

Чурюмов¹ К. И., Иванчук¹ В. И., Дубровский² Ю. В., Чубко¹ Л. С.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ 11 АВГУСТА 1999 Г.

¹ Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

klim.churyumov@observ.univ.kiev.ua

² Институт рыбоводства Академии Сельхознаук Украины, Киев

Изучены форма и детальная структура солнечной короны на основании снимков, полученных в Румынии, Болгарии и Иране. Кроме существенной N/S-асимметрии корона 11.09.99 обладает и заметной E/W асимметрией. Восточное полушарие ее более активное, чем западное. Это определяется, в частности тем, что лучевая структура на E-лимбе больше отклоняется к полюсам по сравнению со структурой W-лимба, которая больше «прижата» к экватору. В этом отношении интересной ее особенностью является существование довольно яркого, слегка

изогнутого, двойного тонкого луча на NE лимбе поз. угол $\sim 50^\circ$. Он находится над конденсацией, вблизи своеобразного центра «отталкивания» потоковых и шлемовидных лучей и крыльев E-лимба. Нами было предположено, что NE-яркий изогнутый луч является последствием более раннего транзиентного выброса вещества, приведшего к общему возмущению NE-квадранта короны, т. е. является своеобразным послевестником (послекурсором) выброшенного из этой области коронального транзиента. Детальный просмотр снимков короны, полученных 10–11 августа 1999 г. на коронографе LASCO SOHO, показал, что перед началом затмения в этой области действительно наблюдался транзиент. На NW-лимбе нами обнаружены предвестники развития транзиента во время затмения. Обсуждаются параметры транзиента. Изучена реакция животных на изменения атмосферных факторов в течение затмения 11 августа 1999 г. с использованием современных статистических методов.

Ключевые слова: солнечная корона, солнечное затмение, атмосферные факторы, реакция животных.

1. Общие характеристики структуры короны 11.08.1999 г.

Детальная структура короны и ее общие очертания изучались нами на основании анализа фотографических наблюдений короны, полученных с помощью малоформатных камер в Бухаресте, Румыния К. И. Чурюмовым и в пункте Камен Бряг, Болгария (набл. С. Харчук и В. Мормыль) [7], а также по материалам наблюдений короны, опубликованным в ряде работ [8, 9, 10, 14]. Использовались также данные сети Интернет. На рис. 1 приведен предварительный рисунок детальной и общей структуры исследуемой короны, составленный В. И. Иванчуком. Ориентировка короны определялась на основе данных о позиционных углах мест II и III контакта для затменных снимков в пункте Камен Бряг. (В будущем структурный рисунок и его ориентировка будут проверены и уточнены, а также будет проведено исследование связи корональных деталей с подстилающими активными образованиями более глубоких уровней солнечной атмосферы). Положения деталей относительно лимба будем обозначать «временем» часового циферблата: 12 часам соответствует направление на север (N), 3 часам — направление на запад (W).

Общие очертания короны близки к классическому максимальному типу, обычно наблюдаемому вблизи фазы максимума цикла солнечной активности (СА). Корона состоит из множества мощных и тонких лучей, имеющих преимущественно радиальную ориентировку по отношению к диску Солнца. Существуют также замкнутые дуговые системы, арки и петли различных типов. Невысокая и мощная **корональная конденсация** высотой ~ 80 тыс. км. и шириной 150 тыс. км. существует над АО в обл. 10^h30^m . Она пронизывается высокотемпературными петлями с $T \approx 2\text{--}3 \cdot 10^6 \text{ K}$, а также выступами и петлями холодных протуберанцев. В области

2^h30^m над протуберанцем, по-видимому, имеется невысокое **корональное усиление**. Системы корональных лучей и арок образуют составные детали типа шлемовидных стримеров, крыльев, потоков и опахал. В южной полярной шапке заметна очень небольшая по лимбовой протяженности ($P \approx 15^\circ$) полярная лучевая системма из 7–8 тонких лучей, возвышающихся, скорее всего, над небольшой южной полярной **корональной дырой**. В ней существует темная неширокая брешь ($d \approx 30$ тыс. км., $PA \approx 170^\circ$)

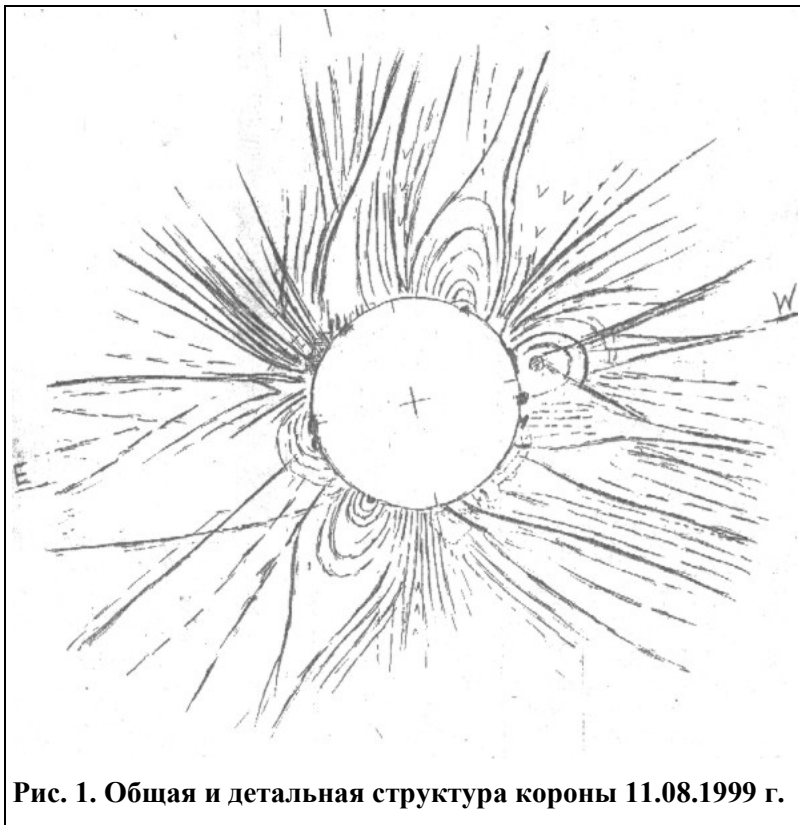


Рис. 1. Общая и детальная структура короны 11.08.1999 г.

