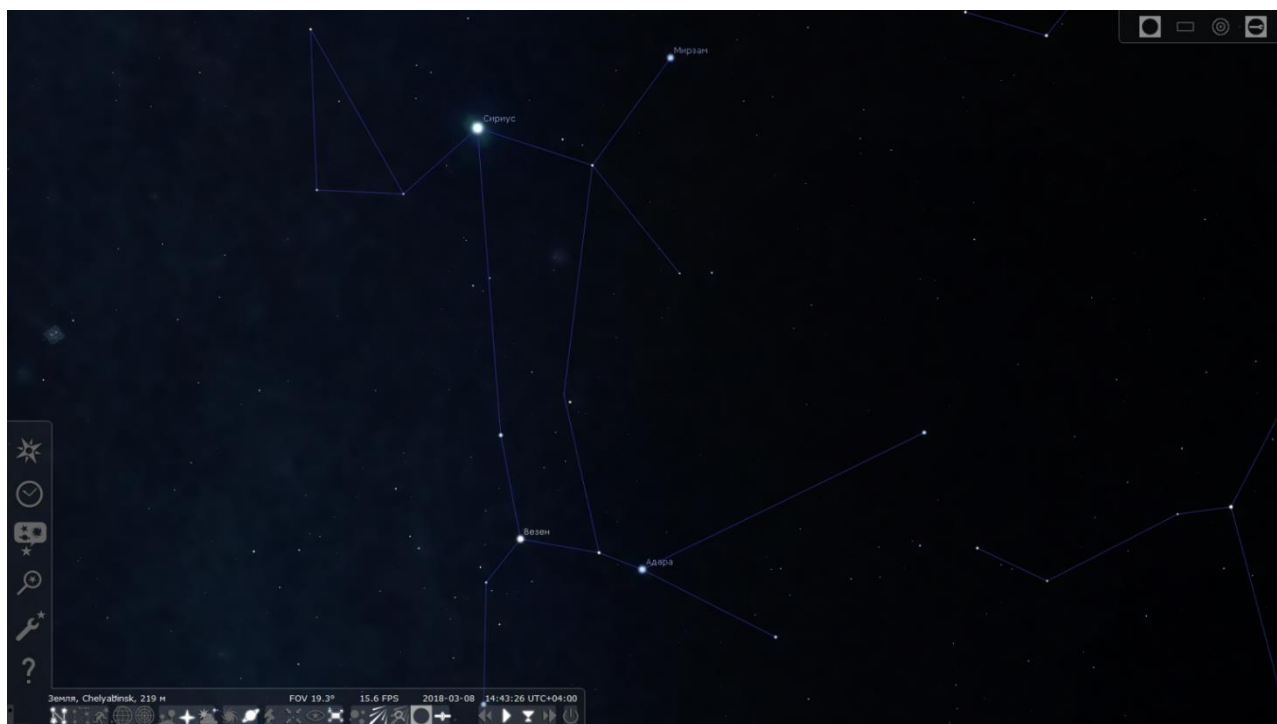


Рисунок А.2 Созвездие Большого Пса -  
«Городская» светимость



Истинная светимость



