

УДК 524.3-52:524.45

НОВАЯ РЕВИЗИЯ ЗВЕЗДНОГО СОСТАВА И ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛОДОГО РАССЕЯННОГО СКОПЛЕНИЯ VDB 130 В ОБЛАСТИ ЗВЕЗДНОЙ АССОЦИАЦИИ CyG OB1 ПО ДАННЫМ GAIA DR3

© 2023 А. С. Расторгуев^{1,2*}, М. В. Заболотских², Т. Г. Ситник², Д. З. Вибе³, А. М. Татарников^{1,2}, А. А. Татарникова², А. П. Топчиева³, А. А. Татарников^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

²Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

³Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия

Поступила в редакцию 15 февраля 2022 года; после доработки 13 марта 2023 года; принята к публикации 20 марта 2023 года

На основе данных Gaia DR3 проведена новая ревизия звездного состава в поле радиусом 20' вокруг центра молодого рассеянного скопления vdB 130, входящего в звездную ассоциацию CyG OB1. Выделено 97 звезд и 39 протозвезд классов I/II/III с вероятностью членства в скоплении $P > 0.98$ по критерию близости собственных движений. Полное число возможных членов скопления с вероятностью принадлежности $P > 0.50$ составляет примерно 300, а возраст, оцениваемый методом наложения теоретических изохрон, не превышает 10 миллионов лет. Тригонометрическое расстояние до скопления составляет $D \approx 1670 \pm 60$ пк, а избыток цвета $E(BP - RP) \approx 0^m85 \pm 0^m02$. Отмечено наличие значительного дифференциального поглощения.

Ключевые слова: *звезды: образование — звезды: протозвезды — рассеянные скопления и ассоциации: общие вопросы — рассеянные скопления и ассоциации: отдельные: vdB 130*

1. ВВЕДЕНИЕ

Звездные ассоциации представляют собой обширные гравитационно не связанные группировки молодых объектов, включающие инфракрасные источники, компактные области ионизованного водорода HII, молекулярные облака и OB-звезды. Они являются природным полигоном для проверки теоретических и эмпирических представлений о процессах массового звездообразования в нашей Галактике. Пионером открытия и изучения молодых звездных группировок, предложившим также сам термин «звездные ассоциации», был Амбарцумян (Ambartsumian, 1949). Отождествление и изучение OB-ассоциаций сопряжено с целым рядом очевидных трудностей. Их причины кроются в эффектах наблюдательной селекции, вызванных генетической связью молодых звездных группировок с межзвездной газопылевой средой и большим дифференциальным поглощением света, к тому же характеризующимся значительными отклонениями от «нормального» закона поглощения. Кроме того,

из-за низкой звездной плотности видимые границы между ассоциациями весьма условны. В отсутствие высокоточных тригонометрических расстояний вследствие больших неточностей калибровок светимости OB-звезд, лежащих на практически вертикальном участке главной последовательности диаграммы Герцшпрунга–Рассела (ГР), очень сложно выделять группы звезд вдоль луча зрения по фотометрическим параллаксам. Вплоть до настоящего времени имеется огромный дефицит данных о достаточно точных лучевых скоростях звезд ранних спектральных классов, что также сильно ограничивает применение кинематических критериев членства в звездных группировках. Трудности выделения членов OB-ассоциаций и разбиения на отдельные ассоциации детально рассмотрены в недавнем обзоре Wright (2020) и статье Wright et al. (2022). По этой причине списки ассоциаций, составленные в разных работах, не всегда совпадают друг с другом. Общепринятое разделение на 70 звездных ассоциаций (при общем числе 86 возможных групп) приведено в карточном каталоге Ruprecht et al. (1981, 1998), оно базируется на множестве предшествующих работ (к примеру, данные

*E-mail: alex.rastorguev@gmail.com

об ассоциации Cyg OB1, включающей изучаемое в данной работе рассеянное скопление vdB 130, опираются на 88 статей, опубликованных в период с 1949 по 1973 г.).

Дальнейшее изучение комплексов текущего звездообразования в Галактике, включающих OB-звезды, связано с работами Blaha and Humphreys (1989), Garman and Stencel (1992), а краткая ранняя история изучения ассоциаций представлена в статье Garman (1991). Отдельные типы населения массивных звезд в OB-ассоциациях изучались в работах Garman (1994, 1997). Для выделения OB-ассоциаций ранее в основном использовались визуальные критерии скученности ярких горячих звезд и характерный вид диаграмм ГР. В список Garman and Stencel (1992) была включена 81 OB-ассоциация. В работе Melnik and Efremov (1995) с помощью простейшего алгоритма кластеризации по видимым положениям и фотометрическим расстояниям OB-звезд в пределах 3 кпк от Солнца было проведено новое разбиение на ассоциации; на уровне надежности не менее 90% выделено 58 ассоциаций, а общее число молодых группировок составило 88. Впоследствии для решения этой задачи стали применяться более объективные алгоритмы многомерного кластерного анализа, опирающиеся на современные данные многоцветной фотометрии, спектроскопии и прецизионной астрометрии Gaia¹ (Prusti et al., 2016). Так, в самом обширном каталоге известных звездных скоплений и кандидатов в звездные группировки, опубликованном Vica et al. (2019a,b), имеется 469 объектов, идентифицированных как звездные ассоциации, причем более 270 из них имеют угловые размеры более 30'. Эти пока еще предварительные данные послужат хорошей основой для дальнейших исследований молодых звездных группировок в Галактике. Chemel et al. (2022) многомерным методом кластерного анализа (модифицированный алгоритм HDBSCAN (McInnes et al., 2017)) провели анализ выборки, включающей около 47 700 OB-звезд и более 900 рассеянных скоплений, и выделили 214 молодых звездных группировок, включающих более 6000 объектов. Медианный размер группировок составляет примерно 100 пк.

Как яркий пример очевидной зависимости разбиения на ассоциации от использованного наблюдательного материала и методики анализа, приведем краткую историю взглядов на OB-ассоциации в Лебедь. Так, в каталоге Ruprecht et al. (1998) в этой области упоминаются девять OB-ассоциаций, обозначенных как Cyg OB1–Cyg OB9. Garman and Stencel (1992) после анализа имеющихся в

их распоряжении данных оставили в своем списке четыре наиболее надежные и достаточно богатые OB-ассоциации: Cyg OB1, Cyg OB3, Cyg OB7 и Cyg OB9. Melnik and Efremov (1995) объединили ассоциации Cyg OB1, Cyg OB8 и Cyg OB9 в единый агрегат, находящийся на среднем расстоянии около 1.7 кпк, но разделили ассоциацию Cyg OB3 на два объекта: Cyg 3A и Cyg 3B.

Quintana and Wright (2021, 2022), используя комбинацию фотометрических и астрометрических данных Gaia eDR3² (Brown et al., 2021) а также модели спектрального распределения энергии звезд, на уровне надежности 90% идентифицировали в области «исторических» OB-ассоциаций в Лебедь 4680 OB-звезд и выполнили новую ревизию звездного состава и конфигурации OB-ассоциаций. Они выделили шесть новых звездных ассоциаций, обозначенных буквами от A до F, и только одна из них, ассоциация E, практически совпадает с «исторической» ассоциацией Cyg OB2, а вторая ассоциация A частично перекрывается с Cyg OB3. В той же области в интервале галактических долгот $l \approx 73^\circ - 84^\circ$ Chemel et al. (2022) выделили семь кластеров (с номерами 38, 77, 78, 79, 88, 92 и 94, согласно каталогу в цитируемой работе). Их гелиоцентрические расстояния заключены в пределах от 0.6 до 1.9 кпк. Только кластер № 78 практически совпадает с выделенной Melnik and Efremov (1995) укрупненной ассоциацией Cyg 1, 8, 9, объединившей «исторические» ассоциации Cyg OB1, Cyg OB8 и Cyg OB9.

Необходимо отметить, что кластеры из работы Chemel et al. (2022) в общих чертах неплохо согласуются с новыми ассоциациями из списка Quintana and Wright (2021, 2022), что свидетельствует об эффективности современных методов выделения звездных группировок с помощью многомерных алгоритмов кластерного анализа. Так, кластер № 77 практически перекрывается с ассоциацией E, а заодно и с «исторической» ассоциацией Cyg OB2; кластеры № 88 и № 94 хорошо согласуются с ассоциациями C и F, а кластеры с номерами 38, 79, 92 частично перекрываются с ассоциациями C, D и F соответственно. Однако отметим, что кластер № 78, перекрывающийся с молодым агрегатом Cyg 1, 8, 9 из списка Melnik and Efremov (1995), не соответствует ни одной из новых ассоциаций Quintana and Wright (2021; 2022). Указанные расхождения и неоднозначности в описании морфологии и звездного состава OB-ассоциаций настоятельно требуют дальнейшего детального изучения молодых объектов в областях звездообразования, включая рассеянные

¹<https://www.cosmos.esa.int/gaia>

²<https://archives.esac.esa.int/gaia>

скопления, с использованием новых возможностей, открывающихся благодаря результатам миссии Gaia.