Значительное число ярких протуберанцев (около 10) обрамляет солнечный лимб в N и S-полусферах в областях. Два классических шлемовидных луча-стримера с четкими невысокими протуберанцами в их основе и дуговыми системами над ними наблюдались в SE и NW-секторах на $PA \approx 140$ и 310° . Протяженность их шлемовидной части (L) составляет около $1.7-1.8 R_\odot$, что несколько превышает общее значение параметра L , для этой фазы 11-летнего цикла СА [6]. Над SE протуберанцем в области 7^h20^m заметно охватывающие его темное «выметенное» пространство. Низкие широкие арки имеются над протуберанцем в области $8^h-9^h20^m$. В западной близэкваториальной области $2^h40^m - 3^h20^m$

над протуберанцем также присутствует необычная дуговая система, которая, как потом будет объяснено (см. п.4), является ранней стадией развивающегося в этой области **выброса корональной массы** (ВКМ). Остальные протуберанцы не связаны с регистрируемыми дуговыми системами. Весьма характерно существование **темных брешей** над областями $0^h20^m-2^h$. Подобная картина наблюдалась в короне 22 сент.1968 г. и во время других затмений и была, как правило, связана с существованием наиболее спокойных участков в атмосфере Солнца в их основаниях.

2. Активность короны и проблема N/S-асимметрии 23 цикла СА

Весь предыдущий опыт изучения структуры солнечной короны по данным затменных наблюдений убеждает нас, что и общая ее форма, и все ее структурные детали тесно связаны с явлениями активности Солнца в подстилающих слоях, с топологией глобального, фонового и локальных магнитных полей а также с кинематическими особенностями источников солнечного ветра. Исследуемая корона также может служить иллюстрацией этого положения.

В день полного солнечного затмения 11.08.99 число Вольфа по данным Sunspot Bulletin (Brussel) равнялось $W=52$. Это не является показателем высокого уровня пятенной активности для Солнца вблизи максимума его 11-летнего цикла. На рис.2 приводятся графики хода среднемесячных значений чисел Вольфа (в Цюрихской системе) для всего Солнца $\langle W \rangle$ и для N и S-полусфер с 1996 г. $\langle W_N \rangle$ и $\langle W_S \rangle$ до сентября 2000 г. т. е. почти для всей восходящей ветви текущего 23-го цикла СА. Видно, что затмение Солнца пришлось на ветвь спада самой мощной с 1999 г. флуктуации активности пятен, максимум которой был в июне месяце, когда $\langle W_{V1} \rangle = 138$.

Для августа соответственная величина $\langle W_{VIII} \rangle = 94$. Пока что неизвестен точный момент предстоящего максимума чисел Вольфа в 23-м цикле. Скорее всего, его момент ожидается в следующем 2001 г. Таким образом, приближенное значение фазы данной короны в 11-летнем цикле развития составляет $\approx +0.70$.

По распределению яркости корона близка к сферически- симметричной форме с некоторым преобладанием яркости N-полусферы. Вблизи южного полюса расположен менее яркий участок, который, по-видимому, связан с существованием здесь небольшой корональной дыры. Структурные особенности короны также указывают на существовании в ней значительной N/S-асимметрии. Высокоширотные лучи северного N-полушария (особенно в NE-секторе) наклонены к полюсу, а в южном SW-секторе наклонены к экватору. Все это указывает, что N-полушарие короны более активно, чем южное т. е. что оно более близко к своей максимальной фазе развития. Отсюда следует, что максимум текущего 23-го цикла СА в N-полушарии состоялся, по-видимому, в середине 2000 г., а в южном полушарии состоится в середине 2001 г. Подобная картина наблюдалась и в предыдущих 11-летних циклах 20–22., когда максимумы пятенной и корональной активности наступили в N-полушарии значительно раньше, чем в S-полушарии. Рассмотрение структурных особенностей короны во время затмений 22.09.1968 г., 7.03.1970 г., 26.02.1979 г., 16.02.1980 г. и 22.06.1990 г., произошедших накануне соответствующих максимумов активности этих циклов, хорошо иллюстрирует сходную ситуацию [1,2,4,15,16].

В целом корона 11.08.1999 г. несмотря на относительно невысокий уровень пятенной активности в августе месяце, имеет структуру и форму которые свидетельствуют о высокой **магнитной активности** Солнца для данной фазы 11-летнего цикла СА. Анализ хода пятенной активности в N и S-полусферах для периода 1996-2000 гг.(рис.2) указывает, что за исключением короткого периода в первой половине 1998 г. активность N-полушария на ветви подъема 23-цикла до 1999 г. (включительно) заметно превосходит активность S-полушария. Суммарный пятенный индекс ее асимметрии за это время $\Sigma W_N / \Sigma W_S \approx 1.15$.

Согласно нашему прогнозу [13] 23 цикл должен характеризоваться существенным преобладанием суммарной активности в S-полушарии и тройной магнитной переполусовкой в его полярной области. Это следовало из анализа данных о магнитных переполусовках в 11-ти и 22-х летних циклах, начиная с цикла №11, и о поведении N/S асимметрии пятенной активности с 1833 г.

Было установлено существование циклического хода этих характеристик с периодом около 120 лет. Показано, что тройные магнитные переполусовки происходят только один раз в 22-летнем цикле Хейла во время максимума 11-летнего цикла СА и только в одной из полусфер. Эти полусферы характеризовались заметным преобладанием СА по сравнению с противоположными, в которых происходили однократные магнитные переполусовки.

Все сказанное отражено в нижеследующей таблице 1, взятой из работы [3] дополненной новыми данными.

Табл. 1.

Полу- шарие	Годы 22-летних циклов Хейла и номера 11-летних циклов							
	1833-56	1856-78	1879-1901	1901-23	1924-44	1945-64	1965-85	1986-2007
	8 9	10 11	12 13	14 15	16 17	18 19	20 21	22 23
N		[↑]↓	↑↓	↑↑↓	↑↓↑↓	↑↑↓↑↓	↑↓↑↓	↑↑[↓]
S		↑[↓↑↓]↑	↑↓↑↓↑	↑↓↑↓↑	↑↓↑	↑↓↑	↓↑↑	↓[↑↓↑]
АП	NN	SS	SS	≈SN	NN	NN	NS	≈S [S]

Здесь АП — активное полушарие; ≈S — активность полушарий примерно равна, с не-

большим преобладанием в южном полушарии. Символ $\uparrow\uparrow$ показывает, что полярное магнитное поле, в процессе реполюсовки изменяет свой знак с «-» на «+», $\uparrow\downarrow\uparrow\uparrow$ отражает тройную реполюсовку с «-» на «+», знак [] означает прогнозируемую характеристику.

