

# НОВЫЕ LBV-КАНДИДАТЫ В ГАЛАКТИКАХ NGC 247 И NGC 4736

Соловьева Ю. Н., Винокуров А. С., Фабрика С. Н., Костенков А. Е., Шолухова О. Н.,  
Саркисян А. Н., Князев А. Ю., Валеев А. Ф., Атапин К. Е.

САО РАН



ЛАБОРАТОРИЯ  
ФИЗИКИ  
ЗВЕЗД

# Что такое LBV?

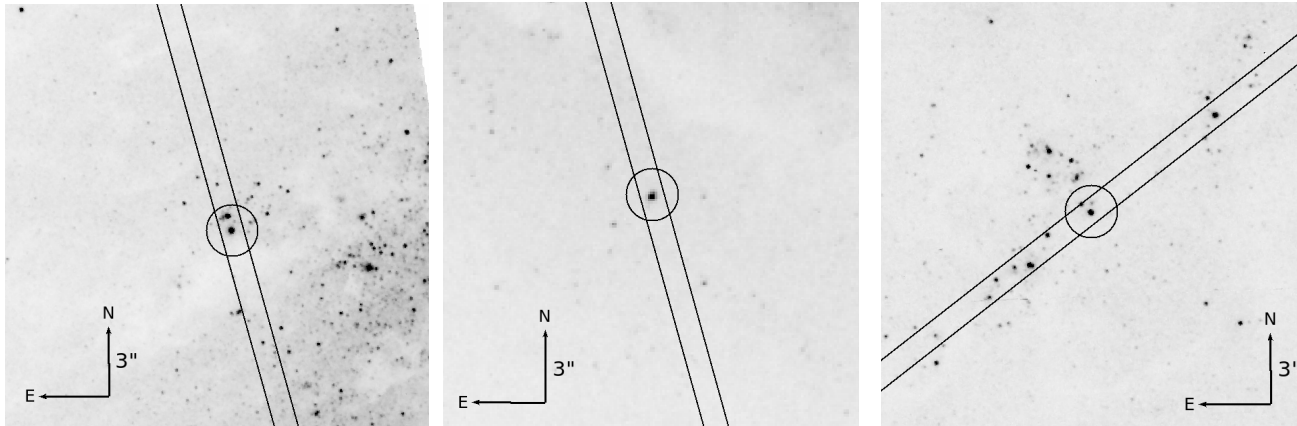
**Яркие голубые переменные (LBV)** - это яркие массивные звезды на одной из своих завершающих стадий эволюции.

Для них характерно:

- 1) Высокие светимости  $\sim 10^6 L_{\text{sun}}$ ;
- 2) Спектральная и фотометрическая переменность:
  - Редкие гигантские вспышки амплитудой  $> 2.5^m$  (переменные типа  $\eta$  Car). Масштабы времени – сотни-тысячи лет. Боллометрическая светимость не сохраняется;
  - Более частые вспышки амплитудой от  $0.1^m$  до  $2.5^m$  (переменные типа S Dor). Масштабы времени – от нескольких лет до десятилетий. Боллометрическая светимость остаётся приблизительно постоянной;
- 3) Во время визуального максимума — спектр A-F звёзд (Humphreys et al. 1994). Температура фотосферы — 7000-8000 K;
- 4) Во время визуального минимума – спектр WNLh-звезд. Температура фотосферы — более 35000 K (Clark et al. 2005);
- 5) Начальные массы:  $M > 40 M_{\text{sun}}$  (Maeder 1996). Менее яркие LBVs ( $M_{\text{bol}}$  от  $-8^m$  до  $-9.5^m$ ) с массами  $25 M_{\text{sun}} < M < 40 M_{\text{sun}}$  могут стать красными сверхгигантами (Humphreys et al. 2016).
- 6) LBV — прямые предшественники сверхновых (Groh et al. 2013)

# Поиск LBV

- Галактика **NGC 4736**. Расстояние 4.59 кpc (Tully, R.V et al. 2013)



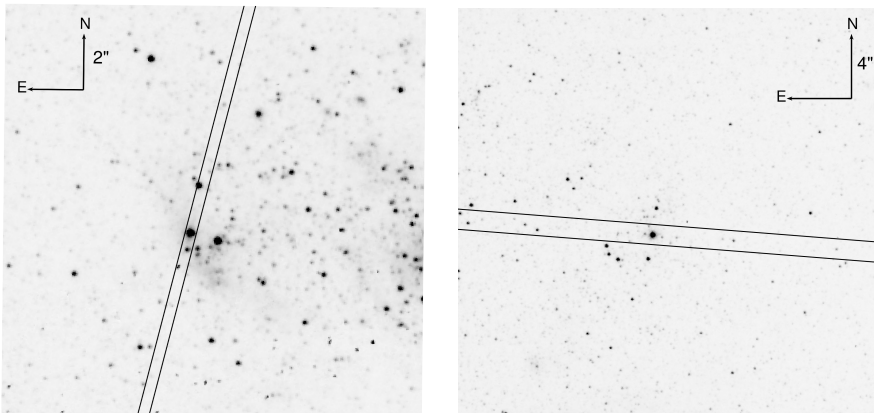
Слева направо:

**NGC 4736\_1:** 12:50:57.264  
+41:07:23.13

**NGC 4736\_2:** 12:50:55.844  
+41:06:25.44

**NGC 4736\_3:** 12:51:03.358  
+41:06:35.37

- Галактика **NGC 247**. Расстояние 3.52 кpc (Tully, R.V et al. 2013)



Слева направо:

**004703-204708.4:** 00:47:03.27  
-20:47:08.42

**004702-204739.9:** 00:47:02.18  
-20:47:39.93

# Наблюдения

- Спектральные данные:

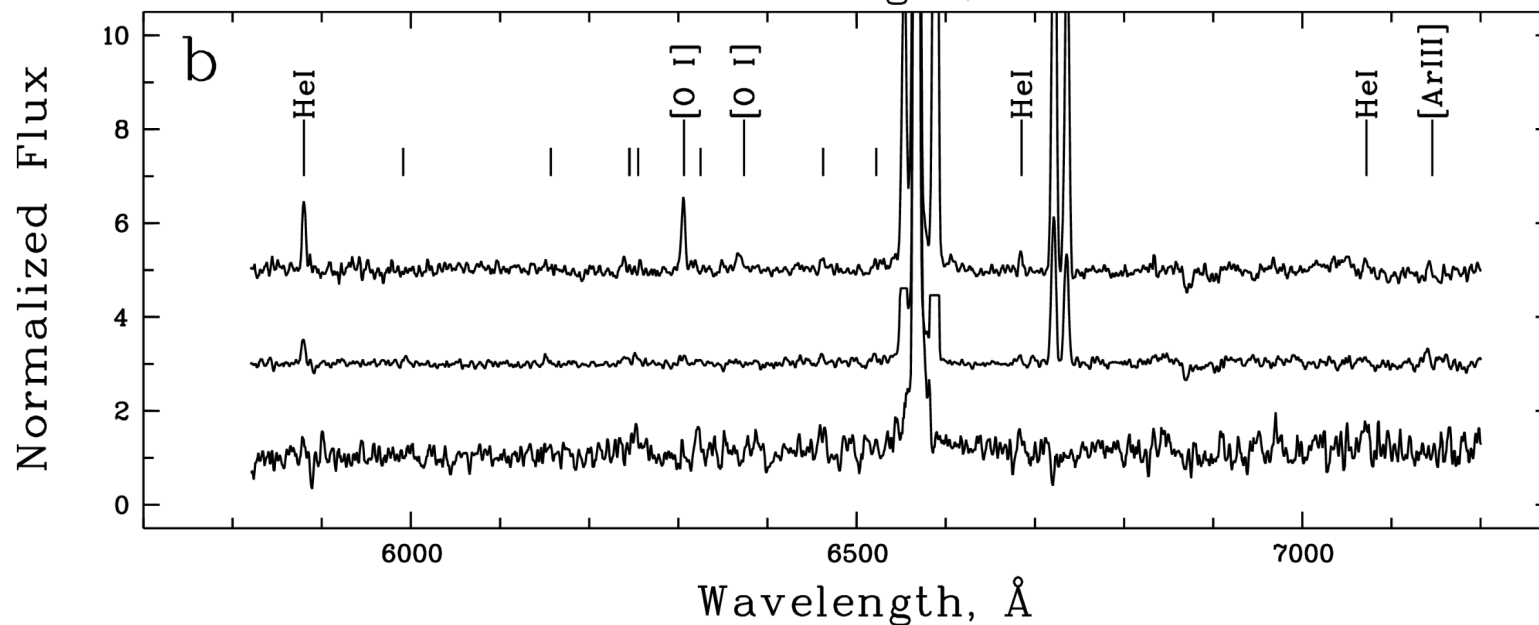
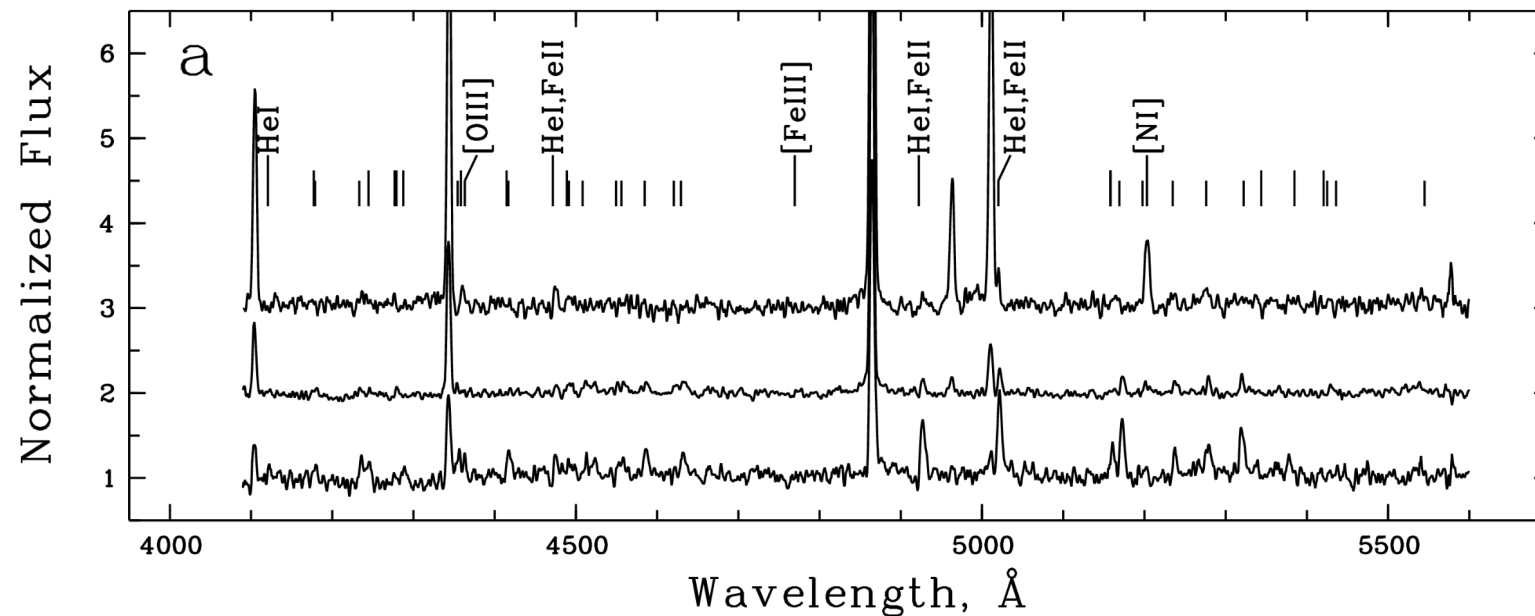
Объекты	Приборы	Даты наблюдений
NGC 4736_1	БТА/SCORPIO/VPHG1200R БТА/SCORPIO/VPHG1200G	03.01.2014 18.01.2015
NGC 4736_2	БТА/SCORPIO/VPHG1200R БТА/SCORPIO/VPHG1200G	03.01.2014 18.01.2015, 18.02.2018
NGC 4736_3	БТА/SCORPIO/VPHG1200R БТА/SCORPIO/VPHG1200G	03.01.2014 31.03.2017
NGC 247: 004703-204708.4	Subaru/FOCAS/300B	08-10.10.2016
NGC 247: 004702-204739.9	SALT/RSS/PG0900	07.10.2018