2. МОЛОДОЕ РАССЕЯННОЕ СКОПЛЕНИЕ vdB 130

ОВ-ассоциации по общему мнению являются гравитационно не связанными звездными системами; многие из них показывают общее расширение, вызванное быстрым выбросом большей части газа после образования десятков и сотен массивных горячих звезд, обладающих мощным звездным ветром и характеризующихся высоким лучевым давлением. Видимое расширение ряда ассоциаций, заметное по высокоточным собственным движениям звезд, позволяет оценить динамический возраст ассоциаций (см., например, работы Melnik and Dambis (2020) и Chemel et al. (2022)). Однако в процессе иерархической гравитационной фрагментации исходного молекулярного облака часть сформировавшихся звезд может образовать и гравитационно связанное звездное скопление.

Молодые рассеянные скопления, в том числе так называемые «погруженные» скопления, известны практически во всех богатых ОВ-ассоциациях. Так, к изучаемой нами звездной ассоциации Cyg OB1 Garmany and Stencel (1992) и Ruprecht et al. (1998) отнесли рассеянные скопления NGC 6913, IC 4996, Berkeley 86. В новом самом обширном каталоге скоплений и кандидатов в скопления (Vica et al., 2019a), включающем 10 978 объектов, к перечисленным скоплениям можно добавить еще целый ряд: IC 1318, NGC 6910, Dolidze 39, Dolidze 40, Berkeley 87, Vica 121, а также исследуемое нами молодое рассеянное звездное скопление vdB 130 (vdBergh 130). Отметим, что включенное в этот каталог в качестве отдельного объекта скопление Vica 127, скорее всего, является тождественным скоплению vdB 130. В свете того, что ранее было сказано о некоторой условности деления объектов на ОВ-ассоциации, принадлежность некоторых скоплений ассоциации Cyg OB1 остается предметом дискуссий.

Данная работа является продолжением наших исследований (Sitnik et al., 2015, 2019, 2020; Tatarnikova et al., 2016) процессов звездообразования в области молодого рассеянного скопления vdB 130, центр которого с координатами $RA(J2000) = 20^h 17^m 51^s 0$, $Dec(J2000) = +39^\circ 21' 0''$ располагается в голове кометообразного молекулярного облака вблизи кромки расширяющейся газовой сверхоболочки, окружающей ассоциацию Cyg OB1 (см. рис. 1). Изображение области скопления диаметром около $15'$ в оптическом и ближнем ИК-диапазонах показано на рис. 2. В данной работе акцент сделан на существенном

уточнении звездного состава и физических параметров скопления vdB 130, которое является одним из центров звездообразования в этой области. Второй центр звездообразования предположительно связан с протоскоплением, лежащим в «хвосте» кометообразного молекулярного облака.

Вывод о физической связи ассоциации Cyg OB1, сверхоболочки, скопления vdB 130 и молекулярного облака основан на оценках расстояния и лучевых скоростей, а также на некоторых косвенных данных. По предварительной оценке Sitnik et al. (2015, 2020) возраст скопления vdB 130 не превышает 10 млн лет, что согласуется с присутствием в области скопления протозвезд классов I и II (Kuhn et al., 2021a) (рис. 1). Анализ показал, что на пути к скоплению межзвездное поглощение света следует «нормальному» закону с $R_V \approx 3.1$ (Tatarnikova et al. 2016; Sitnik et al., 2020), в то время как внутри скопления поглощение велико, неоднородно и показывает отклонения от нормального закона. Так, по данным Racine (1974), подтвержденным нашими исследованиями, для звезд вблизи центра скопления величина параметра R_V может достигать 5–8. Напомним, что van den Bergh (1966) еще в 1966 г. отметил наличие в этой области бедной группировки «туманных» (nebulous) звезд, позднее названной скоплением vdB 130. В дальнейшем оно изучалось Racine (1968; 1974); результаты его исследований обсуждались в работах Sitnik et al. (2015; 2020) и Tatarnikova et al. (2016).

В работе Sitnik et al. (2020) мы провели анализ членства звезд в поле радиусом b' вокруг общепринятого центра скопления vdB 130 с использованием астрометрических и фотометрических данных, взятых из каталога Gaia DR2, оценили его возраст, гелиоцентрическое расстояние и величину поглощения света. Члены скопления выделялись по критерию близости тригонометрических параллаксов и компонент собственных движений. Liu and Pang (2019) также сделали попытку определения параметров этого скопления по данным Gaia DR2 в рамках массового автоматического конвейерного исследования 2443 скоплений и кандидатов в скопления. В их список объектов vdB 130 вошло под номером 2182. В поле диаметром $25'$ они выделили 77 членов скопления со средним тригонометрическим параллаксом, равным 0.556 ± 0.032 mas и компонентами собственного движения по прямому восхождению и склонению $\langle pmRA, pmDE \rangle \approx (-3.652 \pm 0.266, -5.096 \pm 0.307)$ mas yr⁻¹, которые неплохо согласуются с нашими оценками, приведенными в работе Sitnik et al. (2020). В их работе изохронная оценка возраста скопления составила 8.0 ± 0.5 млн лет, оценка металличности $\lg Z/Z_\odot \approx +0.50 \pm 0.125$ и избытка цвета $E(BP - RP) \approx 1^m 1$.

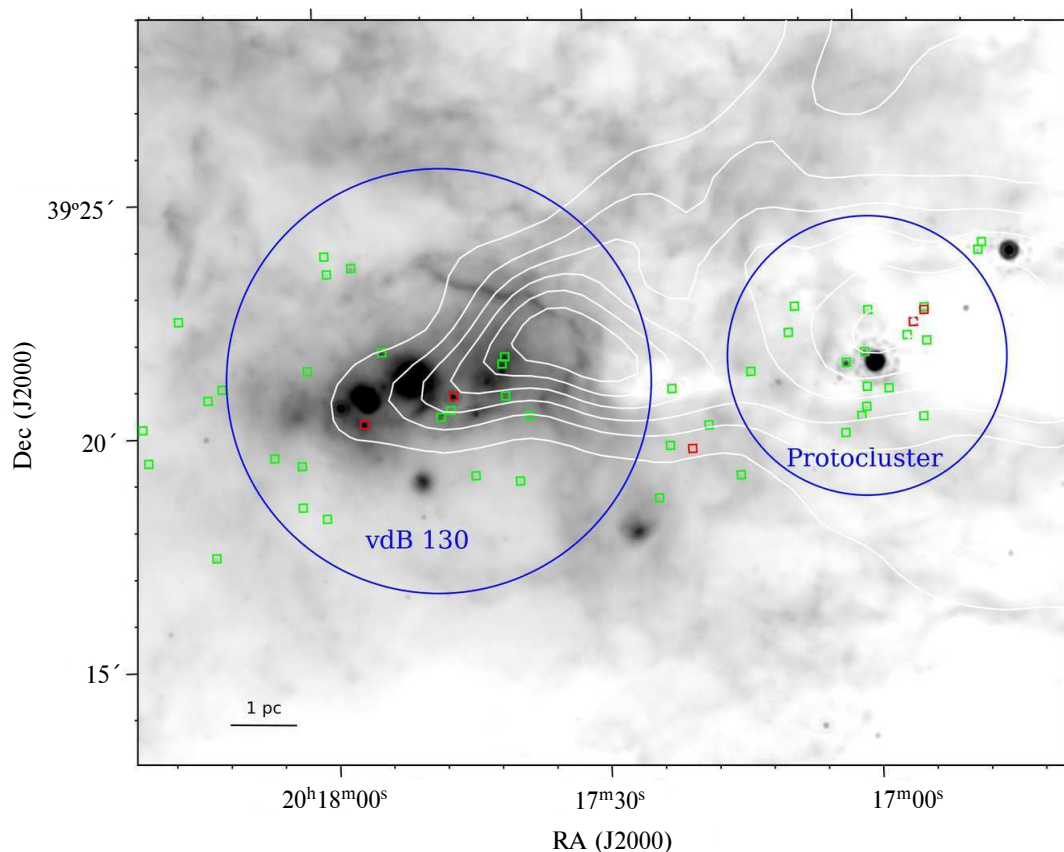


Рис. 1. Изображение центральной области скопления vdB 130 и протоскопления по данным наблюдений Spitzer (24 мкм). Наложены контуры эмиссии ^{13}CO (1–0), обрисовывающие кометообразное молекулярное облако (Schneider et al., 2007). Красные и зеленые квадраты — протозвезды по данным Kuhn et al. (2021a).

3. НОВАЯ РЕВИЗИЯ ЗВЕЗДНОГО СОСТАВА СКОПЛЕНИЯ vdB 130 НА ОСНОВЕ ДАННЫХ GAIA DR3

После выхода в июне 2022 г. третьего каталога данных миссии Gaia DR3 (Prusti et al., 2016; Vallenari et al., 2022), в котором по сравнению с Gaia DR2 была существенно улучшена точность определения тригонометрических параллаксов и собственных движений, появилась возможность новой ревизии звездного состава и параметров скопления vdB 130 с использованием фотометрии, тригонометрических параллаксов, геометрических и фотогеометрических расстояний, рассчитанных Bailer-Jones et al. (2021a; b), и собственных движений в гораздо более широком поле радиусом $20'$ вокруг принятого центра скопления. Такой угловой размер поля был выбран из тех соображений, что на расстоянии скопления порядка 1.7 кпк он соответствует линейному радиусу около 10 пк, что является весьма типичной величиной для гравитационно связанного скопления с общей массой порядка нескольких сотен солнечных. В связи с этим следует заметить, что радиус поля $6'$, использованный в статьях Sitnik et al. (2015; 2020),

имеет чисто «историческое» происхождение, так как именно такой размер поля использовался в первых работах по изучению этого скопления. На рис. 2 видно, что в более широкой области мы наблюдаем как относительно прозрачную область пространства, так и часть скопления, погруженную в более плотную межзвездную среду.