Следовательно, если установленная зависимость, будет действовать и в текущем цикле, то исходя, из уже наблюдаемого хода N/S-асимметрии СА (см. график на рис. 2), мы должны были ожидать, что после 1999-2000 гг. активность в S-полушарии должна заметно усилится и преобладать над активностью в N-полусфере. Так и произошло. Это привело к существенному увеличению продолжительности максимальной фазы 23-го цикла и его «двугорбости».

Кроме существенной N/S-асимметрии корона 11.09.99 обладает и заметной E/W асимметрией. Восточное полушарие ее более активное, чем западное. Это определяется, в частности тем что лучевая структура на E-лимбе больше отклоняется к полюсам по сравнению со структурой W-лимба, которая больше «прижата» к экватору.

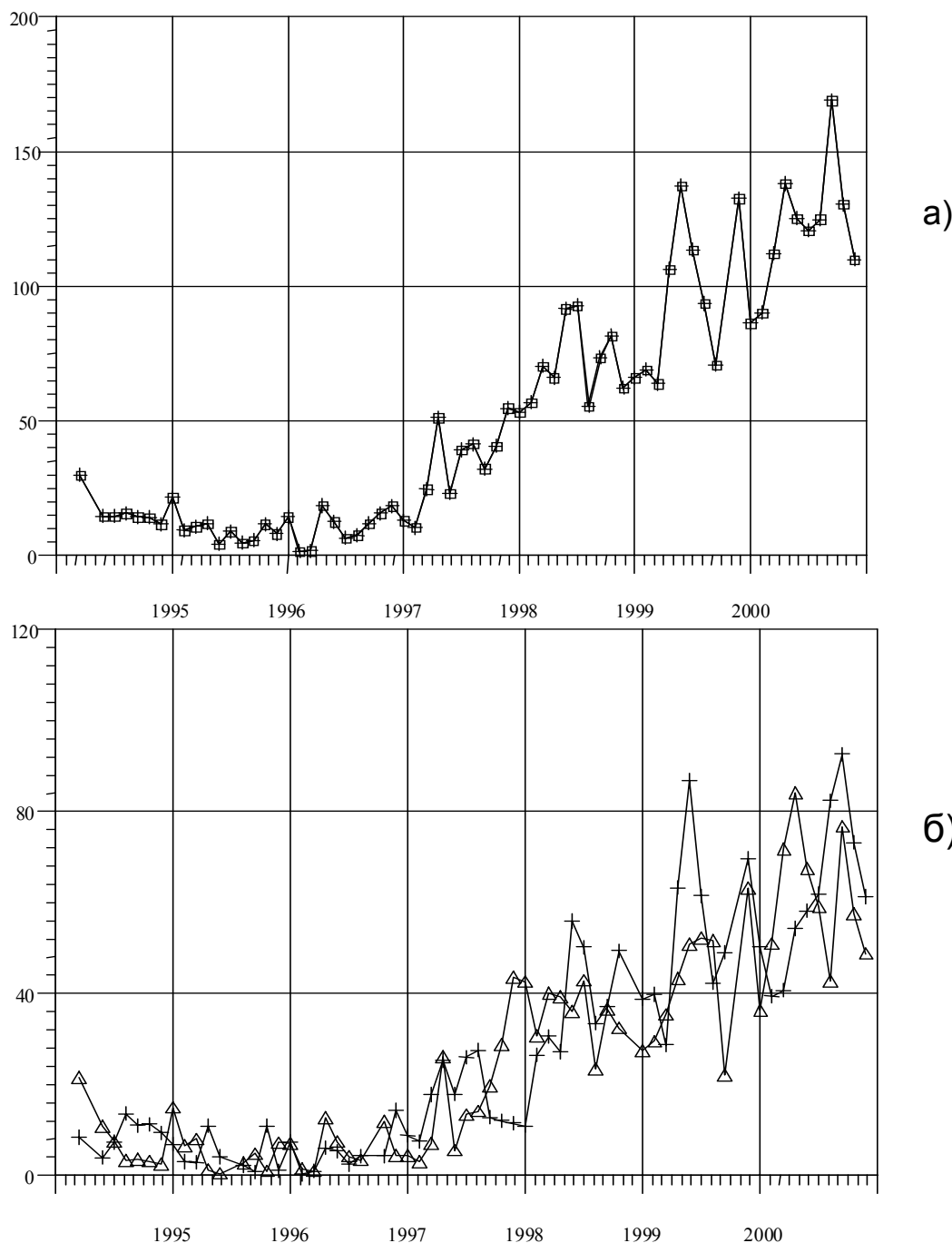


Рис. 2. Ход среднемесячных чисел Вольфа для периода 1996-2000 гг.; а-для всего Солнца, б-для N и S-полушарий (символы + и Δ -соответственно)

В этом отношении интересной ее особенностью является существование довольно яркого, слегка изогнутого, двойного тонкого луча 3 на NE лимбе ($PA \approx 50^\circ$). Он находится над конденсацией, вблизи своеобразного центра «отталкивания» потоковых и шлемовидных лучей и крыльев E-лимба. Подобные лучи (центры отталкивания) существовали также в коронах 22.09.1968 г. , 11.07.1972, 22.06.1990 и 11.07.1991 г. над подобными **вспышечно-активными** областями и комплексами активности и были, по-видимому, связаны с явлениями корональных выбросов плазмы (ВКМ) типа «гау». Возможно и данный NE-яркий изогнутый луч является последствием более раннего транзитного выброса вещества, приведшего к общему возмущению NE-квадранта короны. Подтверждение этому предположительно мы находим из сравнения структуры короны с расчетной топологией магнитного поля короны (см. далее).

