

КАСКАДНОЕ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ В М17.

К.Г. Джакушева, Э.Г. Мычелкин.

Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова Национального центра космических исследований и технологий, Алматы, Казахстан

Обсуждается каскадный эффект индуцированного звездообразования в М17, выявленный мировой практикой астрономических наблюдений туманности, начиная с пионерских измерений в пекулярной активной области темного залива, выполненных в АФИФ. Результаты наземных спектральных наблюдений и ИК данные, полученные при наблюдении М17 на орбитальных телескопах, анализируются в контексте рассмотренного нами ранее универсального механизма высвечивания диффузного рентгеновского излучения и жесткого УФ [1].

Введение.

Волокнистая структура по краям туманности М17 («Омега»), напоминающая фрагменты громадной расширяющейся оболочки, а также обнаруженная ранее высокая степень поляризации ее излучения (до 50%) [2] приводили даже к предположению, что источниками свечения туманности могли быть нестационарные, взрывные процессы, например, типа взрыва сверхновой. После длительных и детальных фотометрических и поляриметрических исследований М17 и звезд в ее окрестности [3,4] нами было принято альтернативное решение: свечение туманности Омега возбуждается группой звезд, большинство которых расположено в области темного залива. К сожалению, фотографический метод не позволил к тому моменту указать с полной определенностью звезды, возбуждающие свечение туманности.

Спустя годы, особенно с развитием новых технологий (ЭОПов и приемников инфракрасного излучения) мы по настоящему поняли глубоко провиденциальный смысл данного открытия.

Оказалось, что в направлении на северо-восток от области темного залива идет настоящая цепная реакция звездообразования, с предполагаемыми сопутствующими процессами генерации диффузного рентгеновского и ультрафиолетового излучения.

Источники, генерирующие свечение туманности М17.

Среди множества возможных источников генерации излучения наиболее адекватным для объяснения свечения М17 является скопление молодых звезд, формирующихся в области темного залива.

Речь идет об области, представляющей главный интерес (на рис.1 Область D).

Она не выделяется в оптическом диапазоне, но является центром (как показали современные исследования в обширном диапазоне частот) интенсивного ИК и радиоизлучения, если не считать, что она содержит источники OH и H₂O.

Светимость видимой области НП в лучах H_α [3] равна $L_1 = 39 \cdot 10^{35}$ эрг/сек, $L_2 = 109 \cdot 10^{35}$ эрг/сек при оценке расстояния до туманности в 1200пс и 2000пс, соответственно. В эти данные необходимо, конечно, внести поправку за межзвездное поглощение. Число звезд, подходящих по своим характеристикам для возбуждения области такой светимости, очевидно, должно превышать десятки звезд раннего спектрального класса.

Как показали дальнейшие исследования, в районе комплекса М17 имеет место тесная ассоциация ОВ звезд, экранированная облаком поглощающей материи.*

*На основании аномального поведения электронной плотности, степени ионизации компактных областей НП, а также фотоэлектрических измерений излучения звезд, ассоциирующихся с зоной интенсивного звездообразования [5], нами определены потенциальные источники, генерирующие све-

чение компактных областей НШ (см. таблицу 1). Из спектральных наблюдений получено, что ионизирующий уровень в компактных об-

ластях НШ в М17 резко увеличивается при переходе в область темного залива (на рисунке 1 – область D).

