

УДК 524.7

**К. Б. Агиенко**

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины  
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680  
e-mail: agienko@mao.kiev.ua

## **Исследование природы небулярной эмиссии He II в спектрах низкометаллических областей H II из Цифрового обзора неба Слоан**

*Исследована выборка галактик из седьмого выпуска Цифрового обзора неба Слоан, в спектрах которых наблюдается небулярная линия He II 468.6 нм — индикатор жесткого излучения в областях H II. В спектрах областей H II нашей выборки интенсивность этой линии увеличивается с уменьшением металличности, что согласуется с предыдущими исследованиями. В то же время теоретические модели популяционного синтеза предсказывают уменьшение интенсивности линии He II с металличностью. Проверена возможная связь между жестким УФ-излучением и звездами Вольфа — Райе. Лишь в 30 % спектров нашей выборки одновременно с небулярной эмиссией наблюдается широкая эмиссия He II от звезд Вольфа — Райе. Этот факт не исключает звезды Вольфа — Райе в качестве возможного источника жесткого ионизирующего излучения в некоторых областях H II. Однако наиболее вероятными следует рассматривать другие источники жесткого ионизирующего излучения, такие как быстрые радиативные ударные волны.*

*ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДИ НЕБУЛЯРНОЇ ЕМІСІЇ HE II В СПЕКТРАХ НИЗЬКОМЕТАЛІЧНИХ ОБЛАСТЕЙ H II ІЗ ЦИФРОВОГО ОГЛЯДУ НЕБА СЛОАН, Агієнко К. Б. — Досліджено вибірку галактик із сьомого Цифрового огляду неба Слоан, у спектрах яких спостерігається небулярна лінія He II 468.6 нм — індикатор жорсткого випромінювання в області H II. У спектрах областей H II нашої вибірки інтенсивність небулярної лінії He II збільшується із зменшенням металічності, що узгоджується з попередніми дослідженнями. У той же час теоретичні моделі популяційного синтезу передбачають зменшення інтенсивності лінії He II з металічністю. Перевірявся можливий зв'язок між жорстким ультрафіолетовим випромінюван-*

ням і зорями Вольфа — Райє. Лише в 30 % спектрів нашої вибірки одночасно з небулярною емісією спостерігається широка емісія He II від зір Вольфа — Райє. Цей факт не виключає зорі Вольфа — Райє в якості можливого джерела жорсткого іонізаційного випромінювання в деяких областях H II. Однак найбільш ймовірними слід розглядати інші джерела жорсткого випромінювання, такі як швидкі радіативні ударні хвилі.

*AN INVESTIGATION OF THE ORIGIN OF HE II NEBULAR EMISSION IN SPECTRA OF LOW-METALLICITY H II REGIONS FROM SLOAN DIGITAL SKY SURVEY, by Agiienko K. B. — We study possible sources of hard ionising radiation in H II regions with low metallicity. The presence of the nebular He II 468.6 nm emission line in the H II region spectrum can be considered as an indication of this radiation. While theoretical stellar population synthesis models predict He II emission-line intensities decreasing with the metallicity, the intensity of this line in H II regions from our sample is increasing with metallicity decrease. That is in good agreement with previous studies. Some relation between the He II emission and presence of Wolf—Rayet (WR) stars is discussed. Only 30 % of spectra from our sample show nebular emission superposed with broad He II emission from WR stars. This evidence does not exclude WR stars as a possible source of hard ionising radiation in some H II regions. However, other sources such as fast radiative shocks seem to be more likely.*

## ВВЕДЕНИЕ

Исследование физических условий в близких галактиках с низкой металличностью имеет принципиальное значение для решения проблемы формирования галактик на больших красных смещениях. Голубые компактные карликовые галактики (ГККГ) являются хорошей альтернативой молодым галактикам, находящимся на больших красных смещениях ( $z > 3$ ), поскольку они бедны тяжелыми элементами и, возможно, наблюдаются на стадии первой вспышки звездообразования [13]. Массивное звездное население ГККГ имеет свойства средние между первичными звездами и звездным населением с солнечной металличностью [29]. В частности, массивные звезды в ГККГ горячее, чем в спиральных галактиках, и производят более жесткое ионизационное излучение. Таким образом, ГККГ являются хорошими лабораториями для изучения свойств ионизационного излучения в условиях низкой металличности.

