

УДК [524.3-126:524.7]:[520.82+520.84]

## ПОИСК И ИССЛЕДОВАНИЕ ЯРЧАЙШИХ ЗВЕЗД В ГАЛАКТИКЕ IC 342

© 2024 О. Н. Шолухова<sup>1\*</sup>, Н. А. Тихонов<sup>1</sup>, Ю. Н. Соловьева<sup>1</sup>,  
А. Н. Саркисян<sup>1</sup>, А. С. Винокуров<sup>1</sup>, А. Т. Валчева<sup>2</sup>,  
П. Л. Недялков<sup>2</sup>, Д. В. Бизяев<sup>3,4</sup>, Б. Ф. Уильямс<sup>5</sup>, В. Д. Иванов<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

<sup>2</sup>Софийский университет Св. Климента Охридского, София, 1164 Болгария

<sup>3</sup>Обсерватория Апачи Поинт и государственный университет Нью Мехико, Санспот, 88349-0059 США

<sup>4</sup>Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

<sup>5</sup>Университет Вашингтона, Сиэтл, 98195 США

<sup>6</sup>Южная Европейская Обсерватория, Гархинг, 85748 Германия

Поступила в редакцию 7 марта 2024; после доработки 20 марта 2024; принята к публикации 21 марта 2024

На основе архивных снимков космического телескопа им. Хаббла и снимков 2-м телескопа обсерватории Рожен (Болгария) проведен отбор кандидатов в массивные звезды галактики IC 342. По программе поиска ярких массивных звезд в галактиках вне Местной группы были проведены спектральные наблюдения 24 из 27 отобранных звезд на 6-м телескопе БТА САО РАН и 3.5-м телескопе Апачи-Поинт (США). Анализ данных показал, что 12 объектов имеют спектры без ярких особенностей, за исключением эмиссионных линий окружающих туманностей, и представляют собой одиночные сверхгиганты классов от O9 до F5 или пространственно неразрешенные молодые компактные скопления; один источник с абсорбционным спектром, вероятно, принадлежит нашей Галактике. Спектры семи объектов показали особенности, характерные для звезд Вольфа–Райе или для компактных скоплений, содержащих звезды Вольфа–Райе. Один источник является компактным остатком сверхновой. Два объекта были предварительно классифицированы как кандидаты в LBV в холодном состоянии, один объект — кандидат в B[e]-сверхгиганты.

Ключевые слова: *звезды: массивные — звезды: LBV — галактики: отдельные: IC 342*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Одна из главных задач современной астрофизики состоит в изучении эволюции наиболее массивных звезд. На протяжении всей жизни эти звезды обладают очень высокими светимостями, населяя верхнюю часть диаграммы Герцшпрунга–Рассела. Время жизни таких звезд ограничено 3–5 млн лет, а конечной стадией эволюции может быть вспышка сверхновой и образование черной дыры или нейтронной звезды. Несмотря на активные исследования в этом направлении, до сих пор остаются нерешенными многие вопросы.

Один из таких вопросов связан с верхним пределом массы рождающихся звезд. Предполагается, что объекты, относящиеся к так называемым очень массивным звездам (very massive star, VMS) с

массами несколько сотен масс Солнца, могут формироваться в ядрах массивных звездных скоплений путем динамического слияния нескольких звезд меньших масс (Portegies Zwart et al., 1999). При этом значительная доля массивных звезд в составе двойных систем могут быть выброшены за пределы скопления в результате 3–4-кратных столкновений (взаимодействий) звезд (Oh and Kroupa, 2016), поэтому часто их можно наблюдать вблизи родительских ассоциаций (Kostenkov et al., 2017; Figer et al., 2020). Имеются также и свидетельства формирования массивных звезд вне звездных ассоциаций. Например, Oskinova et al. (2013) не нашли родственных связей звезды нашей Галактики WR 102ка с современной массой примерно  $100 M_{\odot}$  (первоначальная масса около  $150 M_{\odot}$ ) с окружающими ее звездными скоплениями.

После начала термоядерных реакций огромное влияние на эволюцию массивных звезд оказывает

\*E-mail: o1ga@sao.ru

потеря массы в виде звездного ветра, темп которой может возрастать на порядки величины после ухода с главной последовательности. Наличие мощных ветров упрощает поиск таких звезд, поскольку в их спектрах начинают доминировать эмиссионные линии. Под наши критерии поиска массивных звезд как ярчайших звезд с  $H\alpha$ -эмиссией, находящихся внутри или рядом с молодыми скоплениями или областями звездообразования, попадает большое количество различных типов звезд верхней части диаграммы Герцшпрунга–Рассела: яркие голубые переменные (LBV), B[e]-сверхгиганты, Fe II-звезды (Humphreys et al., 2017), желтые гипергиганты (Klochova, 2019), импосторы сверхновых (Pastorello and Fraser, 2019), а также некоторые яркие WR-звезды или компактные WR-скопления, размер которых может составлять всего несколько парсек (Kurtev et al., 2007), что на далеких расстояниях неотличимо от одиночных звезд даже на снимках космического телескопа им. Хаббла (HST).

Некоторые подклассы звезд высокой светимости крайне малочисленны. Richardson and Mehner (2018) представили список LBV-звезд, который насчитывает 41 объект в нашей и близких галактиках. По подсчетам Kraus (2019), девять звезд в нашей Галактике и 24 объекта в других галактиках относятся к типу B[e]-сверхгигантов. Обнаружение таких объектов в галактиках Местной группы позволит увеличить статистику и проанализировать их особенности в зависимости от разной металличности.

Наиболее точные измерения параметров звезд можно получить у наиболее близких и ярких из них, находящихся в нашей Галактике. Однако молодые звезды Галактики рождаются в галактическом тонком диске, где также находятся основные массы газа и пыли. В результате такого соседства у некоторых изучаемых звезд наблюдается настолько большое поглощение света, что они видны только в ИК-диапазоне. Например, видимая величина звезды LBV 1806-20 ( $M = 130\text{--}200 M_{\odot}$ , Eikenberry et al., 2004) оценивается  $V = 35^m$ , что делает эту звезду недоступной в оптическом диапазоне для любого телескопа. Поэтому для решения проблемы с поглощением света и увеличения ширины поиска следует выйти за пределы Галактики и вести поиски звезд высокой светимости в соседних, не слишком далеких галактиках (Sholukhova et al., 2018; Solovyeva et al., 2019; 2021; 2023). Снимки HST позволяют проводить поиск таких звезд в галактиках на расстояниях до 20 Мпк.

Появление массивных звезд в карликовых галактиках достаточно редкое явление (Tikhonov et al., 2021b), несмотря на большую вероятность формирования таких звезд при низких металличностях, характерных для маломассивных галактик

(Nosokawa and Omukai, 2009). Поскольку рождение массивной звезды происходит чаще всего в молодых звездных скоплениях, их поиск следует проводить в карликовых галактиках с активными процессами звездообразования. В гигантских спиральных галактиках процессы звездообразования идут непрерывно, поэтому и вероятность найти массивную звезду в таких галактиках существенно больше, чем в карликовых. Особенно интересны спиральные галактики, наблюдаемые плашмя, поскольку наблюдениям доступна вся галактика, а видимые там звезды имеют минимальное поглощение света газо-пылевыми облаками диска. Одна из таких галактик — близкая галактика IC 342, расположенная на расстоянии 3.9 Мпк (Tikhonov and Galazutdinova, 2010; 2018). В направлении на IC 342 поглощение света достаточно большое ( $A_V = 1^m6$ , Tikhonov and Galazutdinova, 2018), но малое расстояние до галактики позволяет подробно изучить строение тесных звездных скоплений для выявления в них звезд высокой светимости.

Текст статьи организован следующим образом: в разделе 2 изложены методика отбора кандидатов и особенности фотометрии для снимков HST, приводятся карты отождествления для отобранных объектов; в разделе 3 описаны использованные в работе спектроскопические наблюдательные данные, представлен журнал наблюдений и описываются этапы обработки; в разделе 4 приводятся примеры спектров полученных объектов и анализируются все изученные звезды; в разделе 5 кратко сформулированы основные результаты работы.

## 2. ЗВЕЗДНАЯ ФОТОМЕТРИЯ И ПОИСК КАНДИДАТОВ В МАССИВНЫЕ ЗВЕЗДЫ

Для поиска кандидатов в ярчайшие звезды в галактике IC 342 мы использовали архивные снимки HST, полученные по заявкам ID 10768 и ID 16002, а также снимки 2-м телескопа обсерватории Рожен (Болгария). Наблюдения IC 342 проводились с помощью фокального редуктора FoReRo2<sup>1</sup> на 2-м телескопе НАО Рожен (Болгария) в течение двух ночей в фильтрах  $B$  и  $H\alpha$  10 октября 2019 г. и в фильтрах  $B$  и  $R$  22 ноября 2020 г. в рамках задачи поиска ярких голубых переменных в галактиках за пределами Местной группы. Были сняты четыре поля IC 342, каждое размером  $10' \times 10'$  с небольшим перекрытием. Финальные изображения в фильтрах  $B$ ,  $R$  и  $H\alpha$  были получены после первичной обработки и сложения девяти ( $H\alpha$ ) или пяти ( $B$  и  $R$ ) отдельных экспозиций по 300 с. Качество изображения в первую ночь наблюдений составляло около  $1''.8$ , а во вторую — примерно  $3''$ .

<sup>1</sup>[https://www.astro.bas.bg/forero/info/2KFR\\_info.htm](https://www.astro.bas.bg/forero/info/2KFR_info.htm)

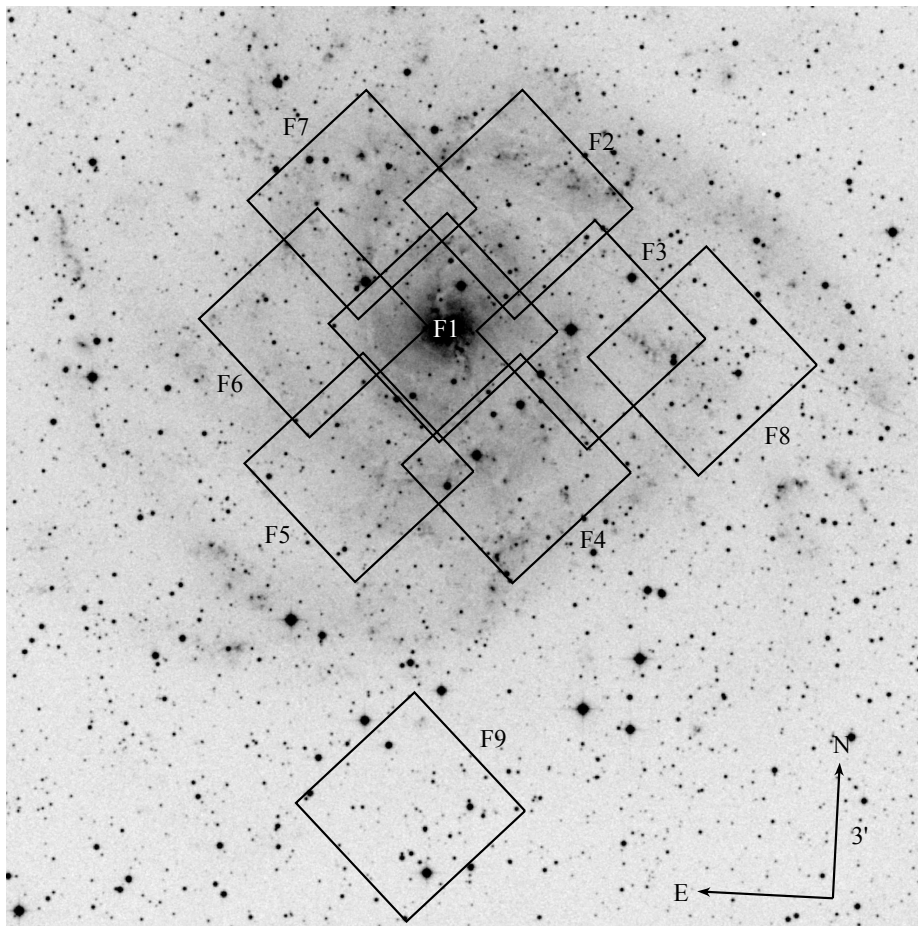


Рис. 1. Изображение галактики IC 342 на снимке DSS-обзора. Отмечены девять полей космического телескопа им. Хаббла.

