

УДК 52(01)

## МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ И РОДСТВЕННЫХ ИМ ЗВЕЗД. VII. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2020 ГОДА И АНАЛИЗ БЛИЖАЙШИХ ПЕРСПЕКТИВ

© 2021 И. И. Романюк<sup>1\*</sup>

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

Поступила в редакцию 22 июля 2021 года; после доработки 9 августа 2021 года; принята к публикации 9 августа 2021 года

Приводится обзор работ, выполненных в области исследований звездного магнетизма в 2020 г. Проанализированы более 70 оригинальных статей, относящихся к разным направлениям указанной научной тематики. Рассматриваются инструменты, методы анализа и программные средства; химически пекулярные звезды и их обнаружение; магнитные поля, химический состав и фотометрия химически пекулярных звезд; магнитные белые карлики, активные холодные звезды и другие объекты. В области исследований звездного магнетизма продолжают активную работу с использованием крупнейших телескопов мира 6–7 научных групп, что указывает на актуальность и важность изучаемой проблемы.

Ключевые слова: публикации, библиографии

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящей работой продолжается серия ежегодных обзоров Romanюк (2015; 2020), в которых публикуются результаты исследований магнитного поля химически пекулярных и относящихся к ним звезд. Эта статья посвящена описанию результатов, представленных в ведущих журналах в основном в 2020 г.

К сожалению, в 2020 г. весь мир охватила пандемия коронавируса, поэтому были отменены или перенесены на более поздний срок почти все международные астрономические конференции. Из проведенных следует отметить всероссийскую конференцию «Ground Based Astronomy in Russia. 21st century», состоявшуюся в CAO РАН 21–25 сентября<sup>1</sup>. Ее результаты опубликованы в одноименном сборнике под редакцией И. Романюка, И. Якунина, А. Валеева и Д. Кудрявцева (Romanюк et al. 2020e). Здесь мы рассмотрим некоторые из этих публикаций, посвященных звездному магнетизму. Кроме того, в данном обзоре анализируются результаты, представленные еще на двух конференциях, проведенных ранее, сборники трудов которых были опубликованы в 2020 г.:

- «Stars and their Variability, Observed from Space», held in Vienna on August 2019, edited by Neiner, Weiss, Baade, et al.;
- «Stellar Magnetism: A Workshop in Honour of the Career and Contributions of John Landstreet», held on 8–11 July 2019 in London, Canada, edited by Wade, Alecian, Bohlender, Sigut.

Мы сохраняем традиционный для этих обзоров порядок разделов, в которых описываем: инструменты, методы анализа и программы; химически пекулярные звезды и их обнаружение; магнитные поля, химический состав и фотометрия; магнитные белые карлики, активные холодные звезды и другие объекты.

### 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

#### 2.1. Новые телескопы и навесное оборудование

В 2020 г. было опубликовано относительно небольшое число статей, посвященных разработке и внедрению новых телескопов и спектрографов.

В работе Marconi et al. (2021) коллективом авторов, состоящим из более чем 100 человек, представлен HIRES — волоконный спектрограф высокого разрешения для оптической и ближней ИК областей спектра для ELT — Экстремально Большого Телескопа. Он будет состоять из трех волоконных спектрографов, покрывающих область

\* E-mail: roman@sao.ru

<sup>1</sup>Подробнее см. на сайте конференции <http://jet.sao.ru/conferences/2020/>

от 0.4 до 1.8 мкм, и иметь спектральное разрешение около  $R = 100\,000$ . Будут доступны две моды наблюдений, включающие *single-conjugate adaptive optics* (SCAO) и *small diffraction-limited integral field* (IFU) для ИК-области. Спектрограф предназначен для исследований в широком диапазоне задач в области астрофизики и фундаментальной физики. Одна из важнейших — поиск признаков жизни в атмосферах экзопланет и проверка стабильности фундаментальных констант во Вселенной. Консорциум HIRES объединяет 30 институтов из 14 стран, которые сформировали команду из более чем 200 научных работников и инженеров.

Для спектрографа ELT-HIRES разрабатывается спектрополяриметрическая мода (Di Vagno et al. 2020). Предусмотрено два модуля. Основной модуль, состоящий из двойной призмы Волластона и фазовых пластин, расщепляющих оптический луч на четыре компоненты вектора Стокса, будет установлен в промежуточном фокусе. Второй, обеспечивающий коррекцию атмосферной дисперсии и стабилизацию поля, будет размещен в фокусе Нэсмита. Ожидается точность лучше сотых долей процента. Исследованы различные инструментальные параметры, включая анизотропию кристаллов, поляриметрические аберрации, вызванные активной компенсацией главного зеркала, и другие.

