

# Опыт обработки протяженных рядов фотографических позиционных наблюдений планет

Б.С.Воздвиженский, Е.Н.Федосеев

## Резюме

Работа посвящена предложенному методу редуцирования наблюденных положений Венеры поправками за совокупный эффект фотографической иррадиации. Эффективность метода подтверждена графическим мониторингом тенденции последовательного уменьшения разностей (O-C) по обеим координатам Венеры, на фоне резкого снижения случайной составляющей ошибки положения планеты.

## Abstract

Work is devoted to the offered method of reduction of observed positions of Venus by amendments for an aggregate effect of photographic irradiation. Efficiency of a method is confirmed by actuarial monitoring of the tendency of consecutive reduction of differences (O-C) on both coordinates of Venus, against sharp decrease in a casual making error of position of a planet.

Одним из основных требований к позиционным наблюдениям в астрометрии является однородность ряда. При фотографическом методе наблюдений планет это достигается способом экспонирования объекта, измерения его негативного изображения, алгоритмом математической обработки измерений с последующим определением положения центра изображения и учетом присущих фотографическому методу эффектов, объединяемых понятием совокупный эффект фотографической иррадиации, который приводит к неподобию негативного фотоизображения планеты фокальному. Этот эффект входит в число факторов, определяющих точность наблюдений планет. Нами была разработана и оценена методика изучения этого краевого эффекта. Последнее было выполнено по результатам редуцирования выведенными поправками полученного на широкоугольном астрографе ГАИШ МГУ двадцатилетнего ряда топоцентрических положений Венеры в период 1969-1988 гг. (Всего 2821 положение). Способ редуцирования положений центра Венеры поправкой за тонкие фотоэффекты опубликован ранее [1-6] и лишь кратко изложен в настоящей работе.

В качестве центра изображения Венеры правомерно использованы две точки: центр кривизны лимба, обозначаемый в нашей работе С1, и положение середины экватора интенсивности, редуцированное поправкой за дефект фазы, - С2. Экватор интенсивности - это отрезок луча, исходящего из точки С1 под позиционным углом точки наименьшей освещенности Q и ограниченного линиями лимба и терминатора. Положение точки С1 определяется исключительно относительно положений точек лимба, а положение середины экватора интенсивности задается относительно положений как точек лимба, так и точек терминатора. Точки С1 и С2 в равной степени претендуют на роль центров изображения планеты. Использование этих точек изображения позволяет ряду положений Венеры стать частью ее наблюдений как на длиннофокусных астрографах, когда уверенно определяется положение точек лимба и центра его дуги, так и на короткофокусных камерах, где положение центра изображения планеты определяется относительно его центра тяжести. Можно ожидать повышения точности наблюдений при правомерном осреднении положений точек изображения планеты С1 и С2.

Неподобие фотографического и идеального изображений складывается из неподобий идеального фокальному и фокального фотографическому изображений. Первое зависит от свойств объектива, второе определяется совокупным эффектом фотографической иррадиации и зависит от фазы и экспозиции изображения, а так же от размера зерна и толщины фотоэмульсионного слоя. Неподобием, зависящим от свойств объектива первоклассного астрографа при экспонировании планеты в его параксиальной области,

можно пренебречь. Неподобие фокального и фотографического изображений в плане влияния на положение центра фотоизображения явилось предметом исследования.

Непосредственно из измерений негативных изображений планеты определялись координаты точек лимба и терминатора. По ним определялись положения центра кривизны лимба, середины экватора интенсивности и радиусы изображений. В нашей методике величина экспозиции оценивалась отношением измеренной и эфемеридной длин экватора интенсивности как самого динамичного элемента изображения планеты при изменении величины экспозиции. Все указанные данные выводились из линейных измерений без привлечения неэффективной в данном случае фотометрии. В целях наиболее полного изучения влияния тонких фотографических эффектов на положение изображения планеты использовался широкий спектр фотоэмульсий: ZU1, DU2, DU3 ORWO и УФС-О НИИХИМФОТО, различающихся степенью зернистости, контрастностью, светочувствительностью и толщиной фотоэмульсионного слоя.

Разделение влияния фазы и экспозиции на изучаемый эффект не представляется возможным. Реально лишь выявить зависимости смещения центра изображения планеты  $S_1$  и  $S_2$  для избранных фазовых углов при широком спектре значений величины экспозиции.