3.1. Отбор членов скопления

В поле радиусом $20'$ от общепринятого центра скопления vdB 130 мы идентифицировали 43 426 звезд каталога Gaia DR3, из которых 34 363 удовлетворяют критерию одиночности $RUWE^3 < 1.4$. Для всех этих звезд имеются Байесовские оценки геометрического и фотогеометрического расстояния, рассчитанные Bailer-Jones et al. (2018; 2021a; b). Затем из общей выборки были отобраны все звезды с фотогеометрическими расстояниями, определенными с относительной точностью лучше 10%, предположительно

³Renormalized unit-weight errors.

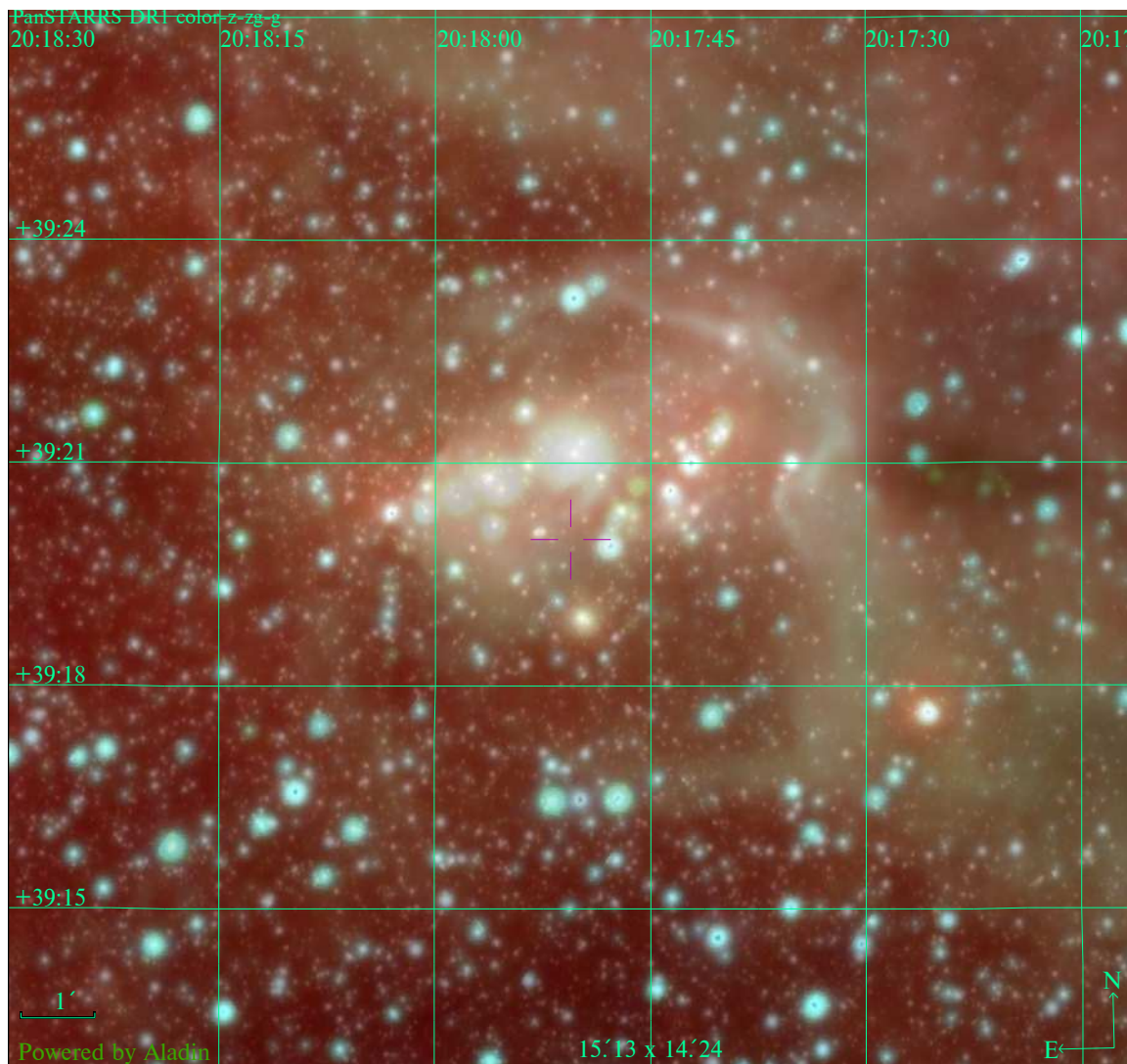


Рис. 2. Композитное изображение поля скопления vdB 130 диаметром около 15', построенное по данным обзоров PanSTARRS (Chambers et al., 2017; Chambers et al., 2016) и AllWISE.

расположенные в области скопления, то есть в интервале расстояний $r_{pgeo} \approx 1.70 \pm 0.25$ кпк (в соответствии с предварительной оценкой расстояния, данной Sitnik et al. (2020)). В новую выборку вошло 984 звезды. В отличие от работы Sitnik et al. (2020), в которой число звезд было недостаточным для строгого отбора и члены скопления по критерию близости собственных движений выделялись визуально, в данной работе мы вычислили индивидуальные вероятности принадлежности звезд к скоплению. Векторная диаграмма « $pmRA - pmDE$ » для компонент собственных движений по прямому восхождению и склонению соответственно для 984 звезд показана на рис. 3. На ней хорошо выделяется концентрация звезд вблизи области $(pmRA, pmDE) \approx (-3.5, -5.2) \text{ mas yr}^{-1}$, свидетельствующая в пользу реальности скопления.

Распределение 984 звезд поля и скопления

на векторной диаграмме собственных движений (рис. 3) описывалось стандартным способом в виде комбинации двух нормальных распределений с некоторыми средними значениями, симметричными ковариационными матрицами, учитывающими индивидуальные ошибки собственных движений и их корреляции (см., например, работу Vasiliev (2019)). В результате определения параметров двумерного распределения выборки из 984 звезд 210 было формально отнесено к скоплению. Параметры оказались следующими: для выборки звезд поля средние значения компонент собственного движения по прямому восхождению и склонению $\langle pmRA, pmDE \rangle_f \approx (-2.11 \pm 0.12, -4.78 \pm 0.14) \text{ mas yr}^{-1}$; их дисперсии $(\sigma_{pmRA}, \sigma_{pmDE})_f \approx (3.27, 3.78) \text{ mas yr}^{-1}$; коэффициент корреляции $pmCorr \approx 0.50$. Отметим, что дисперсия тангенциальных скоростей

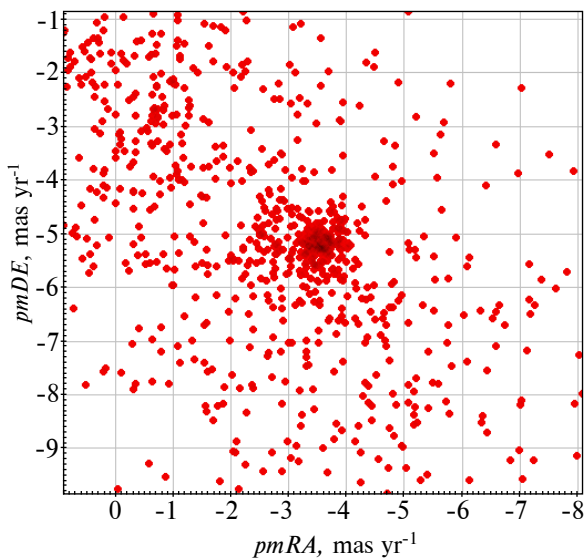


Рис. 3. Векторная диаграмма собственных движений для звезд с расстояниями $rpgeo \approx 1.70 \pm 0.25$ кпк в поле радиусом $20'$. Типичная ошибка компонент собственных движений в каталоге Gaia DR3 составляет примерно 0.02 mas yr^{-1} , что сравнимо с размером символов.

звезд поля составляет примерно $25\text{--}30 \text{ km s}^{-1}$ в соответствии с нашими оценками дисперсии собственных движений и расстояния. В то же время для звезд скопления среднее собственное движение $\langle pmRA, pmDE \rangle_{cl} \approx (-3.47 \pm 0.02, -5.21 \pm 0.02) \text{ mas yr}^{-1}$; дисперсия компонент собственного движения $\sigma_{pm} \approx 0.35 \text{ mas yr}^{-1}$. Галактические компоненты собственного движения скопления vdB 130 составляют $\langle pm_l, pm_b \rangle \approx (-6.26, -0.04) \text{ mas yr}^{-1}$; эти значения помещают скопление vdB 130 по кинематике точно в промежуток между молодыми группировками В и С нового разбиения, выполненного Quintana and Wright (2021) (см. рис. 11 и таблицу 1 в цитируемой статье).