Волоконный спектрограф высокого разрешения создается также и для 6-м телескопа БТА в САО РАН (Valyavin et al. 2020a; b). Выполнены первые тестовые наблюдения, достигнуты точности измерения лучевых скоростей на уровне нескольких метров в секунду и спектральное разрешение  $R \sim 70\,000$ . При изображениях лучше  $1''$  эффективность оптической части спектрографа достигает 8% на длине волны  $6200 \text{ \AA}$ . В будущем планируется создать спектрополяриметрическую моду спектрографа для наблюдений магнитного поля звезд с точностью около 1 Гс.

В работе Burlakova et al. (2020) продемонстрированы результаты измерений лучевых скоростей, полученные в моде высокого спектрального разрешения на упомянутом выше волоконном спектрографе 6-м телескопа БТА САО РАН. Наблюдения проводились с целью изучения вариаций лучевой скорости  $V_r$  у экзопланет с разрешением от 45 000 до 65 000 с одновременной регистрацией спектра сравнения от ThAr-лампы. Получены оценки  $V_r$  разных объектов с точностью от десятков до единиц метров в секунду. В дальнейшем предполагается использовать эталон Фабри–Перо для достижения точности лучевых скоростей вплоть до  $1 \text{ м с}^{-1}$ .

Для роботической обсерватории STELLA построены спектральные инструменты второго поколения (Weber et al. 2020). Эшелле-спектрограф

SES, обеспечивающий регистрацию спектра в области от  $3800 \text{ \AA}$  до  $8700 \text{ \AA}$  со спектральным разрешением  $R = 55\,000$ , будет заменен набором спектрографов для работы в трех спектральных полосах: ультрафиолетовой — от  $3800 \text{ \AA}$  до  $4700 \text{ \AA}$ , видимой — от  $4700 \text{ \AA}$  до  $6900 \text{ \AA}$ , ближнем ИК-диапазоне от  $6900 \text{ \AA}$  до  $10\,500 \text{ \AA}$ . Все спектрографы волоконные, состоят из  $f/2$  1200 мм сферического первичного зеркала и четырехлинзового коллиматора с апертурой  $2''$ , корректора атмосферной дисперсии, двух дихроичных расщепителей луча, перенаправляющих свет в три волокна для трех полос.

В работе Donati et al. (2020) описывается SPIRou — спектрополяриметр с функциями измерителя лучевой скорости в инфракрасном диапазоне для 3.6-м телескопа CFHT. Это высокоточный прибор нового поколения, установленный недавно. Главными научными целями являются поиск экзопланет вокруг M-карликов и изучение формирования звезд и планет в замагниченной среде. На SPIRou будут выполнены обширные наблюдения, на которые выделено 300 ночей до середины 2022 г. Кроме поисков и изучения экзопланет, будут исследоваться транзитные экзопланеты и их атмосферы, магнитные поля молодых звезд и др. В работе Hobson et al. (2021) описывается калибровка по длине волны для SPIRou в ближней ИК-области ( $9800\text{--}23\,500 \text{ \AA}$ ). Используется лампа с полым катодом UNe и эталон Фабри–Перо. Комбинация лампы и эталона позволила получить точность измерений лучевой скорости порядка  $15 \text{ см с}^{-1}$ .

## 2.2. Методы обработки и анализа данных

Piskunov et al. (2021) представили работу, описывающую оптимальную экстракцию эшелле-спектров. Стоимость больших телескопов и их наблюдательного времени быстро растет. Поэтому очень актуальной является разработка алгоритмов, которые позволяют использовать каждый бит наблюдательных данных. Эшелле-спектрограф является одним из типичных инструментов для получения такой информации. Однако постоянная модернизация аппаратуры ведет к необходимости совершенствования программ обработки. В статье авторы предлагают математический алгоритм, который минимизирует потерю спектрального разрешения и увеличивает отношение  $S/N$ . Сравнение с другими методами показывает, что метод позволяет не терять научную информацию.