Означенные исследования выполнены с использованием макета "искусственная планета", идея которого состоит в возможности фотографирования освещенного под заданными углами шара, находящегося на неизменном расстоянии от двух групп опорных марок, используемых как для определения расстояний точек  $S_1$  и  $S_2$  изображения шара относительно их, так и для редуцирования этих расстояний к единому масштабу негатива [2,3]. Для каждого фазового угла был получен ряд противофазных изображений шара, имеющих попарно равные экспозиции. Из сравнения полученных при различных экспозициях разностей положений точек  $S_1$  и  $S_2$  для заданного фазового угла выведены массивы разностей, аппроксимированные прямыми, которые в совокупности образовали номограммы [3,4,5], где по оси  $X$  помещены значения экспозиции, а по оси  $Y$  – значения смещения центра изображения в единицах измеренного радиуса.

Вычисление поправок в координаты Венеры осуществлялось по известным формулам, включающим в себя снятые с номограмм смещения центров изображений, масштаб фокального изображения астрографа, измеренное значение радиуса изображения Венеры, позиционный угол точки наименьшей освещенности диска и величину склонения.

Величина экспозиции при наблюдениях произвольна даже в пределах сеанса наблюдений, тем более для всего протяженного ряда. При увеличении экспозиции точка  $S_1$  дрейфует в направлении изображения лимба, напротив, точка  $S_2$  смещается в направлении терминатора, причем это последнее смещение активнее, т.к. освещенность элементов лимба относит их на участок насыщения характеристической кривой фотоэмульсии, а терминатора, даже в условиях передержек, - на ее наклонную часть. Следует предположить наличие такого значения величины экспозиции, при котором указанные разнонаправленные смещения окажутся по величине одинаковыми. В итоге проведенных исследований такая величина экспозиции была найдена и названа стандартной. В пределах точности исследований для всех значений фазовых углов и для всех сортов исследованных фотоэмульсий значение величины стандартной экспозиции оказалось близкой к единице, т.е. соответствуют случаю, когда измеренные и эфемеридные длины экватора интенсивности изображений оказываются равными.

Стандартная экспозиция, редуцирующая весь длительный ряд положений Венеры к системе центров под единым условием, делает его однородным в отношении влияния экспозиции. Осредненное редуцированное положение точек  $S_1$  и  $S_2$  рассматривается как центр изображения планеты -  $S$ .

Упомянутый макет "искусственной планеты", установленный на главном здании МГУ, предполагалось экспонировать астрографом, однако сильные восходящие токи вблизи стен сделали это невозможным, и пришлось загрузить эксперимент, перенеся его в здание ГАИШ, где макет фотографировался специально изготовленной длиннофокусной камерой.

Эффективность предложенного метода редукции оценивалась анализом уклонений положений точек С1, С2 и С наблюдаемой Венеры для утренних и вечерних наблюдений от эфемериды. Этапы обработки прямых восхождений представлены на рис. 1 - 6. По оси Х отложены значения фазовых углов, по оси Y - значения разностей (О-С) по прямому восхождению. На рис. 1 и 2 указаны разности (О-С) точек С1 до и после редуцирования их положений поправками за фотографическую иррадиацию, на рис. 3 и 4 – то же для точек С2, а на рис. 5 приведены значения (О-С) положений центров С. Очевидна тенденция сближения массивов разностей (О-С) утренних и вечерних наблюдений. Незавершенность этого процесса можно объяснить несовершенством эксперимента с "искусственной планетой", о чем упоминается выше. Было решено в осредненные положения Венеры ввести поправки по аргументу фазы, равные половине расстояния между прямыми, аппроксимирующими разности (О-С) и полученные положения Венеры рассматривать как окончательные [7]. Аппроксимирующие прямые удовлетворяют условию минимума суммы квадратов уклонений от них точек, представляющих разности (О-С); вес каждой точки соответствует числу экспозиций. Значения разностей (О-С) для этих положений приведены на рис. 6.

Аналогично проанализированные разности (О-С) по склонению представлены на рис. 7-12.

Рис 1.