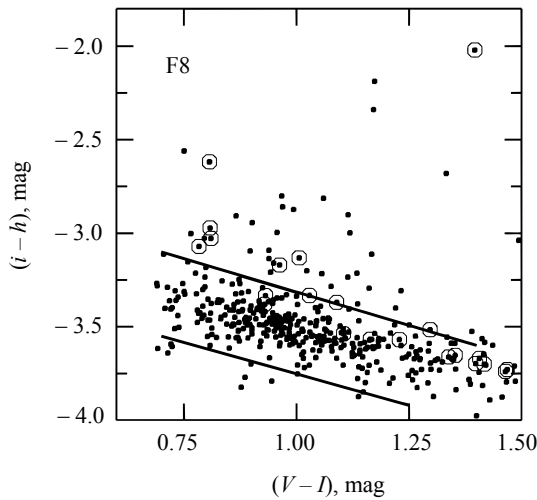
На рис. 1 показан DSS (Digital Sky Survey) снимок галактики IC 342 с разметкой полей HST. Снимки 2-м телескопа в фильтрах  $B$ ,  $R$  и  $H\alpha$  полностью перекрывали все изображение IC 342, показанное на рис. 1. Для поля F8 имелись HST-снимки в фильтрах  $F555W$  ( $V$ ),  $F814W$  ( $I$ ) и  $F658N$  ( $H\alpha$ ), а для полей F1–F7, F9 — снимки в фильтрах  $F435W$  ( $B$ ) и  $F606W$  ( $V$ ).

Звездная фотометрия выполнялась пакетами программ DAOPHOT II (Stetson, 1987; 1994) и DOLPHOT 2.0 (Dolphin, 2016). Фотометрия звезд обеими программами проводилась стандартным образом. Для DAOPHOT II это описано нами ранее (Tikhonov et al., 2019), а DOLPHOT 2.0 использовался в соответствии с рекомендациями Dolphin (2016). Процедура фотометрии состояла из предварительного маскирования плохих пикселей, удаления следов космических частиц и дальнейшей PSF-фотометрии найденных звезд в двух фильтрах. Для удаления неточечных объектов, таких как неразрешенные на отдельные звезды скопления и далекие или компактные галактики, все звезды проходили селекцию по параметрам CHI и SHARP, которые определяют форму фотометрического

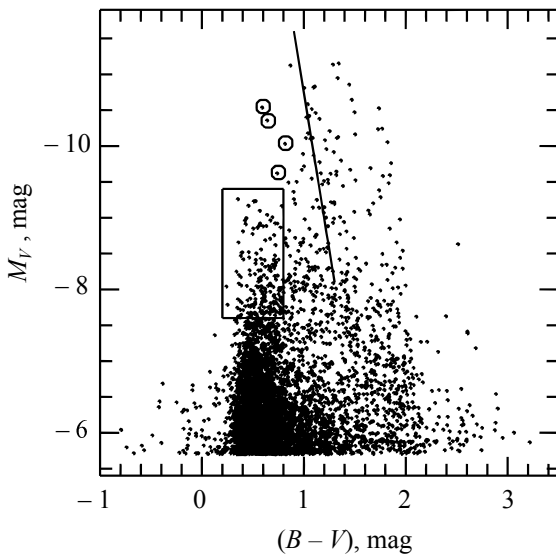
профиля каждой измеряемой звезды (Stetson, 1987). Профили незвездных объектов отличались от профилей изолированных звезд, выбранных нами в качестве стандартных, что позволило провести такую селекцию списков звезд, полученных при работе DAOPHOT II и DOLPHOT 2.0. Для снимков поля F8 мы использовали DAOPHOT II, а для снимков полей F1–F7, F9 применяли DOLPHOT 2.0.

Полученные при фотометрии звезд диаграммы Герцшпрунга–Рессела (CM-диаграммы) являются обычными диаграммами для спиральных галактик, поэтому мы не обсуждаем их морфологию и не представляем все отдельные диаграммы. В каждом из восьми полей имеются яркие относительно голубые звезды, среди которых мы провели поиски массивных звезд. Для поля F8 имеется HST-снимок с фильтром  $H\alpha$ , поэтому для данного поля мы провели фотометрию в трех фильтрах и построили диаграмму « $(V - I) - (I - H\alpha)$ ». На рис. 2 звезды без эмиссии в  $H\alpha$  расположены между двумя параллельными линиями, а звезды с эмиссией находятся выше их. На диаграмме рис. 2 точками показаны звезды до  $V = 24^m0$ , а яркие звезды до  $V = 21^m5$  отмечены кружками. Аналогичный





**Рис. 2.** Двухцветная диаграмма « $(V - I) - (I - H\alpha)$ » звезд поля F8. Показатель цвета  $(I - H\alpha)$  приведен в относительных единицах и обозначен на диаграмме как  $(i - h)$ . Звезды без эмиссии в  $H\alpha$  находятся между двух параллельных линий. Звезды с эмиссией расположены выше. Кружками отмечены яркие звезды ( $V < 21^m5$ ). Звезда F3.7 с наиболее яркой линией  $H\alpha$  расположена в правом верхнем углу диаграммы.



**Рис. 3.** СМ-диаграмма ярких звезд полей F1–F8. Прямая линия показывает положение фоновых звезд нашей Галактики. Кружками отмечены яркие голубые объекты в звездных скоплениях IC 342, изображения которых не являются звездными. Прямоугольником отмечена область ярких голубых звезд.

метод поиска звезд с эмиссией в  $H\alpha$  мы применяли для галактики NGC 4736 (Tikhonov et al., 2021a).

Для полей F1–F7, F9 отсутствуют HST снимки в  $H\alpha$ , поэтому мы изменили методику поиска массивных звезд. На основе  $B$ - и  $V$ -снимков HST были построены СМ-диаграммы полей F1–F7, F9. На рис. 3 представлена верхняя часть

общей СМ-диаграммы звезд полей F1–F8 IC 342 и отмечена область ярких голубых звезд, среди которых следует вести поиски массивных звезд. На 2-м телескопе обсерватории Рожен (Болгария) были получены снимки галактики в фильтрах  $B$ ,  $R$  и  $H\alpha$ . Звездные скопления с яркими голубыми звездами, найденные по HST снимкам, сравнивались с положением  $H\alpha$ -областей на снимках 2-м телескопа. Яркая звезда считалась кандидатом для дальнейших исследований, если ее положение на HST-снимке совпадало с положением  $H\alpha$  области на снимке 2-м телескопа. На рис. 4 показаны снимки 2-м телескопа в фильтре  $B$  и  $H\alpha$  области полей F3 и F4. Кружками отмечены скопления с яркими звездами и  $H\alpha$ -областями. Время жизни наиболее массивных звезд очень мало (примерно 2–5 млн лет), поэтому мы исключали из рассмотрения звездные ассоциации с красными сверхгигантами, поскольку их возраст более 5 млн лет.

В результате по данным HST было выделено 35 источников. Для исключения из списка объектов нашей Галактики мы провели кросс-корреляцию с каталогом Gaia DR3 Part 1. Main source<sup>2</sup> и обнаружили, что он содержит 30 объектов нашей выборки, причем семь из них классифицированы как звезды с собственным движением, которые в дальнейшем нами не рассматривались. Исключение составил источник F5.2 в таблице 1, который также классифицирован в каталоге Gaia DR3 как звезда с собственным движением, но при этом отождествляется с рентгеновским источником по каталогам обсерваторий Chandra и XMM.

В таблице 1 содержатся отобранные кандидаты в массивные звезды. Нумерация объектов соответствует номерам полей HST. Приведенные координаты звезд (RA и Dec) измерены нами по снимкам HST ACS/WFC F606W, а звездные величины получены по фотометрии снимков HST, описанных выше. Кроме этого, в таблице 1 приведены наблюдаемый показатель цвета  $(B - V)$ , а также оценки величины межзвездного поглощения, нормального показателя цвета, абсолютной и болометрической звездных величин для объектов. При вычислении абсолютной звездной величины расстояние до галактики IC 342 принималось равным  $3.93 \pm 0.1$  Мпк (Tikhonov and Galazutdinova, 2010; 2018).

Применение изохрон Bertelli et al. (1994) с металличностью  $Z = 0.02$ , близкой к металличности IC 342 (Pilyugin et al., 2014), к звездному окружению отобранных объектов, позволило получить грубые оценки величины поглощения света в направлении на них. Радиус областей, по звездам