Наличие в спектре небулярной линии He II 468.6 нм свидетельствует о том, что в галактике есть источники жесткого ионизационного излучения. Такими источниками могут быть активные ядра галактик (АЯГ), рентгеновские двойные, остатки сверхновых [3, 9, 28, 29] и молодые массивные звезды, в том числе массивные звезды Вольфа — Райє с интенсивным истечением вещества. Галактики Вольфа —

Райе (WR) — это галактики, в спектрах которых обнаружены голубая и/или красная WR-особенности, производимые неразрешимыми на звезды скоплениями. Голубая WR-особенность представляет собой бленду эмиссионных линий N V 460.5, 462.0 нм, N III 463.4, 464.0 нм, C III 465.0 нм, C IV 465.8 нм и He II 468.6 нм. Красная WR-особенность состоит из одной широкой эмиссии C IV 580.8 нм. По современным представлениям WR-звезды представляют собой наиболее массивные звезды на поздней стадии эволюции, у которых в результате сильного звездного ветра (темп потери вещества  $(10^4 \dots 10^5) M_{\odot}/\text{год}$ ) обнажилось гелиевое ядро [5].

Исследование эмиссии He II дает информацию о физических процессах в областях H II, свойствах ионизирующего излучения вспышек звездообразования и его вкладе в ионизацию межзвездной среды. Однако источники небулярной эмиссии He II до сих пор не определены. В работе [26] показано, что ионизирующий поток от звезд Вольфа — Райе может объяснить небулярную линию He II 468.6 нм в спектрах галактик H II. Позднее в работе [9] это утверждение было проверено на выборке из 30 ГККГ, в спектрах которых наблюдается небулярная линия He II 468.6 нм. Широкие особенности WR-звезд наблюдались только в 18 галактиках выборки. Было высказано предположение, что в остальных 12 галактиках WR-особенности слишком слабые для проявления в интегральном спектре. В работе [29] также было показано, что в спектрах большого количества галактик с небулярной эмиссионной линией He II 468.6 нм отсутствуют WR-линии, особенно для галактиках с низкой металличностью. В качестве источника ионизации гелия были предложены быстрые ударные волны. В работе [4] предполагается незначительный вклад ударных волн в ионизацию межзвездной среды и сделан вывод, что основным источником небулярной эмиссии He II 468.6 нм при металличностях, меньших 20 % от солнечной, являются O-звезды, а при большей металличности — WR-звезды азотной последовательности (WN-звезды). В работе [27] на основе обзора SDSS DR7 создана большая выборка галактик в широком диапазоне металличностей, в которых проходят процессы звездообразования и которые имеют сильную эмиссию He II 468.6 нм в спектре. На основании этой выборки было подтверждено, что теоретические модели могут объяснить наблюдаемую интенсивность небулярной эмиссии He II только на стадии, когда в области звездообразования доминирует ионизирующее излучение от WR-звезд, и при металличностях, больших 20 % от солнечной. Однако 40 % галактик со звездообразованием из этой выборки не показывают WR-особенностей в спектрах.

Пространственно разрешимые наблюдения некоторых галактик указывают на отсутствие корреляции между эмиссией He II 468.6 нм и скоплениями молодых массивных звезд. В частности, наблюдения галактики M33 [17, 21] обнаружили области небулярной эмиссии He II, не связанные с эмиссией WR-звезд. В работе [13] по наблюдениям экс-

тремальной низкометаллической галактики SBS 0335-052E на спектрографе GIRAFFE телескопа VLT было обнаружено, что максимальная эмиссия He II пространственно ассоциируется с более старым звездным скоплением. Это свидетельствует в пользу ударных волн как механизма ионизации гелия. Наконец, в работе [15] обсуждаются свойства восьми областей H II с низкой металличностью, в спектрах которых наблюдается не только линия He II 468.6 нм, но и линия [Ne V] 342.6 нм. Последняя линия требует для своего образования значительно более жесткого ионизирующего излучения, чем линия He II 468.6 нм, и ее наличие в спектре, по-видимому, полностью исключает O- и WR-звезды в качестве источников жесткого излучения, по крайней мере в исследуемых областях H II.