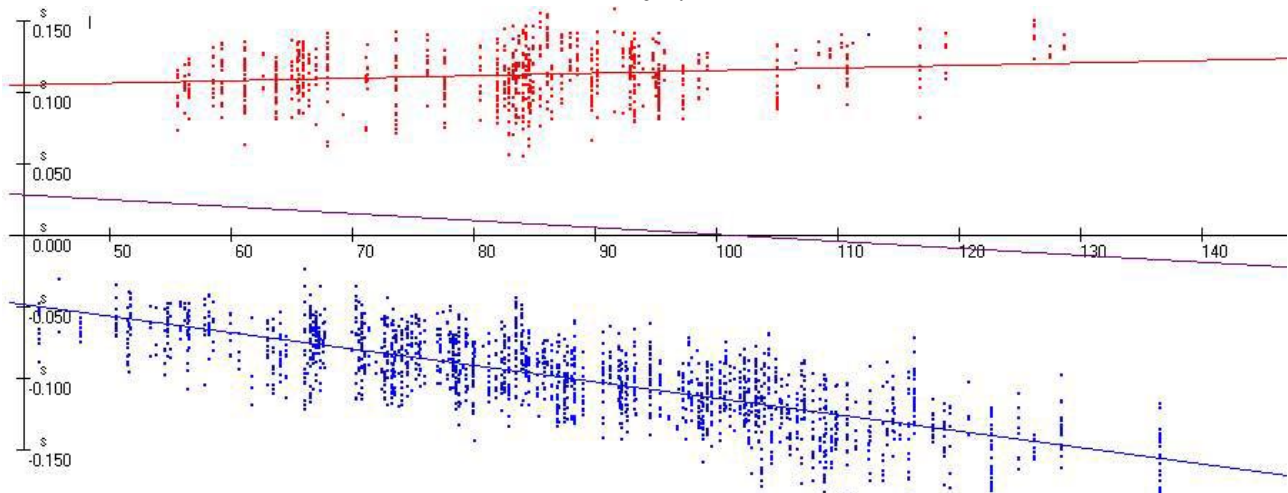


Рис 2.

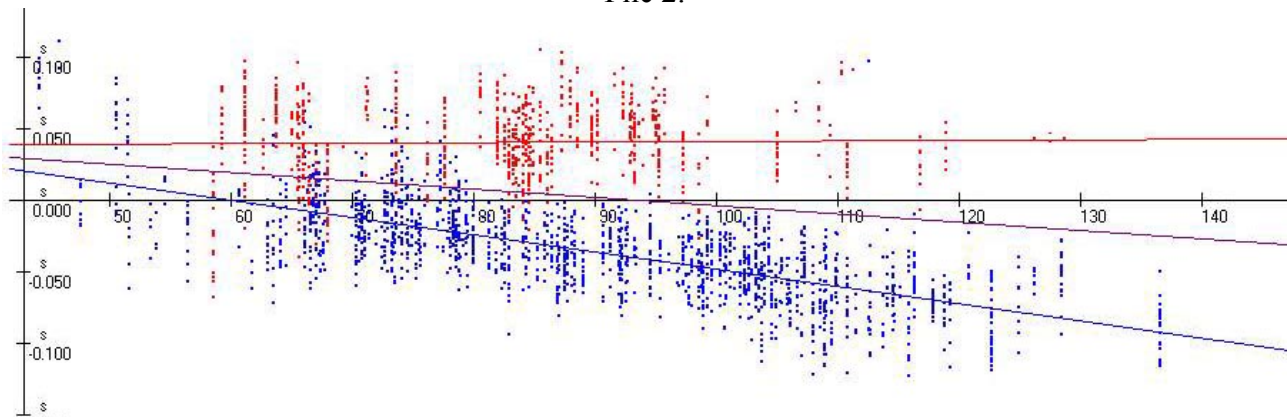


Рис 3.