- Фотометрические данные:

Объекты	Телескоп	Годы наблюдений
NGC 4736_1 NGC 4736_2 NGC 4736_3	БТА	2014-2018 годы
	Цейсс-1000	2017 год
	2.5-м телескоп КГО ГАИШ МГУ	2018 год
NGC 247: 004703-204708.4 NGC 247: 004702-204739.9	Subaru	2016 год
	2.5-м телескоп КГО ГАИШ МГУ	2018 год

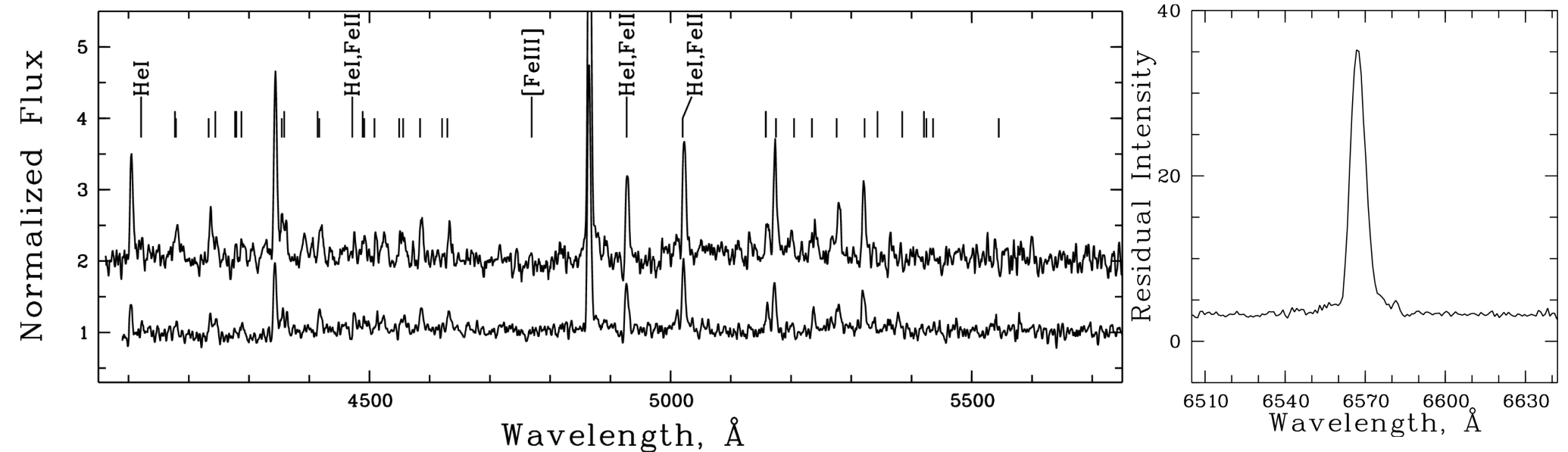
+ архивные данные наземных телескопов (ЖКТ, KPNO2.1-m, Palomar 60-inch, Danish 1.54-m, СТЮ 0.9-m) и космического телескопа им. Хаббла

# Кандидаты в LBV из NGC 4736



Голубой (VPHG1200G) и красный (VPHG1200R) спектры NGC 4736\_3 (верхний), NGC 4736\_1 (средний) и NGC 4736\_2 (нижний). Не подписанные короткие и длинные штрихи обозначают линии железа Fe II и [Fe II] соответственно.