3. Структура солнечной короны 11 августа 1999 г. и модель коронального магнитного поля

На рис. 3 приводятся топология коронального магнитного поля, рассчитанного на момент затмения, согласно модели Z. Micic и J. Linker (ун-т Сан-Диего, США - <http://haven.saic.com/corona>; см.также fig.10 [10]) . Сравнение модельных магнитных силовых линий в проекции на плоскость неба на момент затмения со структурой солнечной короны

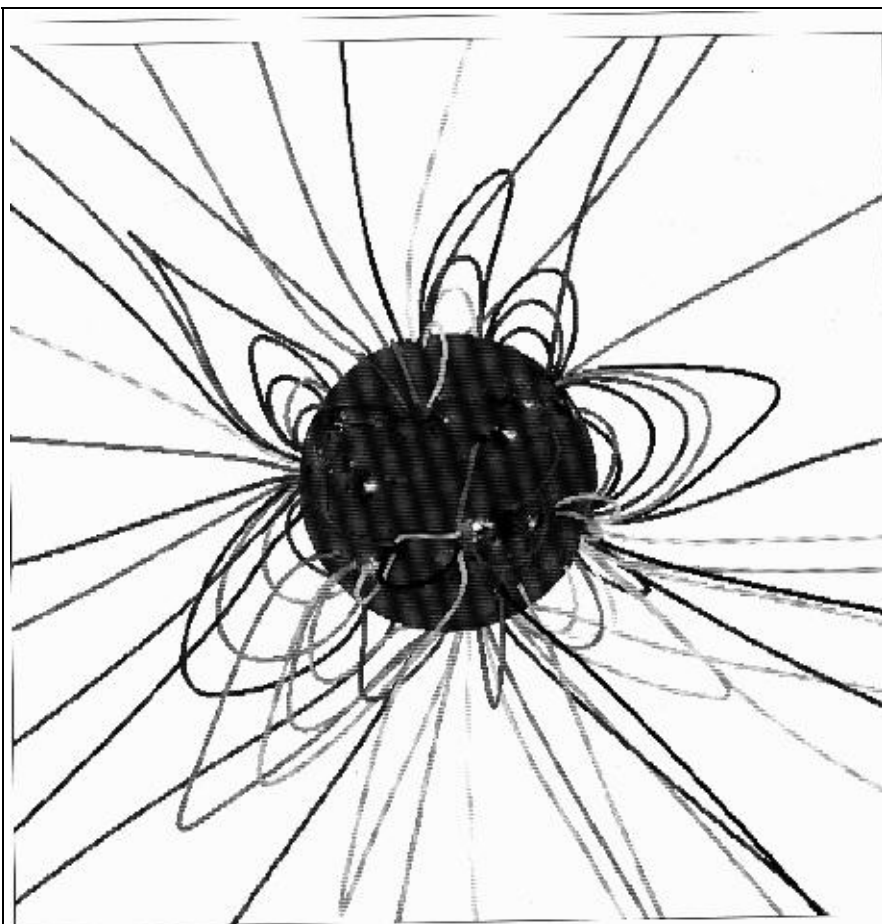


Рис.3. Топология магнитного поля солнечной короны 11.08.1999 г. (модель Micic и Linker, 1999)

(см. рис. 1) показывает в общих очертаниях их достаточно хорошее согласие. Однако имеются и значительные расхождения, носящие, на наш взгляд, принципиальный характер. Так в NE-квадранте в обл. 10-11^h согласно модели должны существовать замкнутые магнитные структуры, достигающие высот $\sim 0.75R_{\odot}$. В реальной короне их не существует. Кроме того, наблюдаемые квазирадialные лучи отклоняются к N-полюсу на гораздо большие величины, чем теоретические магнитные силовые линии. Эти различия могут быть объяснены влиянием проходящего здесь предполагаемого коронального транзientа (ВКМ), происшедшего

в данном квадрате, значительно ранее момента затмения, возможно за десять и более часов до наблюдений короны (см. 2.). Таким образом в данной короне мы регистрируем эффекты или последствия прохождения ВКМ, «прорвавшего» замкнутые магнитные силовые линии и

«оттолкнувшие» окружающие лучевые структуры в полярную сторону. Заметим, что модель коронального магнитного поля отражает, в основном, картину **стационарного** магнитного поля, регистрируемого в фотосфере за весь оборот Солнца. Для данного квадранта это в основном отражает период наблюдений фотосферных полей значительно позже момента затмения.

Существенные отличия между наблюдаемой структурой короны и модельным магнитным полем имеются также и в SW-квадранте. Здесь лучи в районах $4^{\text{h}}20^{\text{m}}\text{--}5^{\text{h}}30^{\text{m}}$ наклонены к экватору больше, чем теоретические магнитные силовые линии. Это различие можно объяснить тем, что величина напряженности фотосферного магнитного поля у S-полюса (H_p), которая закладывается в модельные расчеты, скорее всего была существенно меньше реальной. Подобный эффект обнаружен нами [5] при сравнении положения теоретического гелиосферного токового слоя (согласно данным Ноексема и др.[11, 12]) с его наблюдаемыми явлениями – положением наиболее ярких стримеров и больших лучей во внешней короне.

4.Выброс коронального вещества 11/12 августа 1999 г.

Рассмотрение всех имеющихся данных показывает, что в областях короны $2^{\text{h}}\text{--}3^{\text{h}}30^{\text{m}}$ W-лимба, в момент затмения развивается транзитный выброс корональной массы (ВКМ) — явление которое весьма редко наблюдается в моменты полных солнечных затмений. Его развитие наиболее полно было зафиксировано на снимках внешней короны, полученных с помощью космического коронографа C2 на КА LASCO SOHO уже после затмения, в период 22:00–01:30 UT 11/12 августа 1999 г. По ряду репродукций этих снимков, опубликованных в [10], вид-

но что ВКМ имеет угловые размеры около 90° , занимает $PA \approx 250^\circ\text{--}340^\circ$ и состоит из множества неоднородных, деформированных дуг, лучей и различных аморфных образований, которые движутся от Солнца с возрастающей скоростью (рис. 4). Скорости внешнего края этого транзита, определенная нами по трем снимкам для моментов 22.30 UT 11.08 и 00:06 и 01.31 UT

12.09 и расстояний $r \approx 3\text{--}8 R_\odot$, составляют около 170–250 км/с. Весьма интересно то, что внешняя часть шлемовидного луча ($1^{\text{h}}30^{\text{m}}$), ограничивающая ВКМ с N -внешней стороны, параллельно с движением замкнутых и аморфных частей выброса («наполненной бутылки») увеличила свою

яркость, т. е. заполнилось веществом. Движение фронта этого вещества имеет скорость $V \approx 300$ км/сек, т. е. большую чем сам ВКМ. При этом луч слегка изгибается, как бы деформируясь под воздействием замкнутой части выброса.