<sup>2</sup><https://cdsarc.cds.unistra.fr/viz-bin/cat/I/355>



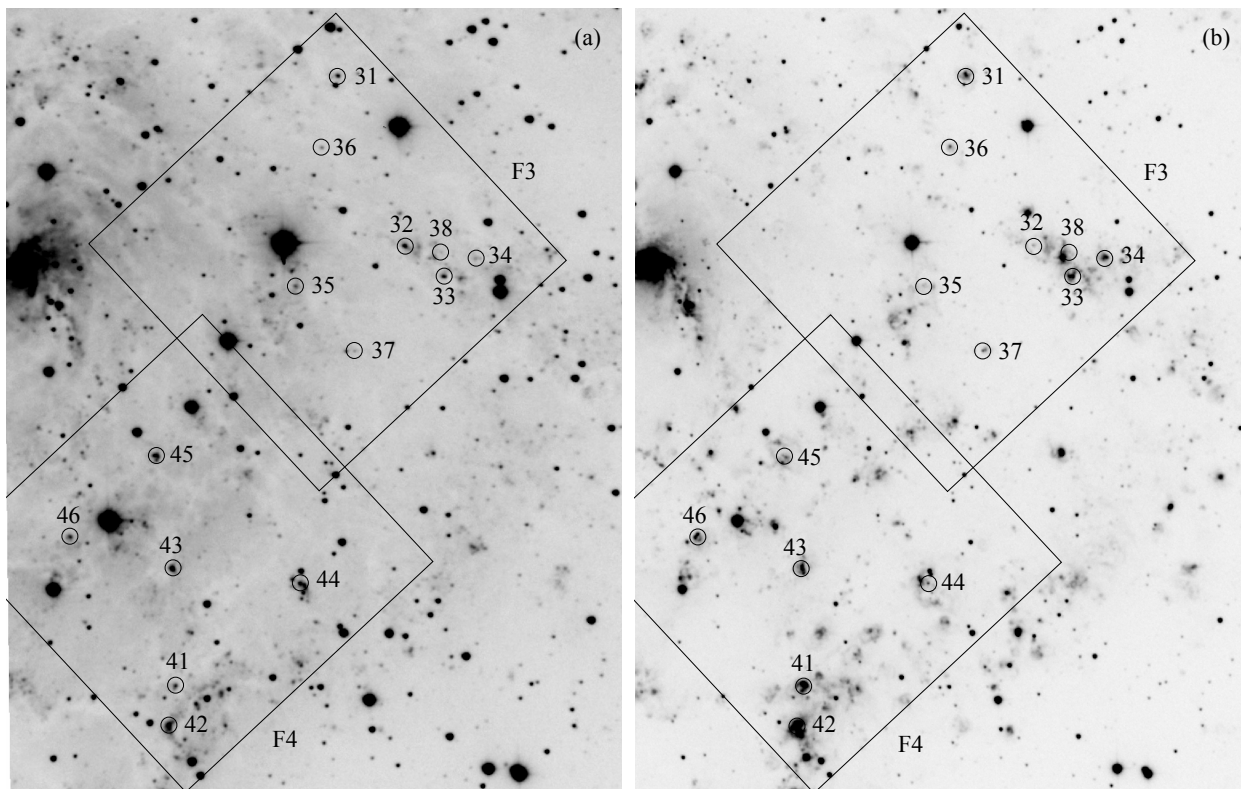


Рис. 4. Фрагменты снимков 2-м телескопа галактики IC 342 в фильтре  $B$  (а) и в фильтре  $H\alpha$  (б). Указаны границы полей F3 и F4, кружками отмечены положения скоплений с отобранными яркими голубыми звездами.

которых производились измерения, пришлось выбрать достаточно большим (около 300 пк) из-за малой населенности локальных звездных групп, ближайших к большинству объектов нашей выборки. Изменяя положение изохрон разного возраста (обычно от 4 до 10 млн лет), мы добивались оптимального совмещения изохроны и ветви голубых сверхгигантов. Присутствие на CM-диаграмме звезд, уже ушедших с ветви голубых сверхгигантов, позволило выбрать изохрону нужного возраста, а сдвиг изохроны по горизонтальной оси указывал на величину покраснения цвета голубых звезд. Из этого значения вычислялся коэффициент экстинкции для конкретного звездного скопления. Точность определения покраснения цвета составляет примерно  $0^m02-0^m03$ . Следует отметить, что не все звезды скопления имели именно то значение поглощения, которое вычислялось для этой группы звезд, поскольку некоторые звезды располагались вне ветви голубых сверхгигантов. Сделать однозначный вывод, является ли отклонение этих звезд следствием их эволюции или индивидуальной величины экстинкции, невозможно.

Для оценки болометрической звездной величины эффективные температуры объектов и соответствующие им болометрические поправки определялись на основании таблиц синтетической фотометрии для моделей Кюрутца (Castelli, 1999).

Поскольку средняя металличность IC 342 близка к солнечной (Pilyugin et al., 2014), то для определения параметров использовались таблицы, соответствующие моделям атмосфер с  $[M/H] = 0$ . При этом для простоты параметр ускорения силы тяжести был выбран  $\lg g = 4.0$ , поскольку соответствующие ему табличные значения синтетических показателей цвета полностью покрывают диапазон значений  $(B - V)_0$  для объектов. Систематические ошибки, вызванные неопределенностью  $\lg g$ , не превышают таковых, связанных с погрешностями показателя цвета и величины межзвездного поглощения.

На основе полученных оценок эффективной температуры и болометрической светимости мы построили диаграмму «температура – светимость» (рис. 5), где черным и синим цветами (объекты F3.7, F7.1 и F7.3, см. ниже) отмечены выделенные кандидаты в массивные звезды. Серые кривые обозначают эволюционные треки массивных невращающихся звезд (Chen et al., 2015), главная последовательность нулевого возраста отмечена серыми точками. Из диаграммы видно, что источник F7.4 (таблица 1), имеющий наибольшую оценку светимости, не соответствует ни одному из эволюционных треков, а значит, не является одиночной массивной звездой. Данный источник может быть

**Таблица 1.** Кандидаты в массивные звезды IC 342. Характерные значения ошибок величин  $V$ ,  $(B - V)$ ,  $A_V$ ,  $(B - V)_0$ ,  $M_V$  составляют  $0^m02$ ,  $0^m03$ ,  $0^m09$ ,  $0^m04$  и  $0^m11$  соответственно

ID	RA (J2000)	Dec (J2000)	$V$ , mag	$(B - V)$ , mag	$A_V$ , mag	$(B - V)_0$ , mag	$M_V$ , mag	$M_{bol}$ , mag
F1.1	03 46 51.06	+68 06 34.5	21.08	0.55	1.92	-0.07	-8.81	-9.40 ± 0.32
F2.1	03 46 33.89	+68 10 05.9	21.80	0.48	2.36	-0.28	-8.53	-11.76 ± 1.04
F2.2	03 46 39.00	+68 09 32.8	19.95	0.68	2.14	-0.01	-10.16	-10.48 ± 0.17
F2.3	03 46 22.34	+68 08 58.9	20.69	0.45	1.98	-0.19	-9.26	-11.15 ± 0.55
F2.4	03 46 49.28	+68 07 37.4	20.87	0.56	1.98	-0.08	-9.08	-9.74 ± 0.30
F3.1	03 46 13.20	+68 07 37.9	20.74	0.67	2.29	-0.07	-9.52	-10.11 ± 0.31
F3.2	03 46 06.46	+68 05 50.6	21.35	1.04	1.83	0.45	-8.45	-8.60 ± 0.11
F3.4	03 45 58.07	+68 05 40.8	21.78	0.53	2.11	-0.15	-8.30	-9.72 ± 0.51
F3.6	03 46 15.32	+68 06 53.5	21.63	0.51	2.14	-0.18	-8.48	-10.27 ± 0.52
F3.7	03 46 12.42	+68 04 45.8	21.08	0.96	2.48	0.16	-9.37	-9.48 ± 0.11
F3.8	03 46 02.37	+68 05 45.6	21.83	1.07	2.23	0.35	-8.37	-8.49 ± 0.11
F4.1	03 46 33.35	+68 01 21.4	20.66	1.12	2.23	0.40	-9.54	-9.67 ± 0.11
F4.2	03 46 34.03	+68 00 54.9	20.15	0.92	2.14	0.23	-9.96	-10.06 ± 0.11
F4.3	03 46 33.37	+68 02 33.9	20.10	0.48	1.83	-0.11	-9.70	-10.65 ± 0.53
F4.5	03 46 34.76	+68 03 41.8	20.48	0.74	1.98	0.10	-9.47	-9.60 ± 0.11
F5.1	03 47 01.69	+68 01 26.5	20.73	0.56	1.98	-0.08	-9.22	-9.88 ± 0.30
F5.2	03 47 04.85	+68 05 17.4	19.83	0.81	2.14	0.12	-10.28	-10.40 ± 0.11
F5.3	03 46 58.05	+68 04 12.7	21.34	0.70	1.98	0.06	-8.61	-8.78 ± 0.12
F5.4	03 46 44.43	+68 02 56.0	20.81	0.46	2.14	-0.23	-9.30	-11.82 ± 0.74
F6.1	03 47 28.84	+68 06 05.1	22.13	0.61	1.98	-0.03	-7.82	-8.20 ± 0.20
F6.2	03 47 31.56	+68 06 15.2	21.15	0.37	1.92	-0.25	-8.74	-11.53 ± 0.57
F6.3	03 47 29.79	+68 04 34.9	21.82	0.59	2.23	-0.13	-8.38	-9.55 ± 0.50
F6.4	03 47 15.72	+68 03 48.9	20.97	0.99	2.29	0.25	-9.29	-9.39 ± 0.11
F6.5	03 47 19.45	+68 04 29.2	22.03	0.68	2.23	-0.04	-8.17	-8.60 ± 0.22
F7.1	03 47 00.08	+68 09 53.8	19.48	0.59	2.05	-0.07	-10.54	-11.15 ± 0.32
F7.3	03 47 14.85	+68 08 57.3	19.33	0.67	2.05	0.01	-10.69	-10.96 ± 0.15
F7.4 <sup>a</sup>	03 47 13.62	+68 08 54.8	19.20	0.47	2.05	-0.19	-10.82	-12.75 ± 0.58
F8.2	03 45 50.37	+68 03 16.7	21.56	0.74	2.26	0.01	-8.67	-8.93 ± 0.15

<sup>a</sup>Источник исключен из дальнейшего рассмотрения, см. текст.

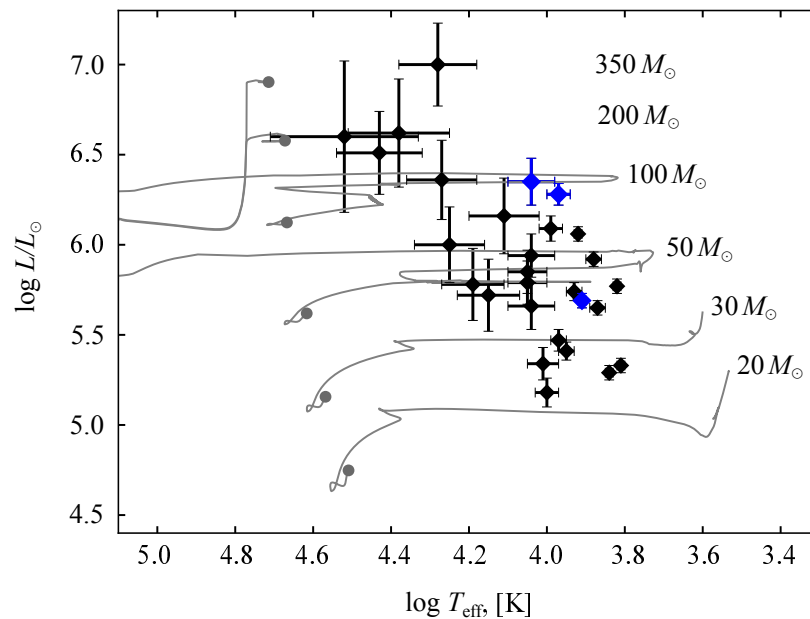
компактным молодым скоплением, которое не разрешается на снимках HST, поэтому мы исключили его из списка потенциальных массивных звезд в IC 342.

На рис. 6 показаны карты отождествления для всех 27 отобранных кандидатов и положения щелей для каждого из объектов, для которых были получены спектры (см. разделы 3 и 4).