# Кандидаты в LBV из NGC 4736: NGC 4736\_2

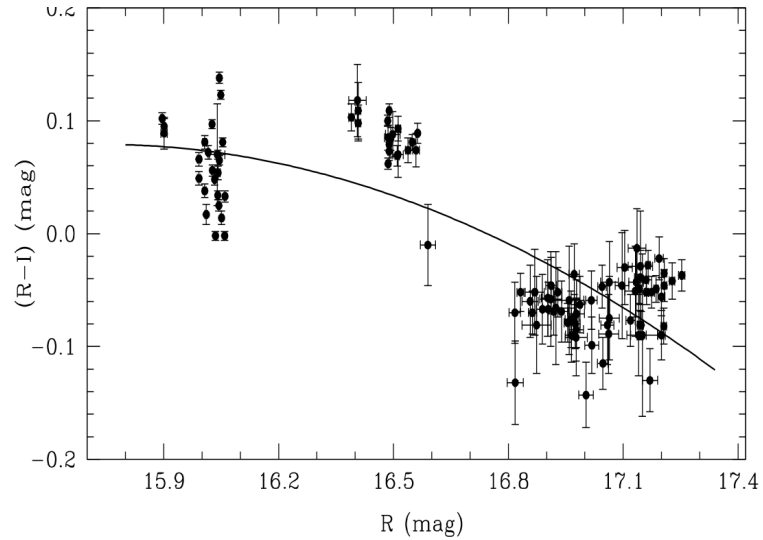
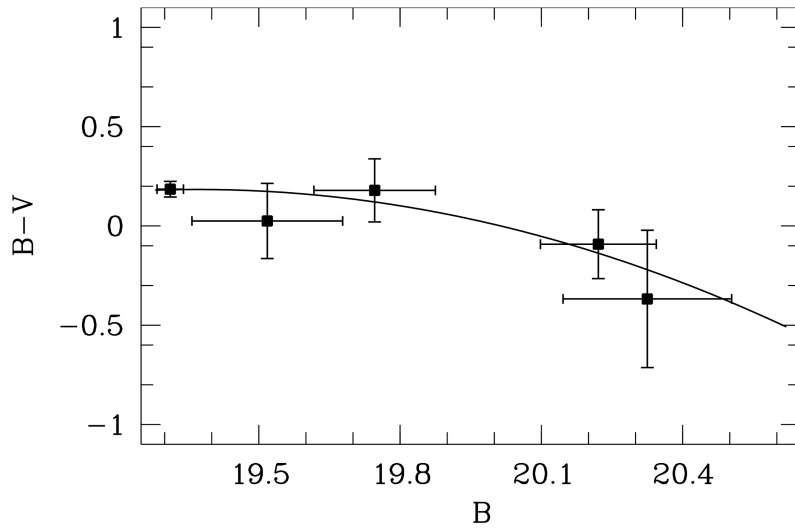
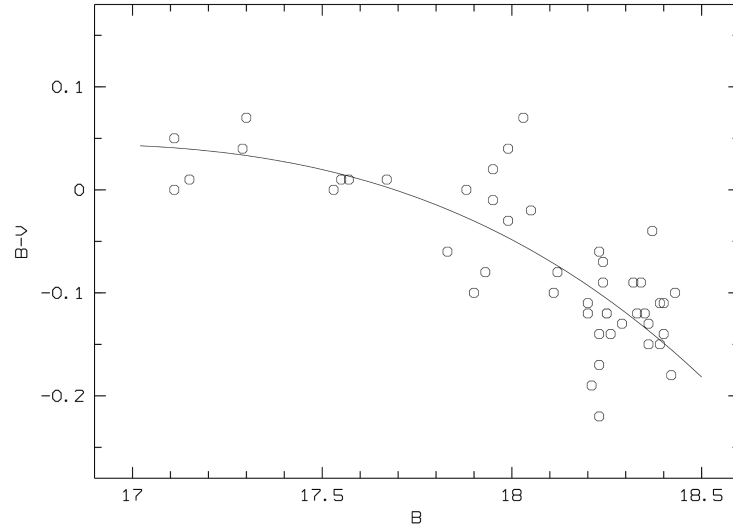
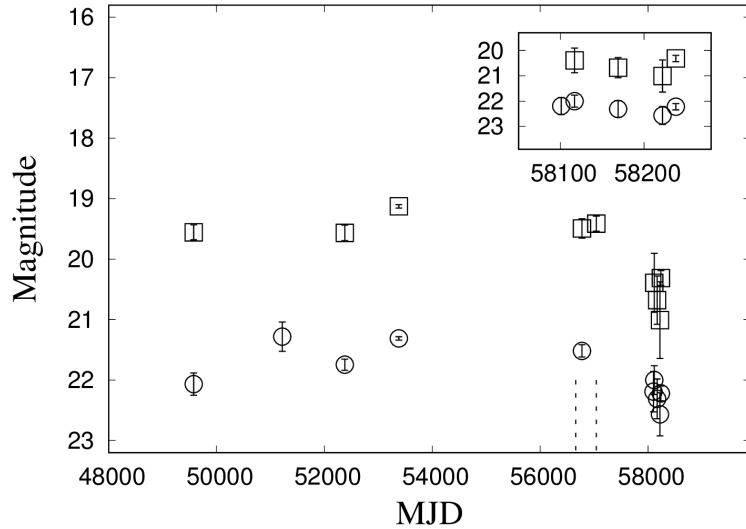


Справа: Голубой спектр NGC 4736\_2, полученный в 2015 (нижний) и 2018 (верхний) годах. Не подписанные короткие и длинные штрихи обозначают линии железа Fe II и [Fe II] соответственно. Слева: Линия H $\alpha$  со скрытым профилем P Cyg в спектре NGC 4736\_2, снято в 2014 году.