На рис. 4а показана гистограмма распределения всех 984 звезд по вероятности членства в скоплении. На рис. 4б более детально показана гистограмма распределения вероятностей для звезд с вероятностью членства $P > 0.90$. Хорошо выделяется пик, соответствующий наиболее вероятным членам скопления с $P > 0.98$, включающий 121 звезду, которые мы и будем далее использовать как наиболее надежную основу оценки основных параметров скопления. Гистограмма распределения звезд по угловому расстоянию от принятого центра скопления представлена на рис. 5. Хорошо виден линейный рост гистограммы для звезд поля с вероятностью членства $P < 0.5$, показанных бирюзовым цветом. Поскольку площадь концентрических колец линейно растет с их радиусом,

линейный рост на гистограмме распределения по расстояниям означает, что поверхностная плотность звезд поля остается практически постоянной, не показывая никакой концентрации к центру. Напротив, наиболее вероятные члены скопления (на гистограмме им соответствует красный цвет) демонстрируют небольшие вариации, и это свидетельствует об их несомненной концентрации к центру с законом изменения поверхностной плотности R^{-1} . Около 130 возможных членов скопления с вероятностью членства $0.50 < P < 0.98$ (помеченные синим цветом) показывают сравнительно слабый линейный рост, то есть несколько более слабую концентрацию к центру по сравнению с наиболее вероятными членами скопления. Очевидно, концентрация звезд к центру является дополнительным свидетельством в пользу реальности звездного скопления.

Из 121 звезды 16 оказались низкометаллическими с $[\text{Fe}/\text{H}] < -0.6$, согласно спектроскопическим данным Xiang et al. (2019), Queiroz et al. (2020), Zhang et al. (2020), Guo et al. (2022) и данным в каталоге StarHorse2 (Anders et al., 2022a; b). Они были исключены из списка наиболее вероятных членов скопления и последующего исследования. Отметим, что для 88 звезд нашего списка, общих с каталогом StarHorse2, мы оценили среднюю металличность скопления $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -0.13 \pm 0.19$. В результате список наиболее вероятных членов скопления сократился до 105 звезд, удовлетворяющих всем нашим критериям отбора.

3.2. Финальная выборка звезд, астрометрическое расстояние и популяция протозвезд

В поле радиусом $20'$ от центра скопления по данным инфракрасных обзоров Spitzer и WISE в общей сложности обнаружено 166 кандидатов в протозвезды из каталогов Marton et al. (2016a,b) и Kuhn et al. (2021a,b). Среди них мы выбрали 69 протозвезд с фотогеометрическими расстояниями в пределах $rpgeo \sim 1.4\text{--}2.0$ кпк и формальной вероятностью принадлежности к скоплению vdB 130 $P > 0.50$. Учитывая более низкую астрометрическую точность данных в каталоге Gaia DR3 для звезд слабее $RP \sim 15^m\text{--}16^m$ по сравнению с более яркими (см. рис. 6), мы считаем, что некоторые протозвезды, возможно, являются членами скопления. Восемь звезд нашего первоначального списка наиболее вероятных членов скопления одновременно оказались в списке протозвезд; они были исключены из нашего первоначального списка, в котором после их исключения осталось 97 объектов, и перенесены в список протозвезд. У 39 протозвезд вероятность принадлежности к скоплению по критерию собственных движений $P > 0.98$, в то время как у

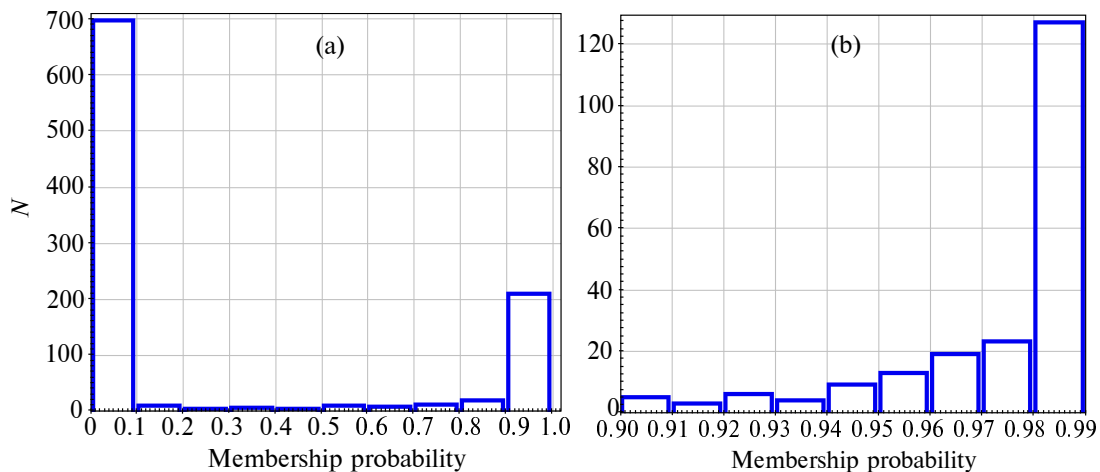


Рис. 4. (a) — гистограмма распределения вероятностей членства 984 звезд с расстояниями $r_{pgeo} \approx 1.70 \pm 0.25$ кпк в скоплении vdB 130; (b) — то же, для звезд с вероятностью членства $P > 0.90$.

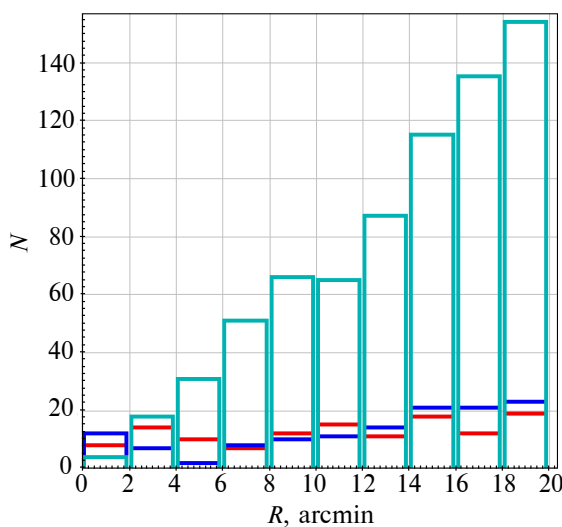


Рис. 5. Гистограмма распределения звезд по угловому расстоянию от центра скопления vdB 130. Бирюзовым цветом показана гистограмма для звезд поля; синим цветом — для возможных членов скопления с вероятностью членства $0.50 < P < 0.98$; красным цветом — для наиболее вероятных членов скопления с $P > 0.98$.

оставшихся 30 протозвезд вероятность лежит в пределах $0.50 < P < 0.98$, к тому же у них наблюдается заметно больший разброс параллаксов и расстояний по сравнению с 97 наиболее вероятными членами скопления (см. таблицы 1 и 2). Мы полагаем, что эти протозвезды населяют более широкую область пространства вокруг скопления vdB 130 и характеризуются несколько бóльшими значениями дисперсии скоростей. Возможно, они населяют более крупный молодой агрегат — область звездообразования, окружающую скопление vdB 130 — в который входит и само скопление со 140 наиболее вероятными членами, и примерно 30 протозвезд с $0.50 < P < 0.98$. Чтобы под-

черкнуть различия в подходе к предварительному отбору возможных членов скопления для звезд и протозвезд соответственно, мы решили приписать протозвездам индексы членства 1 ($P > 0.98$) и 2 ($0.50 < P < 0.98$), указанные в таблице 2.

На рис. 7 показана векторная диаграмма собственных движений ($pmRA$, $pmDE$) для звезд поля и скопления, а также протозвезд разных классов. Чтобы не загромождать рисунок, мы нанесли на него ошибки собственных движений только для звезд поля ($P < 0.50$) и возможных членов скоплений ($0.50 < P < 0.98$). Типичные величины среднеквадратических ошибок компонентов собственных движений (на примере ошибки e_{pmRA}) для наиболее вероятных членов скопления и протозвезд приведены на рис. 6. Не удивительно, что 97 наиболее вероятных членов скопления занимают на рис. 7 очень компактную область с одномерной дисперсией среднего значения около 0.17 mas yr^{-1} , что соответствует линейной дисперсии скоростей порядка 1.35 km s^{-1} на расстоянии порядка 1700 пк. С учетом всех ошибок (параллаксов и собственных движений Gaia DR3) эта оценка должна рассматриваться как верхний предел, и она удовлетворительно согласуется с типичными значениями дисперсии скоростей в гравитационно связанных группах звезд. Попутно отметим, что в область, предположительно занимаемую протоскоплением (кружок справа на рис. 1), попадают всего 12 звезд из каталога Gaia DR3. Из них только одна самая яркая протозвезда с учетом ошибок оказывается в интервале расстояний и собственных движений возможных членов скопления. Остальные объекты слабы в оптическом диапазоне ($RP > 17^m$), их показатели цвета ($BP - RP$) $> 3^m$, вероятно, из-за сильного поглощения. Кроме того, они сильно отличаются от возможных членов скопления по собственным

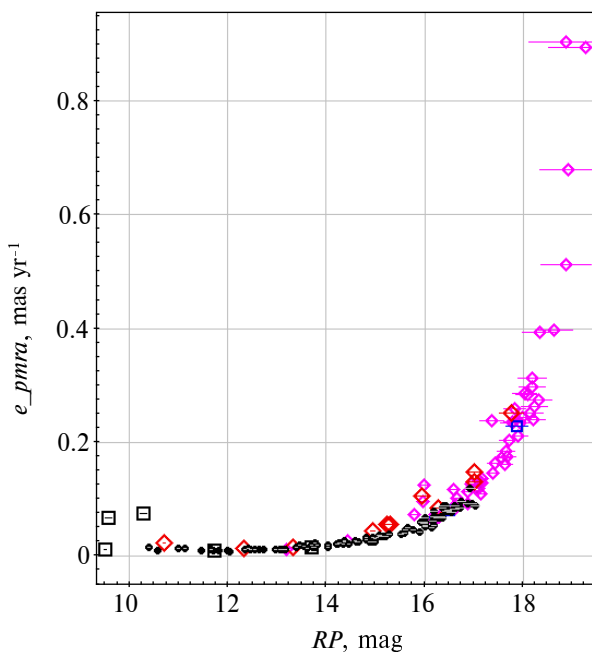


Рис. 6. Связь ошибки собственных движений e_{pmRA} с видимой величиной RP для звезд и протозвезд. Сиреневые ромбы — протозвезды классов II и FS (с плоским спектром), взятые из каталога Kuhn et al. (2021a; b); красные ромбы — протозвезды классов I–II из работы Marton et al. (2016a; b); синие квадраты — протозвезды класса III из каталога Kuhn et al. (2021a); черные квадраты — протозвезды класса III из каталога Marton et al. (2016a).