Таким образом, вопрос происхождения сильной небулярной эмиссии He II 468.6 нм в областях звездообразования остается открытым.

## ВЫБОРКА

Для изучения возможных механизмов, ответственных за образование небулярной эмиссионной линии He II 468.6 нм, мы создали выборку из 79 спектров голубых компактных карликовых галактик и областей H II из седьмого выпуска (DR7) Цифрового обзора неба Слоан [1] (SDSS) с узкой небулярной эмиссией ионизованного гелия. Мы отбирали спектры, в которых ошибка измерения потока в линиях He II 468.6 нм и [O III] 436.3 нм не превышает 30 % от потоков в этих линиях.

На рис. 1 показано положение галактик нашей выборки на диаграмме Болдуина, Филлипса и Терлевича (БПТ) [2]. Эта диаграмма позволяет классифицировать галактики в зависимости от основного источника ионизации в галактике. Обычно высокие значения интенсивностей запрещенных линий ([O III] 500.7)/H и ([N II] 658.4)/H в одном и том же спектре свидетельствуют об активном ядре как доминирующем источнике ионизирующих фотонов. Сплошной линией

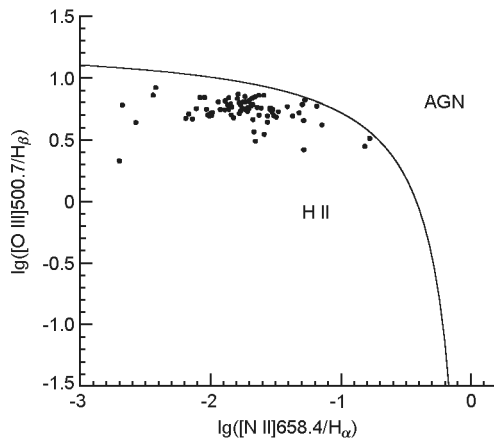


Рис. 1. Диагностическая диаграмма Болдуина, Филлипса и Терлевича (БПТ). Точки — галактики нашей выборки. Сплошная линия — классификационная линия, отображающая эмпирическую верхнюю границу для областей H II из SDSS на БПТ-диаграмме, полученная в работе [16]

показана кривая, разделяющая положения областей Н II и АЯГ на классификационной диаграмме. Кривая найдена эмпирическим путем в работе [16]. Мы исключили из нашей выборки АЯГ, используя ВРТ-диаграмму. Приблизительно в трети спектров нашей выборки есть широкая эмиссия от WR-звезд. В каждом спектре в пакете IRAF-SPLOТ была измерена небулярная линия или небулярная часть линии He II 468.6 нм, расположенная на вершине широкого компонента. Все линии были скорректированы за межзвездную экстинкцию, коэффициент которой определялся по бальмеровскому декременту [14, 30].

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧНОСТЕЙ

Наиболее надежным методом определения металличности для областей Н II является так называемый «прямой»  $T_e$ -метод. Он описан в работах [12, 14]. Для описания распределения температуры в области Н II используется двухзонная фотоионизационная модель: зона высокой ионизации с электронной температурой  $T_3$ , в которой образуются линии [O III], [Ne III] и [Ar IV], и зона низкой ионизации с электронной температурой  $T_2$ , где образуются линии [O II], [N II], [S II] и [Fe III]. «Прямой» метод применим, если в спектре области Н II удастся измерить одну или несколько авроральных линий. В спектрах областей Н II низкой металличности обычно измеряется линия O III 436.3 нм. Тогда электронная температура  $T_3$  определяется из отношения [O III] 436.3/(495.9 + 500.7). Электронная температура  $T_2$  определяется, если измерена авроральная линия N II 575.5 нм. Если в спектре измерена одна авроральная линия, и следовательно, определено значение одной температуры, то значение другой температуры определяется из соотношения [8]:

$$T_2 = 0.7T_3 - 3000 \text{ К.}$$

В спектрах выбранных объектов измерена линия O III 436.3 нм, что позволило определить содержание кислорода прямым методом. Диапазон значений содержания тяжелых элементов  $12 + \lg(\text{O}/\text{H})$  для нашей выборки варьирует от 7.16 до 8.4. Содержания тяжелых элементов в галактиках нашей выборки, в спектрах которых есть небулярная эмиссия He II и нет WR-эмиссии, варьируют в пределах 7.4... 8.2. Отметим, что в работах [4, 9] также не было найдено небулярной эмиссии He II 468.6 при содержании кислорода  $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) > 8.4$ .

### СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ

В работах [27, 29] измерялись интенсивности линии He II в спектрах SDSS. Было показано, что интенсивность линии He II 468.6 нм коррелирует с металличностью галактик. Интенсивность линии He II

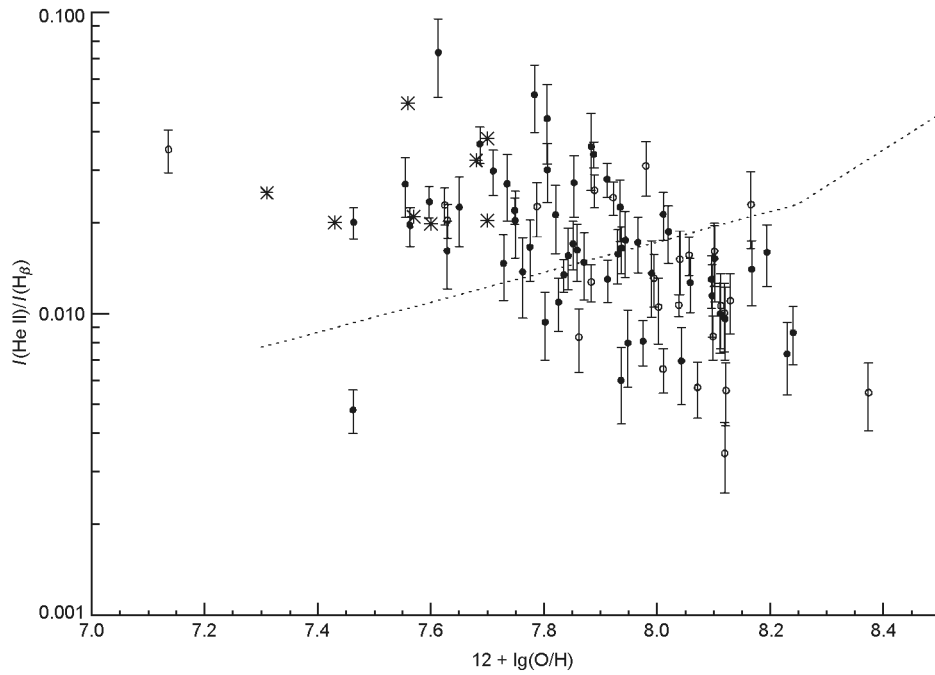
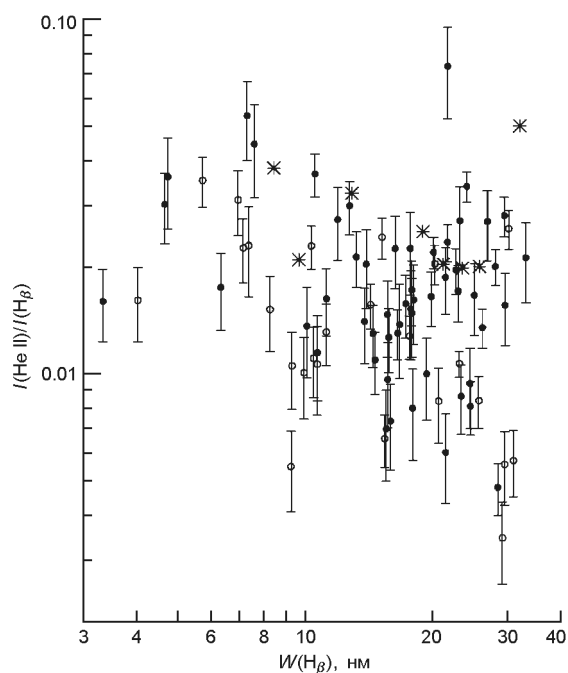