Скорость ветра  $V_{\text{outflow}} = -210 \pm 10$  км/с (P Cyg (H $\alpha$ , H $\beta$ ))

Характерные скорости ветра для LBV-звёзд:  $V_{\text{outflow}} = 100\text{-}200$  км/с (Humphreys et al. 2014)

# Кандидаты в LBV из NGC 4736: NGC 4736\_1



Слева сверху: Кривая блеска NGC 4736\_1 в фильтрах V (круги) и V (квадраты). Кривая блеска в полосе V смещена вниз на 2<sup>m</sup>;  
 Слева снизу: Изменение цвета B-V с блеском в полосе V. Показана аппроксимация квадратичным полиномом.  
 Справа сверху: Изменение цвета B-V с блеском в полосе V для V532 (Romano star) (Sholukhova et al, 2011)  
 Справа снизу: Изменение цвета R-I с блеском в полосе R для AF And (Joshi et al, 2019)

$$\Delta V \sim 1.1^m$$

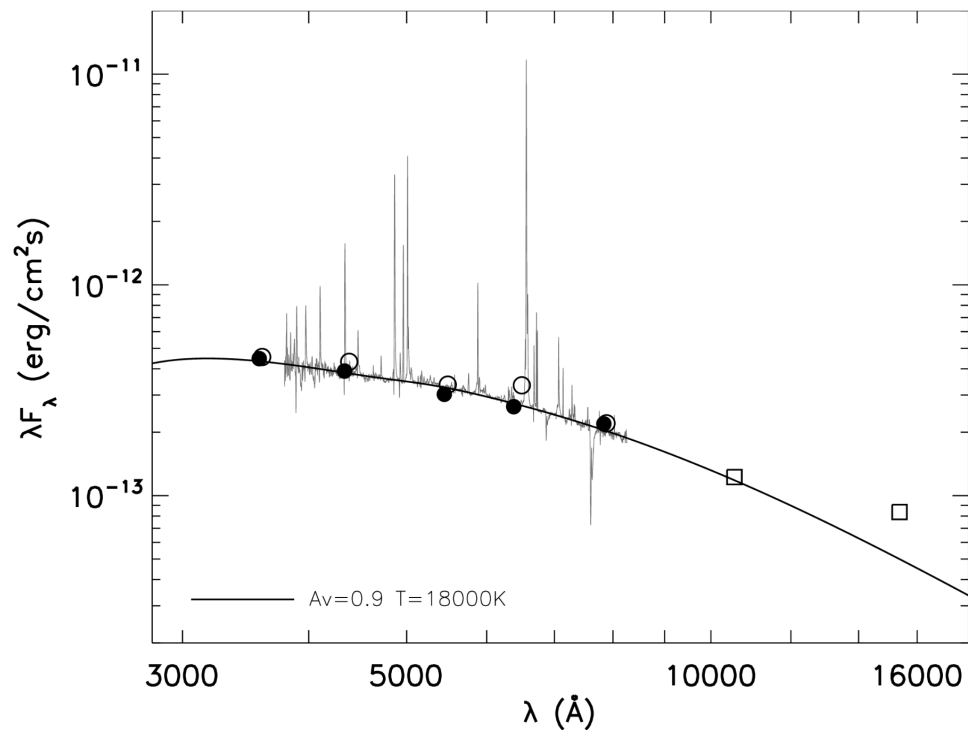
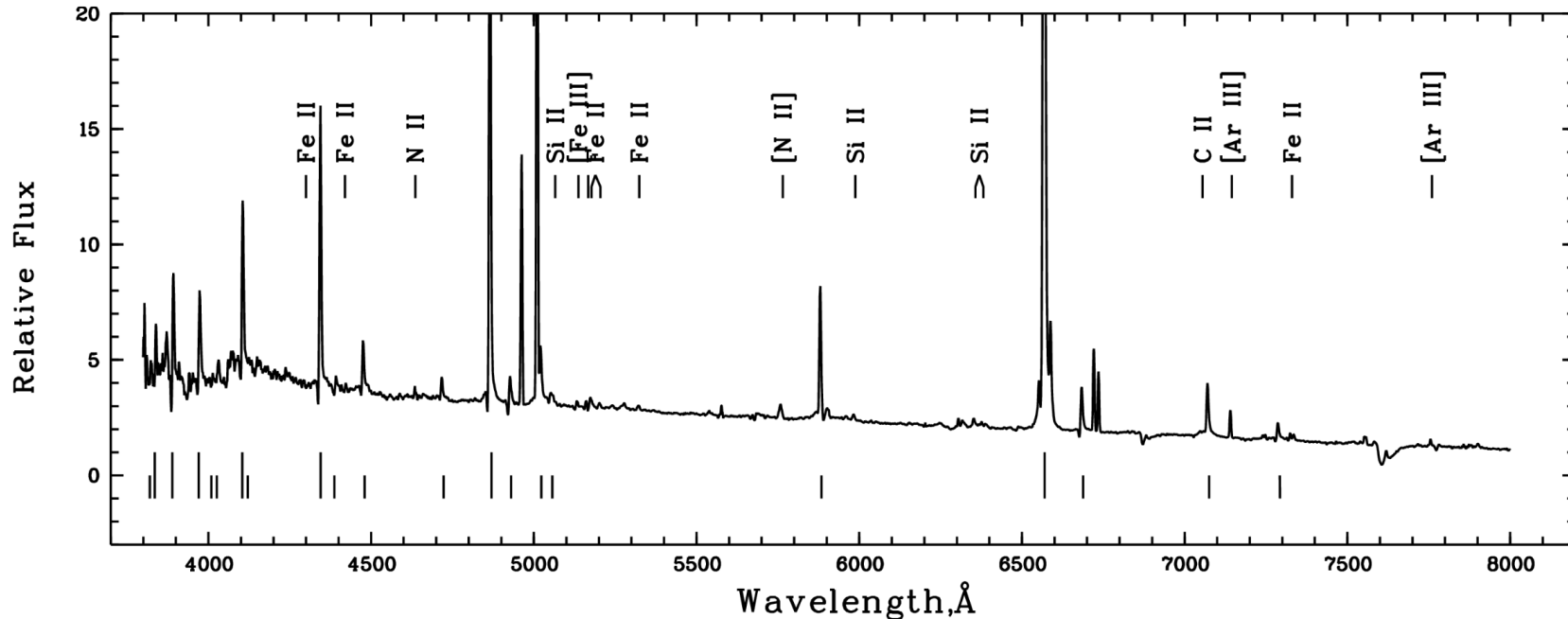
$$\Delta B \sim 0.9^m$$