Bowman and Holdsworth (2019) создали программное обеспечение в первую очередь для анализа осцилляций и подтверждения быстрой

переменности открытых в наблюдениях на современных космических телескопах многочисленных переменных звезд. Преимущества современных программных средств для адаптивной эллиптической апертурной фотометрии подтверждаются результатами обработки и анализа наземной фотометрии  $\alpha$  Ар-звезд, наблюдавшихся в Южно-Африканской обсерватории. Найдены высокочастотные пульсации у трех Ар-звезд: HD 158596, HD 166542 и HD 181810. Получены существенные улучшения при анализе высокочастотной переменности таких объектов.

В работе Holdsworth and Brunsten (2020) рассмотрены возможности телескопа SALT для анализа быстрых вариаций блеска Ар-звезд. В наблюдениях используется спектрограф высокого разрешения (HRS) Южно-Африканской обсерватории. В качестве примера приведены результаты наблюдений яркой  $\alpha$  Ар звезды  $\alpha$  Cig. С помощью кросс-корреляционного метода выполнены высокоточные измерения лучевой скорости по линиям разных редкоземельных элементов и в ядре линии H $\alpha$ . Получено хорошее согласие с результатами более ранних наблюдений этой звезды, найдена вторая мода пульсаций.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРОСКОПИИ И ФОТОМЕТРИИ CP-ЗВЕЗД

#### 3.1. Спектроскопия CP-звезд

Alexeeva et al. (2020) исследовали содержание неона у В-звезд в окрестности Солнца. Оказалось, что при использовании NLTE-моделей заметны большие отклонения от случая LTE для линий Ne I, в то время как для линий Ne II они незначительны. Проанализированы 20 линий Ne I и 13 линий Ne II для 24 В-звезд в интервале эффективных температур от 10 000 К до 33 000 К. Найдено, что среднее содержание неона для 24 В-звезд в окрестностях Солнца составляет  $\lg \epsilon = 8.02 \pm 0.05$ .

В работе Nielsen et al. (2020) представлены результаты спектрального анализа химически пекулярной звезды HR 465. Звезда имеет необычный характер переменности с периодом  $P = 21.5$  лет. Наблюдения пришлись на фазы  $\phi = 0.45$ ,  $\phi = 0.68$  и  $\phi = 0.85$  спектроскопического периода, где фаза  $\phi = 0.0$  соответствует максимуму интенсивности в полосе  $U$ . Синтетические спектры с использованием LTE-моделей воспроизводили наблюдаемый ультрафиолетовый спектр, полученный на HST, и оптический спектр высокого разрешения по данным спектрографа SOFIN Nordic Optical Telescope. Анализ содержаний более 70 атомов или ионов подтверждает часть ранее полученных выводов о существенно большем содержании элементов с большими атомными номерами в сравнении с

солнечным, в то время как наблюдается дефицит некоторых более легких элементов.

Catanzaro et al. (2020) провели детальное спектральное исследование SB1-системы HD 161660. Дополнив полученный на спектрополяриметре обсерватории Catania материал архивными данными HARPS/ESO, авторы определили параметры атмосферы: эффективную температуру и ускорение силы тяжести (по бальмеровским линиям), микротурбулентцию и скорость вращения (по линиям металлов), химический состав. Найден недостаток гелия, углерода, серы и хрома и избыток неона, фосфора, аргона, марганца, ксенона и ртути. Все остальные элементы демонстрируют солнечное содержание. Предположительно HD 161660 является ртутно-марганцевой звездой. Содержание железа и фосфора показало зависимость от глубины, указывая на вертикальную стратификацию.

В работе Schöller et al. (2020) сообщается об обнаружении инфракрасного спутника у хорошо известной химически пекулярной звезды HD 94660. Ранее некоторые авторы считали, что спутник может иметь массу свыше  $2 M_{\odot}$  и быть компактным объектом. Проанализированы результаты наблюдений в H-полосе на интерферометре VLT, фотометрических рядов TESS, а также рентгеновских наблюдений на Chandra, и высказано предположение, что спутник HD 94660 не является компактным и одиночным объектом. Скорее всего, это пара поздних F-звезд, орбитальное вращение которых приводит к наблюдаемой периодической фотометрической переменности.