Рис. 2. Относительная интенсивность  $I$  линии He II 468.6 нм в галактиках из нашей выборки: точки — галактики только с небулярной линией He II 468.6 нм, кружки — галактики, в спектрах которых наблюдается также излучение He II от WR-звезд, звездочки — галактики из работы [15] с небулярной эмиссией He II 468.6 нм и [Ne V] 342.6 нм в спектрах. Пунктирная линия — предсказания модели [26]

увеличивается с уменьшением металличности галактики. Мы проверили этот тренд на нашей выборке. На рис. 2 показана зависимость интенсивности линии He II, нормированной на H $\beta$ , от содержания кислорода  $12 + \lg(\text{O}/\text{H})$  для объектов нашей выборки. Виден явный тренд уменьшения интенсивности небулярной эмиссии гелия с увеличением металличности. Это совсем не соответствует предсказаниям моделей звездного популяционного синтеза [26]. Большое расхождение наблюдений с моделями и неразличимость распределений галактик с WR-излучением и без него показывает, что только ионизирующим излучением от массивных звезд нельзя объяснить наблюдаемые распределения интенсивности He II 468.6 нм.

Поскольку металличность — не единственный фактор, влияющий на интенсивность небулярной линии He II 468.6 нм [29], мы исследовали, как зависит интенсивность этой линии от возраста вспышки звездообразования. В качестве индикатора возраста вспышки звездообразования мы использовали эквивалентную ширину  $W(\text{H}\alpha)$  эмиссионной линии H $\alpha$ . Согласно данным [26] значение  $W(\text{H}\alpha) \sim 60$  нм соответствует звездному населению вспышки нулевого возраста. На рис. 3 показана зависимость интенсивности He II 468.6 нм от  $W(\text{H}\alpha)$ . Обозначения соответствуют обозначениям на рис. 2. Видно, что с увеличением возраста вспышки звездообразования, соответствующем

Рис. 3. Зависимость относительной интенсивности  $I$  небулярной эмиссии He II 468.6 нм от эквивалентной ширины H. Обозначения см. на рис. 2



уменьшению  $W(H)$ , интенсивность He II 468.6 нм увеличивается. Этот факт говорит о том, что излучение He II производится не массивными звездами на главной последовательности, а массивными звездами на более поздней стадии эволюции, например WR-звездами, а также вспышками сверхновых и их расширяющимися оболочками.

### МОДЕЛЬНЫЕ ПРЕДСКАЗАНИЯ

Чтобы установить, можно ли при помощи современных моделей звезд объяснить наблюдаемую эмиссию He II 468.6 нм в интегральных спектрах галактик, мы сравнили наблюдаемые интенсивности линии ионизированного гелия с интенсивностями, предсказываемыми моделями [18] и [26].

Для расчета интенсивностей эмиссионных линий в спектрах областей H II была использована программа Cloudy (версия v10.00 [7]), в которой задавалось распределение энергии ионизирующего излучения от длины волны, рассчитанное с использованием программы Staburst99 [18]. На рис. 4 модельные расчеты сравниваются с наблюдательными данными. Расчеты были проведены для трех диапазонов содержаний кислорода. Символами на рис. 4, *а* показаны галактики с экстремально низким содержанием кислорода  $12 + \lg(O/H) < 7.6$ ; на рис. 4, *б* — галактики с содержанием кислорода  $7.6 < 12 + \lg(O/H) < 8.0$  и на рис. 4, *в* — галактики с содержанием кислорода  $12 + \lg(O/H) > 8.0$ . Обозначения галактик соответствуют обозначениям на рис. 2 и 3. Линиями показаны рассчитанные интенсивности линии He II 468.6 нм для разного возраста вспышки звездообразования. Как видно из рис. 4,