На прекрасных затменных снимках короны, полученных экспедицией Парижского астрофизического института- CNRS в Иране (рук. С. Кучми) с помощью стандартного 3-х метрового горизонтального коронографа, оснащенного радиальным выравнивающим фильтром, в моменты 12:02 UT и др. в области $2^{\text{h}}30^{\text{m}}\text{--}3^{\text{h}}20^{\text{m}}$ видна достаточно резкая, необычная трансква-

ториальная арка-петля высотой около $0.65 R_\odot$. Ее центр находится на $PA \approx 285^\circ$. Толщина арки $\sim 0.04 R_\odot$ (≈ 30 тыс. км.) и почти одинакова на разных высотах. Южная ее часть более размытая. Арка пересекается с рядом тонких и изогнутых лучей. Вблизи ее основания, на высоте $\sim 0.25 R_\odot$ имеется некоторое уплотнение с характерным размером $\sim 0.10 R_\odot$, погруженное в разреженное пространство. Все характерные признаки этих деталей указывают, что их можно отнести к начальной фазе возникновения ВКМ, зафиксированного на снимках космического коронографа C2. Если принять отчетливую арку за его внешнюю границу во внутренней короне, то из сравнения со снимком космического коронографа в 22:30 UT получено, что средняя скорость движения внешнего края выброса в интервале 12:00–22:30 составляет всего около 25 км/с. Это означает что во внутренней короне ВКМ обладает весьма медленной скоростью, весьма малой для явлений ВКМ. Существования кругового уплотнения — плазмоида — внутри основания ВКМ может быть не случайным. Такие образования были зарегистрированы в ряде наблюдаемых ВКМ и были связаны с источниками синхротронного излучения энергичных электронов, захваченных в магнитную ловушку-плазмод и генерирующих радиовсплески IV типа.

К сожалению, на большинстве снимков данной короны, в том числе и синтетических,

созданных с помощью фотографического усиления множества отдельных кадров и подвернутых компьютерной обработке, детали предполагаемого транзиента остаются неразрешенными или нечеткими. Однако на репродукциях снимков короны, полученных С. Cavardore (ESO), L. Berrasoni и В. Gaillard (Obs. dela Cote d'Azur) в Северной Франции (Шампань-Арденны) $t=10:25$ UT, а также J. C. Casado (Венгрия, озеро Балатон, $t=10:50$ UT) также видно размытые следы этой детали и его центрального сгущения (см. [9] p.372, 373). Приближенные оценки смещения этих деталей из сравнения с положением транзиента на снимке, полученны в Иране ($t=12:02$ UT) приводят к значению скорости подъема арки выброса $V \approx 20-25$ км/с, т. е. к тем же величинам, которые получены из сравнения наземных снимков с наиболее ранним определением положением ВКМ на спутниках космического коронографа C2.

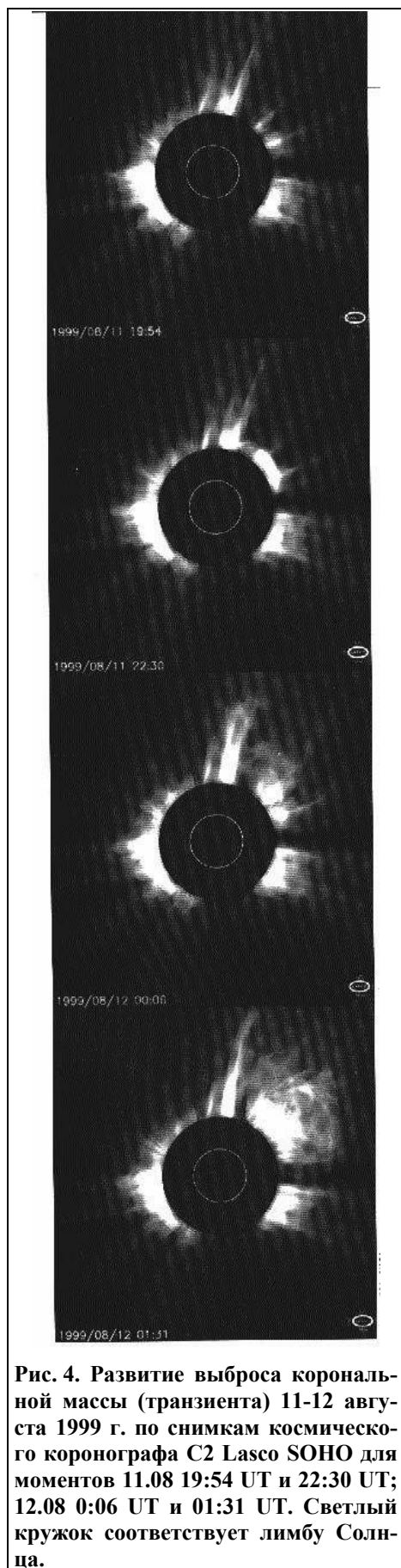


Рис. 4. Развитие выброса корональной массы (транзиента) 11-12 августа 1999 г. по снимкам космического коронографа C2 Lasco SOHO для моментов 11.08 19:54 UT и 22:30 UT; 12.08 00:06 UT и 01:31 UT. Светлый кружок соответствует лимбу Солнца.

Еще одно свидетельство — существование в этой области необычного образования, напоминающего большой след водоворота — а swirl, следует из **визуальных** наблюдений короны, проводимых в Турции опытным любителем-ловцом затмений S. J. O'Meara [14].

Отсюда следует, что во время затмения мы были свидетелями развития начальной фазы ВКМ, имеющей во внутренней и средней короне весьма медленную тангенциальную скорость $V \approx 20-25$ км/с., которая довольно быстро нарастала во внешней короне до величин $\approx 150-250$ км/с. Во внешней короне и сверхкороне транзитный выброс занимает обширную область пространства с угловым протяжением $\approx 90^\circ$ и по своей массе мог содержать до $\approx 5 \cdot 10^{15}$ г вещества. Таким образом величина кинетической энергии ВКМ может иметь величину порядка $\approx 10^{30}$ эрг. Если тангенциальная скорость ВКМ близка к радиальной (т. е. если ВКМ движется в основном в картинной плоскости), то он вряд ли мог вызвать существование сильной ударной волны в короне, и вызвать радиовсплески II типа. Существование уплотнения-плазмоида в центре транзиента может указывать на шанс обнаружения в момент затмения и после него радиовсплесков IV типа.

Поскольку во внутренней короне «предвестник» ВКМ имел небольшую скорость ≈ 20 км/с, то его зарождение можно отнести на момент за несколько часов до затмения в Европе.