движениям и расстояниям, причем относительные ошибки их параллакса превышают 20%.

Мы оценили среднее геометрическое (r_{geo}) и фотогеометрическое (rp_{geo}) расстояния (Bailer-Jones et al., 2021a; b) до наиболее вероятных членов скопления vdB 130, а также их средний тригонометрический параллакс по данным Gaia DR3: $\langle rp_{geo} \rangle_{cl} \approx 1660 \pm 85$ pc, $\langle r_{geo} \rangle_{cl} \approx 1674 \pm 92$ pc, $\langle \pi \rangle_{cl} \approx 0.598 \pm 0.033$ mas (с учетом средней систематической ошибки параллакса, равной -0.021 mas, вычисленной по квазарам Lindegren et al. (2021)). Средний тригонометрический параллакс соответствует среднему расстоянию $\langle D \rangle_{cl} \approx 1672 \pm 92$ пк. Следует отметить, что при изучении звездных скоплений приоритет должен отдаваться прямым тригонометрическим расстояниям звезд, поскольку Байесовские геометрические и фотогеометрические методы явно используют априорное предположение об экспоненциальном падении звездной концентрации по лучу зрения, что заведомо не выполняется для скоплений. Тем не менее, в нашем случае все оценки расстояния находятся в прекрасном согласии, что позволяет использовать значение $D \approx 1670 \pm 60$ пк в качестве средневзвешенного расстояния до скопления vdB 130 (определяемого с относительной точностью около 3.5%).

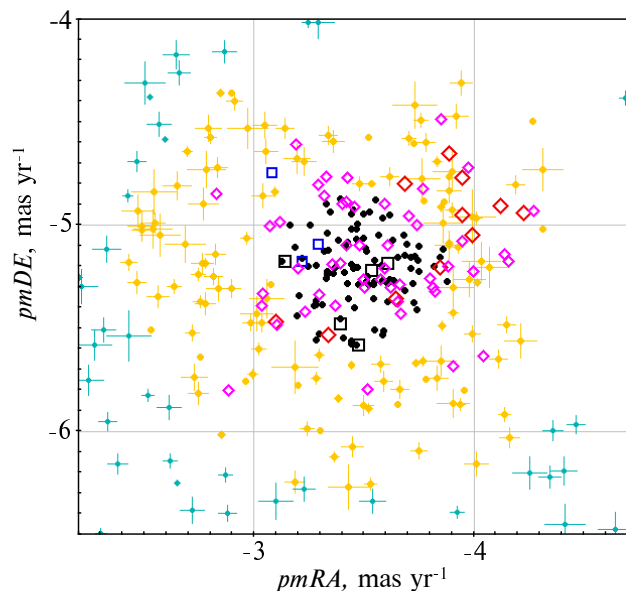


Рис. 7. Векторная диаграмма собственных движений ($pmRA$, $pmDE$) звезд vdB 130 в поле радиусом $20'$ по данным Gaia DR3. Звезды поля с вероятностью членства $P < 0.50$ отмечены бирюзовым цветом, возможные члены скопления с вероятностью членства $0.50 < P < 0.98$ — желтым цветом, а наиболее вероятные члены скопления с $P > 0.98$ обозначены черными точками. Протозвезды обозначены ромбами и квадратами так же, как и на рис. 6.

С учетом различия средних собственных движений скопления и звезд фона, данная оценка расстояния приводит к разности линейных скоростей около $11\text{--}12$ км с $^{-1}$. Скопление движется относительно звезд поля в юго-западном направлении, то есть практически в плоскости диска Млечного Пути.

3.3. Диаграмма «нормальный цвет — абсолютная величина» и параметры скопления

Для более уверенного определения физических параметров скопления мы использовали только звезды и протозвезды с наиболее надежными данными о расстояниях, собственных движениях и членстве в скоплении. Совершенно очевидно, что в случае такого скопления, как vdB 130, обремененного значительным дифференциальным поглощением света, отклонениями от «нормального» закона поглощения внутри скопления и наличием большого числа протозвезд, стандартный метод наложения изохрон не позволит достичь сравнимой или более высокой точности расстояния. По этим причинам для оценки избытка цвета на пути к скоплению и его возраста мы решили использовать уже известное и весьма точное значение тригонометрического расстояния $D \approx 1670 \pm 60$ пк, соответствующее истинному модулю расстояния $Mod_0 \approx 11^m 12 \pm 0^m 08$. Учитывая, что по данным

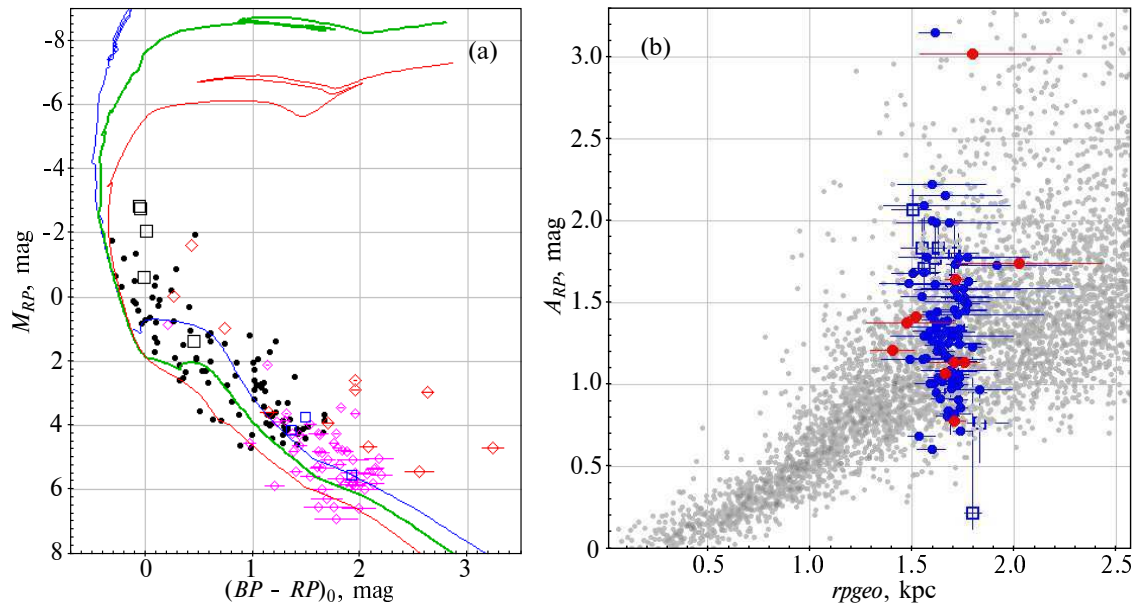


Рис. 8. Панель (а) — диаграмма «нормальный цвет — абсолютная звездная величина» для наиболее вероятных членов скопления vdB 130 (черные точки) и протозвезд (обозначения те же, что и на рис. 5). Синим, зеленым и красным цветом показаны изохроны соответственно для возрастов $\lg t(\text{Myr}) = 6.6, 7.0, 7.4$, построенные для $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.13$. Панель (b) — связь поглощения A_{RP} , взятого из каталога StarHorse2 (Anders et al., 2022a; b), с фотогеометрическим расстоянием для членов скопления (синий) и протозвезд (красный). Синие квадраты — то же для членов скопления по данным Gaia DR2. Серые точки — данные для более чем 7000 звезд в поле радиусом $20'$, взятые из каталога StarHorse2.

Tatarnikova et al. (2016) и Sitnik et al. (2020) пылевая среда до скопления описывается «нормальным» законом поглощения, мы использовали следующее выражение для отношения полного поглощения к избытку цвета $A_{RP}/E(BP - RP) \approx 1.43$, взятое из работы Wang and Chen (2019) и выведенное по данным многоцветных обзоров. Зафиксировав истинный модуль расстояния и приняв определенное значение отношения полного поглощения к избытку цвета, мы можем более точно оценить избыток цвета на пути к скоплению.