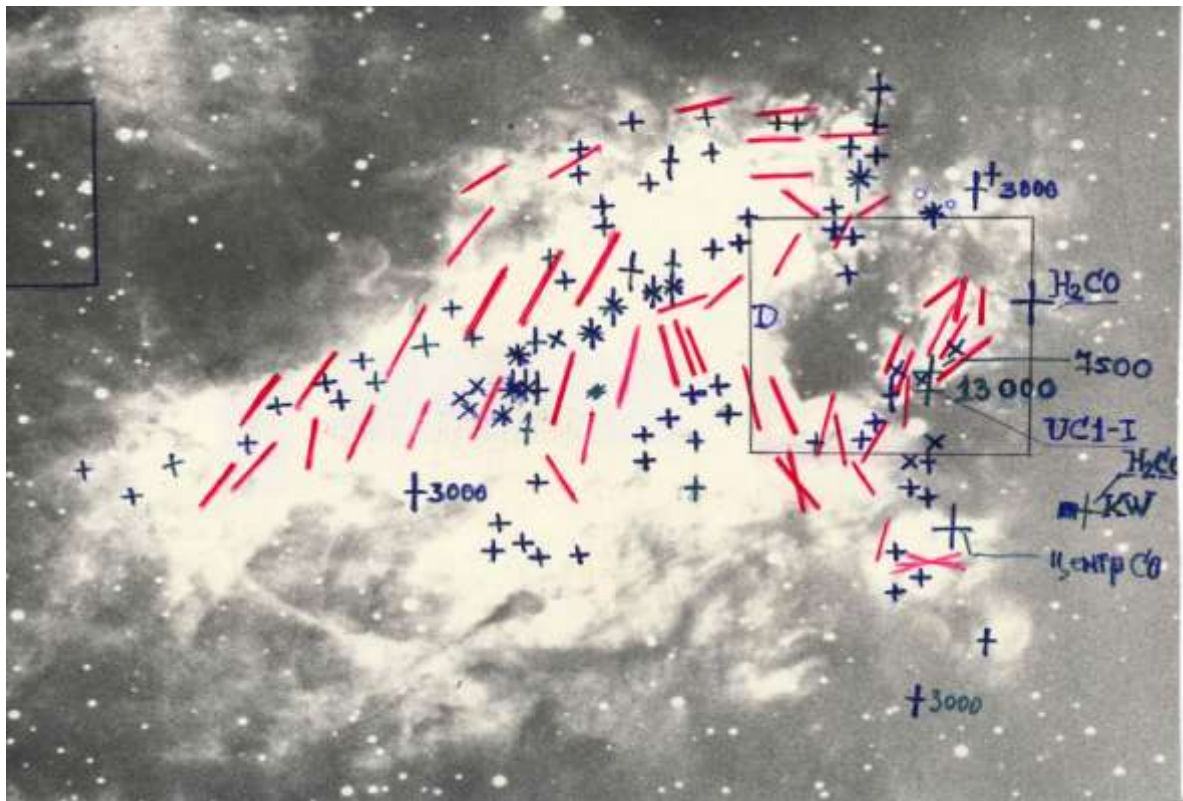


Рис. 1. Центральная часть туманности Омега. (М 17). Место рождения звезды типа В0-В0.5 в коконе в зоне НШ с плотностью $n_e = 13000 \text{ см}^{-3}$ обозначено UC1-I. Остальные обозначения см. в [5].

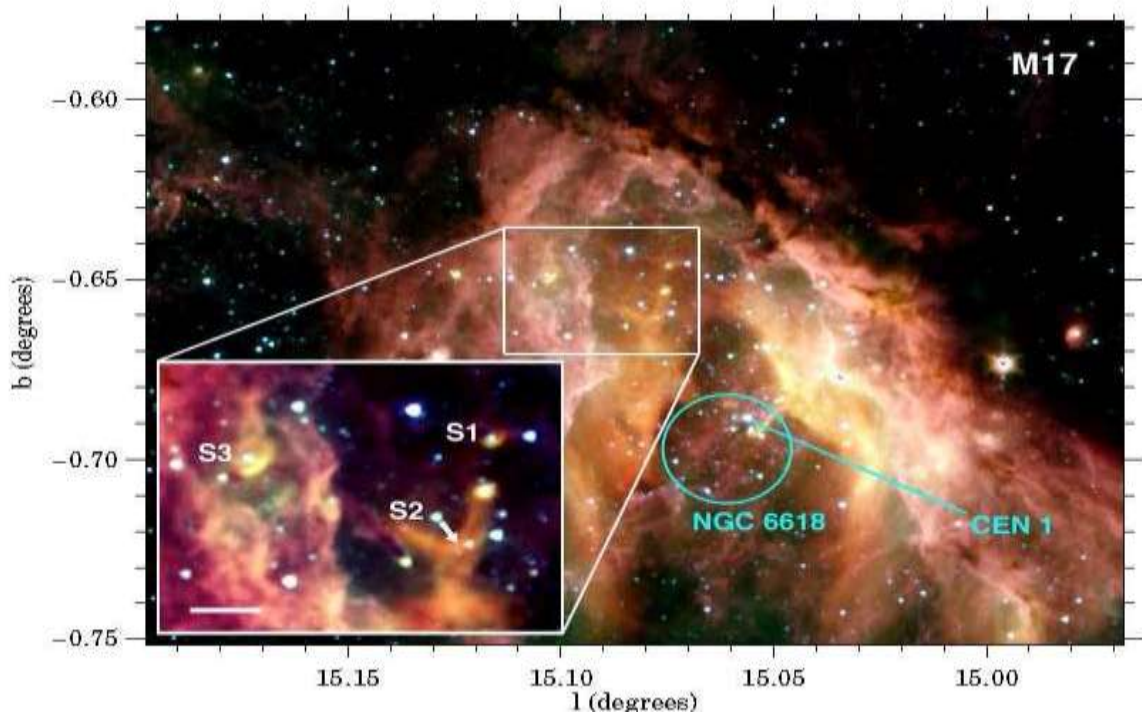


Рис.2. Область темного залива М17.