### 3. СПЕКТРОСКОПИЯ

Нами была проведена спектроскопия 24 объектов из таблицы 1 на 6-м телескопе САО РАН с

применением редукторов светосилы SCORPIO-1 и SCORPIO-2 в длиннощелевом режиме (Afanasiev and Moiseev, 2005; 2011) по программе «Поиск сверхмассивных звезд в галактиках за пределами Местной группы» под руководством Н. А. Ти-хонова. Часть спектров была снята по заявке «High luminosity stars in galaxies beyond the Local group» под руководством Бенджамина Уильямса (Benjamin Williams, Department of Astronomy) на 3.5-м ARC телескопе Апачи-Пойнт (Apache Point Observatory, APO) с помощью спектрографа



**Рис. 5.** Диаграмма «температура–светимость». Синим (F3.7, F7.1 и F7.3, см. ниже) и черным (остальные объекты) цветами отмечены положения выбранных источников в галактике IC 342. Серые кривые обозначают эволюционные треки массивных невращающихся звезд при  $Z = Z_{\odot}$  (Chen et al., 2015), серыми точками отмечено примерное положение главной последовательности нулевого возраста.

Dual Imaging Spectrograph<sup>3</sup> (DIS) с решеткой 300 штрихов на мм. Журнал спектральных наблюдений приведен в таблице 2, в которой указаны даты наблюдений, используемый прибор (либо несколько приборов), гризмы, время экспозиции  $t_{\text{exp}}$ , ширина щели, разрешение  $R$ , спектральный диапазон  $\Delta\lambda$ , качество изображений (Seeing). Обработка всех данных проводилась в среде Interactive Data Language (IDL) по стандартным методикам обработки длиннощелевых спектров. Финальная экстракция спектров из обработанных 2D-данных осуществлялась с помощью программы SPECTRA (Sarkisyan et al., 2017), которая была специально разработана для получения одномерных спектров объектов, расположенных в тесных звездных полях.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ

После анализа спектрального материала для 24 объектов оказалось, что в спектрах 12 источников (F1.1, F2.1, F3.1, F3.6, F4.5, F5.3, F5.4, F6.2, F6.3, F6.4, F6.5, F8.2) отсутствуют собственные спектральные особенности и наблюдаются исключительно линии туманностей, которые, вероятно, имеют физическую связь не с самими объектами, а со всей областью звездообразования. Наиболее яркими линиями в спектрах туманностей являются  $\text{H}\alpha$ ,  $[\text{N II}] \lambda 6548$ ,  $\lambda 6583$ ,  $[\text{S II}] \lambda 6716$ ,  $\lambda 6731$ , линии нейтрального гелия  $\text{He I}$ ,

кислорода  $[\text{O III}] \lambda 4959$ ,  $\lambda 5007$  и  $[\text{O I}] \lambda 6300$ ,  $\lambda 6330$ . Истинные цвета  $(B - V)_0$  перечисленных объектов соответствуют спектральным классам от O9 до F5 (Fitzgerald, 1970). На рис. 7 приведен пример такого спектра объекта F1.1 в красной области.

В противоположность предыдущим объектам спектр F2.2 является преимущественно абсорбционным: видны глубокие линии водорода серии Бальмера и линии Ca II, H и K (последние могут формироваться межзвездной средой), а также многочисленные слабые, плохо диагностируемые абсорбции, некоторые из которых могут являться линиями Fe II. В красной области спектра наблюдаются эмиссионные линии  $\text{H}\alpha$ ,  $[\text{N II}] \lambda 6548$ ,  $\lambda 6583$  и  $[\text{S II}] \lambda 6716$ ,  $\lambda 6731$ , принадлежащие туманности. Первоначально по данным каталога Gaia DR3 объект с высокой долей вероятности был классифицирован как галактика, при этом он обладал надежно измеренным собственным движением ( $3.0 \pm 0.9$  мсдгод<sup>-1</sup>). В то же время в каталоге Gaia DR3 «Guasar and galaxy classification» (Hughes et al., 2022) этот источник с одинаковой вероятностью классифицируется как галактика и звезда. Поэтому с учетом наличия собственного движения мы не исключаем, что данный объект действительно является звездой нашей Галактики, которая проецируется на окруженную туманностью область звездообразования в IC 342.



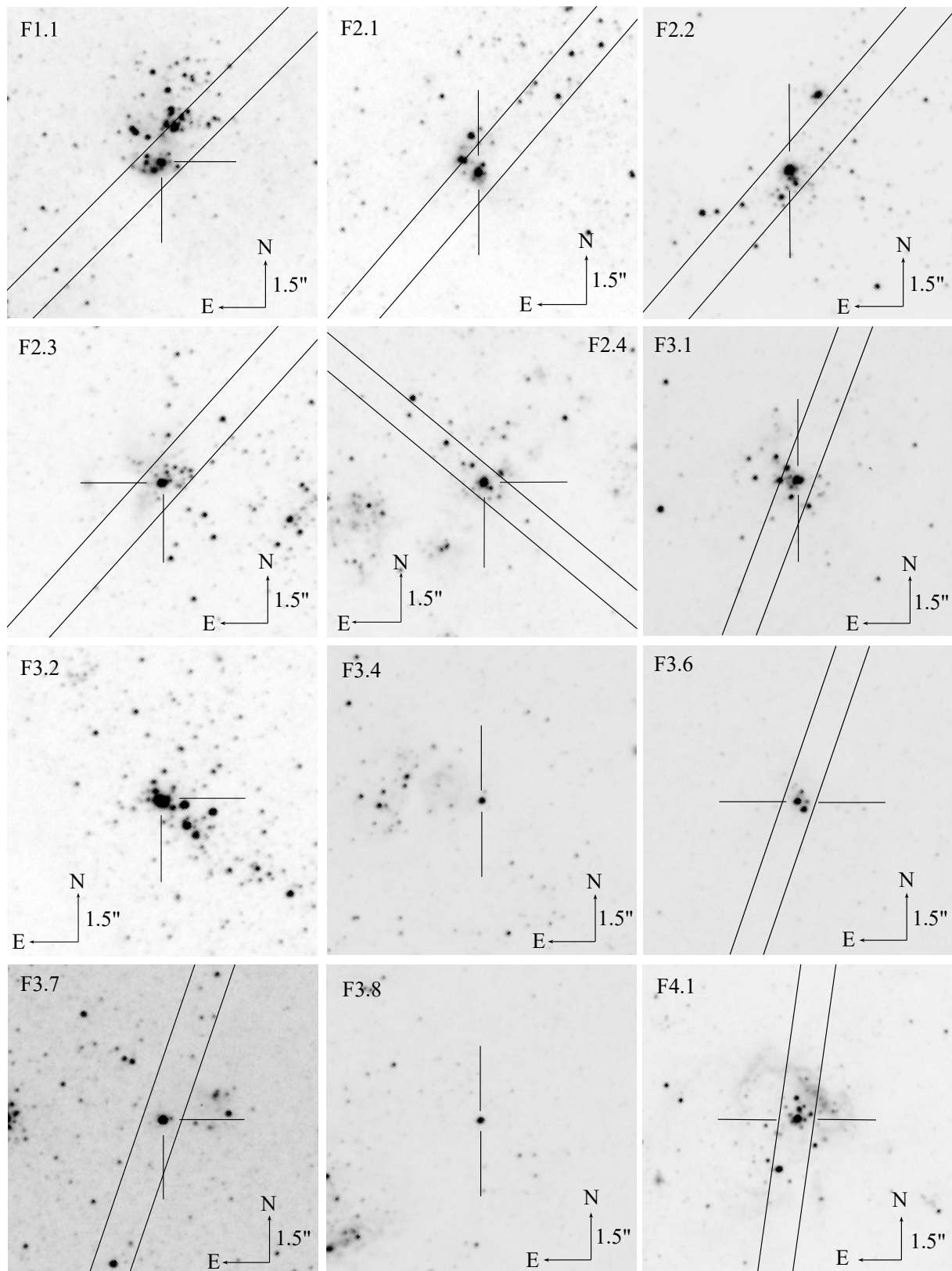


Рис. 6. Карты отождествления отобранных кандидатов и положения щелей для объектов, для которых были получены спектры.

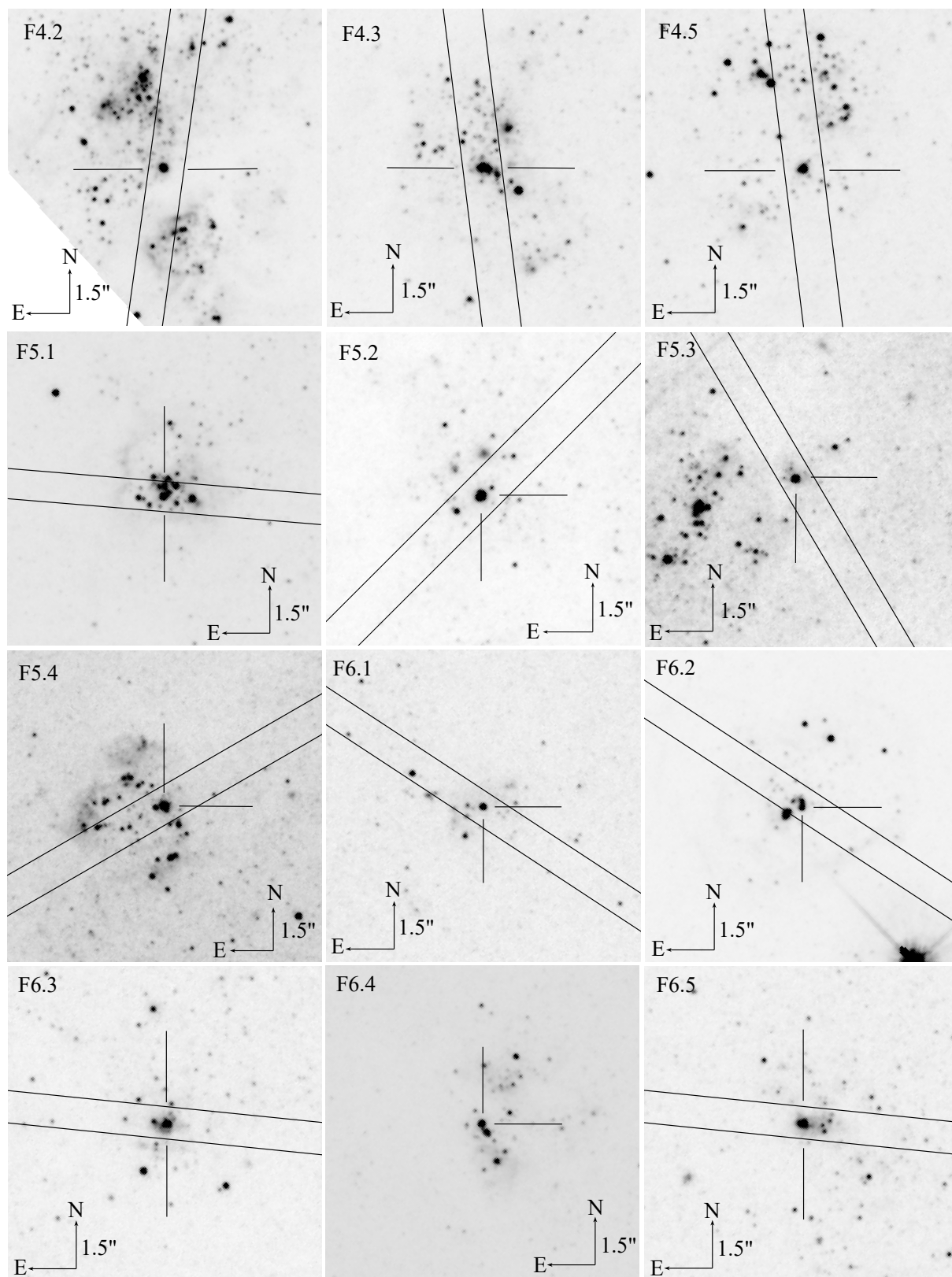


Рис. 6. Продолжение.