На диаграмме ГР « $(BP - RP)_0 - M_{RP}$ » (см. рис. 8a) где обозначения объектов те же, что и на рис. 7 показано наилучшее совмещение Падуанских изохрон (Bressan et al., 2012), построенных для возрастов $\lg t(\text{Myr}) = 6.6, 7.0, 7.4$ и металличности $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.13$, с фотометрическими данными для членов скопления vdB 130. Избыток цвета оказался равным $E(BP - RP) \approx 0^m85 \pm 0^m02$. Это существенно меньше значения $E(BP - RP) \approx 1^m1$, выведенного Liu and Pang (2019) с использованием конвейерного алгоритма обработки данных Gaia DR2. Такое различие связано с тем, что в работе Liu and Pang (2019) теоретические изохроны были проведены посередине «облака» звезд на диаграмме ГР, отличающейся большой шириной по оси цветов (см. оригинальную диаграмму, доступную по ссылке в работе Liu and Pang (2019)). В нашем случае (см. рис. 8)

изохрона, скорее, является левой огибающей. В нашей предыдущей работе (Sitnik et al., 2015) по инфракрасным данным мы оценили избыток цвета $E(J - H) \approx 0^m27 \pm 0^m02$. Исходя из новой оценки $E(BP - RP) \approx 0^m85 \pm 0^m02$ с использованием преобразования избытков цвета в соответствии с работой Wang and Chen (2019), мы можем оценить $E(J - H) \approx 0^m24$, что неплохо согласуется с нашим прежним результатом, полученным по данным в ИК-диапазоне.

Мы уже отметили большую ширину диаграммы ГР по оси цветов. Частично она объясняется большим влиянием дифференциального поглощения в пределах этого молодого скопления, генетически связанного с газопылевой средой. На рис. 8b для звезд и протозвезд — членов скопления, идентифицированных в каталоге StarHorse2, а также для звезд поля, показана зависимость величины поглощения A_{RP} до объектов от фотогеометрического расстояния. Рассеяние индивидуальных значений поглощения A_{RP} для большинства членов скопления в интервале расстояний 1.5–1.8 кпк составляет по крайней мере 1^m5 . Отсюда легко заключить, что рассеяние показателей цвета составляет $\delta(BP - RP) \sim 1^m$, в хорошем согласии с видимой шириной диаграммы ГР, показанной на верхней панели. Второй фактор уширения диаграммы ГР — наличие богатой популяции протозвезд, как принадлежащих скоплению, так

и населяющих его ближайшие окрестности. Все они даже в отсутствие поглощения лежат правее и выше начальной главной последовательности нормальных звезд. За исключением пяти звезд с $M_{RP} \sim 3^m - 5^m$, лежащих вблизи изохроны $\lg t(\text{Myr}) = 7.4$ (красная кривая), большинство звезд и протозвезд с $M_{RP} > 2^m 0 - 2^m 5$ хорошо очерчивают характерное «колено» изохроны $\lg t(\text{Myr}) = 7.0$ (зеленая кривая) как левой огибающей. Отметим, что три из пяти уклоняющихся звезд характеризуются меньшей величиной поглощения (примерно на $\delta E(BP - RP) \sim 0^m 3$ согласно каталогу StarHorse2) по сравнению с большинством членов скопления и населяют более прозрачные области, расположенные южнее и западнее центра скопления. Все остальные члены скопления и протозвезды слабее $M_{RP} > 2^m 0 - 2^m 5$ находятся, скорее всего, на стадии эволюции к начальной главной последовательности, что свидетельствует о возрасте скопления, не превышающем 10 млн лет.

Tatarnikova et al. (2016) на основе данных спектроскопии провели спектральную классификацию ряда звезд в скоплении и приписали шести «историческим» звездам скопления vdB 130 спектральные классы B1V, B1V/B2V, B2V/B3V, B5V. Sitnik et al. (2020) показали, что членство этих звезд в скоплении приводит к оценке возраста, не превышающей 10 млн лет, что согласуется с оценкой в данной работе. Следует также отметить, что изохронные оценки возраста небогатых скоплений из-за малой статистики числа звезд и быстрой эволюции самых массивных звезд всегда систематически смещены в сторону преувеличения возраста и дают для него верхнюю оценку. Вопросы оценивания изохронного возраста молодых звездных группировок, содержащих протозвезды и характеризующихся существенным (непренебрежимым) разбросом индивидуальных возрастов звезд, обсуждались в работах Goodwin et al. (2004), Luhman et al. (2009) и Preibisch (2012), в том числе с использованием моделирования процессов звездообразования. Что касается скопления vdB 130, доказанное наличие в нем богатой (порядка 40 объектов) популяции протозвезд, в том числе самых молодых, относящихся к классам I–II, позволяет нам сделать обоснованный вывод о малом возрасте скопления vdB 130, не превышающем 10 млн лет, о значительном разбросе индивидуальных возрастов звезд и, возможно, о продолжающемся процессе звездообразования в этой области ассоциации Cyg OB1.

Карта области скопления радиусом $20'$ с выделенными членами скопления и протозвездами показана на рис. 9.

Отдельно отметим, что звезды 3г, 4г, 8г, 9г, 10г, 13г из «исторического» списка Racine (1974) являются членами скопления на уровне $P > 0.98$.

Вероятность членства звезд 1г, 2г, 5г, 11г, 12г, 14г несколько меньше, но она превышает 0.94, и мы также считаем их вероятными членами скопления. Стоит также отметить, что звезды 1г, 3г, 4г представлены в списке протозвезд Marton et al. (2016a). У звезд 3г и 13г величина $RUWE \approx 5.923, 1.519$ соответственно, и они не удовлетворяют общепринятому критерию одиночности $RUWE < 1.4$, однако мы решили внести и эти «исторические» звезды в финальный каталог членов скопления. В итоге полное число объектов с вероятностью членства в скоплении $P > 0.50$ может достигать 300.

Мы попытались сделать грубую оценку полной массы скопления исходя из вида диаграммы ГР. Она основывается на допущениях о максимальной и минимальной массах звезд, лежащих на этой диаграмме, и на полном числе объектов. Согласно данным каталога StarHorse2, масса двух ярчайших звезд (отмеченных на диаграмме ГР черными квадратами) составляет 4–6 M_{\odot} , в то время как масса наиболее слабых звезд с $M_{RP} \approx 6^m - 7^m$ оценивается приблизительно в 0.8–1.0 M_{\odot} . Если ограничиться примерно 140 звездами, показанными на диаграмме ГР (рис. 8а), то полная масса, оцененная с помощью начальной функции масс (НФМ) Kroupa et al. (1993) или Reid et al. (2002), может достигать 180–200 M_{\odot} , а для более пологих НФМ Kroupa (2001) — даже 250–300 M_{\odot} в слабой зависимости от верхнего предела массы звезд. Разумеется, это нижняя оценка массы. Включение звезд с вероятностью членства в пределах $90\% < P < 98\%$ увеличивает оценку полной массы на 20–30%, а с учетом звезд с вероятностью членства $P > 0.50$ и того факта, что в северо-западной области на рис. 9 из-за большой запыленности заметен явный дефицит звезд, полная масса может превысить 400–500 M_{\odot} . Вириальная оценка дисперсии скоростей для такой массы составляет около 1 км с^{-1} , что неплохо согласуется с наблюдаемым рассеянием собственных движений наиболее вероятных членов скопления.

Все данные для звезд и протозвезд в поле скопления приведены в таблицах 1–3. Таблица 1 содержит 5 первых строк каталога, включающего 97 звезд — наиболее вероятных членов скопления. Приводится вероятность членства, обозначение по каталогу Gaia DR3, экваториальные координаты, параллакс и компоненты собственного движения с соответствующими ошибками, звездная величина RP , показатель цвета ($BP - RP$) и номер по списку Racine (1974) (если имеется).

В таблице 2 представлены первые 5 строк каталога, включающего 69 протозвезд в поле скопления. Приводится критерий принадлежности к скоплению (индекс 1 для $P > 0.98$; индекс 2