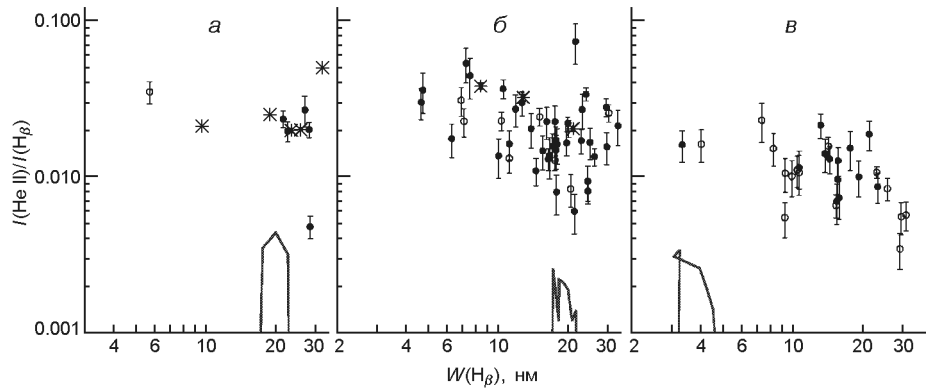


Рис. 4. Зависимость относительной интенсивности  $I$  небулярной эмиссии He II 468.6 нм от эквивалентной ширины H для трех диапазонов содержания кислорода:  $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) < 7.6$  (а),  $7.6 < 12 + \lg(\text{O}/\text{H}) < 8.0$  (б),  $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) > 8.0$  (в). Сплошные линии — предсказания модели [18] для каждого диапазона содержания кислорода. Остальные обозначения см. на рис. 2

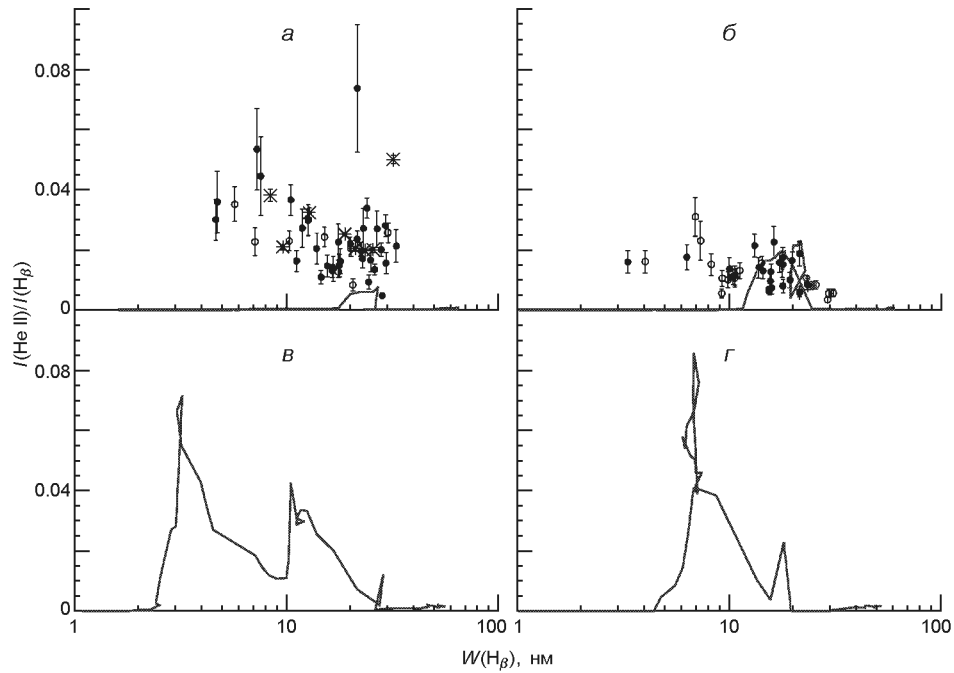


Рис. 5. Зависимость относительной интенсивности  $I$  небулярной эмиссии He II 468.6 нм от эквивалентной ширины H для четырех диапазонов содержания кислорода:  $7.93 < 12 + \lg(\text{O}/\text{H}) < 8.43$  (а),  $8.43 < 12 + \lg(\text{O}/\text{H}) < 8.63$  (б),  $8.63 < 12 + \lg(\text{O}/\text{H}) < 8.63$  (в),  $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) > 8.63$  (г). Сплошные линии — предсказания модели [26]. Остальные обозначения см. на рис. 2

модельные значения интенсивностей значительно меньше наблюдаемых значений для всех металличностей.