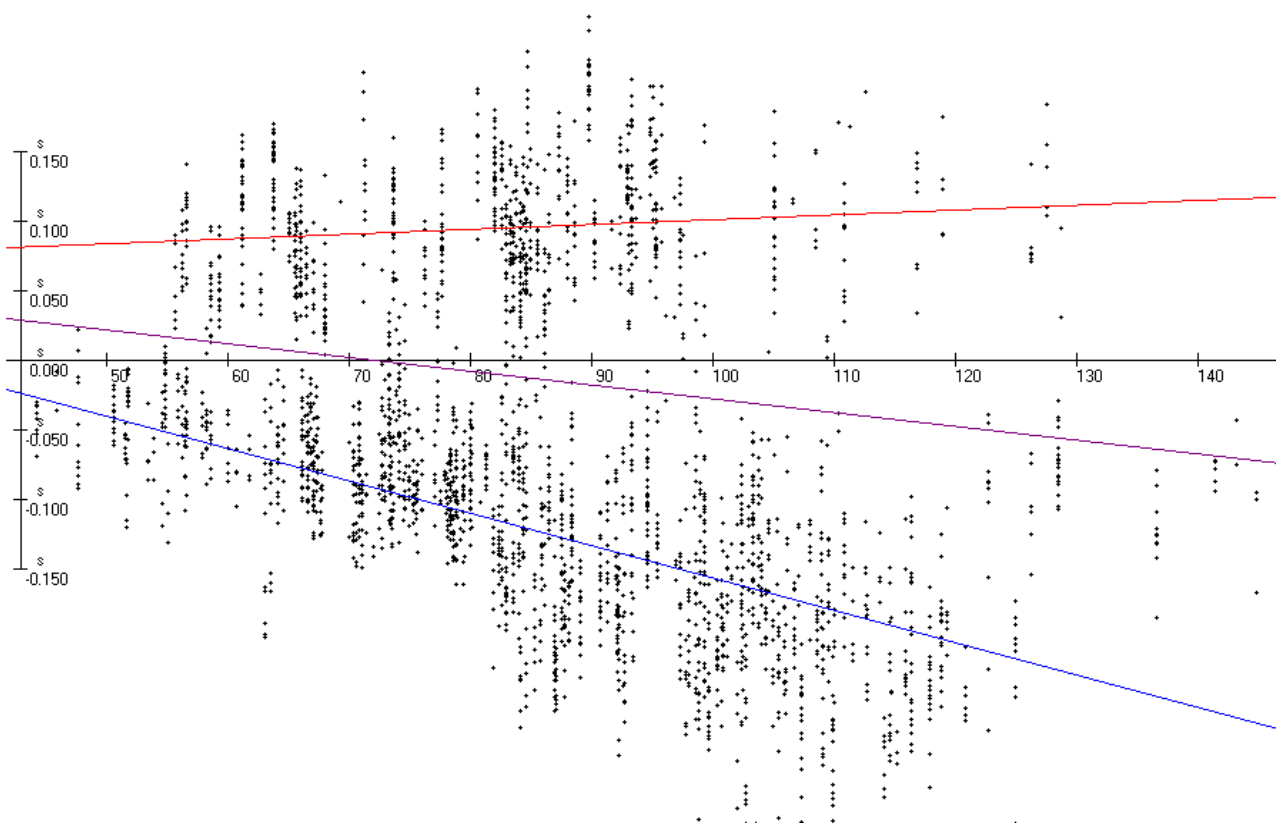


Рис 4.

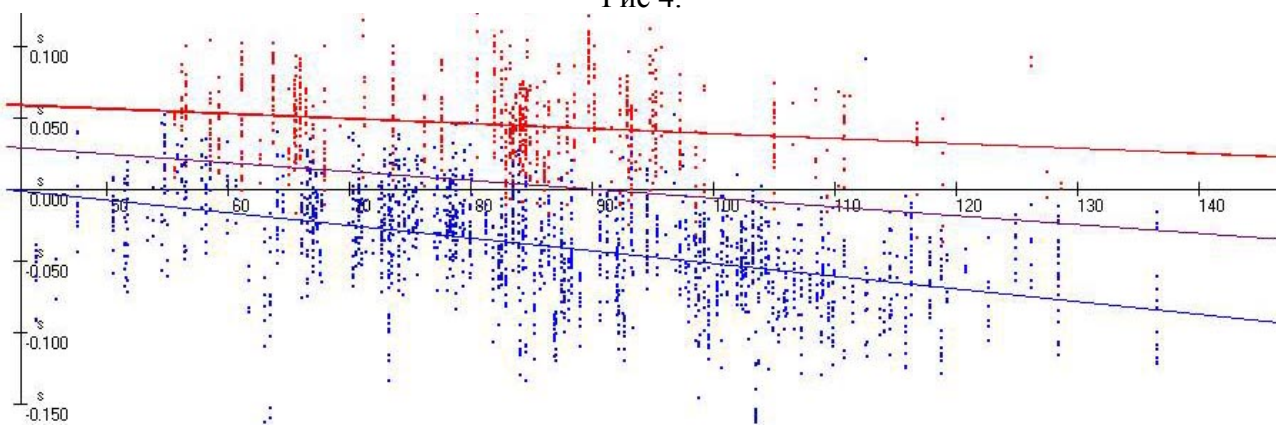


Рис 5.