Romanovskaya and Shulyak (2019) исследовали химический состав и стратификацию элементов в атмосфере химически пекулярной звезды HD 110066. Они нашли, что в спектре наиболее многочисленны линии железа и хрома и для них присутствует эффект стратификации. Химический состав типичен для этого класса звезд. Распределение железа и хрома в целом соответствует предсказаниям теории диффузии. В работе Romanovskaya et al. (2020) представлены результаты определения фундаментальных параметров атмосфер звезд HD 110066 и HD 153882. Получены значения эффективной температуры, ускорения силы тяжести, радиусов и светимостей. Определены радиальные компоненты магнитного поля по расщеплению спектральных линий:  $B_r = 4015 \pm 180$  Гс для HD 110066,  $B_r = 3800 \pm 200$  Гс для HD 153882.

Для проверки моделей, используемых при определении радиусов и эффективных температур звезд, Perraut et al. (2020) предложили измерить их угловые диаметры при помощи интерферометрии с длинной базой, а затем сравнить полученные результаты с данными спектроскопии. Наблюдения

проведены на спектрографе VEGA интерферометра CHARA. В результате выполнения работы количество Ар-звезд, для которых угловые диаметры определены по данным интерферометрии, возросло до 14. Для девяти Ар-звезд с эффективными температурами от 7200 до 9100 К и светимостями в диапазоне  $7-86 L_{\odot}$  различия, полученные двумя методами, не превышают  $2\sigma$ . Хорошее согласие результатов является ключевым при определении в дальнейшем точных радиусов и других фундаментальных параметров более слабых и далеких звезд, так как в этом случае интерферометрические методы не применимы.

Kholtygin et al. (2020) исследовали быструю спектральную переменность профилей линии  $H\beta$  в спектре звезды  $\alpha^2$  CVn. Наблюдательные данные получены на 6-м телескопе САО РАН с использованием Основного звездного спектрографа (ОЗСП). Обнаружена квазипериодическая переменность на временах от 4 до 140 минут. Определенная авторами величина продольного магнитного поля совпадает с оценкой, найденной по фазовой кривой.

### 3.2. Фотометрия CP-звезд

В работе Raunzen et al. (2020) предлагается новый проект, основанием для которого является необходимость получить однородную выборку непременных звезд для различных астрофизических целей. Несмотря на то, что к настоящему времени имеется более одного миллиона фотометрических кривых блеска, выборка постоянных звезд отсутствует.

Skarka et al. (2020) сообщают об открытии химически пекулярной звезды типа Ар с избытками кремния, титана и редкоземельных элементов, которые сконцентрированы в пятнах. Звезда также показывает переменность типа  $\delta$  Sct, которая ранее не отмечалась у Ар-звезд. Звезда находится в двойной системе, ее компаньоном является красный карлик, что также очень редко встречается.

По данным ASAS-3, KELT и MASCARA Bernhard et al. (2020) уточнили периоды вращения магнитных CP-звезд. Была выполнена большая программа наблюдений. В финальную выборку вошли 294 объекта, из которых более 40% оказываются фотометрически переменными. Кроме того, авторы указанной работы отождествили еще 24 кандидата в CP-звезды. Кривые блеска этих объектов находятся в согласии с вращательной модуляцией, однако нет спектральной информации. Распределение периодов вращения согласуется с известным ранее по литературным данным. Возрасты большинства объектов находятся в интервале от 100 млн. до 1 млрд. лет, очень молодые звезды

отсутствуют. Найдены четыре затменно-двойные: HD 244931, HD 247441, HD 248784 и HD 252519. Этот результат представляет большой интерес, так как CP-звезды очень редко встречаются в тесных двойных системах, особенно в затменных.

Hümmerich et al. (2020) представляют результаты поиска магнитных химически пекулярных звезд по данным спектроскопического обзора LAMOST. Кандидаты выделялись на основании наличия в спектрах депрессии на длине волны 5200 Å. Для анализа пространственного распределения объектов и их свойств на диаграмме «цвет—звездная величина» были использованы параллаксы GAIA. В финальной выборке насчитывается 1002 CP-звезды, большинство из которых — новые открытия, так как только 59 объектов имеются в каталогах пекулярных звезд. Возрасты всех объектов находятся в интервале от 100 млн. до 1 млрд. лет, массы — от  $2 M_{\odot}$  до  $3 M_{\odot}$ . В результате этой работы выборка известных CP-звезд в нашей Галактике существенно увеличена.