Таким образом в момент затмения мы имели уникальную возможность наблюдения и исследования начальной фазы возникновения и развития весьма интересного случая явления ВКМ. Подобное событие ВКМ, но имеющее более выраженную дуговую форму и намного большую скорость во внешней короне до 500-1000 км/с, наблюдалось во время затмения 16 февр. 1980 г. [16]. Оно получило даже личное название — «теннисная ракетка». Курьезно, что и это событие охватывало, в основном NW-сектор.

5. Результаты экологических наблюдений 11 августа 1999 г.

Во время полного солнечного затмения наблюдаются изменения суточной активности животных, аналогичные таковым при наступлении сумерек [17]. Изучение реакций животных на изменения климатических факторов в течении затмения 11 августа 1999 г. было проведено нами с использованием современных статистических методов.

Экологические наблюдения во время затмения проводились у вершины горы Чиракман, расположенной восточнее г. Каварна на Черноморском побережье Болгарии. Вершина горы, покрытая степной растительностью, возвышается на 60–70 м над уровнем моря. Наблюдения были начаты 11 августа за 30 мин. до первого контакта (T_1) и закончены через 30 мин. после окончания затмения (T_4). На следующий день, 12 августа, в аналогичный период были проведены контрольные на-

блюдения.

Освещённость и температура воздуха (в тени у поверхности земли), которые измерялись через каждые 15 мин., рассматривались в качестве ведущих факторов среды. Изменения температуры (t °C) и освещённости (i — в единицах шкалы фотоэкспонетра Ю11/4) во время затмения приведены на рис. 5–6. Пунктиром здесь обозначена обычная дневная динамика значений i и t °C, измеренных в то же время на следующий день. Параллельно отмечалась реакция птиц и насекомых на изменения среды, связанные с ходом затмения. Показатели активности животных в этот период представлены на рис. 7, где n — число экземпляров ласточек, наблюдавшееся одновременно в условном поле зрения; K — количество особей в ближайшей стае чаек; S — общий звуковой фон насекомых (приблизительно оценённый в %).

Для Каварны $T_1 = 09$ h 46 min (по всемирному времени). Фактическое уменьшение освещённости стало заметным примерно через 15 мин., а снижение температуры — через 30 мин. после T_1 . Однако, относительное падение этих показателей, по сравнению с их нормальным суточным ходом (12 августа), прослеживалось уже в первые 3–4 мин. частной фазы (рис. 5). В 10 h 46 min большинство ласточек, сбившись в рыхлую стаю, улетело по направлению к своим гнездовьям. Через 1 мин. после них (10 h 47 min) чайки стали собираться в более крупные стаи. В 11 h 06 min последние ласточки покинули наблюдаемое пространство, хотя в вечернее время накануне затмения, а также и в последующие дни, они продолжали полёты и при более слабой освещённости. Умеренный северный ветер, который постоянно усиливался по ходу затмения, заметно ослабел перед началом полной фазы. За 2 мин. до неё (11 h 08 min) стали постепенно замолкать насекомые. В момент наступления полного затмения ($T_2 = 11$ h 10 min) дневные насекомые полностью затихли, сумеречно-ночные виды также не проявили никакой активности. Крики чаек, наоборот, стали более громкими и частыми. Затмение было довольно светлым, основные детали местности хорошо различались в сумерках. После окончания полного затмения ($T_3 = 11$ h 12 min) температура воздуха снизилась на 6 — 7 °C. В 11 h 16 min (через 4 мин. после T_3) отдельные особи прямокрылых насекомых возобновили стрекотание. В 11 h 23 min появились первые ласточки, с 11 h 26 min начали постепенно распадаться крупные стаи чаек. Полное восстановление звукового фона насекомых произошло в 11 h 32 min (через 20 мин. после T_3), а возврат активности птиц к обычному режиму — примерно через час после полной фазы. Нормальный суточный ход температуры и освещённости наблюдался лишь по окончании частной фазы ($T_4 = 12$ h 33 min).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между физическими и биологическими показателями во время солнечного затмения 11.08.1999 г.

	i	t °C	n	K	S
i	1,00	0,87	0,93	-0,86	0,66
t °C	0,87	1,00	0,85	-0,73	0,57
n	0,93	0,85	1,00	-0,82	0,60
K	-0,86	-0,73	-0,82	1,00	-0,92
S	0,66	0,57	0,60	-0,92	1,00

ниями популяционной активности.

Статистические связи между полученными значениями факторов (i и t °C), и показателями биологической активности (n , K , S) устанавливались с помощью общепринятых методов дисперсионного и факторного анализа [18–20]. При этом однократный пролёт через поле зрения большой стаи ласточек в 10 h 46 min во внимание не принимался. Коэффициенты корреляции между указанными показателями оказались статистически достоверными при $p < 0,05$ (см. табл. 2).

Однако указанные коэффициенты корреляции между величиной звукового фона насекомых и другими показателями получились низкие. Лишь значение коэффициента между S и K указывает на явную параллельность изменения звуковой активности насекомых и числа особей в стаях чаек во время затмения, но в обратной пропорции.

При проведении однофакторного дисперсионного анализа в качестве независимых пе-

Изменения температуры воздуха во время затмения с некоторой задержкой следовали за изменениями освещённости (рис. 6) Кривые активности животных характеризуются большей крутизной и заметной асимметрией. В данном случае на непрерывные изменения внешних факторов животные реагируют относительно дискретными проявле-

ременных использовались физические (i и t °C), а зависимых — биологические (n , K , S) данные. Основным показателем силы влияния организованного фактора (η^2 по Плохинскому, 1970) определялся по вкладу в общую дисперсию данных. Его достоверность при известном уровне значимости (p) оценивалась по критерию Фишера. Сила влияния освещённости (i) составила для n — 90,6 % (при $p < 0,01$), для K — 91,6% (при $p < 0,01$), для S — 66,3 % (при $p < 0,05$). Сила влияния температуры воздуха (t °C) для n составила 84,1 % (при $p < 0,01$), а для K и S оказалась статистически недостоверной. Следовательно, показатели активности животных во время солнечного затмения зависели, в первую очередь, от изменения освещённости. В значительной степени это касается пространственного перераспределения птиц, а в меньшей мере — звуковой активности насекомых. На наблюдаемую численность ласточек заметное влияние оказывала также температура воздуха.