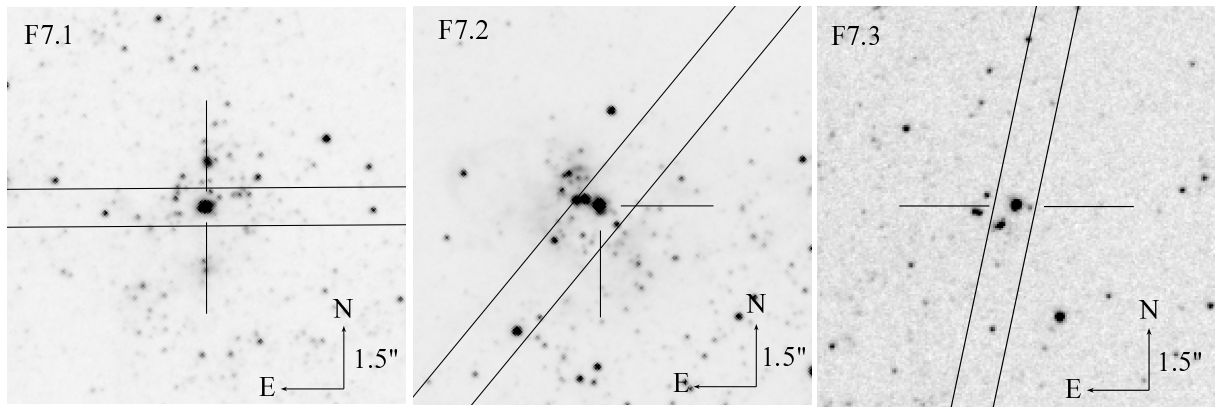


Рис. 6. Продолжение.

Таблица 2. БТА/АРО журнал спектральных наблюдений

<i>N</i>	Дата	Спектрограф/решетка	$t_{\text{exp}}$ , с	Ширина щели	$R$ , Å	$\Delta\lambda$ , Å	Seeing
F1.1	12–13/11/2020	SCORPIO-1/VPHG1200R	1800	1"2	5.0	5700–7400	1"1
F2.1	25–26/10/2022	SCORPIO-1/VPHG1200R	1800	1"2	5.0	5700–7400	1"5
	25–26/10/2022	SCORPIO-1/VPHG1200B	900	1"2	5.0	3600–5400	1"5
F2.2	25–26/10/2022	SCORPIO-1/VPHG1200R	1800	1"2	5.0	5700–7400	1"5
	25–26/10/2022	SCORPIO-1/VPHG1200B	900	1"2	5.0	3600–5400	1"5
F2.3	23–24/12/2022	SCORPIO-1/VPHG1200B	1800	1"2	5.0	3600–5400	1"4
F2.4	04–05/11/2021	SCORPIO-2/VPHG1200@540	1800	1"0	5.0	3600–7070	1"3
	25–26/10/2022	SCORPIO-1/VPHG1200R	1800	1"2	5.0	5700–7400	2"4
	25–26/10/2022	SCORPIO-1/VPHG1200R	1800	1"2	5.0	5700–7400	2"4
F3.1	06–07/01/2024	SCORPIO-2/VPHG1200@540	2700	1"0	5.0	3600–7070	2"0
F3.6	06–07/01/2024	SCORPIO-2/VPHG1200@540	2700	1"0	5.0	3600–7070	2"0
F3.7	13–14/11/2020	SCORPIO-1/VPHG1200R	1800	1"2	5.3	5700–7400	1"0
	13–14/11/2020	SCORPIO-1/VPHG1200B	1800	1"2	5.5	3600–5400	1"0
	14–15/10/2021	SCORPIO-2/VPHG1200@540	6300	1"2	5.0	3600–7070	1"2
F4.1	23–24/01/2023	SCORPIO-1/VPHG1200B	1800	1"2	5.0	3600–5400	1"5
F4.2	23–24/01/2023	SCORPIO-1/VPHG1200B	1800	1"2	5.0	3600–5400	1"5
F4.3	22–23/10/2023	SCORPIO-1/VPHG1200R	1800	1"2	5.0	5700–7400	2"0
	22–23/10/2023	SCORPIO-1/VPHG1200B	1800	1"2	5.0	3600–5400	2"0
F4.5	22–23/10/2023	SCORPIO-1/VPHG1200R	1800	1"2	5.0	5400–7400	2"0
	22–23/10/2023	SCORPIO-1/VPHG1200B	1800	1"2	5.0	3600–5400	2"0
F5.1	11–12/02/2021	APO/DIS/B400	3600	0"9	5.0	3700–5500	1"4
	11–12/02/2021	APO/DIS/R300	3600	0"9	5.0	5300–8400	1"4
F5.2	12–13/11/2020	SCORPIO-1/VPHG1200R	1800	1"2	5.0	5700–7400	1"1
	01–02/12/2022	SCORPIO-2/VPHG1200@540	1800	1"0	5.0	3600–7070	1"2
	11–12/02/2021	APO/DIS/B400	3600	0"9	5.0	3700–5500	1"5
	11–12/02/2021	APO/DIS/R300	3600	0"9	5.0	5300–8400	1"5
F5.3	01–02/12/2022	SCORPIO-2/VPHG1200@540	1800	1"0	5.0	3600–7070	1"2



Таблица 2. (Продолжение)

<i>N</i>	Дата	Спектрограф/решетка	$t_{\text{exp}}$ , с	Ширина щели	$R$ , Å	$\Delta\lambda$ , Å	Seeing
F5.4	26–27/01/2023	SCORPIO-1/VPHG1200R	1800	1"0	5.0	5700–7400	1"1
F6.1	01–02/12/2022	SCORPIO-2/VPHG1200@540	1800	1"0	5.0	3600–7070	1"2
F6.2	01–02/12/2022	SCORPIO-2/VPHG1200@540	1800	1"0	5.0	3600–7070	1"2
F6.3	09–10/11/2023	SCORPIO-2/VPHG1200@540	1200	1"0	5.0	3600–7070	2"0
F6.4	11–12/02/2021	APO/DIS/B400	3600	0"9	5.0	3700–5500	1"6
	11–12/02/2021	APO/DIS/R300	3600	0"9	5.0	5300–8400	1"6
F6.5	09–10/11/2023	SCORPIO-2/VPHG1200@540	1200	1"0	5.0	3600–7070	2"0
F7.1	05–06/01/2021	APO/DIS/B400	1800	0"9	5.0	3700–5500	1"4
	05–06/01/2021	APO/DIS/R300	1800	0"9	5.0	5300–8400	1"4
	12–13/03/2024	SCORPIO-1/VPHG1200B	2700	1"2	5.0	3600–5400	1"5
F7.3	13–14/11/2020	SCORPIO-1/VPHG1200R	1200	1"2	5.0	5700–7400	1"0
	13–14/11/2020	SCORPIO-1/VPHG1200B	1200	1"2	5.0	3600–5400	1"0
	04–05/11/2021	SCORPIO-2/VPHG1200@540	2700	1"0	5.0	3600–7070	1"3
	05–06/01/2021	APO/DIS/B400	3600	0"9	5.0	3700–5500	1"4
	05–06/01/2021	APO/DIS/R300	3600	0"9	5.0	5300–8400	1"4
	12–13/03/2024	SCORPIO-1/VPHG1200B	2700	1"2	5.0	3600–5400	1"5
F8.2	09–10/11/2022	SCORPIO-2/VPHG1200@540	3000	1"0	5.0	3600–7070	2"1

Следующая группа объектов (F2.3, F2.4, F4.1, F4.2, F4.3, F6.1) имеет те или иные спектральные признаки, присущие звездам Вольфа–Райе, в частности яркие бленды линий C III + N III  $\lambda$  4630–4650 и C IV + N IV  $\lambda$  5700–5800, линии He II  $\lambda$  4686. Для примера на рис. 8 представлен спектр F6.1. Помимо перечисленных линий, в спектрах F2.3 и F4.3 наблюдаются слабые абсорбционные линии He I. Отметим, что цвет этих объектов  $(B - V)_0$  (см. таблицу 1) приблизительно на  $0^{\text{m}}1$ – $0^{\text{m}}6$  краснее нормальных цветов звезд Вольфа–Райе. Если предположить, что все рассматриваемые объекты имеют ненулевой избыток цвета, связанный с недооценкой величины межзвездного поглощения в области расположения объектов, то после дополнительной коррекции за  $A_V$  абсолютные звездные величины объектов  $M_{\text{bol}}^{\text{corr}}$  окажутся в диапазоне от  $-13^{\text{m}}0$  до  $-14^{\text{m}}0$  (за исключением F6.1 с  $M_{\text{bol}}^{\text{corr}} \approx -11^{\text{m}}0$ ), то есть светимости объектов будут выше ожидаемых значений для VMS с массами  $500 M_{\odot}$  (например, Yusof et al., 2013). Таким образом, более вероятно, что по крайней мере пять наиболее ярких из перечисленных объектов представляют собой неразрешимые на HST-снимках молодые звездные ассоциации, в состав которых входят звезды Вольфа–Райе.

В спектре F5.2 (рис. 9) наблюдаются линии H $\alpha$ , [N II]  $\lambda$  6548, 6583, [S II]  $\lambda$  6716,  $\lambda$  6731, а также O I

$\lambda$  6300,  $\lambda$  6330, [N II]  $\lambda$  5755 и [N I]  $\lambda$  5200. При этом эмиссия [N II]  $\lambda$  6583 ярче линии H $\alpha$ , что обычно наблюдается в спектрах остатков сверхновых (например, Winkler et al., 2021). Поэтому вероятно, что F5.2 является компактным остатком сверхновой, профиль которого неплохо описывается звездной PSF. Его размеры составляют менее 1.4 пк при принятом расстоянии до галактики 3.9 Мпк.

Источник F5.1 находится в довольно тесном звездном окружении (рис. 6), которое вносит значительный вклад в наблюдаемый спектр, полученный при размере звездного изображения 1"6 (таблица 2). В суммарном спектре наблюдаются линии окружающей туманности: линии водорода серии Бальмера, [O III], [N I], [N II], [S II], [Ar III]), He I. Помимо узких эмиссий He I, образующихся в туманности, наблюдаются широкие компоненты с шириной  $FWHM$  примерно  $1000 \text{ km s}^{-1}$ , которую мы оценили на основе измерений линии He I  $\lambda$  7065, визуальной наименьшей вклад узкой компоненты линии окружающей туманности. При этом широкие компоненты у линий водорода (например, у линии H $\beta$  на рис. 10) не наблюдаются. Также в спектре видны слабые линии на  $\lambda$  4348 и  $\lambda$  4524, которые могут являться линиями иона N III, и широкая эмиссия  $\lambda$  4650–4700, которая, вероятно, является блендой нескольких линий. В целом спектр F5.1 указывает на вероятную принадлежность объекта к классу поздних WN-звезд.