M17 содержит несколько компактных областей НП, ассоциирующихся с оптически яркими областями M17, две из них совпадают с положениями мощных радиоисточников M17E и M17N. В области залива, судя по спектральным наблюдениям, мы наблюдаем наиболее высокие в M17 значения электронной плотности и степени ионизации. В апексе веерообразных волокон n_e (SII) = 13000 cm^{-3} , а степень ионизации $K=1,62$. С этой областью ассоциируется пекулярный источник инфракрасного излучения M17 (UC1-I), в которую внедрена недавно сформировавшаяся звезда типа B0-B0.5. Объект во многом подобен Orion KL (который, как полагают, является возникающей системой типа Трапеции в M42), т.е. мы действительно имеем дело с центром недавнего звездообразования. В области залива присутствуют скрытые поглощающими облаками компактные области НП высокой электронной плотности, но малых линейных размеров. Спектральные наблюдения позволили уточнить контуры каждой из них. Каждая из этих областей имеет размеры около 0.3-0.6 парсек, а $n_e(\text{SII}) \gg 10^3 \text{ cm}^{-3}$. Они отдалены друг от друга на расстояние более парсека, т.е. являются молодыми компактными объектами. Приняв во внимание их позиционную неопределенность в пределах пяти дуговых секунд, прямые сравнения полученной схемы с картой звездного населения в направлении M17 позволили обнаружить ассоциацию предполагаемых центров компактных НП областей со звездами ИК скопления. Наглядно это продемонстрировано на рисунке 2.

С областью (в верхнем левом углу квадрата D на рис.1), где по спектральным наблюдениям $n_e \approx 10^4 \text{ cm}^{-3}$, ассоциируются молодые звезды: M17-S1 (звезда спектрального типа O9-B2) или CEN16; M17-S2 (звезда спектрального типа O7-O8) или CEN18; M17-S3 – звезда спектрального типа O7 V. Об активности этих звезд свидетельствует

присутствие в их окрестности дугообразных структур., (особенно отчетливо они видны на увеличенном изображении фрагмента по данным GLIMPSE), напоминающих по форме действие ударных волн.

В работе [6] было показано, что направление ударных фронтов в областях звездообразования (например, в туманностях аналогичных M42, M17, Розетка и других – см. рис. 2, 3) определяется скорее потоком межзвездной среды, а не пространственным движением звезды.. Ударные волны в форме дуг, возникающие под действием звездных ветров в окрестности YSOs служат как бы «флюгером», указывающим скорость и направление потоков большого масштаба внутри и вокруг гигантских НП областей. Центральным кольцом на данном рисунке отмечено положение скопления O-звезд в M17.

В результате было доказано, что открытая нами специфическая группа звезд [3], представляющая, как говорится, физически обусловленную (или просто - физическую) последовательность, входит в состав ИК-скопления. Это то самое скопление звезд, которое в процессе своей эволюции вызывает интенсивную ионизацию внутренних частей связанного с ними молекулярного облака и образует компактные области НП в туманности M17.

В таблице 1 приводятся данные для YSOs, ассоциирующихся с областью темного залива M17, с учетом результатов, полученных из наблюдений на орбитальных телескопах (IRAS, GLIMPSE – The Spitzer Galactic Legacy Infrared Mid-Plane Survey) [6]): названия звезд – CEN[7], OI [8]; l, b – галактические координаты; спектральный тип звезды по данным разных каталогов; спектральный тип звезды, определенный по РЭС (распределению энергии по спектру) звезды обозначен как SED (spectral energy distribution) [6]–для расстояний до туманности $d = 1,6$ и