Рисунок А.3 Созвездие Волопаса -  
«Городская» светимость



Истинная светимость

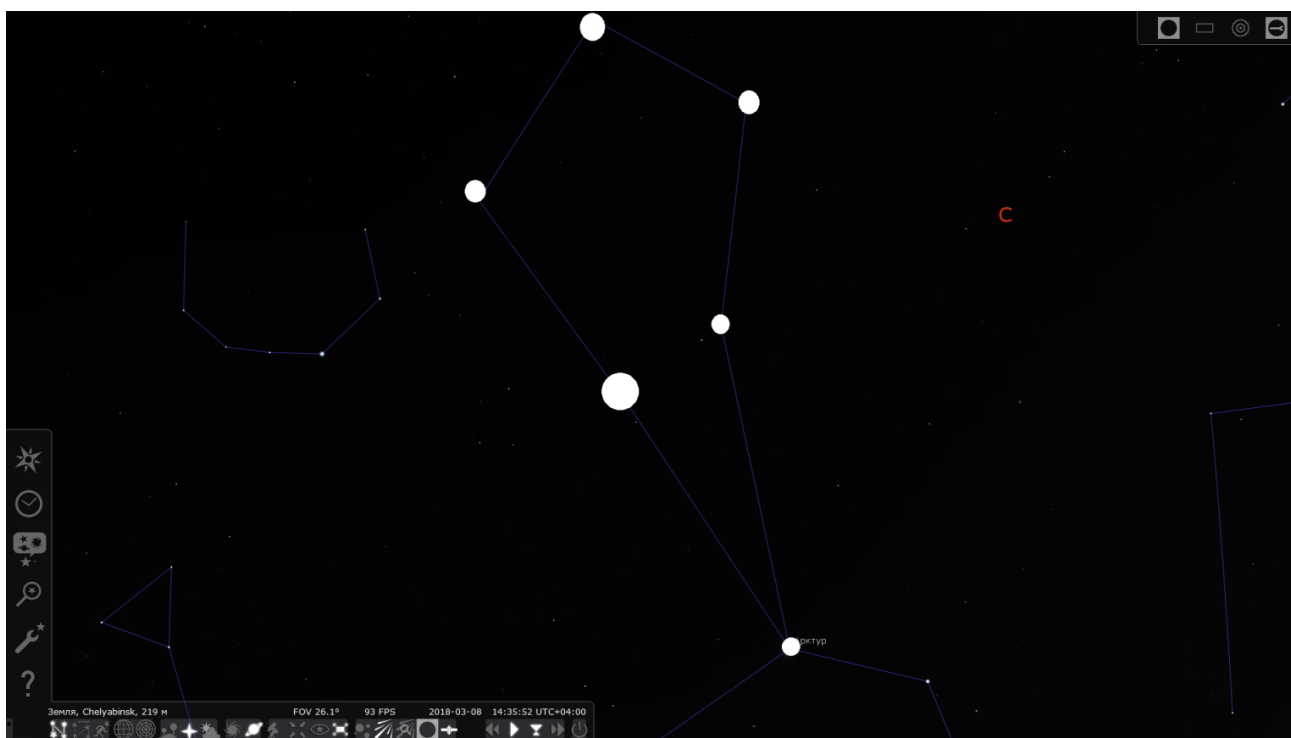
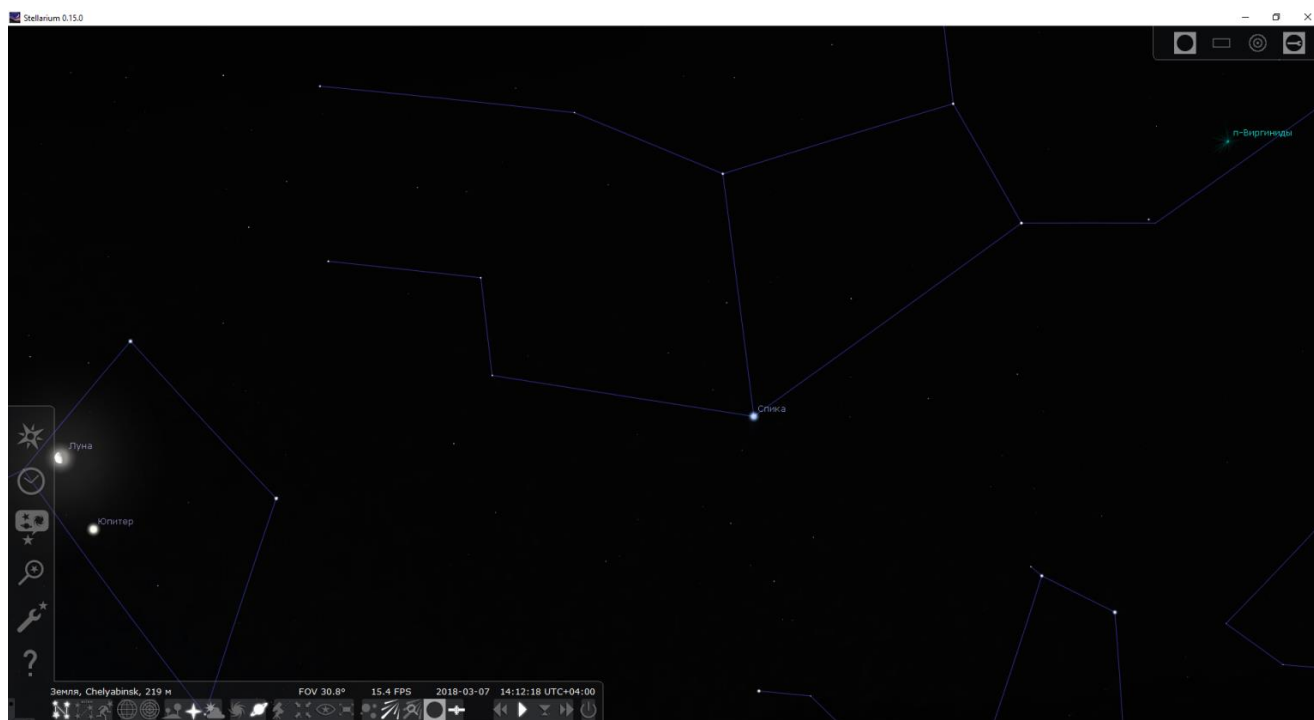