## Кандидаты в LBV из NGC 4736: параметры

Объект	Видимая звёздная величина V, mag	Оценка $A_V$ , mag	$M_V$ , исправленная за поглощение	Оценка T фотосферы из истинного цвета $(B-V)_0$ для сверхгигантов, кК	Оценка T фотосферы по наблюдаемым спектральным линиям, кК	$\log(L_{bol}/L_{sun})^*$	$V_{outflow}$ , км/с
NGC4726_1	19.13±0.03	1.0 ± 0.1	-10.2±0.1	17±3	18±3	6.5±0.2	-
NGC4736_2	19.72±0.03	-	< -8.6	-	15±3	> 5.9	-210 ± 10
NGC4736_3	20.53±0.03	0.47±0.21	-8.2±0.2	9.3±1.0	12±2	5.3±0.2	-



# Кандидаты в LBV из NGC 247: 004703-204708.4



$A_V = 0.8 \pm 0.1$  mag (from observations)

$A_V(\text{SED}) = 0.9$  mag

$M_V = -9.1 \pm 0.1$  mag

$T_{\text{SED}} = 18000 \pm 2000$  K

$T_{\text{spec}} = 20000 \pm 5000$  K

$M_{\text{BOL}} = -10.8 \pm 0.6$  mag

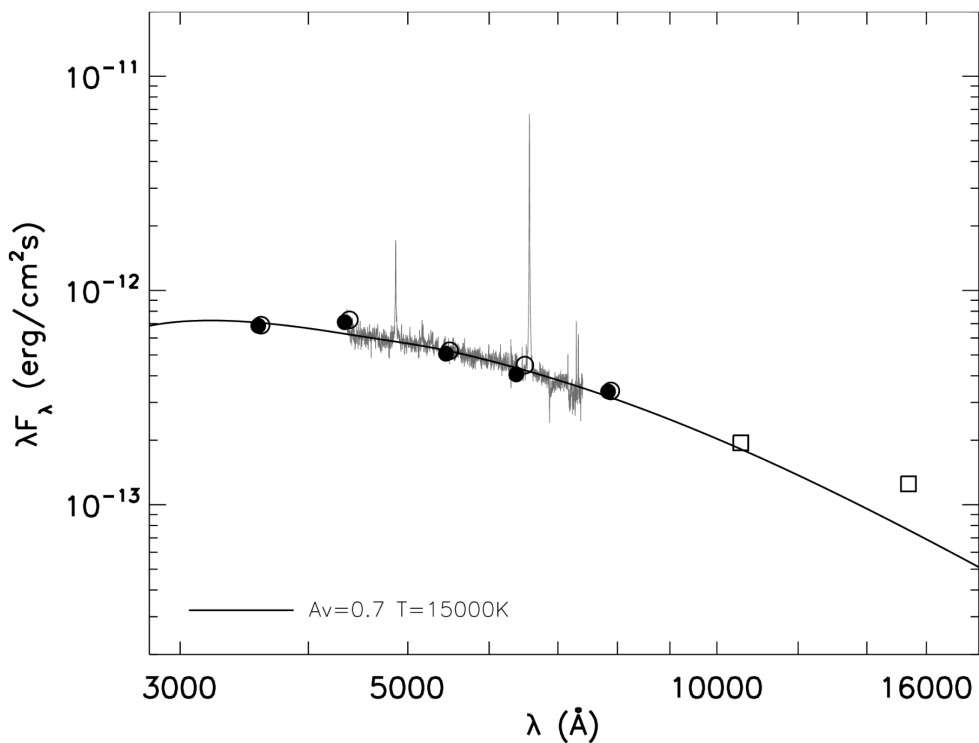
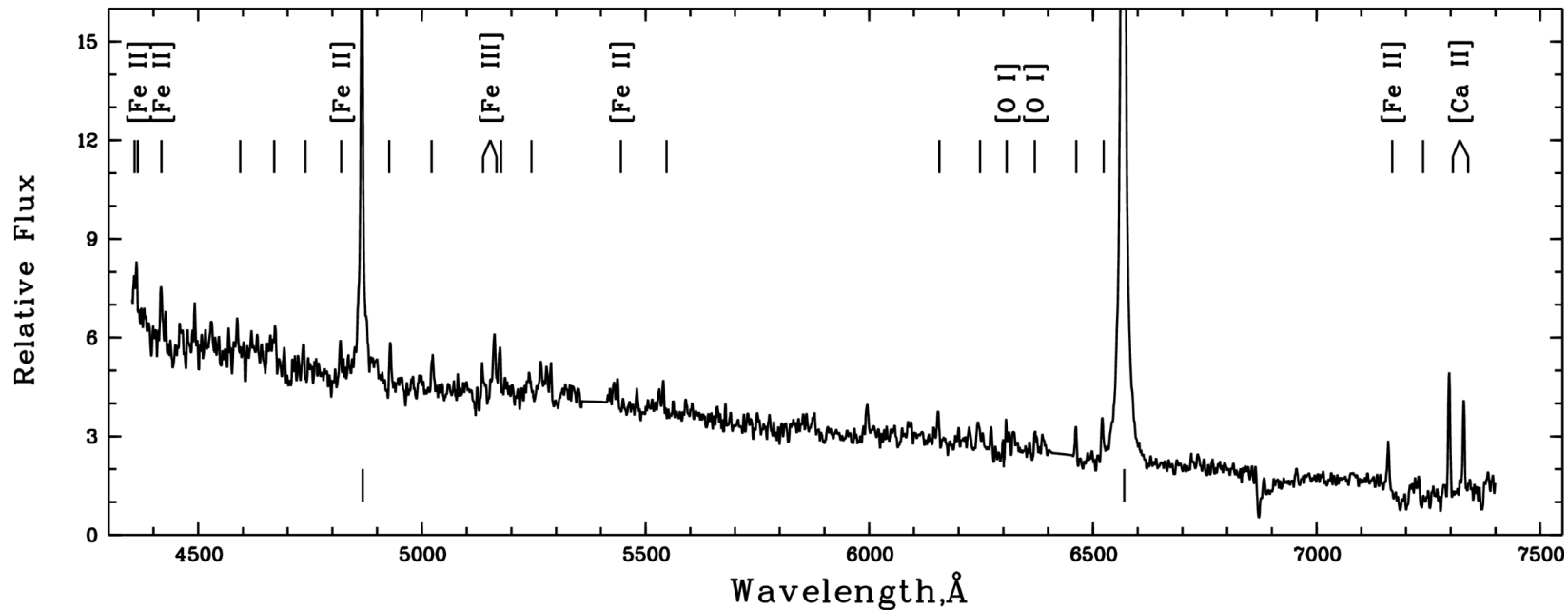
$\log (L_{\text{BOL}} / L_{\text{SUN}}) = 6.3 \pm 0.2$