2,1 кпс и значений поглощения A_V в направлении объектов в звездных величинах

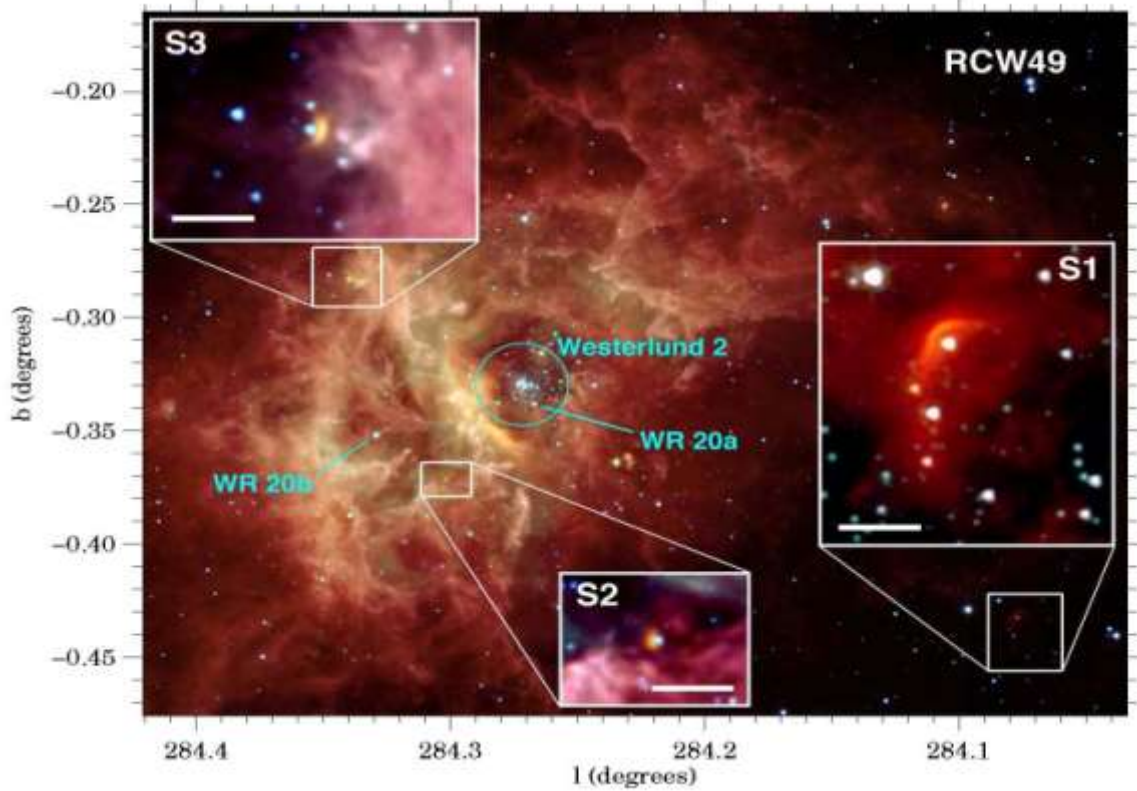


Рис.3. Туманность Розетка NGC 2237-9 в созвездии Единорога. В выделенных фрагментах в ИК области спектра видны ударные фронты в форме дуг, возникшие под действием звездных ветров.

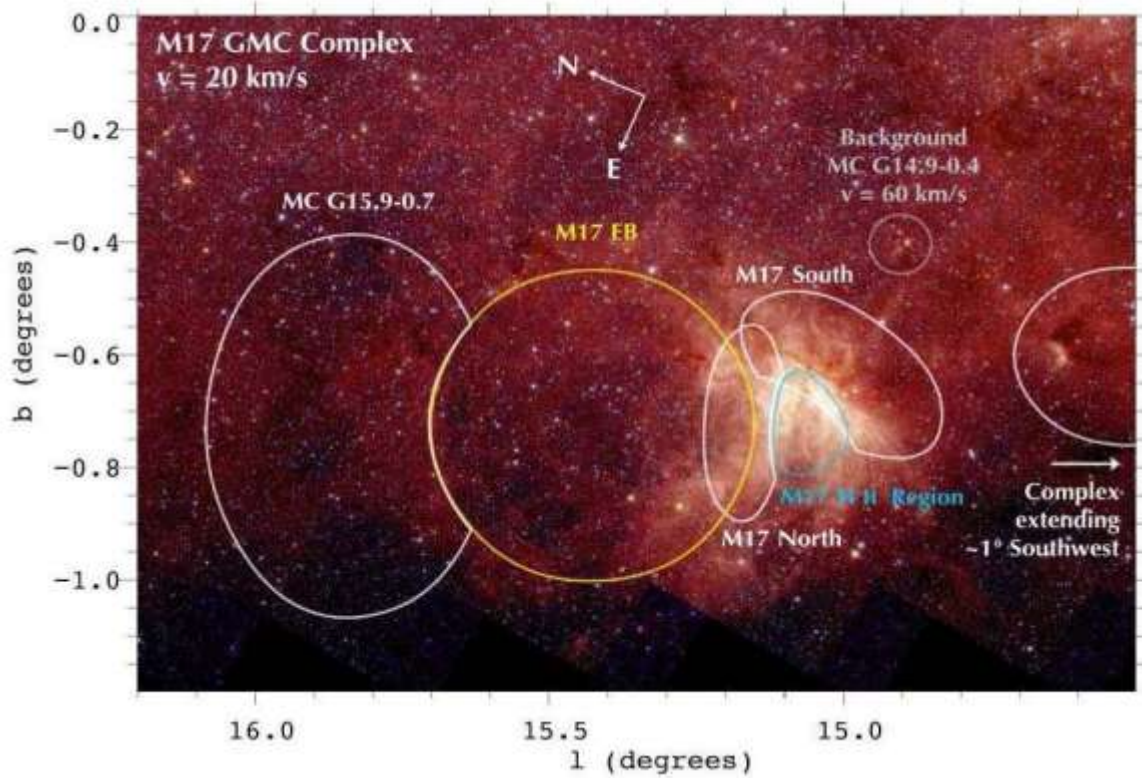


Рис.4. Три волны звездообразования в комплексе M17.