Рисунок А.4 Созвездие Девы -  
«Городская» светимость



Истинная светимость

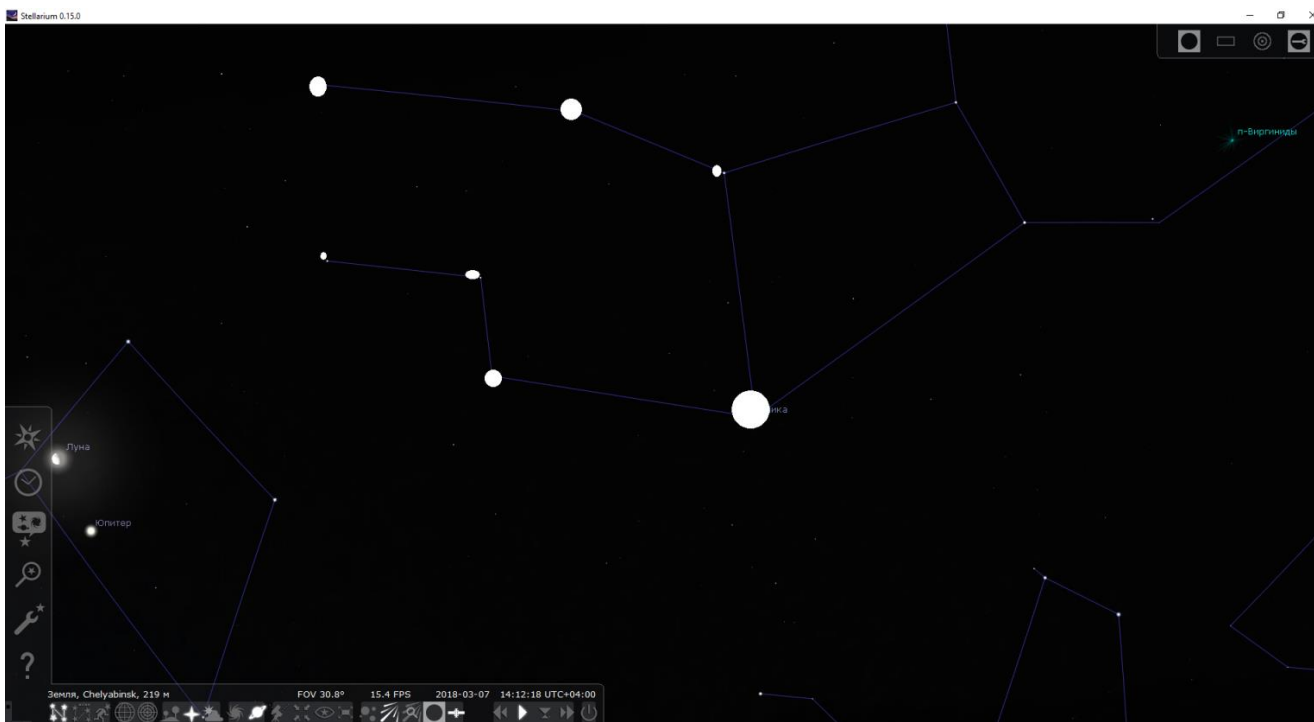