$\Delta B = \Delta V = 0.3$  mag (по данным телескопов HST и Subaru за 2011 и 2016 годы)

$V_{\text{outflow}}(\text{P Cyg } H\alpha) = -300 \pm 10$  км/с

$V_{\text{outflow}}(\text{P Cyg } H\beta) = -265 \pm 10$  км/с

# Кандидаты в LBV из NGC 247: 004702-204739.9



$A_V = 0.9 \pm 0.2$  mag (from observations)

$A_V(\text{SED}) = 0.7$  mag

$M_V = -9.5 \pm 0.2$  mag

$T_{\text{SED}} = 15000 \pm 2000$  K

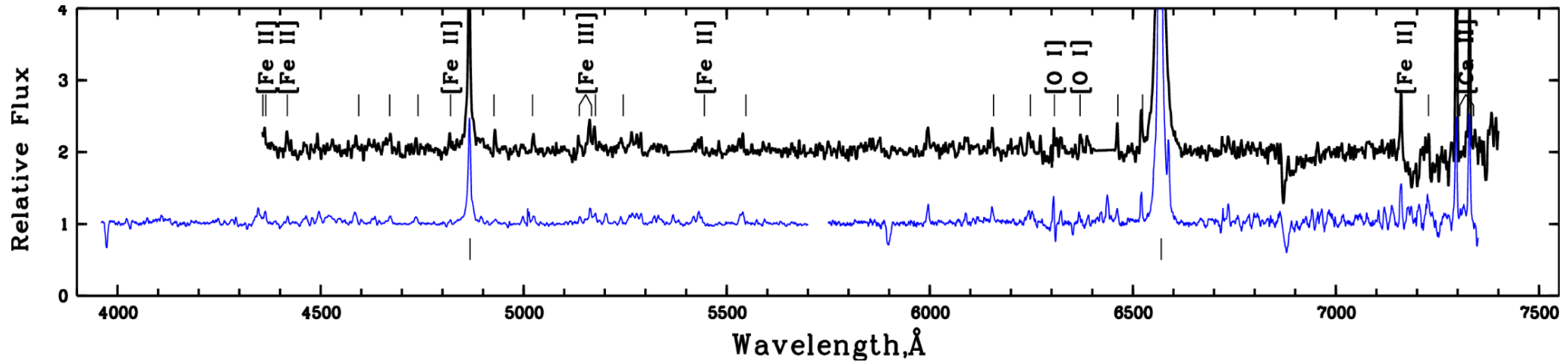
$T_{\text{spec}} = 15000 \pm 5000$  K

$M_{\text{BOL}} = -10.7 \pm 0.9$  mag

$\log(L_{\text{BOL}} / L_{\text{SUN}}) = 6.2 \pm 0.3$

$\Delta U \approx 0.22$  m,  $\Delta B \approx 0.15$  m,  $\Delta V \approx 0.09$  m,  
 $\Delta R \approx 0.09$  m (по данным телескопов СТЮ  
 0.9-м и Subaru за 2009 и 2016 год)

# Кандидаты в LBV из NGC 247: 004702-204739.9



Сверху: Нормированный спектр 004702-204739.9.