Таблица 1. Возбуждающие звезды туманности M17.

Index No. ^a	Name ^b	l (deg)	b (deg)	Cataloged Sp. type ^c	Spectral Type from SED		A _V (mag)
					d = 1.6 kpc	d = 2.1 kpc	
O Stars in NGC 6618							
1,2 ^d	CEN 1a,b	15.0562	-0.6884	O4+O4 V	...	...	...
3	CEN 43	15.0533	-0.7045	O3-O5 V	O4-O5 V	O5+O5 V	12.3
4	CEN 2	15.0731	-0.7004	O5 V	O5.5 V	O5.5+O7 V	5.2
5	CEN 37	15.0559	-0.6883	O3-O6 V	...	...	...
6	OI 345	15.0110	-0.7020	O6 V	...	...	...
7	CEN 18	15.0812	-0.6569	O6-O8 V	O6 V	O6+O7.5 V	7.6
8	M17-S3	15.1032	-0.6487	...	O7 V	O5 V	11.2
9	CEN 25	15.0673	-0.6879	O7-O8 V	O9 V	O6.5 V	8.0
10	OI 352	14.9945	-0.7486	O8 V	O5.5+O5.5 V	multiple ^e	~7
11	OI 174	15.1325	-0.5257	O9 V	O6 V	O4 V or O6+O7 V	7.0
12	CEN 3	15.0658	-0.7084	O9 V	O7 V	O5 V or O7+O7 V	3.7
13	CEN 16	15.0748	-0.6460	O9-B2 V	O9.5-B0.5 V	O8 V or B0+B0 V	5.9
14	CEN 61	15.0594	-0.6884	O9-B2 V	O9 V	O6.5 V or O9.5+O9.5 V	9.9
15	CEN 27	15.0433	-0.6950	O9 V	B1 V	O9 V	~9.5
16	CEN 31	15.0759	-0.6534	O9.5 V	...	...	...
Candidate OB Stars in NGC 6618PG							
17	BD-16 4831	15.3213	-0.7758	O+	O5.5 V or O9 III	O4 V or O7 III	4.4
18 ^f	BD-16 4826	15.2604	-0.7263	O5	O5.5 V or O9 III	O5 V or O6.5 III	3.9
19	BD-16 4822	15.2244	-0.6796	B...	O8.5 V	O6.5 V	2.9
20	TYC 6265-1174-1	15.1882	-0.7598	B0	B1 V	O9 V	3
21	HD 168585	15.2855	-0.7498	B7-B8 II	B1 V	O9 V	1.6
Candidate OB Stars Associated with 24 μm Emission in M17 EB							
22 ^g	ISOGAL YSO	15.3320	-0.7174	...	late B V	B1.5 V	2.1
23 ^h	TYC 6265-347-1	15.3583	-0.6543	O...	B2 V	B1 V	2.6
24	BD-15 4928	15.4801	-0.3889	B	B0.5 V	O8 V	2.8
25		15.5702	-0.4895	...	B1 V	B0.5 V	~4.8
26	TYC 6265-2079-1	15.5900	-0.8268	O...	B4 V	B2 V	1.7