В работе Mikulášek et al. (2020b) изучается звезда HD 174356, для которой на спутнике Kepler получены точные фотометрические кривые. Оказалось, что кривая блеска по амплитуде и по форме не соответствует ожидаемой для CP-звезд. Спектральный анализ показывает, что HD 174356 является типичной химически пекулярной звездой с усиленными линиями кремния. Верхний предел для величины магнитного поля составляет 110 Гс. Кривая блеска может быть описана суммой двух независимых периодических сигналов и на протяжении 17 лет наблюдений не менялась. Сделан вывод о том, что HD 174356 — одиночная звезда, а переменность ее блеска можно объяснить вращательной модуляцией неоднородной поверхности и пульсациями в  $g$ -моду.

## 4. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗВЕЗД

### 4.1. Магнитное поле химически пекулярных звезд

Для проверки недавнего сообщения о том, что у магнитной O-звезды HD 54879 наблюдаются вариации лучевой скорости и внезапные изменения величины поля, Wade et al. (2020) изучили новые данные, полученные на спектрографах высокого разрешения NARVAL и ESPaDOnS, а также архивные спектры FORS2, и пришли к заключению об ошибочности найденных ранее для этой звезды отклонений от поведения, характерного для объектов такого типа.

В работе Niemczura et al. (2020) показано, что HD 66051 имеет экстремально пекулярный спектр главного компонента. HD 66051 — это очень редко наблюдаемый случай затменной спектрально-двойной звезды (SB2), в которой оба компонента являются химически пекулярными звездами.

Главный компонент является аномально сильной пекулярной В-звездой, вторичный компонент — Ам-звезда. Для уточнения физических характеристик звезд и орбитальных параметров системы использованы данные TESS.

Hubrig et al. (2020b) показали, что О-звезда HD 54879 вращается очень медленно. По наблюдениям на FORS2 в 2014 г. ее продольное магнитное поле имело величину  $B_e = -600$  Гс. Спектрополяриметрический мониторинг показал, что с октября 2017 г. до февраля 2018 г. величина продольного поля уменьшилась с  $-300$  до  $-90$  Гс. Новые спектрополяриметрические наблюдения, выполненные на протяжении двух месяцев в 2018–2019 гг., также показали медленные вариации поля. Авторы считают, что причиной является медленное вращение звезды.

Довольно сильное магнитное поле найдено у нескольких молодых звезд при поиске поля у массивных звезд в областях звездообразования (Hubrig et al. 2020d). Одно из предположений состоит в том, что оно имеет реликтовую природу: магнитное поле межзвездной среды Галактики усиливается во время коллапса замагниченного газового облака. Спектрополяриметрические наблюдения помогут получить представление о механизмах, которые ведут к появлению сильных магнитных полей при возникновении массивных звезд.

В работе Hubrig et al. (2020a) утверждается, что найдено слабое магнитное поле у двух ртутно-марганцевых звезд HD 221507 и HD 65949 в одну эпоху, еще у одной звезды HD 101189 наличие поля заподозрено. Как правило, у таких звезд поле не обнаруживается: вероятно, оно очень слабое.

Та же команда (Järvinen et al. (2021)) обсуждает геометрию магнитного поля сильно замагниченной Of?p-звезды NGC 1624-2. У нее было найдено продольное поле более 20 кГс — сильнейшее среди всех О-звезд. Геометрию магнитного поля построить сложно, так как за цикл вращения можно наблюдать только один полюс. По-видимому, в первом приближении поле можно считать дипольным, так как вариации продольного поля синусоидальны. В статье рассматриваются разные варианты модели. По результатам наблюдений этого же объекта на Hubble Space Telescope другой международной группой астрофизиков — David-Uraz et al. (2021) — найдено, что звезда NGC 1624-2 имеет магнитосферу сложной структуры. Спектрополяриметрические наблюдения показывают, что структура поля на поверхности тоже сложная.

Petit et al. (2019) рассматривает итоги программы MiMeS по поиску магнитного поля О-звезд. Найдено, что распределение магнитного поля у этих объектов бимодально: есть звезды с очень сильным полем, есть со слабыми или такие, у

которых поле отсутствует. Магнитное поле имеет преимущественно дипольную структуру. Обзор MiMeS не может подтвердить или опровергнуть затухание магнитного потока в О-звездах.