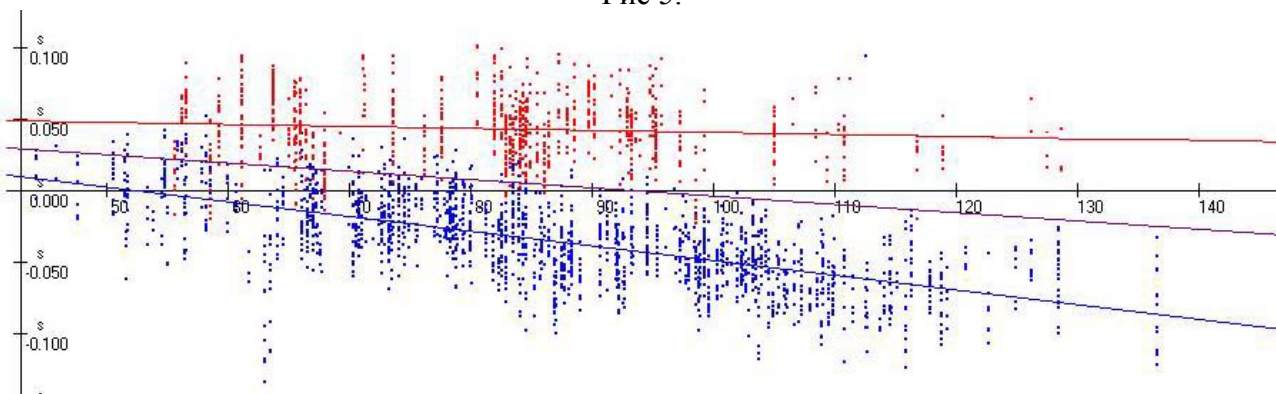


Рис 6.

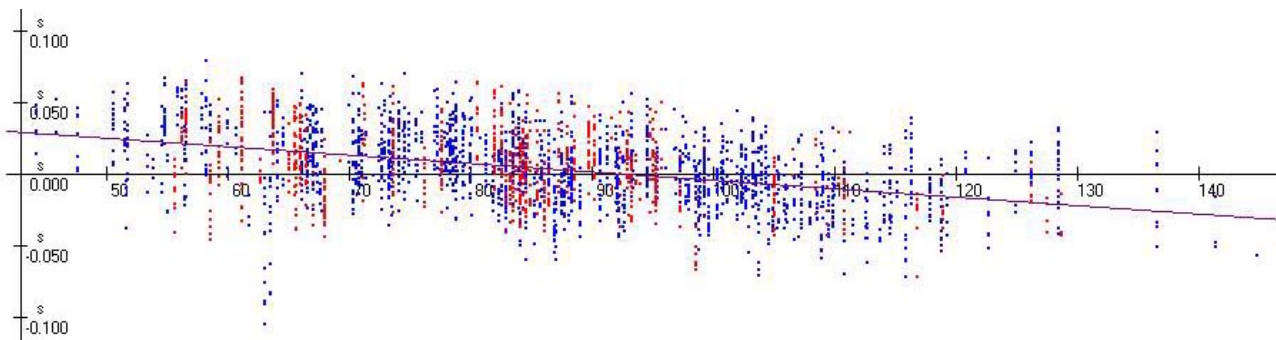


Рис 7.

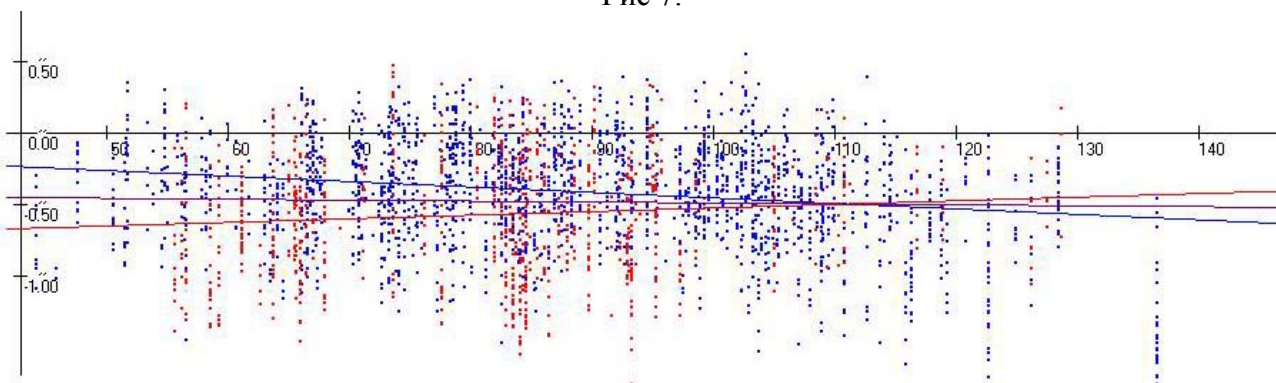


Рис 8.