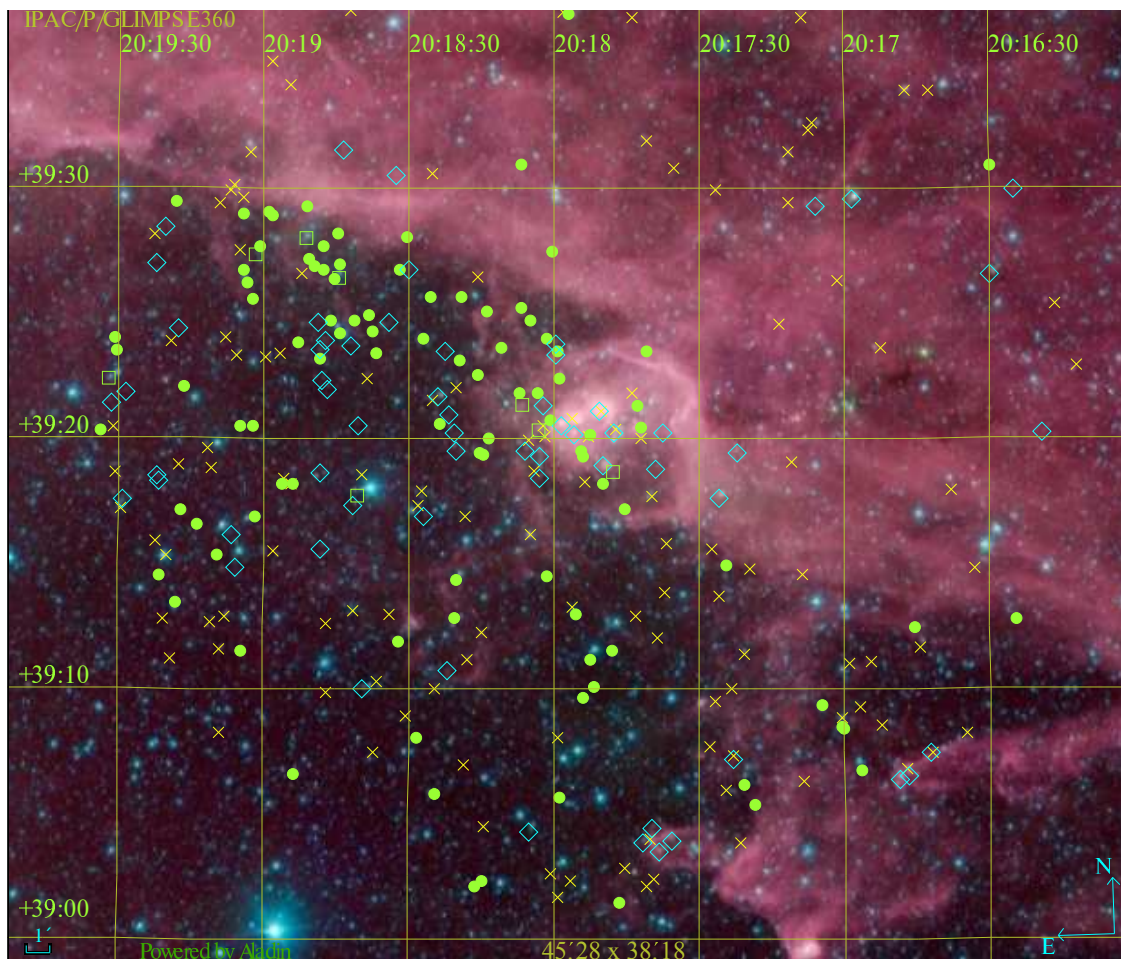


Рис. 9. Область в пределах $20'$ от центра скопления vdB 130 по данным обзора GLIMPSE 360. Цветовая кодировка: синий — $3.6 \mu\text{m}$, зеленый — $4.5 \mu\text{m}$, розовый — $12 \mu\text{m}$. Показано положение членов скопления с вероятностью принадлежности $P > 0.98$ (зеленые кружки), возможных членов скопления с $0.50 < P < 0.98$, расположенных примерно на том же расстоянии, что и скопление (желтые кресты) и протозвезд (голубые ромбы — классы I–II, зеленые квадраты — класс III).

для $0.5 < P < 0.98$), обозначение по каталогу Gaia DR3, экваториальные координаты, параллакс и компоненты собственного движения с соответствующими ошибками, звездная величина RP , показатель цвета ($BP - RP$), класс протозвезды, ссылка на источник данных, номер по списку Racine (1974), если имеется.

Таблица 3 содержит 5 первых строк каталога, включающего 128 звезд — возможных членов скопления. Приводится вероятность членства, обозначение по каталогу Gaia DR3, экваториальные координаты, параллакс и компоненты собственного движения с соответствующими ошибками, звездная величина RP , показатель цвета ($BP - RP$) и номер по списку Racine (1974), если имеется.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведена полная ревизия населения и физических характеристик молодого рассеянного

скопления vdB 130 на основе новых данных миссии Gaia DR3 в гораздо более широком, чем в прежних работах, поле радиусом $20'$. Для выделения наиболее вероятных членов скопления использовался подход, основанный на определении индивидуальных вероятностей членства звезд по критерию близости собственных движений. В качестве наиболее вероятных членов скопления отобрано 97 звезд и 39 молодых звездных объектов — протозвезд с вероятностью членства $P_{PM} > 0.98$. Найдено среднее собственное движение скопления с компонентами $\langle pmRA, pmDE \rangle \approx (-3.47 \pm 0.02, -5.21 \pm 0.02) \text{ mas ug}^{-1}$ и самая точная оценка его тригонометрического расстояния $D \approx 1670 \pm 60 \text{ пк}$. С учетом эффектов селекции полное число звезд и протозвезд с вероятностью членства в скоплении $P > 0.50$ может превышать 300, а полная масса — $400\text{--}500 M_{\odot}$. Верхняя оценка изохронного возраста скопления vdB 130 составляет примерно

Таблица 1. Фрагмент списка 97 наиболее вероятных членов скопления vdB 130 по данным Gaia DR3 (полная таблица доступна онлайн)

Prob	DR3 ID	RA (J2000), deg	DE (J2000), deg	Plx , mas	e_Plx , mas	$pmRA$, mas yr ⁻¹	e_pmRA , mas yr ⁻¹	$pmDE$, mas yr ⁻¹	e_pmDE , mas yr ⁻¹	RP , mag	$BP-RP$, mag	Racin's No.
0.9820	2061355367465302144	304.44320489672	39.02336635726	0.5562	0.0126	-3.297	0.013	-5.526	0.014	12.469	0.740	-
0.9818	2061359662432296192	304.72428820235	39.10872629885	0.5663	0.0209	-3.194	0.021	-5.438	0.024	14.468	1.166	-
0.9832	2061360242233360000	304.56115080868	39.03680984168	0.5772	0.0231	-3.408	0.025	-5.545	0.025	14.623	1.383	-
0.9880	2061360246547984256	304.56852833908	39.03325387662	0.6317	0.0867	-3.362	0.092	-5.232	0.096	16.962	1.727	-
0.9885	2061361620937691008	304.49450545861	39.09299373672	0.6253	0.0893	-3.549	0.088	-5.171	0.105	17.025	1.830	-

Таблица 2. Фрагмент списка 69 протозвезд в поле скопления vdB 130. Индекс членства (Idx) 1 — $P > 0.98$; 2 — $0.50 < P < 0.98$ (полная таблица доступна онлайн). Ссылки на источники данных: 1 — Kuhn et al. (2021a); 2 — Marton et al. (2016a)

Idx	DR3 ID	RA (J2000), deg	DE (J2000), deg	Plx , mas	e_Plx , mas	$pmRA$, mas yr ⁻¹	e_pmRA , mas yr ⁻¹	$pmDE$, mas yr ⁻¹	e_pmDE , mas yr ⁻¹	RP , mag	$BP-RP$, mag	Class	Ref	Racin's No.
2	2061370657549204608	304.19517828996	39.10869077626	0.5463	0.0561	-3.992	0.057	-5.049	0.061	15.242	2.798	I/II	2	-
2	2061367251621039232	304.40970517577	39.05729150626	0.4957	0.1271	-4.123	0.131	-4.907	0.172	17.005	2.917	I/II	2	-
2	2061380690592977280	304.45998195561	39.35166521287	0.5556	0.0158	-3.948	0.016	-4.767	0.018	13.326	1.593	I/II	2	1r
1	2061380205240289152	304.45743107548	39.31496753421	0.637	0.0146	-3.848	0.015	-5.204	0.017	12.326	1.114	I/II	2	4r
1	2061379350563001344	304.35727463602	39.29348841353	0.579	0.0237	-3.338	0.023	-5.529	0.026	10.717	1.282	I/II	2	-

Таблица 3. Фрагмент списка, содержащего 128 возможных членов скопления vdB 130 по данным Gaia DR3 (полная таблица доступна онлайн)

Prob	DR3 ID	RA (J2000), deg	DE (J2000), deg	Plx , mas	e_Plx , mas	$pmRA$, mas yr ⁻¹	e_pmRA , mas yr ⁻¹	$pmDE$, mas yr ⁻¹	e_pmDE , mas yr ⁻¹	RP , mag	$BP-RP$, mag	Racin's No.
0.9551	2061355539264022400	304.43894318639	39.04717905813	0.5738	0.0092	-3.784	0.009	-5.746	0.011	11.552	0.825	-
0.8882	2061360929428212992	304.56022743179	39.07527527275	0.5521	0.0719	-4.212	0.074	-5.559	0.082	16.783	1.549	-
0.5992	2061361105541542656	304.49730861319	39.02788010376	0.5083	0.0188	-2.853	0.019	-6.014	0.02	14.014	0.925	-
0.6254	2061361139901293184	304.50240690066	39.04377798712	0.4823	0.064	-2.491	0.066	-5.003	0.072	16.493	1.898	-
0.5936	2061361174261048064	304.48520137632	39.03876352287	0.539	0.0857	-3.431	0.09	-6.268	0.105	16.013	2.185	-

10 млн лет, однако весьма богатая (включающая около 30% всех объектов) популяция молодых звездных объектов (протозвезд классов I/II/III) подтверждает наше заключение о том, что молодое «погруженное» скопление vdB 130 является одним из центров текущего массивного звездообразования, типичного для ОВ-ассоциаций, в которых отдельные звезды и протозвезды соседствуют с гравитационно связанными молодыми звездными скоплениями.