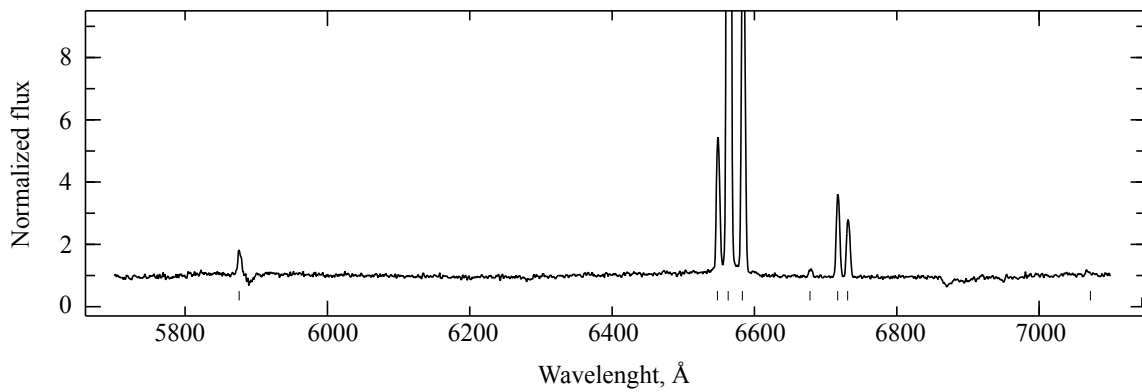


Рис. 7. Спектр объекта F1.1, полученный на БТА (SCORPIO-1) в красной области. Линии туманности обозначены штрихами внизу спектра.

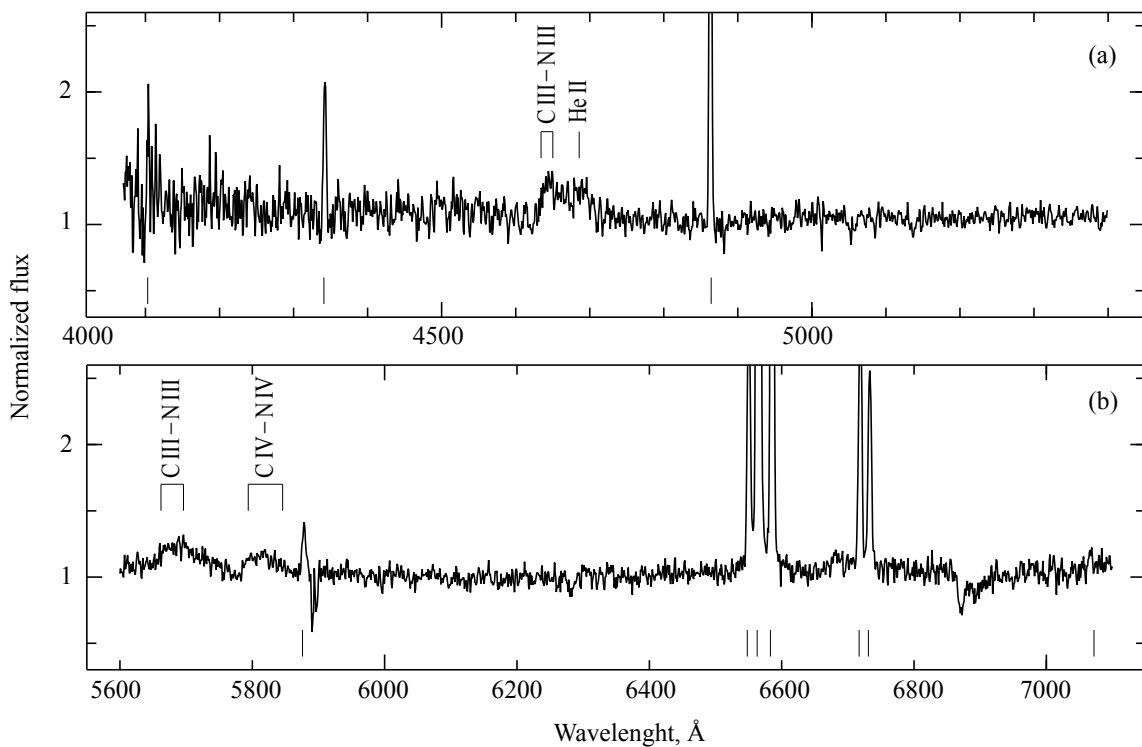


Рис. 8. Спектр F6.1, полученный на БТА (SCORPIO-2) в синей (a) и красной (b) областях. Линии туманности обозначены штрихами внизу спектра.

Наиболее изобилующие эмиссионными линиями спектры продемонстрировали объекты F3.7 и F7.3. В них преобладают линии ионизованного железа Fe II и [Fe II] (рис. 11 и 12). Некоторые линии, в частности нейтрального гелия He I  $\lambda$  6678,  $\lambda$  7065 и Fe II, имеют профили типа P Cyg. В обоих спектрах также наблюдаются широкие компоненты линий водорода серии Бальмера, немногочисленные эмиссии Cr II, Si II и [N II], причем профиль линии [N II]  $\lambda$  5755 имеет треугольную форму, которая свидетельствует о формировании линии в областях ветра с сильно различающимися скоростями. Запрещенные линии кислорода [O I]

$\lambda$  6300,  $\lambda$  6363, которые, наряду с запрещенными линиями [Fe II], являются характерными чертами спектров B[e]-сверхгигантов (Humphreys et al., 2017), не наблюдаются в спектрах F3.7 и F7.3, поэтому оба этих источника являются перспективными LBV-кандидатами в холодном состоянии.

Спектр источника F7.1 (рис. 13) подобен спектрам F3.7 и F7.3, однако имеет меньшее накопление. В нем наблюдаются широкие компоненты линий водорода ( $H\alpha$ ,  $H\beta$ ), слабые линии ионизованного железа Fe II и, возможно, [Fe II], а также яркие эмиссии кальция Ca II, являющиеся частью инфракрасного триплета кальция  $\lambda$  8498,  $\lambda$  8542,

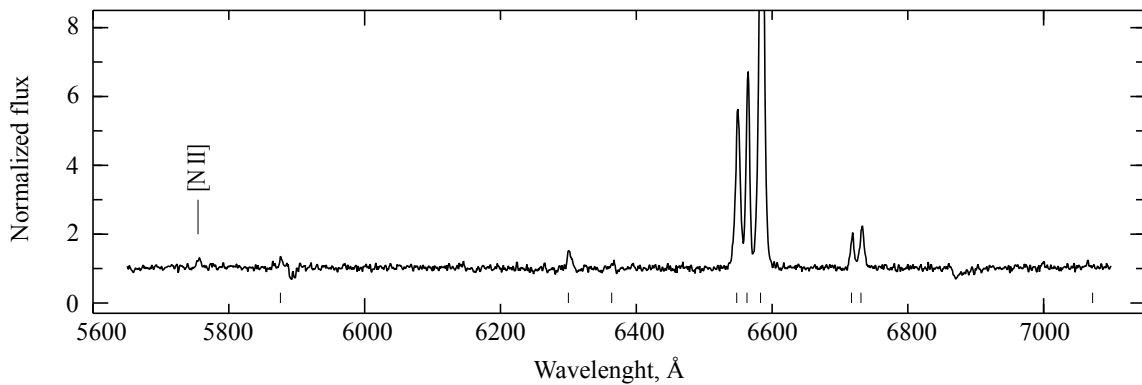


Рис. 9. Спектр F5.2, полученный на БТА (SCORPIO-2) в красной области. Линии туманности обозначены штрихами внизу спектра.

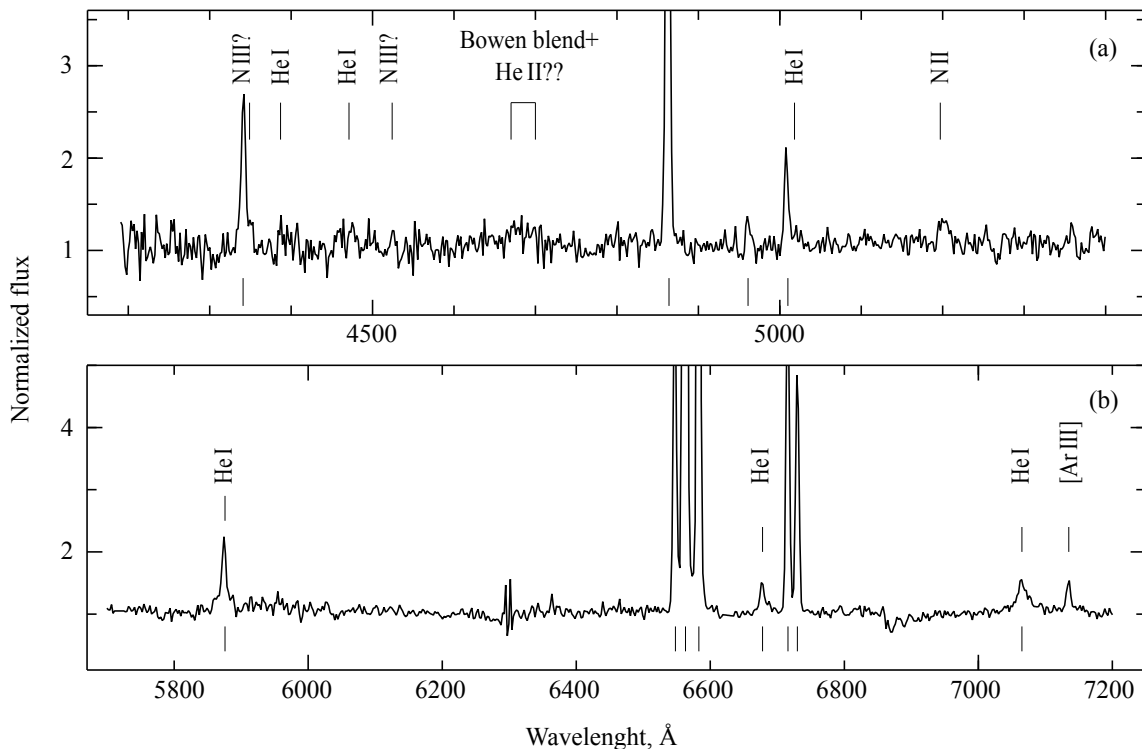


Рис. 10. Спектр F5.1, полученный на АРО (DIS) в синей (a) и красной (b) областях. Линии туманности обозначены штрихами внизу спектра.

$\lambda 8662$  (последняя линия находится за границей спектрального диапазона наших данных). Присутствие этого триплета в звездных спектрах указывает на относительно невысокую температуру фотосферы звезды (спектральный класс В–А или более поздний, Humphreys et al., 2017). Наряду с запрещенными линиями кальция [Ca II]  $\lambda 7291$ ,  $\lambda 7324$ , эти линии характерны для спектров некоторых В[e]-сверхгигантов и теплых (желтых) гипергигантов (Humphreys et al., 2014). В имеющихся спектрах F7.1 надежно обнаружены только линии Ca II, область которых свободна от вклада атмосферных линий. Учитывая относительно высокую эффек-

тивную температуру (около 11 000 К), соответствующую цвету  $(B - V)_0 \approx -0^m07$  (см. таблицу 1), источник F7.1 можно классифицировать как кандидат в В[e]-сверхгиганты, однако для его окончательной классификации требуются спектральные данные лучшего качества.