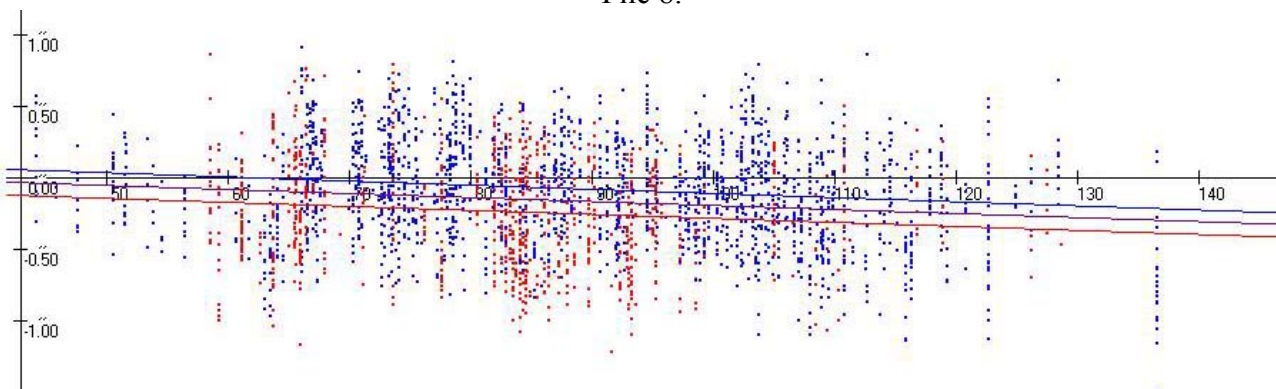


Рис 9.

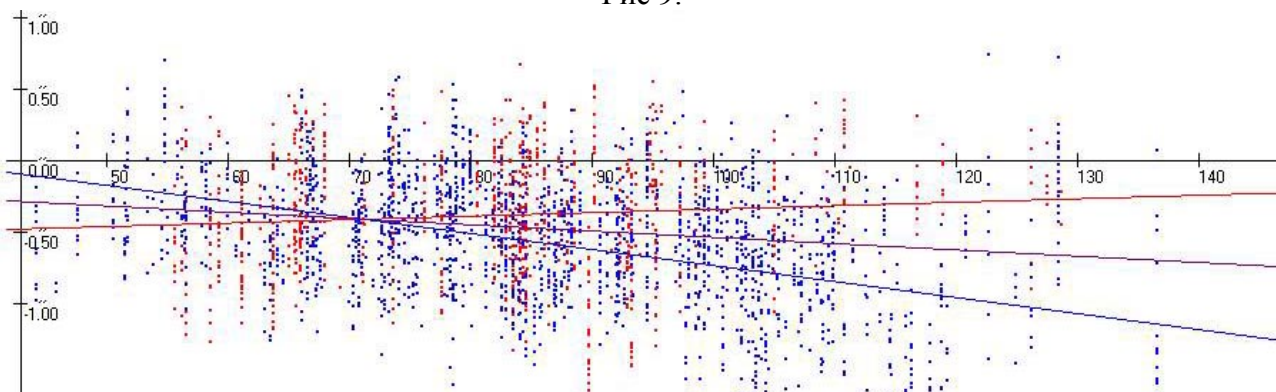


Рис 10.