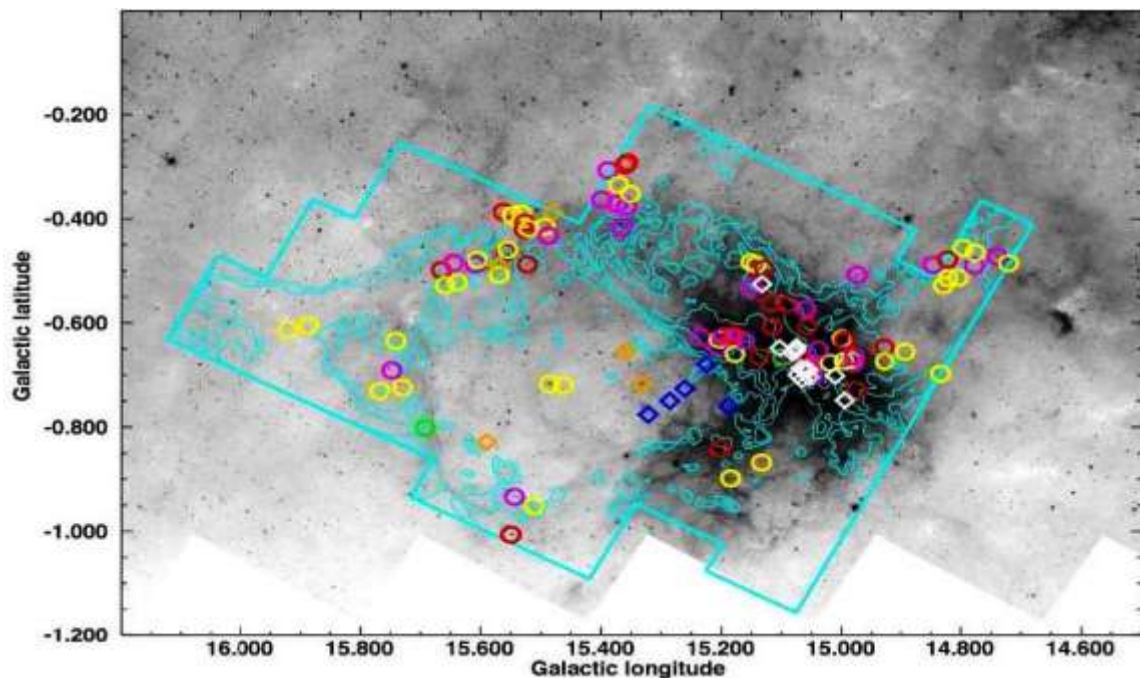


Рис. 5. Распределение YSOs в комплексе M17.

2,1 кпс и значений поглощения A_V в направлении объектов в звездных величинах.

При этом для ОI 352 – при расстоянии 2,1 кпс подходящее РЭС отвечает объекту радиуса большего, чем для супергиганта. Вероятно, мы имеем дело с неразрешенной мультисистемой О; f – BD-16^o4826 – точечный источник; g – источник показывает ИК избыток в области 5,8 μm и не является точечным источником в области 8,0 μm ; h – этот источник показывает ИК избыток в области 8 μm .

Область интенсивного эффекта диффузного ультрафиолета.

На востоке M17 (рис.1) в обширной области с волокнистой структурой в виде протяженных дуг на фоне нитевидных волокон отношение интенсивностей линий $H_\alpha / 6584 < 2$ (в этом районе везде), а отношение интенсивностей $H_\alpha / 5007 > 3$. Это противоречит гипотезе о воздействии на свечение сферических волокон ударной волны расширяющейся оболочки сверхновой. Для остатка сверхновой следовало бы ожидать отношение интенсивностей, соответственно, меньше 1 и 0,3. Электронная плотность наиболее ярких волокон $< 100 \text{ см}^{-3}$, т.е. тонкие детали в виде вытянутых дуг, волокон на краю туманности не являются фрагментами гигантской расширяющейся оболочки сверхновой. Более вероятно, что они возникли под действием мощных звездных ветров высокой скорости от источников M17N и M17E. При этом не исключено влияние на их излучение плазменных потоков, аналогичных типа “SW Cavity” в M42 [1].

Структурные особенности в туманности M 17 являются результатом струйной и ветровой активной инфракрасного скопления YSOs. В основном это объекты типа Т Тельца и звезды типа Ae/Be Хербига, т.е. вспыхивающие переменные звезды, где ударные волны сразу переносят энергию из более глубоких слоев объекта наружу (при

переходе от более плотной к менее плотной среде скорости ударных волн увеличиваются).

Потоки ионизованного газа (звездного ветра) от формирующихся молодых звезд и ОВ скопления в темном заливе M17 настолько мощные, что даже в периферийных областях зоны НП должны создаваться ударные фронты (горячая область) с высокой плотностью и температурой.

Наблюдаемая структурная особенность в виде «гребня» (непрерывная цепочка областей с высокой плотностью вдоль восточной границы яркой области НП (см. рис.1), по-видимому, и олицетворяет собой границу такого ударного фронта. Ожидается, что возбуждение этой горячей зоны должно (аналогично с M42 [1]) приводить к жесткому УФ излучению в результате ионизации газа, заполняющего полость за «гребнем».