Также мы сравнили наши данные с моделью эволюционного популяционного синтеза, описанной в работе [26]. На рис. 5 показано изменение с возрастом интенсивности небулярной He II 468.6 нм для



четырёх диапазонов содержания кислорода. Как видно из рис. 3, модель систематически недооценивает значения интенсивности He II в галактиках с содержанием кислорода  $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) \approx 7.9$ . Модель предсказывает ионизацию гелия массивными звездами на ранних стадиях эволюции вспышки, тогда как наблюдения показывают возрастающую интенсивность He II на более поздних стадиях вспышки звездообразования. Небулярная эмиссия гелия наблюдается на протяжении 6 млн лет от момента вспышки в галактике с содержанием кислорода  $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) > 7.93$ , и на протяжении 8 млн лет — в самых низкометаллических галактиках. Это свидетельствует об ионизации межзвездной среды не массивными звездами, а ударными волнами, которые, вероятнее всего, образуются при вспышках сверхновых.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для установления возможных механизмов ионизации гелия и свечения линии He II  $\lambda 468.6$  нм в областях H II мы создали выборку из 79 галактик из Цифрового обзора неба Слоан, показывающих небулярную эмиссию этой линии. Для каждой галактики выборки мы определили содержание кислорода, используя  $T_e$ -метод. Подтверждено наличие трендов увеличения интенсивности эмиссии He II с возрастом вспышки звездообразования и при уменьшении содержания кислорода. Модели [18] и [26] систематически недооценивают  $I(\text{He II})/I(\text{H})$  при низких металличностях. Наше исследование подтверждает наличие в галактике других источников высокой ионизации межзвездной среды, наряду с массивными звездами. В указанной области межзвездная среда ионизируется предположительно на фронтах ударных волн, образовавшихся в результате эволюции массивных звезд и вспышек сверхновых.

Автор благодарен Ю. И. Изотову и рецензенту за ценные замечания.

1. *Abazajian K. N., Adelman-McCarthy J. K., Jennifer K., et al.* The Seventh Data Release of the Sloan Digital Sky Survey // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—2009.—**182**, N 2.—P. 543—558.
2. *Baldwin J. A., Phillips M. M., Terlevich R.* Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects // *Publ. Astron. Soc. Pacif.*—1981.—**93**, N 551.—P. 5—19.
3. *Bresolin F., Kennicutt R. C., Garnett D. R.* The ionizing stars of extragalactic H II regions // *Astrophys. J.*—1999.—**510**, N 1.—P. 104—124.
4. *Brinchmann J., Kunth D., Durret F.* Galaxies with Wolf-Rayet signatures in the low-redshift Universe. A survey using the Sloan Digital Sky Survey // *Astron. and Astrophys.*—2008.—**485**, N 3.—P. 657—677.
5. *Crowther P. A.* Physical Properties of Wolf-Rayet Stars // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—2007.—**45**.—P. 177—219.
6. *Crowther P. A., Hadfield L. J.* Reduced Wolf-Rayet line luminosities at low metallicity // *Astron. and Astrophys.*—2006.—**449**, N 2.—P. 711—722.