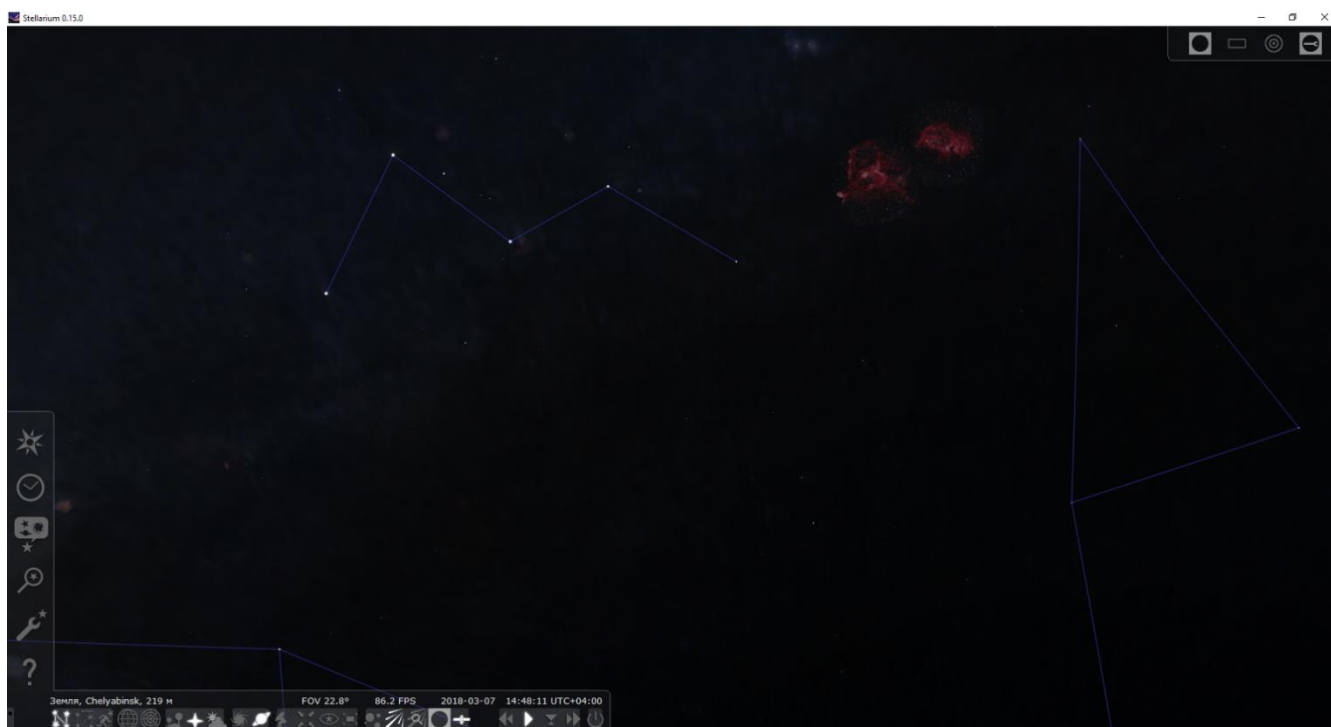
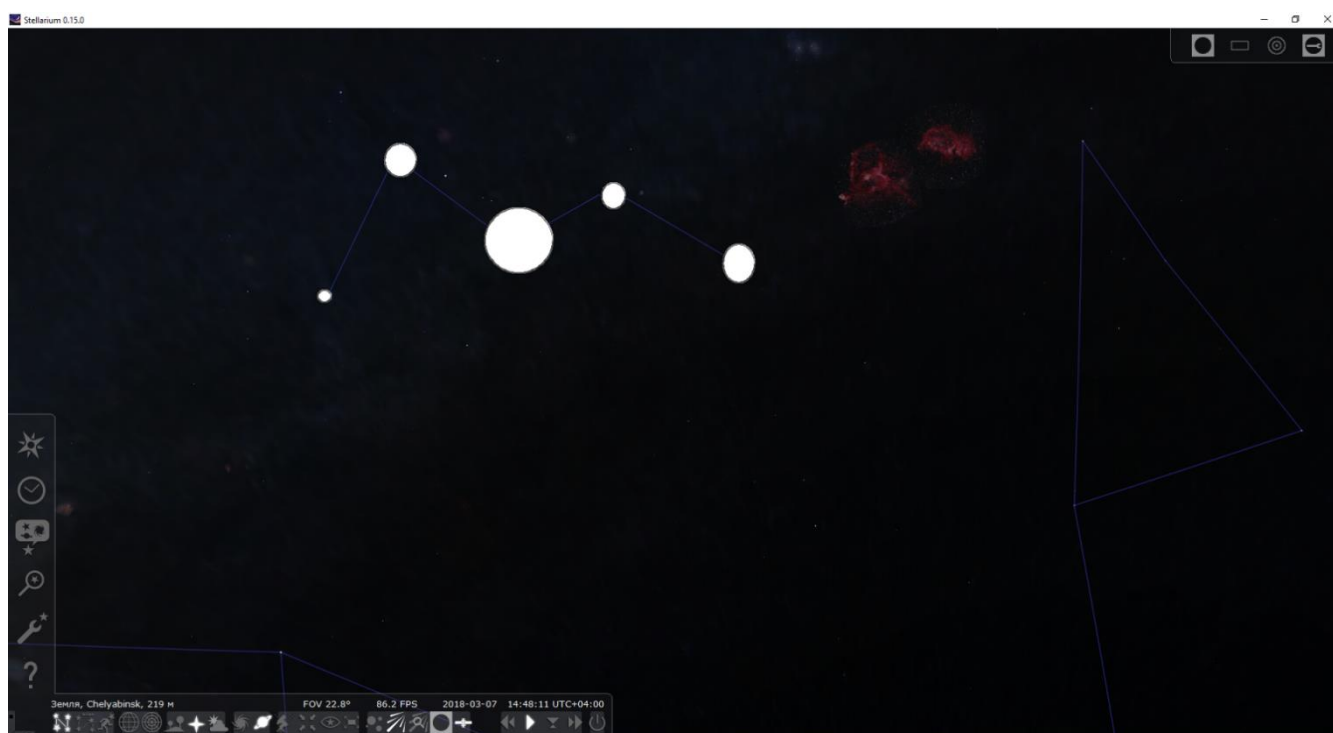