Для выявления воздействий неучтенных в наблюдениях факторов использован метод главных компонент [18, 20]. Главные компоненты были интерпретированы как выражения факторов, лежащих в основе вариации наблюдаемых показателей. Собственные значения и собственные векторы были вычислены на основе корреляционной матрицы. 66 % общей дисперсии охватываются первыми двумя главными компонентами, факторные нагрузки на которые, а также собственные значения (E) и доли в общей дисперсии (D) представлены в табл. 3 (где m — соответствующие показателям моменты времени).

Первый из выявленных факторов, по-видимому, отражает ощущение внезапной опасности, возникшее у животных вследствие неправильного изменения информационного поля. Факторные нагрузки по физическим показателям и звуковому фону насекомых в день затмения отрицательны и близки по величине. Эти показатели могут иметь сигнальное значение. Наибольшая факторная нагрузка, отмеченная по показателю размера стаи — положительна. Увеличение стайности у позвоночных животных, как и прекращение стрекотания у прямокрылых насекомых, является характерной реакцией на недифференцированную опасность.

Второй фактор, несомненно, связан с нарушением динамики освещённости и, по-видимому, затрагивает фотопериодические реакции. Весьма значительная факторная нагрузка по единственной переменной — нормальному суточному ходу освещённости (12 августа) здесь отрицательна.

В основе реакции животных на явления, связанные с солнечным затмением, лежат изменения условий обитания, которые в совокупности могут ими восприниматься как сигнал внезапной опасности. Наиболее показательным в этом смысле оказалось увеличение стайности чаек. Заметную роль в изменении активности животных играет также нарушение нормального фотопериода, обусловленное необычным падением освещённости во время затмения. Это обстоятельство особенно важно для групп, обладающих выраженной суточной и сезонной активностью: прямокрылых насекомых и ласточек. Наблюдаемая численность ласточек, добывающих пищу в воздухе, зависела также от изменения его температуры. Очевидно, различия в реакции наблюдаемых групп животных определялись их экологическими особенностями. Максимальные изменения показателей биоактивности отмечены вблизи полной фазы, особенно перед её началом.

Таблица 3. Факторные нагрузки по наблюдаемым переменным (см. пояснения в тексте).

Наблюдаемые переменные	Факторы	
	f_1	f_2
m	0,11	0,58
i (11.08)	-0,85 *	0,10
t °C (11.08)	-0,78 *	0,32
i (12.08)	0,13	-1,07 *
t °C (12.08)	0,12	-0,67
n	-0,30	-0,07
K	1,01 *	-0,03
S	-0,85 *	0,006
E	3,21	2,07
D	0,40	0,26

Знаком * отмечены достоверные ($f > 0,70$) значения

зательным в этом смысле оказалось увеличение стайности чаек. Заметную роль в изменении активности животных играет также нарушение нормального фотопериода, обусловленное необычным падением освещённости во время затмения. Это обстоятельство особенно важно для групп, обладающих выраженной суточной и сезонной активностью: прямокрылых насекомых и ласточек. Наблюдаемая численность ласточек, добывающих пищу в воздухе, зависела также от изменения его температуры. Очевидно, различия в реакции наблюдаемых групп животных определялись их экологическими особенностями. Максимальные изменения показателей биоактивности отмечены вблизи полной фазы, особенно перед её началом.

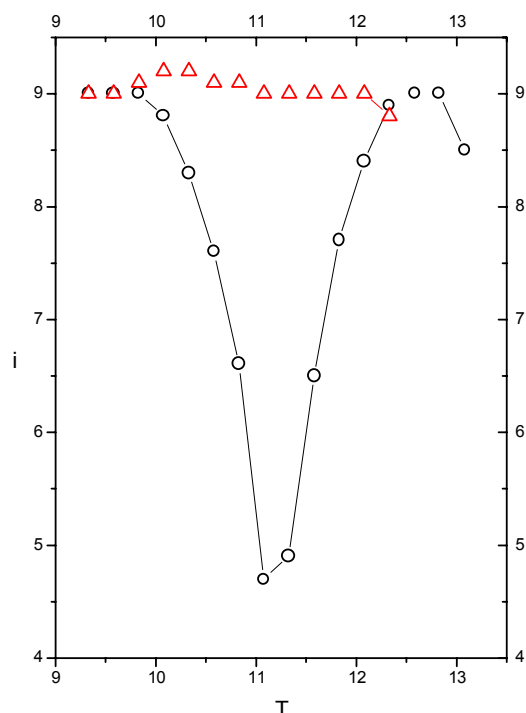


Рис. 5. Дневной ход освещенности 11 и 12 августа 1999 г.

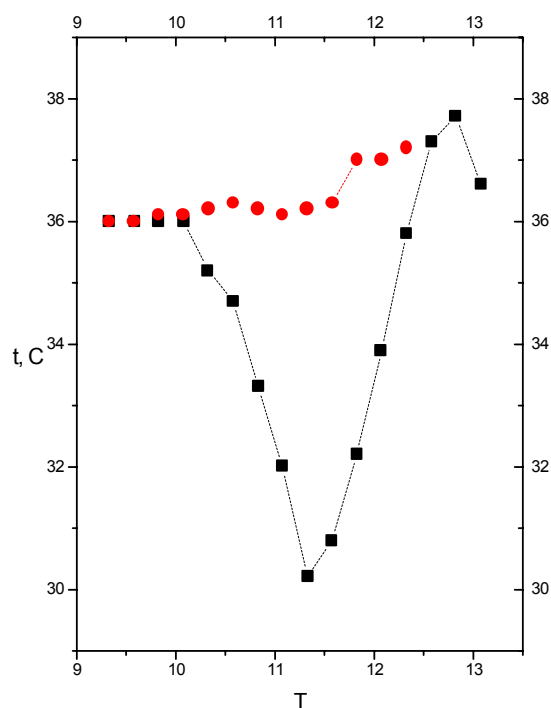


Рис. 6. Дневной ход температуры воздуха 11 и 12 августа 1999 г.