7. *Ferland G. J., Korista K. T., Verner D. A., et al.* CLOUDY 90: Numerical simulation of plasmas and their spectra // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1998.—**110**, N 749.—P. 761—779.
8. *Garnett D. R.* Electron temperature variations and the measurement of nebular abundances // *Astron. J.*—1992.—**103**.—P. 1330—1337.
9. *Guseva N. G., Izotov Y. I., Thuan T. X.* A spectroscopic study of a large sample of Wolf—Rayet Galaxies // *Astrophys. J.*—2000.—**531**, N 2.—P. 776—803.
10. *Hadfield L. J., Crowther P. A.* A survey of the Wolf-Rayet population of the barred, spiral galaxy NGC 1313 // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2007.—**381**, N 1.—P. 418—432.
11. *Izotov Y. I., Schaerer D., Blecha A., et al.* VLT/GIRAFFE spectroscopic observations of the metal-poor blue compact dwarf galaxy SBS 0335-052E // *Astron. and Astrophys.*—2006.—**459**, N 1.—P. 71—84.
12. *Izotov Y. I., Stasinska G., Meynet G., et al.* The chemical composition of metal-poor emission-line galaxies in the Data Release 3 of the Sloan Digital Sky Survey // *Astron. and Astrophys.*—2006.—**448**, N 3.—P. 955—970.
13. *Izotov Y. I., Thuan T. X.* Deep Hubble Space Telescope ACS Observations of I Zw 18: a Young Galaxy in Formation // *Astrophys. J.*—2004.—**616**, N 2.—P. 768—782.
14. *Izotov Y. I., Thuan T. X., Lipovetsky V. A.* The primordial helium abundance from a new sample of metal-deficient blue compact galaxies // *Astrophys. J.*—1994.—**435**, N 2.—P. 647—667.
15. *Izotov Y. I., Thuan T. X., Privon G.* The detection of [Ne v] emission in five blue compact dwarf galaxies // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2012.—**427**.—P. 1229—1237.
16. *Kauffmann G., Heckman T. M., Tremonti C., et al.* The host galaxies of active galactic nuclei // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2003.—**346**, N 4.—P. 1055—1077.
17. *Kehrig C., Oey M. S., Crowther P. A., et al.* Gemini GMOS spectroscopy of He II nebulae in M 33 // *Astron. and Astrophys.*—2011.—**526**.—id.A128/
18. *Leitherer C., Schaerer D., Goldader J. D., et al.* Starburst99: Synthesis Models for Galaxies with Active Star Formation // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1999.—**123**, N 1.—P. 3—40.
19. *Maeder A., Conti P.* Massive star populations in nearby galaxies // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1994.—**32**.—P. 227—275.
20. *Meynet G., Maeder A.* Stellar evolution with rotation. XI. Wolf-Rayet star populations at different metallicities // *Astron. and Astrophys.*—2005.—**429**.—P. 581—598.
21. *Neugent K. F., Massey P.* The Wolf-Rayet Content of M33 // *Astrophys. J.*—2011.—**733**, N 2.—id.123.
22. *Pilyugin L. S., Mattsson L.* Abundance determination in H II regions from spectra without the [O II] 3727+3729 line // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2011.—**412**, N 2.—P. 1145—1150.
23. *Schaerer D.* On the properties of massive Population III stars and metal-free stellar populations // *Astron. and Astrophys.*—2002.—**382**.—P. 28—42.
24. *Schaerer D.* The transition from Population III to normal galaxies: Ly alpha and He II emission and the ionising properties of high redshift starburst galaxies // *Astron. and Astrophys.*—2003.—**397**.—P. 527—538.
25. *Schaerer D., Contini T., Kunth D., et al.* Detection of Wolf-Rayet stars of WN and WC subtypes in super-star clusters of NGC 5253 // *Astrophys. J.*—1997.—**481**, N 2.—P. L75—L79.
26. *Schaerer D., Vacca W. D.* New models for Wolf-Rayet and O populations in young starbursts // *Astrophys. J.*—1998.—**497**, N 2.—P. 618—644.

27. *Shirazi M., Brinchmann J.* Strongly star forming galaxies in the local Universe with nebular He II 4686 emission // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2012.—**421**, N 2.—P. 1043—1063.
28. *Stasinska G., Izotov Y. I.* Modeling the emission line sequence of H II galaxies // *Astron. and Astrophys.*—2003.—**397**.—P. 71—85.
29. *Thuan T. X., Izotov Y. I.* High-ionization emission in metal-deficient blue compact dwarf Galaxies // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—2005.—**161**, N 2.—P. 240—270.
30. *Whitford A. E.* The law of interstellar reddening // *Astron. J.*—1958.—**63**, N 1259.—P. 201—207.

Статья поступила в редакцию 01.11.12