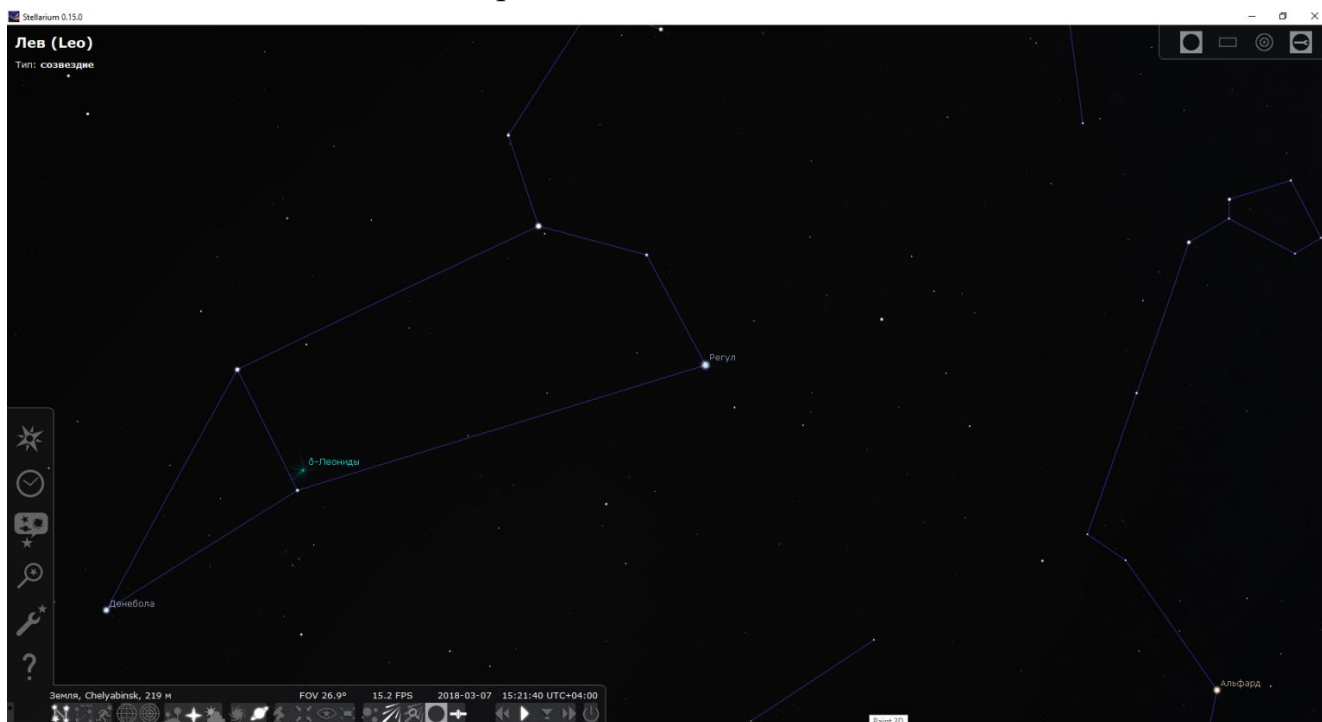
Рисунок А.5 Созвездие Кассиопеи -  
«Городская» светимость