Данные распределения поглощения и поляризации в M17 подтверждают выводы относительно расположения области интенсивного или повышенного эффекта диффузного ультрафиолетового излучения, сделанные из анализа спектральных данных. *Уточненные координаты центра данной области*[5]: $\alpha_{1950.0} = 18^h 18.^m 2$; $\delta_{1950.0} = -16^\circ 10'$. Локальная полость диаметром 90 дуг. сек (0.96 пс при расстоянии до туманности 2 кпс) в **северо-восточной** части M17 окаймлена волокнистыми образованиями – светлыми и темными ободками и дугами. Поглощение здесь мало: $A_V \square 1^m.4 - 1^m.9$, но за пределами данной зоны резко увеличивается до $A_V \square 4^m.2 - 4^m.8$, что может указывать на эффект выметания вещества плазмой из указанной зоны. Фотовизуальное поглощение в направлении зоны НП меняется в пределах $A_V \square 3^m.9 - 5^m.8$, и в направлении на область звездообразования (область темного залива) резко увеличивается до $A_V \square 6^m.8 - 10^m 21$. Оценки электронной плотности также свидетельствует о неоднородном распределении газа в периферийных

областях, где электронная плотность в ряде случаев существенно превышает 10^3 см^{-3} .

Космические исследования комплекса М17.

Детальное сопоставление результатов ранее полученных в АФИФ группой Д.А. Рожковского (начиная с открытия зарождающегося кокона в темном заливе М17 [3,9]) с последующим нарастающим потоком зарубежных исследований М17 в инфракрасном, радио и рентгеновском диапазонах спектра [6] позволяет сделать далеко идущие выводы.

По результатам обзора данных наблюдений в инфракрасном, радио и рентгеновском диапазоне спектра в комбинации с данными в мм-диапазоне [6] процесс звездообразования в комплексе Омега уже распространяется примерно на $0^{\circ}.5$ к **северо-востоку** от границ зоны НП туманности М17.

На картах ^{12}CO , ^{13}CO эмиссии (рис.3) обнаружена область площадью $0^{\circ}.72$, которая содержит $1,35 \times 10^5 M_{\odot}$ газа, расширяющегося с $v \approx 12 - 26 \text{ km} \cdot \text{c}^{-1}$. Из анализа результатов инфракрасного обзора изображений IRAS и GLIMPSE (Galactic Legacy Infrared Mid-Plane Survey Extraordinaire) было обнаружено, что М17 лежит на краю М17ЕВ - гигантской оболочки диаметром примерно 20 пс (при расстоянии до комплекса порядка 2,1 кпс), окружающей слабую диффузную НП область несколькими Муг старше. В области М17 ЕВ обнаружено 406 кандидатов YSOs (Young Stellar Object). Примерно 85% из них являются молодыми объектами со значительными ИК избытками преимущественно возраста $0,5 \text{ Myr}$, которые концентрируются в основном по краю оболочки (рис. 4) и вполне вероятно, являются причиной расширения данной области.

Из числа кандидатов YSOs 96 ассоциируются с комплексом М17. На рисунке 4 приводится изображение М17, полученное в области $8 \mu\text{m}$ на ИК камере GLIMPSE. На

снимке применены следующие обозначения. Кандидаты в YSOs отмечены кружками в соответствии с предполагаемыми их эволюционными стадиями:

красный – стадия 0/1: звезда скрыта в оболочке;

желтый – стадия II: звезда с оптически толстым околозвездным диском;

зеленый – стадия III: звезда с оптически тонким околозвездным диском;

малиновый - для этих объектов стадия неопределенная; синими квадратами обозначены самые массивные ОБ звезды.

Предварительная интерпретация авторами работы [6] распределения энергии по спектру членов массивного молодого скопления показали, что их средний возраст $\leq 0.075 \text{ Myr}$, т.е. возраст околозвездных дисков порядка 0.5 Муг для источников $M \geq 3 M_{\odot}$ (соответственно звезде спектрального класса В на Главной последовательности). Своеобразный «парад» событий в эволюционной картине комплекса М17 позволяет нам отметить в процессах звездообразования данного комплекса три основные волны:

- формирование молодого скопления NGC 6618 PG (2000-3000 звезд) в течение 2-5 Муг и как следствие – расширение НП области М17 ЕВ на рис. 4.

- довольно стремительный коллапс молекулярного облака М17 (точная масса $\geq 6 \times 10^4 M_{\odot}$), к концу периода в 2 Муг, приведший к образованию массивного молодого скопления NGC 6618, ассоциирующегося с массивной областью звездообразования, которое продолжается в настоящее время (11 000-14 000 звезд);

- начало процессов звездообразования в молекулярном облаке MC G 15.9-0.7 (более 1000 YSOs).

В итоге возник **«танталовый вопрос»**: “...The possibility that the latter waves of star formation were triggered by the first raises a tantalizing question: Can a massive

progenitor cluster trigger the formation of an even more massive daughter cluster?"[6].