БЛАГОДАРНОСТИ

Данное исследование проведено с использованием оборудования, приобретенного в рамках Программы Развития МГУ имени М. В. Ломоносова. В работе использованы результаты космической миссии Gaia Европейского Космического Агентства. Данные Gaia обрабатываются Консорциумом Обработки и Анализа Данных Gaia (DPAC), финансируемым национальными институтами, в частности, институтами-участниками Многостороннего Соглашения Gaia (MLA). Авторы выражают благодарность консорциуму NASA/JPL-Caltech/NSF за возможность использования изображений Spitzer GLIMPSE 360. В этой публикации используются данные обзора Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE), который является совместным проектом Калифорнийского университета (Лос-Анжелес) и Лаборатории реактивного движения (JPL) Калифорнийского технологического института, а также NEOWISE, который является проектом Лаборатории реактивного движения (Калифорнийский технологический институт). WISE и NEOWISE финансируются Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA). Обзоры Pan-STARRS1 (PS1) и научный архив общего доступа PS1 стали возможны благодаря вкладу таких организаций, как the Institute for Astronomy, the University of Hawaii, the Pan-STARRS Project Office, the Max-Planck Society and its participating institutes, the Max Planck Institute for Astronomy, Heidelberg and the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching, The Johns Hopkins University, Durham University, the University of Edinburgh, the Queen's University Belfast, the Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, the Las Cumbres Observatory Global Telescope Network Incorporated, the National Central University of Taiwan, the Space Telescope Science Institute, the National Aeronautics and Space Administration under Grant No. NNX08AR22G issued through the Planetary Science Division of the NASA Science Mission Directorate, the National Science

Foundation Grant No. AST-1238877, the University of Maryland, Eotvos Lorand University (ELTE), the Los Alamos National Laboratory, and the Gordon and Betty Moore Foundation.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данное исследование поддержано грантами РФФИ № 18-02-00976, № 18-02-00890, № 19-02-00611, № 20-02-00643 и грантом поддержки ведущей научной школы МГУ имени М. В. Ломоносова «Физика звезд, релятивистских объектов и галактик».

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. A. Ambartsumian, *Astron. Zh.* **26**, 3 (1949).
2. F. Anders, A. Khalatyan, A. B. A. Queiroz, et al., *Astron. and Astrophys.* **658**, id. A91 (2022a).
3. F. Anders, A. Khalatyan, A. B. A. Queiroz, et al., *VizieR Online Data Catalog I/354* (2022b).
4. C. A. L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Foesneau, et al., *Astron. J.* **156** (2), article id. 58 (2018).
5. C. A. L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Foesneau, et al., *Astron. J.* **161** (3), id. 147 (2021a).
6. C. A. L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Foesneau, et al., *VizieR Online Data Catalog I/352* (2021b).
7. E. Bica, D. B. Pavani, C. J. Bonatto, and E. F. Lima, *Astron. J.* **157** (1), article id. 12 (2019a).
8. E. Bica, D. B. Pavani, C. J. Bonatto, and E. F. Lima, *VizieR Online Data Catalog J/AJ/157/12* (2019b).
9. C. Blaha and R. M. Humphreys, *Astron. J.* **98**, 1598 (1989).
10. A. Bressan, P. Marigo, L. Girardi, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **427** (1), 127 (2012).
11. A. G. A. Brown et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **650**, id. C3 (2021).
12. K. C. Chambers et al., *VizieR Online Data Catalog II/349* (2017).
13. K. C. Chambers, E. A. Magnier, N. Metcalfe, et al., *arXiv e-prints astro-ph/1612.05560* (2016).
14. A. A. Chemel, R. de Grijs, E. V. Glushkova, and A. K. Dambis, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **515** (3), 4359 (2022).
15. C. D. Garmany, *ASP Conf. Ser.*, **13**, 23 (1991).
16. C. D. Garmany, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **106**, 25 (1994).
17. C. D. Garmany, *ASP Conf. Ser.*, **120**, 363 (1997).
18. C. D. Garmany and R. E. Stencel, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **94**, 211 (1992).
19. S. P. Goodwin, A. P. Whitworth, and D. Ward-Thompson, *Astron. and Astrophys.* **423**, 169 (2004).

20. Y. Guo, J. Li, J. Xiong, et al., *Research Astron. Astrophys.* **22** (2), 025009 (2022).
21. P. Kroupa, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **322** (2), 231 (2001).
22. P. Kroupa, C. A. Tout, and G. Gilmore, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **262**, 545 (1993).
23. M. A. Kuhn, R. S. de Souza, A. Krone-Martins, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **254** (2), 33 (2021a).
24. M. A. Kuhn, R. S. de Souza, A. Krone-Martins, et al., *VizieR Online Data Catalog J/ApJS/254/33* (2021b).
25. L. Lindegren, U. Bastian, M. Biermann, et al., *Astron. and Astrophys.* **649**, A4 (2021).
26. L. Liu and X. Pang, *Astrophys. J. Suppl.* **245** (2), 32 (2019).
27. K. L. Luhman, E. E. Mamajek, P. R. Allen, and K. L. Cruz, *Astrophys. J.* **703** (1), 399 (2009).
28. G. Marton, L. V. Tóth, R. Paladini, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **458** (4), 3479 (2016a).
29. G. Marton, L. V. Toth, R. Paladini, et al., *VizieR Online Data Catalog J/MNRAS/458/3479* (2016b).
30. L. McInnes, J. Healy, and S. Astels, *J. Open Source Software* **2** (11), 205 (2017).
31. A. M. Melnik and A. K. Dambis, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **493** (2), 2339 (2020).
32. A. M. Melnik and Y. N. Efremov, *Astronomy Letters* **21** (1), 10 (1995).
33. T. Preibisch, *Research Astron. Astrophys.* **12** (1), 1 (2012).
34. T. Prusti et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **595**, id. A1 (2016).
35. A. B. A. Queiroz, F. Anders, C. Chiappini, et al., *Astron. and Astrophys.* **638**, id. A76 (2020).
36. A. L. Quintana and N. J. Wright, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **508** (2), 2370 (2021).
37. A. L. Quintana and N. J. Wright, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **511** (1), 1224 (2022).
38. R. Racine, *Astron. J.* **73**, 233 (1968).
39. R. Racine, *Astron. J.* **79**, 945 (1974).
40. I. N. Reid, J. E. Gizis, and S. L. Hawley, *Astron. J.* **124** (5), 2721 (2002).
41. J. Ruprecht, B. Balazs, and R. E. White, *VizieR Online Data Catalog VII/31B* (1998).
42. J. Ruprecht, B. A. Balazs, and R. E. White, *Catalogue of star clusters and associations. Supplement 1* (Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981).
43. N. Schneider, R. Simon, S. Bontemps, et al., *Astron. and Astrophys.* **474** (3), 873 (2007).
44. T. G. Sitnik, O. V. Egorov, T. A. Lozinskaya, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **454** (3), 2486 (2015).
45. T. G. Sitnik, O. V. Egorov, T. A. Lozinskaya, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **486** (2), 2449 (2019).
46. T. G. Sitnik, A. S. Rastorguev, A. A. Tatarnikova, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **498** (4), 5437 (2020).
47. A. A. Tatarnikova, A. M. Tatarnikov, T. G. Sitnik, and O. V. Egorov, *Astronomy Letters* **42** (12), 790 (2016).
48. S. van den Bergh, *Astron. J.* **71**, 990 (1966).
49. E. Vasiliev, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **484** (2), 2832 (2019).
50. A. Vallenari et al. (Gaia Collab.), *arXiv e-prints astro-ph/2208.00211* (2022).
51. S. Wang and X. Chen, *Astrophys. J.* **877** (2), article id. 116 (2019).
52. N. J. Wright, *New Astronomy Rev.* **90**, article id. 101549 (2020).
53. N. J. Wright, S. Goodwin, R. D. Jeffries, et al., *arXiv e-prints astro-ph/2203.10007* (2022).
54. M. Xiang, Y.-S. Ting, H.-W. Rix, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **245** (2), article id. 34 (2019).
55. B. Zhang, C. Liu, and L.-C. Deng, *Astrophys. J. Suppl.* **246** (1), article id. 9 (2020).

A New Revision of the Stellar Content and Physical Properties of the Young Open Cluster vdB 130 in the Region of the Stellar Association Cyg OB1 Based on GAIA DR3 Data

A. S. Rastorguev^{1,2}, M. V. Zabolotslikh², T. G. Sitnik², D. S. Wiebe³, A. M. Tatarnikov^{1,2}, A. A. Tatarnikova², A. P. Topchieva³, and A. A. Tatarnikov^{1,2}

¹Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

²Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

³Institute of Astronomy, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia

Based on Gaia DR3 data, a new revision of the stellar content is performed within the 20′-radius field centered on the young open cluster vdB 130, which is a part of the Cyg OB1 stellar association. A total of 97 stars and 39 protostars of luminosity classes I/II/III are identified that have proper-motion based cluster membership probabilities $P > 0.98$. The total number of possible cluster members with membership probabilities $P > 0.50$ is equal to about 300, and the cluster age estimated by fitting theoretical isochrones does not exceed 10 Myr. The trigonometric-parallax based cluster distance is $D \approx 1670 \pm 60$ pc, and the cluster color excess, $E(BP - RP) \approx 0^m85 \pm 0^m02$ with evidence for strong differential extinction.

Keywords: *stars: formation—stars: pre-main-sequence, protostars—open clusters and associations: general—open clusters and associations: individual: vdB 130*