Истинная светимость



## Рисунок А.6 Созвездие Льва - «Городская» светимость



## Истинная светимость

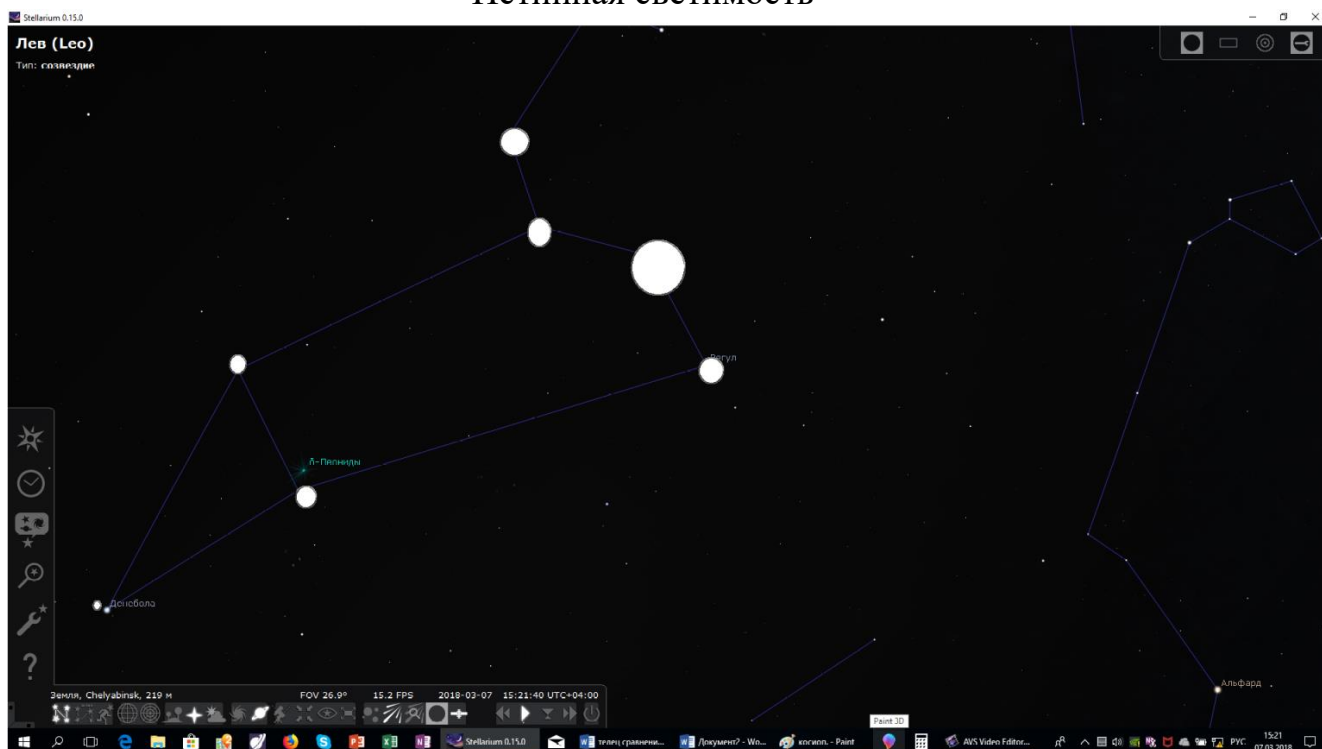
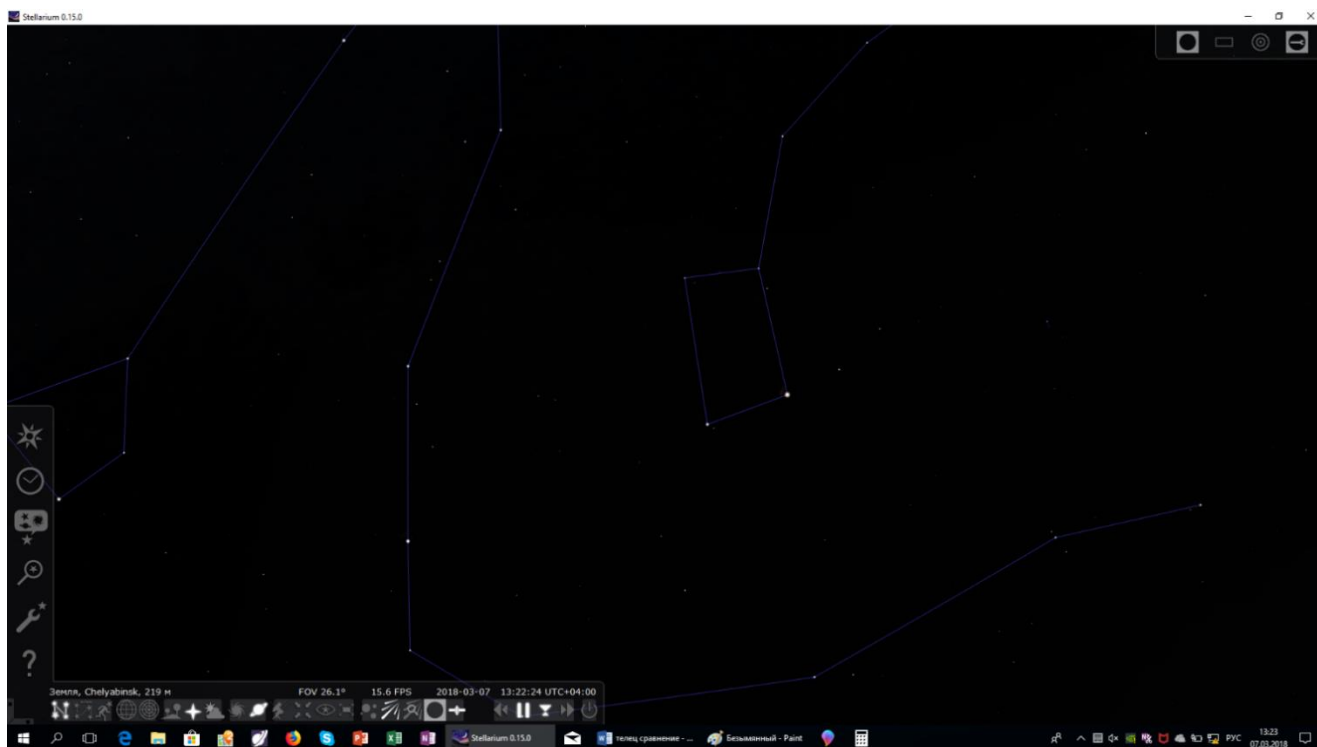