Ответ на этот «мучительный» вопрос представляется достаточно очевидным. Оказывается, что образование первоначально массивного скопления (непосредственно в М17) действительно смогло вызвать формирование еще более массивного дочернего скопления.

Имеются основания утверждать, что этот процесс имеет выраженную тенденцию пролонгироваться дальше и, тем самым фактически представляет собой уникальный **каскадный эффект индуцированного звездообразования**, который в масштабах Мурз приводит к **анизотропной цепной реакции звездообразования**.

Возможность возникновения такого явления логично вытекает из анализа многочисленных комплексных наблюдений в туманностях М 42, М 17. Вполне вероятно, что указанные сверхмощные потоки ионизованного газа (звездного ветра) от формирующихся молодых звезд и ОВ скопления в темном заливе М17 способны вызывать такие

ударные фронты (горячие области) с высокой плотностью и температурой, которые будут пробиваться не только к периферийным областям зоны НП, но и далеко за ее пределы..

Тогда этот процесс способен перемежающимися волнами распространяться через соседние области, и в свою очередь приводить к зарождению еще более массивного дочернего скопления, что и наблюдается в комплексе М17.

При этом возникновение новых зон повышенного диффузного ультрафиолетового и рентгеновского излучения в туманности М42 [1] и аналогично в М17 является индикатором, указывающим на инициацию и (или) интенсификацию процессов формирования звезд.

Можно утверждать, что наблюдаемая пространственная анизотропия каскадных процессов звездообразования в значительной степени обуславливается анизотропией плазменных потоков и ударных волн, исходящих от уже сформировавшихся активных молодых объектов и их скоплений.

Литература. [1]. Джакушева К.Г. Мычелкин Э.Г. Универсальность механизма свечения периферии туманности М42. / В кн. «Ультрафиолетовая вселенная. II». Eds. Шустов Б.М., Сачкова М.Е., Кильпио У.Ю. 2008. Москва. Янус-К. С.294- [2]. Домбровский В.А. /Астрон. Ж. АН СССР. 1958.Т.35. С. 80-83. [3]. Рожковский Д.А., Глушков К.Г., Джакушева К.Г. / Известия АФИ АН КазССР. 1962. Т.14.С. 19-33. [4]. Рожковский Д.А., Джакушева К.Г. / Известия АФИ АН КазССР.1962. Т. 14. С. 34-42.[5]. Джакушева К.Г., Мычелкин Э.Г., Симакова Т.Б. О пекулярной области звездообразования и диффузном ультрафиолете в туманности Омега (М17). / В журнале « ПЭОС». Каз ГУ им. Аль-Фараби РК. Алматы. 2009. Выпуск 11. Т.1. С. 28-38. [6]. Povich M.S. Churchwell Ed. et al. The extended environment of M 17:A star formation history. // ArXiv : Astro-ph / 0902.3280. [7]. Chini R., Elsasser H., Necrel Th./ A&A 1980. V. 91. P. 186. [8]. Ogira K., Ishida K. UVB photometry of the stars in the fields of nebula M17 / PASJ. 1976.28. No. 1. [9]. Глушков Ю.И., Джакушева К.Г., Карягина З.В. Электронная плотность и ионизация в области темного залива М17. / АЦ. 1982. № 1228. С.3-5.

Принято в печать 14.11.09

УДК 550.36+577.31

КАСКАДНОЕ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ В М17.

К.Г. Джакушева, Э.Г. Мычелкин.

Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова (АФИФ) Национального центра космических исследований и технологий, Алматы 050020, Казахстан

E-mail: mych@topmail.kz and mych@aphi.kz

THE STAR FORMATION CASCADE IN M17 COMPLEX.

Dzhakusheva K.G., Mychelkin E.G.

*Fesenkov Astrophysical Institute (API) of National Center of Space Researches and Technologies,
Almaty, RK*

We consider the cascade process of star formation in M17 revealed by the world astronomical practice beginning with a pioneer investigation in API of some peculiar active domain of that nebula. The different spectral and IR data including those obtained by space-craft telescopes are discussed in relation with a shock-wave mechanism of production of diffuse X-Rays and (hard) UV [1].

М17 ТУМАНДЫКТЫН ЖУЛДЫЗДАРЫНЫН ПАЙДА БОЛУЫНЫН КАСКАДЫ КАСИЕТТЕРІ
ТУРАЛЫ МЭЛІМЕТТЕР

Жакушева К.Г., Мычелкин Э.Г.

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты. УФЗТО

М17 тумандык шетінін активиті аймагынан жумсак X-сәуле және каткыл ультракулгін эмиссиялык сәулелер шыгады; олар ФАФИ алынган спектрлік және поляриметриялык бакылау мәліметтеріне эсер естейді.