Снизу: Нормированный спектр LBV-звезды N 93351 (Valeev et al 2009)

# Диаграммы «температура-светимость»

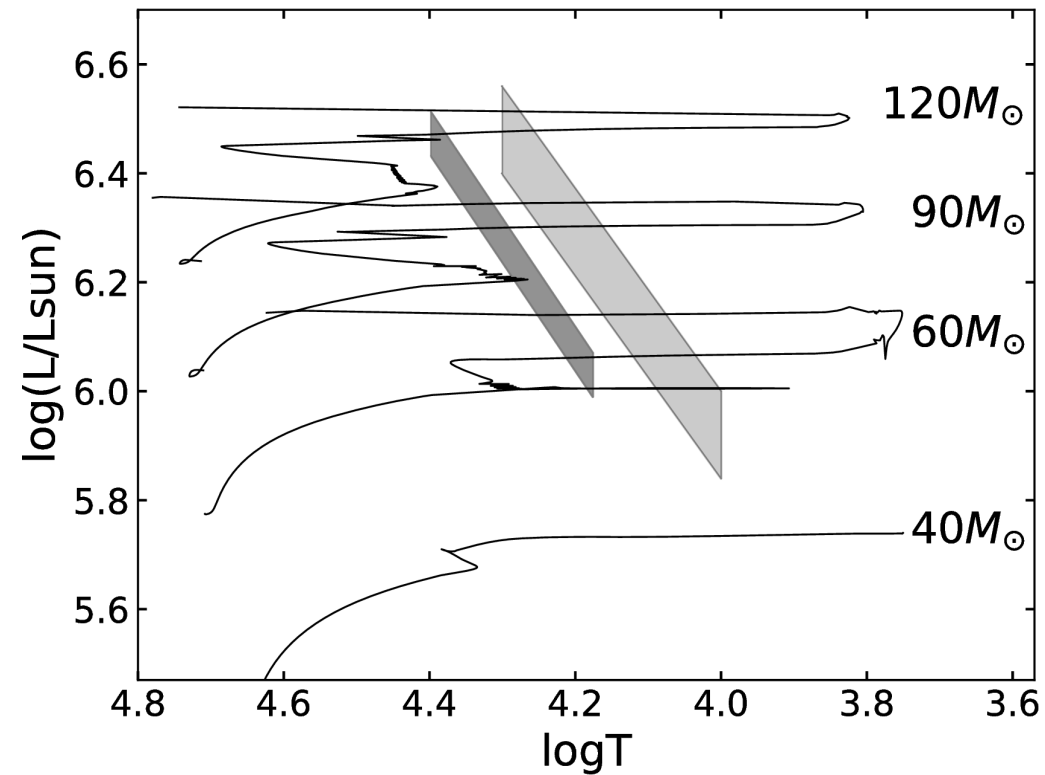


Диаграмма Герцшпрунга-Рессела для LBV-кандидатов 004703-204708.4 (тёмно-серый) и 004702-204739.9 (серый) из галактики NGC 247. Нанесены эволюционные треки для массивных звёзд (Tang et al. 2014) для  $Z=0.008$  (Davidge, 2006)

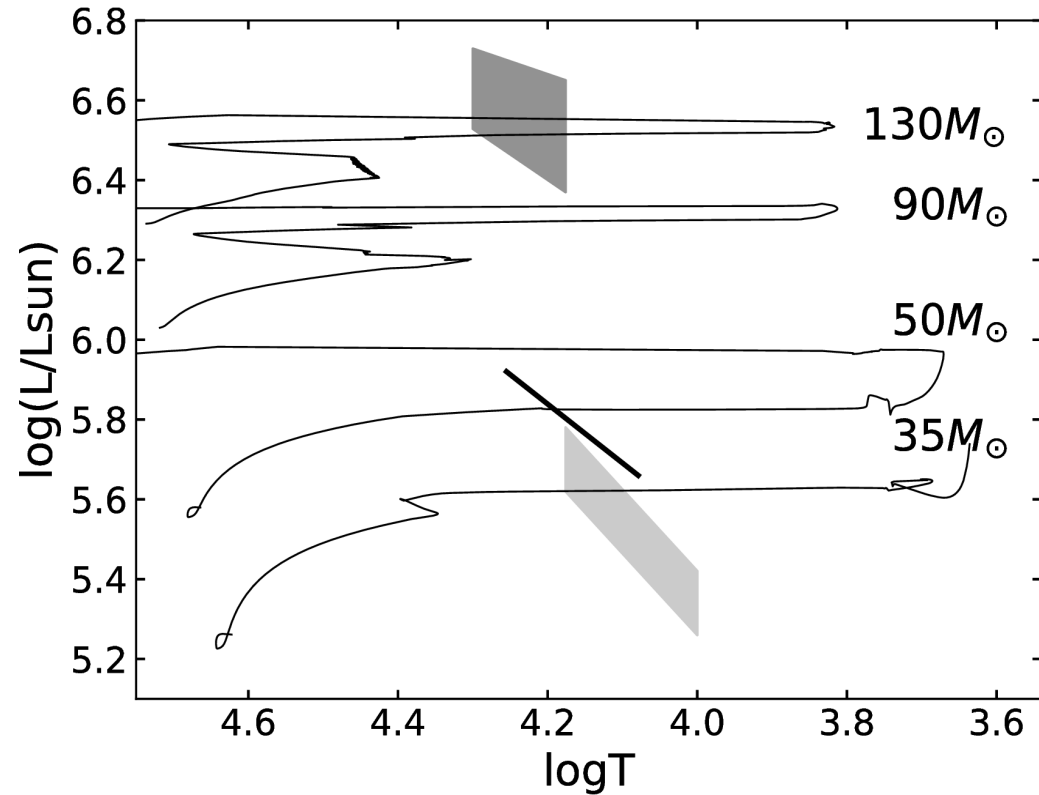


Диаграмма Герцшпрунга-Рессела для LBV-кандидатов NGC 4736\_1 (тёмно-серый), NGC 4736\_2 (чёрный) и NGC 4736\_3 (серый). Нанесены эволюционные треки для массивных звёзд (Tang et al. 2014) для  $Z=0.01$  (Pilyugin et al, 2014)

Серыми фигурами обозначены области возможных значений температур фотосферы и болометрической светимости. Для NGC 4736\_2 определён лишь нижний предел болометрической светимости.