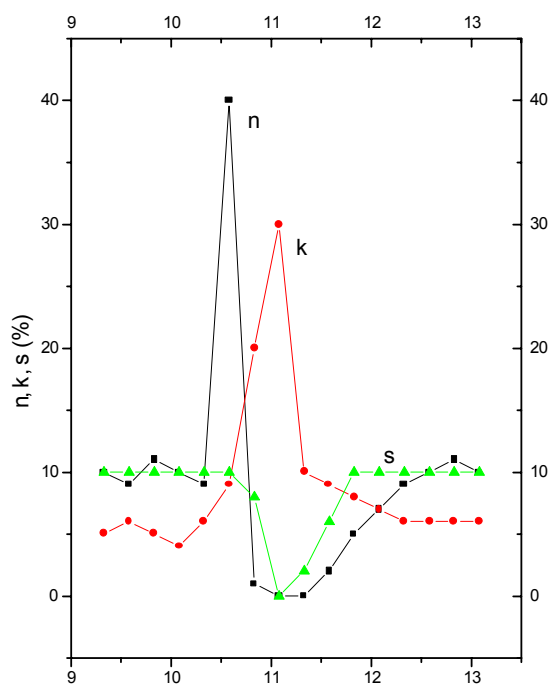


Рис. 7. Показатели активности животных во время солнечного затмения 11 авг. 1999 г.

Л и т е р а т у р а :

1. Всехсвятский С. К., Дзюбенко Н. И., Иванчук В. И., Рубо Г. А. Структура солнечной короны 22 сент. 1968 г. по наблюдениям в Юргамыше. // Солн. данные. — 1970. — №9. — С. 88–97
2. Всехсвятский С. К. и др. Структура солнечной короны 7 марта 1970 г. // Проблемы космической физики. — 1975. — Вып. 10. — С. 119–144.
3. Иванчук В. И., Бабий В. П. N/S-асимметрия солнечной активности в 22-м цикле и прогноз мощности 23-го цикла. // Труды міжн. семінару пам'яті професорів С. К. Всехсвятського та О. Ф. Богородського. „Малі тіла сонячної системи, фізика Сонця, релятивістська астрофізика” (Київ 14–17 листопада 1994 р.) та Третіх міжн. Всехсвятських читань. — Київ, АО КНУ, 1998. — С. 59–60.

4. *Иванчук В. И., Дзюбенко Н. И., Рубо Г. А.* Структура и фотометрия солнечной короны 22 июля 1990 г. и отождествление ее деталей. — Там же. — С. 104–106.
5. *Иванчук В. Г., Дзюбенко М. И., Пишало М. И.* Про зв'язок структури сонячної корони з геліосферним струмовим шаром // Вісник Київського університету. Астрономія. — 1999. — Вип.35. — С. 32–40.
6. *Иванчук В. И., Несмянович А. Г.* Протяженность корональных опалхал. // Солнечные данные, АО КГУ. — 1961. — №5. — С. 56–59.
7. *Чурюмов К., Иванчук В., Дубровський Ю.* В об'єктиві сонячна корона // Вісник НАН України. — 1999. — №9. — С. 53–56.
8. *Aguirre E. L.* The great total eclipse // Sky and Tel. — 1999. — November. — P. 118–123.
9. *l'Astronomie* **113**, Decembre, 1999, 325–381. Special Eclipse du 11 Aout 1999 -Bilan.
10. *Baudin F., Koutchmy S.* Preliminary Scientific results from the Solar total Eclipse of Aug. 11.1999 – l'Astronomie, **113**, decembre 1999. — P. 326–337.
11. *Hoeksema J. T.* The solar magnetic field 1985 trough 1990 // Centre for space and astrophysics- Report UAG –Astro 91-01. 1991. — 205 p.
12. *Hoeksema J. T., Scherrer P. H.* The solar magnetic field 1976 trough 1985//World date center A for Solar-Terrestrial Physics-Report UAG-94-Boulder, Co. 1986. — 352 p.
13. *Ivanchuk V. I., Babij V. P.* Solar activity at the 22nd cycle and forecast of some characteristics of the 23-rd cycle. Magnetic properties of the N/S asymmetry secular trend of the solar activity // Inform. Bulletin UAA. — Kyiv, 1998. — N12. — P. 30.
14. *O'Meara S. J.* Chasing eclipse Mysteries // Sky and Tel. — 1999. — November. — P. 121.
15. *Rusin V., Rybansky M.* Structure of the solar corona the solar eclipse of 1980 February 16 –Bull. Astr. Inst. Czech. **34** №5, 1983. — P. 257–264.
16. *Rusin V., Rybansky M.* The white – light and emission corona on July 31, 1981 // Bull. Astr. Inst. Czech. **35**. — 1984. — №6. — P. 347–353.
17. *Бошко Г. В., Ермоленко В. М.* Поведение некоторых животных во время солнечного затмения // Природа. — 1955. — №8. — С. 106.
18. *Ким Дж. О., Мюллер Ч. У.* Факторный анализ: Статистические методы и практические вопросы // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. — М.: Финансы и статистика, 1989. — С. 5–77.
19. *Плохинский Н. А.* Биометрия. — М.: Изд. МГУ, 1970. — 368 с.
20. Справочник по прикладной статистике. Т.2. — М.: Финансы и статистика, 1990. — 528 с.

Статья поступила в редакцию 05.02.2006 г.

¹*Churyumov K.I., ¹Ivanchuk V.G., ²Dubrovsky Yu. V., ¹Chubko L.S.*

**Peculiarities of structure of the solar corona and ecological observations
on Aug. 11, 1999**

¹Astronomical observatory of Kyiv Taras Shevchenko National University
klim.churyumov@observ.univ.kiev.ua

²Institute of pisciculture of Agriculture Science Academy of Ukraine

On the basis of the pictures received in Romania, Bulgaria and Iran the shape and detailed structure of the solar corona are studied. Except for essential N/S-asymmetry the corona Aug. 11, 1999 possesses also appreciable E/W asymmetry. Its east hemisphere more active than western one. It is defined, in particular that the ray structure on E-limb deviates more to poles in comparison with structure on W-limb which "is more pressed" to equator. In this respect its interesting feature is existence enough bright, slightly bent, a double thin ray on NE limb with the position angle $\sim 50^\circ$. It is above a condensation, near to the original center of "pushing away" stream and helmet rays and wings of E-limb. It has been assumed by us, that NE-bright bent ray is a consequence of earlier coronal mass ejection (coronal transient), led general disturbance of NE-quadrant of the corona, i.e. is original post-cursor of coronal transient, thrown out of this area of the corona. Detailed viewing of pictures of the corona, received on August, 10-11th, 1999 with coronagraph LASCO SOHO, has shown, that before the beginning of the eclipse in this area the transient was really observed. Harbingers of development of the transient in NW-limb during the eclipse are found out by us. Parameters of the transient are discussed. Reaction of animals to changes of atmospheric factors during the eclipse on August, 11th,

1999 with use of modern statistical methods is studied.

Key words: solar corona, eclipse, atmospheric factors, reaction of animals.