Рисунок А.7 Созвездие Малой Медведицы -  
«Городская» светимость



Истинная светимость

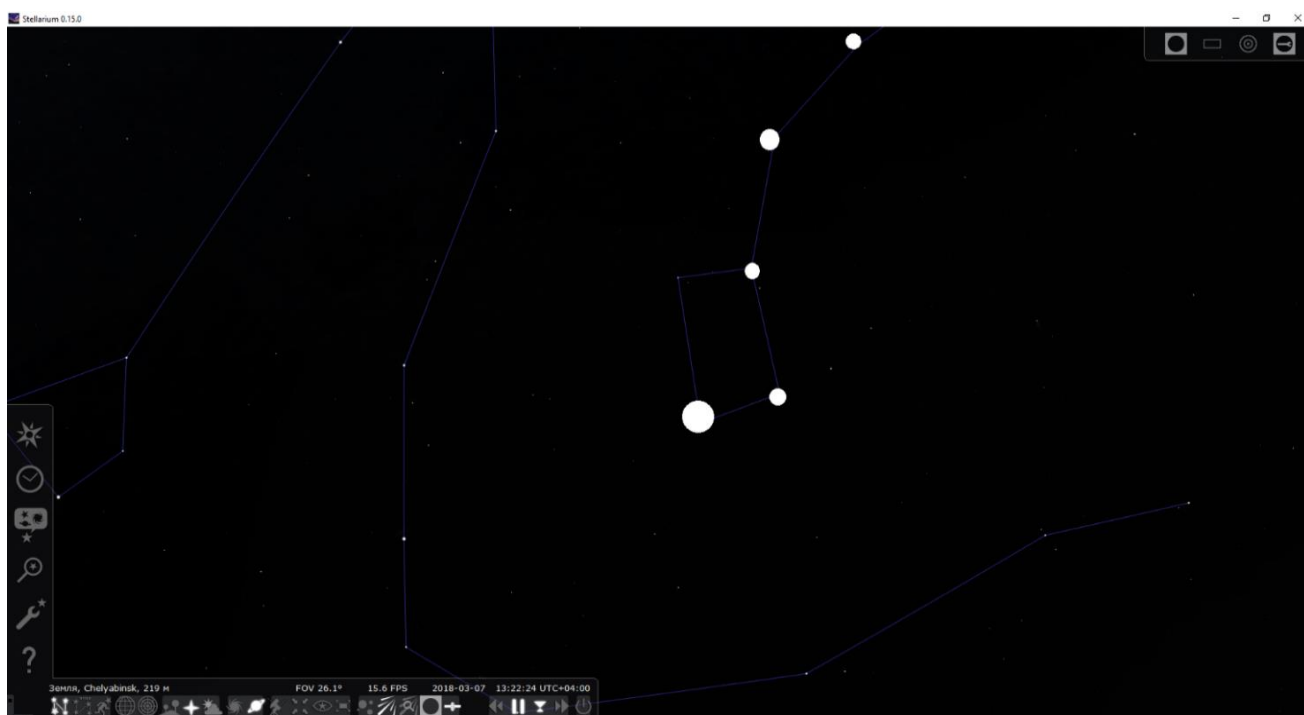




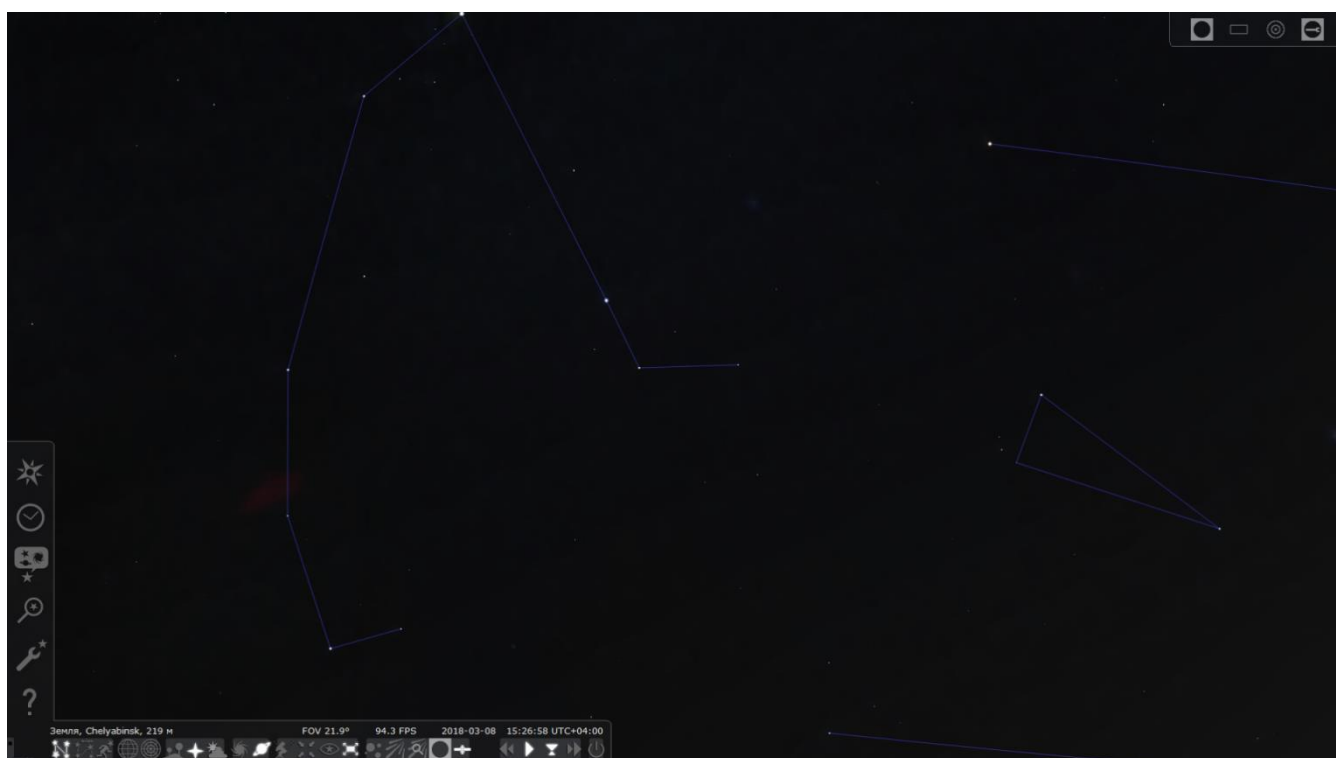
Рисунок А.8 Созвездие Малого Пса -  
«Городская» светимость



Истинная светимость



Рисунок А.9 Созвездие Персея -  
«Городская» светимость



Истинная светимость



## Рисунок А.10 Созвездие Тельца - «Городская» светимость



## Истинная светимость