У 11 из 24 объектов, для которых были получены спектры, удалось оценить величину межзвездного поглощения на основе наблюдаемого соотношения потоков бальмеровских линий водорода, излучаемых окружающими туманностями, в предположении случая фотоионизации «В» (Osterbrock and Ferland, 2006). Результаты определения погло-



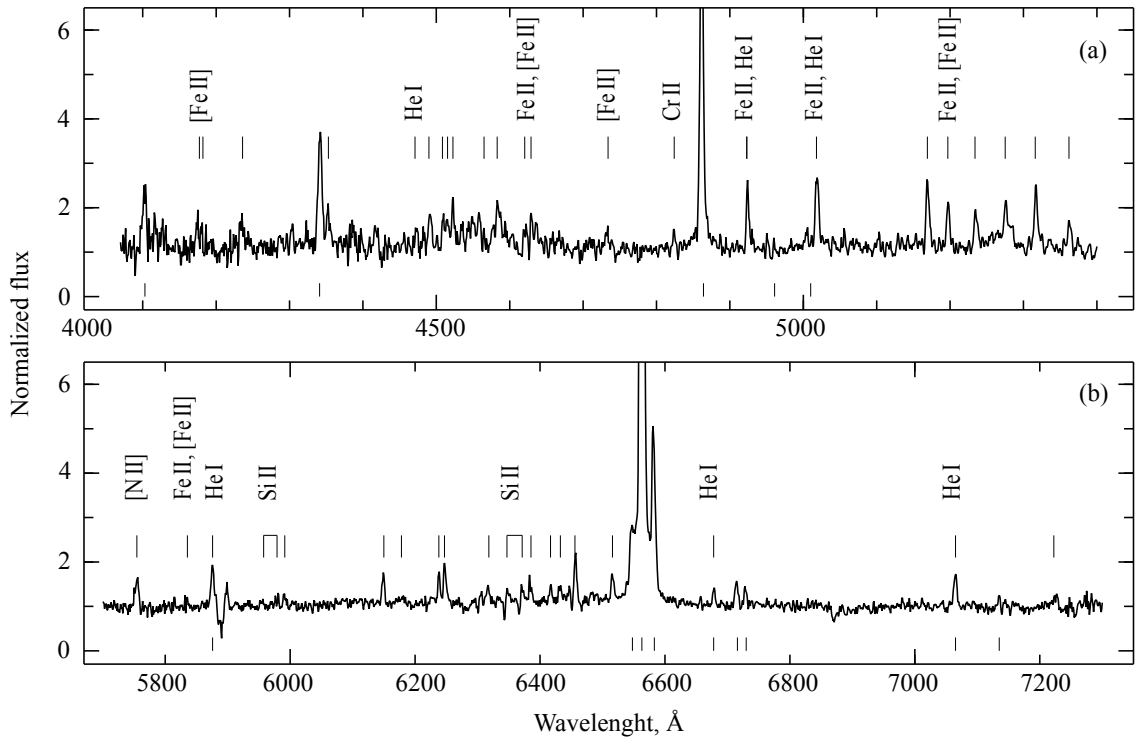


Рис. 11. Спектр F3.7, полученный на БТА (SCORPIO-1) в синей (а) и красной (б) областях. Линии туманности обозначены штрихами внизу спектра, линии Fe II — штрихами вверх спектра.

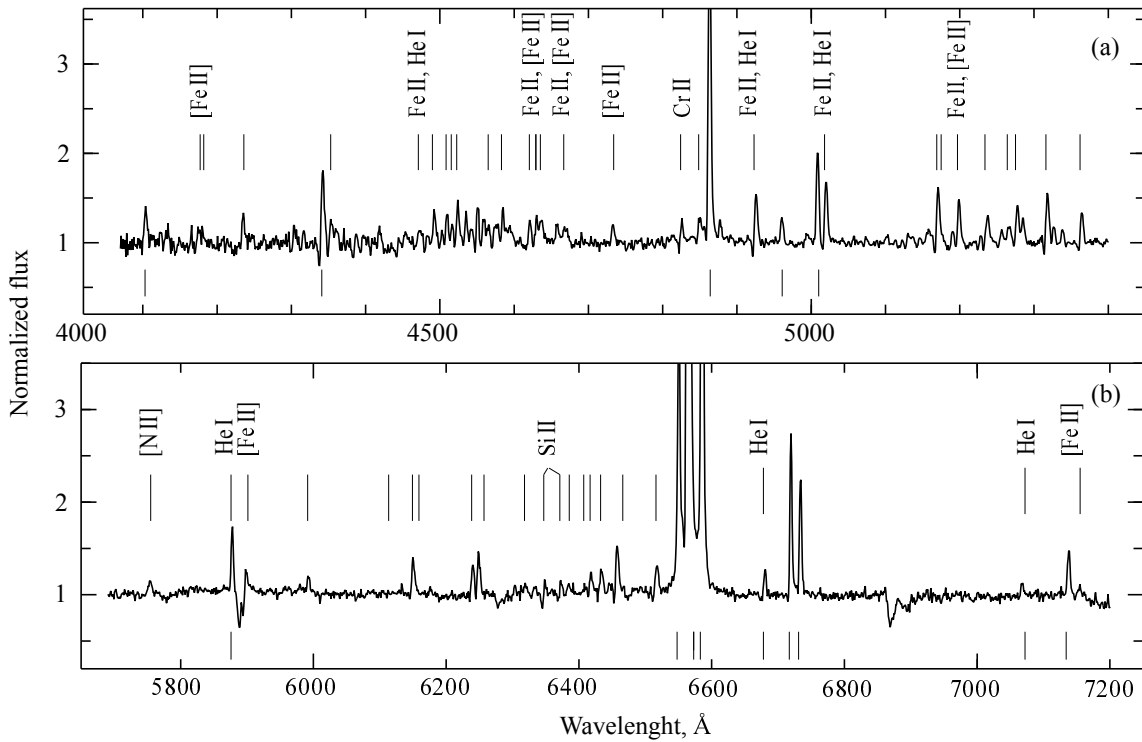


Рис. 12. Спектр F7.3, полученный на БТА (SCORPIO-2) в синей (а) и красной (б) областях. Линии туманности обозначены штрихами внизу спектра, линии Fe II — штрихами вверх спектра.

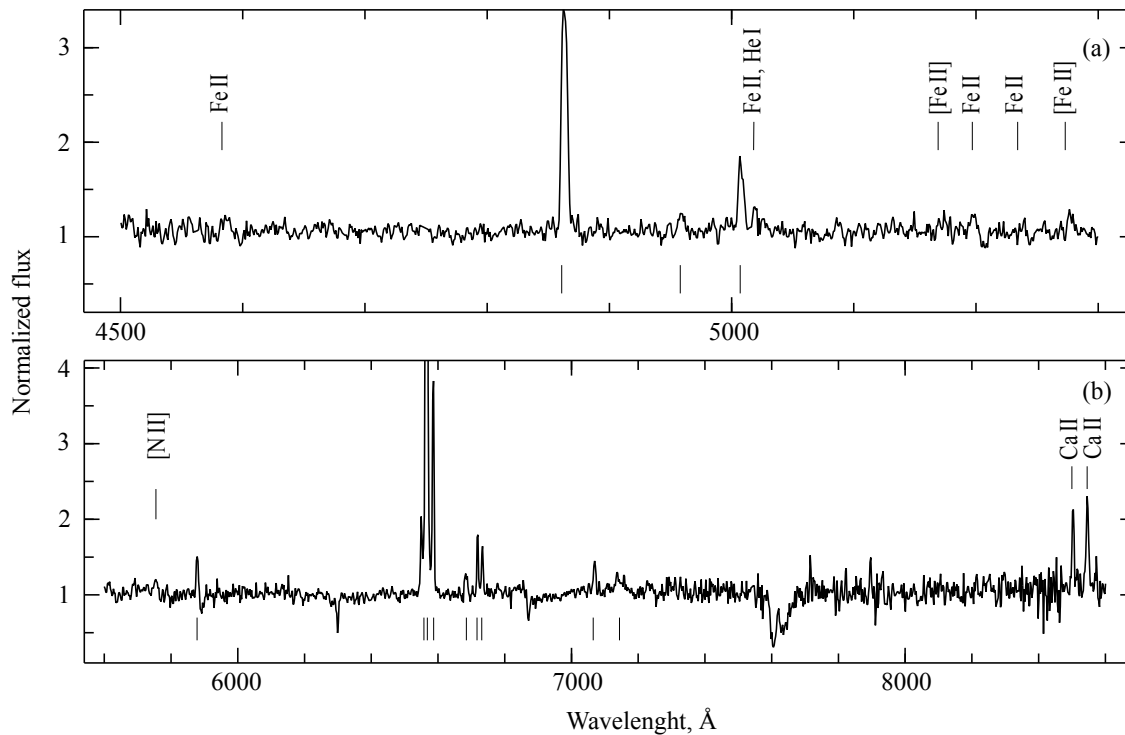


Рис. 13. Спектр F7.1, полученный на БТА (SCORPIO-1) в синей области (a) и на АРО (DIS) в красной области (b). Линии туманности обозначены штрихами внизу спектра.

Таблица 3. Величины межзвездного поглощения  $A_V^{\text{spec}}$ , оцененные на основе водородных линий туманности вокруг объектов. Для сравнения приведены  $A_V^{\text{phot}}$ , полученные по фотометрическим данным (см. текст)

Объект	$A_V^{\text{spec}}$ , mag	$A_V^{\text{phot}}$ , mag
F2.3	$2.01 \pm 0.18$	$2.36 \pm 0.09$
F3.1	$2.38 \pm 0.13$	$2.29 \pm 0.09$
F3.6	$2.87 \pm 0.17$	$2.14 \pm 0.09$
F3.7	$\approx 3.6$	$2.48 \pm 0.09$
F4.1	$2.19 \pm 0.08$	$2.23 \pm 0.09$
F4.2	$2.15 \pm 0.21$	$2.14 \pm 0.09$
F6.2	$2.08 \pm 0.12$	$1.92 \pm 0.09$
F6.3	$1.89 \pm 0.28$	$2.23 \pm 0.09$
F6.5	$2.87 \pm 0.06$	$2.23 \pm 0.09$
F7.3	$2.20 \pm 0.30$	$2.05 \pm 0.09$
F8.2	$2.22 \pm 0.07$	$2.26 \pm 0.09$

щения приведены в таблице 3. Для большинства источников оценка  $A_V$  по бальмеровскому декременту согласуется в пределах ошибок с оценкой  $A_V$  на основе фотометрии (см. раздел 2). У трех объектов значение поглощения, оцененное по туманности, оказалось больше, что может указывать на сильные вариации поглощения по полю. Однако

в случае F3.7 величина, определенная по туманности, явно завышена, поскольку исправленный за поглощение цвет  $(B - V)_0$  получается равным приблизительно  $-0^m.2$ , что не согласуется с наблюдаемыми в спектре звезды многочисленными линиями Fe II и относительно слабыми линиями нейтрального гелия.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы провели отбор и спектральные исследования кандидатов в массивные звезды галактики IC 342. На основе архивных снимков космического телескопа Хаббла была сделана фотометрия звездного населения этой галактики до  $26^m.5$ , построены CM-диаграммы, выделены яркие голубые звезды и проведено их сравнение с положением эмиссии H $\alpha$  областей, полученным на основе узкополосных снимков 2-м телескопа обсерватории Рожен (Болгария).