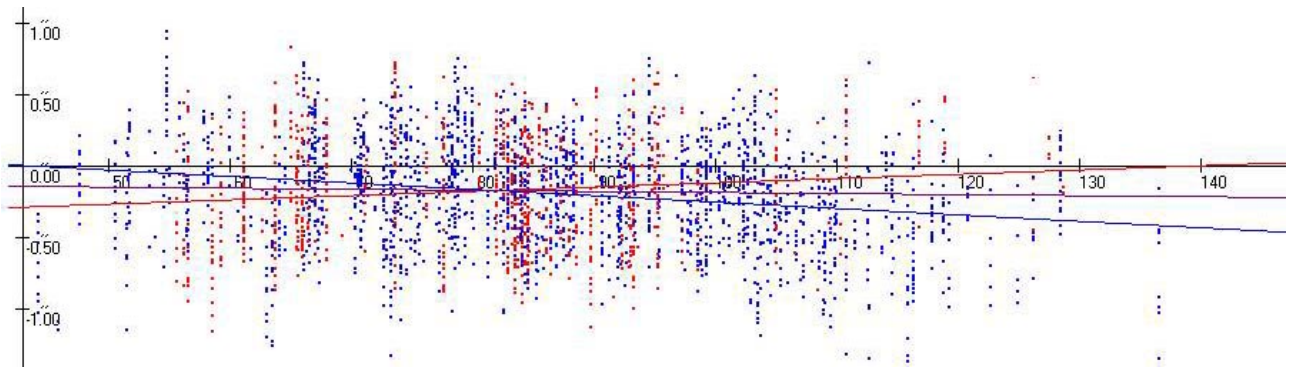


Рис 11.

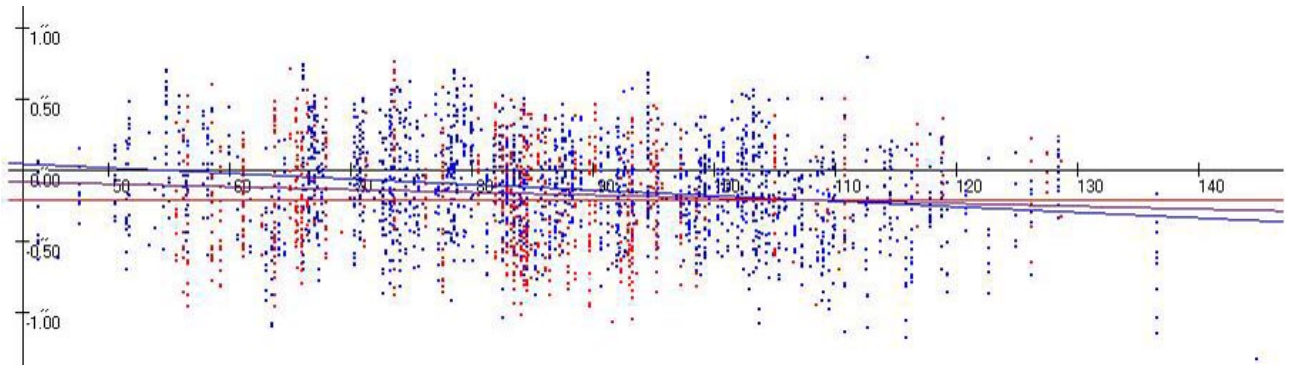
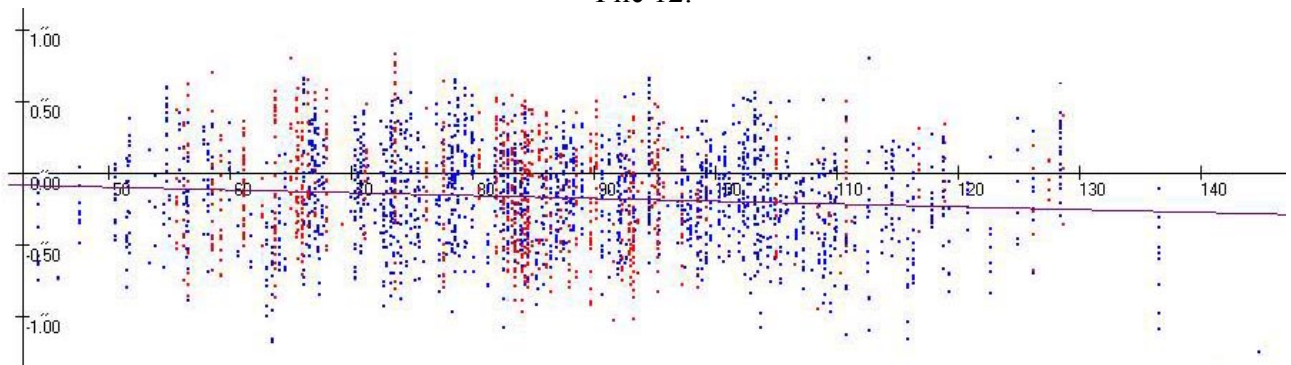


Рис 12.