По программе поиска массивных звезд в галактиках за пределами Местной группы были проведены спектральные наблюдения 24 из 27 отобранных звезд на 6-м телескопе БТА САО РАН и 3.5-м телескопе Апачи-Пойнт (США).

Обнаружено, что 12 объектов (F1.1, F2.1, F3.1, F3.6, F4.5, F5.3, F5.4, F6.2, F6.3, F6.4, F6.5, F8.2) представляют собой источники без явных

особенностей в спектрах, помимо ярких эмиссионных линий туманностей. Отсутствие собственных эмиссий в спектрах звезд указывает на относительно слабые потери вещества в виде ветра, в то же время слабые абсорбционные линии могут не детектироваться из-за низкого  $S/N$  в спектрах, а более сильные водородные абсорбции могут маскироваться упомянутыми выше линиями туманностей. Абсолютные звездные величины этих источников лежат в пределах от  $-8^m$  до  $-10^m$ , и их истинные цвета  $(B - V)_0$  соответствуют одиночным сверхгигантам спектральных классов от O9 до F5 или неразрешенным на отдельные звезды ассоциациям. Источник F2.2, показывающий абсорбционные линии наряду с эмиссионными линиями туманности, вероятнее всего, является звездой нашей Галактики, которая проецируется на область звездообразования в IC 342.

Шесть источников нашей выборки (F2.3, F2.4, F4.1, F4.2, F4.3, F6.1) имеют линии и бленды, характерные для звезд Вольфа–Райе. При этом пять наиболее ярких источников (F2.3, F2.4, F4.1, F4.2, F4.3), по-видимому, являются неразрешенными молодыми звездными ассоциациями, содержащими звезды Вольфа–Райе. Объект F5.1 показывает особенности поздних звезд Вольфа–Райе азотной последовательности, а F5.2, скорее всего, является компактным остатком сверхновой.

Два объекта из нашей выборки (F3.7 и F7.3) обладают спектрами с типичными для холодных LBV-звезд спектральными особенностями. Источник F7.1, вероятно, является кандидатом в В[e]-сверхгиганты. Для более точной классификации обнаруженных объектов требуются спектры лучшего качества, а также дополнительные фотометрические данные для изучения их блеска.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа основана на наблюдениях с космического телескопа Хаббла NASA/ESA, полученных в Научном институте космического телескопа, который управляется AURA, Inc. по контракту № NAS5-26555. Эти наблюдения связаны с заявками 10768, 16002. Частично основана на наблюдениях, полученных с помощью 3.5-м телескопа обсерватории Апачи-Пойнт, который принадлежит и управляется Консорциумом астрофизических исследований. В настоящей работе были использованы базы данных NED, HyperLeda, Vizier.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Часть наблюдательных данных мы получили на уникальной научной установке Большой телескоп альт-азимутальный САО РАН и выполнили работу по обработке и анализу наблюдательных данных в рамках гранта Министерства науки

и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-262 (13.МНПМУ.21.0003). А. В. и П. Н. благодарят проект № BG-RRP-2.004-0008-C01 Европейского Союза — NextGenerationEU Национального плана восстановления и устойчивости Республики Болгария.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Astronomy Letters* **31**, 194 (2005). DOI:10.1134/1.1883351
2. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Baltic Astronomy* **20**, 363 (2011). DOI:10.1515/astro-2017-0305
3. G. Bertelli, A. Bressan, C. Chiosi, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **106**, 275 (1994). DOI:10.1051/0004-6361:20030970
4. F. Castelli, *Astron. and Astrophys.* **346**, 564 (1999).
5. Y. Chen, A. Bressan, L. Girardi, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **452** (1), 1068 (2015). DOI:10.1093/mnras/stv1281
6. A. Dolphin, DOLPHOT: Stellar photometry, *Astrophysics Source Code Library*, record ascl:1608.013 (2016).
7. S. S. Eikenberry, K. Matthews, J. L. LaVine, et al., *Astrophys. J.* **616** (1), 506 (2004). DOI:10.1086/422180
8. D. F. Figer, F. Najarro, M. Messineo, et al., *Astrophys. J.* **901** (1), id. L15 (2020). DOI:10.3847/2041-8213/abb704
9. M. P. Fitzgerald, *Astron. and Astrophys.* **4**, 234 (1970).
10. T. Hosokawa and K. Omukai, *Astrophys. J.* **703** (2), 1810 (2009). DOI:10.1088/0004-637X/703/2/1810
11. A. C. N. Hughes, C. A. L. Bailer-Jones, and S. Jamal, *Astron. and Astrophys.* **668**, id. A99 (2022). DOI:10.1051/0004-6361/202244859
12. R. M. Humphreys, M. S. Gordon, J. C. Martin, et al., *Astrophys. J.* **836** (1), article id. 64 (2017). DOI:10.3847/1538-4357/aa582e
13. R. M. Humphreys, K. Weis, K. Davidson, et al., *Astrophys. J.* **790** (1), article id. 48 (2014). DOI:10.1088/0004-637X/790/1/48
14. V. G. Klochkova, *Astrophysical Bulletin* **74** (4), 475 (2019). DOI:10.1134/S1990341319040138
15. A. Kostenkov, S. Fabrika, O. Sholukhova, et al., *ASP Conf. Ser.*, **510**, 457 (2017).
16. M. Kraus, *Galaxies* **7** (4), id. 83 (2019). DOI:10.3390/galaxies7040083
17. R. Kurtev, J. Borissova, L. Georgiev, et al., *Astron. and Astrophys.* **475** (1), 209 (2007). DOI:10.1051/0004-6361:20066706
18. S. Oh and P. Kroupa, *Astron. and Astrophys.* **590**, id. A107 (2016). DOI:10.1051/0004-6361/201628233



19. L. M. Oskinova, M. Steinke, W. R. Hamann, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **436** (4), 3357 (2013). DOI:10.1093/mnras/stt1817
20. D. E. Osterbrock and G. J. Ferland, *Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei*, 2nd ed. (University Science Books, Sausalito, CA, 2006).
21. A. Pastorello and M. Fraser, *Nature Astronomy* **3**, 676 (2019). DOI:10.1038/s41550-019-0809-9
22. L. S. Pilyugin, E. K. Grebel, and A. Y. Kniazev, *Astron. J.* **147** (6), article id. 131 (2014). DOI:10.1088/0004-6256/147/6/131
23. S. F. Portegies Zwart, J. Makino, S. L. W. McMillan, and P. Hut, *Astron. and Astrophys.* **348**, 117 (1999). DOI:10.48550/arXiv.astro-ph/9812006
24. N. D. Richardson and A. Mehner, *Research Notes of the American Astronomical Society* **2** (3), article id. 121 (2018). DOI:10.3847/2515-5172/aad1f3
25. A. N. Sarkisyan, A. S. Vinokurov, Y. N. Solovyeva, et al., *Astrophysical Bulletin* **72** (4), 486 (2017). DOI:10.1134/S1990341317040137
26. O. N. Sholukhova, S. N. Fabrika, A. F. Valeev, and A. N. Sarkisian, *Astrophysical Bulletin* **73** (4), 413 (2018). DOI:10.1134/S199034131804003X
27. Y. Solovyeva, A. Vinokurov, S. Fabrika, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **484** (1), L24 (2019). DOI:10.1093/mnrasl/sly241
28. Y. Solovyeva, A. Vinokurov, A. Sarkisyan, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **507** (3), 4352 (2021). DOI:10.1093/mnras/stab2036
29. Y. Solovyeva, A. Vinokurov, N. Tikhonov, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **518** (3), 4345 (2023). DOI:10.1093/mnras/stac3408
30. P. B. Stetson, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **99**, 191 (1987). DOI:10.1086/131977
31. P. B. Stetson, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **106**, 250 (1994). DOI:10.1086/133378
32. N. Tikhonov, O. Galazutdinova, O. Sholukhova, et al., *Research in Astronomy and Astrophysics* **21** (4), id. 098 (2021a). DOI:10.1088/1674-4527/21/4/98
33. N. A. Tikhonov and O. A. Galazutdinova, *Astronomy Letters* **36** (3), 167 (2010). DOI:10.1134/S1063773710030023
34. N. A. Tikhonov and O. A. Galazutdinova, *Astrophysical Bulletin* **73** (3), 279 (2018). DOI:10.1134/S1990341318030021
35. N. A. Tikhonov, O. A. Galazutdinova, and G. M. Karataeva, *Astrophysical Bulletin* **74** (3), 257 (2019). DOI:10.1134/S1990341319030027
36. N. A. Tikhonov, O. A. Galazutdinova, G. M. Karataeva, et al., *Astrophysical Bulletin* **76** (4), 381 (2021b). DOI:10.1134/S1990341321040143
37. P. F. Winkler, S. C. Coffin, W. P. Blair, et al., *Astrophys. J.* **908** (1), id. 80 (2021). DOI:10.3847/1538-4357/abd77d
38. N. Yusof, R. Hirschi, G. Meynet, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **433** (2), 1114 (2013). DOI:10.1093/mnras/stt794

### Search for and Study of the Brightest Stars in the Galaxy IC 342

O. N. Sholukhova<sup>1</sup>, N. A. Tikhonov<sup>1</sup>, Yu. N. Solovyeva<sup>1</sup>, A. N. Sarkisian<sup>1</sup>, A. S. Vinokurov<sup>1</sup>, A. T. Valcheva<sup>2</sup>, P. L. Nedialkov<sup>2</sup>, D. V. Bizyaev<sup>3,4</sup>, B. F. Williams<sup>5</sup>, and V. D. Ivanov<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167 Russia

<sup>2</sup>Sofia University St. Kliment Ohridski, Sofia, 1164 Bulgaria

<sup>3</sup>Apache Point Observatory and New Mexico State University, Sunspot, NM, 88349-0059 USA

<sup>4</sup>Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

<sup>5</sup>University of Washington, Seattle, 98195 USA

<sup>6</sup>European Southern Observatory, Garching, D-85748 Germany

We have selected candidate massive stars in the galaxy IC 342 based on archival images from the Hubble Space Telescope and images from the 2-m telescope at the National Astronomical Observatory, Rozhen, Bulgaria. Spectral observations of 24 out of 27 selected stars are carried out with the 6-m BTA telescope of SAO RAS and with the 3.5-m Apache Point Observatory telescope (USA) as part of the program for searching for bright massive stars in galaxies outside the Local Group. Our analysis reveals that 12 objects have spectra lacking prominent features, except for the emission lines of the surrounding nebulae and are identified as single supergiants of classes O9 to F5 or spatially unresolved young compact clusters. One source with an absorption spectrum probably belongs to our Galaxy. The spectra of seven other objects show features typical of Wolf–Rayet stars or compact clusters containing Wolf–Rayet stars. Another source is a compact supernova remnant. Two other objects are tentatively classified as cold LBV candidates, and one object is classified as a B[e]-supergiant candidate.

Keywords: *stars: massive—stars: LBV—galaxies: individual: IC 342*