По уклонениям значений разностей (O-C) от аппроксимирующих их прямых на всех указанных этапах обработки вычислялись средние квадратические ошибки положения Венеры, значения которых сведены в табл. 1.

Таблица 1.

Точка изображения C1			
Утренние до редуцирования		Вечерние до редуцирования	
RA ± 0 <sup>s</sup> .017	Decl ± 0."41	RA ± 0 <sup>s</sup> .019	Decl ± 0."35
Утренние после редуцирования		Вечерние после редуцирования	
RA ± 0 <sup>s</sup> .026	Decl ± 0."37	RA ± 0 <sup>s</sup> .022	Decl ± 0."35

Точка изображения C2			
Утренние до редуцирования		Вечерние до редуцирования	
RA ± 0 <sup>s</sup> .049	Decl ± 0."42	RA ± 0 <sup>s</sup> .060	Decl ± 0."44

Утренние после редуцирования		Вечерние после редуцирования	
RA $\pm 0^s.028$	Decl $\pm 0.^m40$	RA $\pm 0^s.032$	Decl $\pm 0.^m36$
Осреднённые положения точек изображения C1 и C2			
Утренние		Вечерние	
RA $\pm 0^s.023$	Decl $\pm 0.^m36$	RA $\pm 0^s.023$	Decl $\pm 0.^m33$
Положения центра изображения Венеры редуцированные поправкой за несовершенство эксперимента.			
RA $\pm 0^s.023$		Decl $\pm 0.^m34$	

Прослеживается эволюция значения средней квадратической ошибки разности (O-C) по обеим координатам. Сравняются значения указанной ошибки положений точек изображений C1 и C2 для утренних и вечерних наблюдений до и после редуцирования поправкой за совокупный эффект фотографической иррадиации. После осреднения положений точек C1 и C2 оценена точность положения центра изображения Венеры - C.

Положение линии лимба и точки C1, как отмечалось выше, стабильнее в отношении величины экспозиции, и при редуцировании поправками за совокупный эффект фотографической иррадиации мало изменяется. Положения же точек изображений C2 из-за динамичности линии терминатора сильно зависят от величины экспозиции, и редуцирование эффектно приводит положения точек изображения C2 к единой системе центров, задаваемой стандартной экспозицией.

Анализ данных, приведенных на рис. 1 - 12 и в табл.1, позволяет сделать вывод об эффективности предложенного нами метода редуцирования даже при не совсем корректном осуществлении эксперимента. Редуцирование положений планет поправками за тонкие фотоэффекты особо необходимо для случая, когда отправной точкой при задании центра фотоизображения используется его центр тяжести, т.е. в случае наблюдений планет на короткофокусных камерах. Метод тем более эффективен при разовых наблюдениях планеты, когда редукция позволяет уверенно сделать их частью протяженного ряда.

### Литература

1. Воздвиженский Б.С. "Об исключении влияния фотографической иррадиации на результаты фотографических позиционных наблюдений Венеры", АЦ N 859, 1975, с.1-2.
2. Воздвиженский Б.С. "О методе учета эффекта фотографической иррадиации при позиционных фотографических наблюдениях Венеры", Сообщ. ГАИШ, N 200, 1977, с.23-32.
3. Воздвиженский Б.С. "О фотографических позиционных наблюдениях Венеры", Сб. "Задачи современной астрометрии в создании инерциальной системы координат", ФАН, Ташкент, 1981, с.227-241.
4. Воздвиженский Б.С. "О новых результатах изучения эффекта фотографической иррадиации при фотографических позиционных наблюдениях больших планет", А.Ж., т.59, вып.3, 1982, с.588-590.
5. Воздвиженский Б.С. "Наблюдения Венеры в государственном астрономическом институте им. П.К.Штернберга в 1975-1977гг.", Тр. ГАИШ, т.LV, 1983, изд.- во МГУ, 1983г., с. 47-58.

6. Воздвиженский Б.С. "Поправки ориентации FK4 по фотографическим позиционным наблюдениям Венеры на широкоугольном астрографе ГАИШ" АЦ, N 949, 1977, с. 3-5.
7. Воздвиженский Б.С. "Список 2821 положений Венеры", Рукопись деп. ВИНТИ 08.10.07, N 956-В 2007.