Группа авторов проектов MiMeS и BINAMICS представила работу Shultz et al. (2019b). В ней исследуются В-звезды Главной последовательности: их магнитное поле, вращение и эволюция магнитосферы. Звездный ветер у ранних В-звезд приводит к формированию центробежных магнитосфер. С помощью новых способов оценки периода вращения, проведения магнитных измерений и определения атмосферных параметров были найдены физические параметры и модели дипольного поля для 56 ранних В-звезд. Сравнение с магнитными О- и А-звездами показывает, что пределы магнитного поля для них постоянны, однако магнитный поток возрастает с массой. Величина магнитного поля на полюсе диполя и магнитный поток падают с возрастом. Авторы нашли доказательства того, что мультиполярное магнитное поле должно распадаться быстрее дипольного. Период вращения растет с возрастом. Все звезды с эмиссией в H $\alpha$  являются:

- 1) быстрыми ротаторами;
- 2) сильно магнитными;
- 3) молодыми.

Это согласуется с представлением о том, что величина магнитного поля и скорость вращения падают с возрастом.

В работе Vagnulo et al. (2020) сделана попытка обнаружить магнитное поле у самых ярких массивных звезд в Большом и Малом Магеллановых Облаках. С помощью спектрополяриметра FORS2 выполнены наблюдения выборки из 41 объекта: В, О, Of/WN, WМh и классических WR-звезд. Четыре объекта из списка авторов оказались Of?p звездами. Формально ни у одного из исследованных объектов поле не обнаружено, однако у одной из звезд наличие продольного поля порядка 2–4 кГс можно заподозрить.

В работе Shultz et al. (2019a) описываются результаты исследований магнитной Вp-звезды HD 62658 — затменной двойной с идентичными двумя немагнитными компонентами. Кривые блеска системы получены со спутниками KELT и TESS. Они показывают четкие затмения с периодом 4.75 суток. Циркулярная спектрополяриметрия с высоким разрешением, выполненная на ESPaDOnS, показывает, что имеются четкие проявления эффекта Зеемана у главного компонента и нет признаков наличия магнитного поля у второго. Существование подобных систем, исходя из реликтовой природы магнитного поля, только лишь условиями окружающей среды не объяснить.

В работе Keszthelyi et al. (2020) изучается эффект эволюции реликтового магнитного поля массивных звезд. Эволюция углового момента и вращения массивных звезд сильно зависит от величины первоначального поля и магнитного торможения. Разработаны два сценария. Согласно выводам авторов, магнитное торможение в целом имеет малую величину, не позволяющую объяснить наличие очень медленно вращающихся звезд.

В работе Blazère et al. (2020) исследуется геометрия магнитного поля и дифференциальное вращение поверхности яркой Am-звезды Alhena A ( $\gamma$  Gem A). Среди Am-звезд этот объект имеет наиболее сильное, интегрированное по поверхности магнитное поле. В статье приводятся результаты магнитного мониторинга, выполненного на протяжении 25 ночей на спектрополяриметре NARVAL. Авторы подтверждают, что Alhena A является магнитной звездой, модель наклонного ротатора подходит для объяснения переменности продольной компоненты. Поле на полюсе составляет примерно 30 Гс. Период вращения звезды равен 8.975 суток. Магнитное картирование указывает на возможность дифференциального вращения.

Glagolevskij (2020) выполнил обзор работ по исследованию звезд с аномальными линиями гелия. Рассматривается магнитное поле, скорость вращения и другие параметры 160 звезд этого типа. Автор приходит к заключению, что данных наблюдений еще недостаточно для надежных выводов.

В работе Romanyuk et al. (2020c) представлены результаты измерений магнитного поля девяти CP-звезд из поля спутника Kepler с использованием спектрополяриметра 6-м телескопа БТА. Пять звезд (KIC 4180396, KIC 5264818, KIC 5473826, KIC 6065699, KIC 8324268) были впервые отмечены как магнитные. Очень вероятно, что KIC 6864569 также является магнитной звездой, но для подтверждения требуются дополнительные наблюдения. Статус KIC 816798 и KIC 10324412 остается неопределенным, а у KIC 6278403 магнитное поле не обнаружено.

Romanyuk et al. (2020d) представили результаты измерений магнитного поля звезд на 6-м телескопе БТА. Наблюдения были выполнены в 2012 г. Проведены измерения продольной компоненты магнитного поля и лучевой скорости для 163 объектов, в основном химически пекулярных звезд и звезд-стандартов. Обнаружены шесть новых магнитных звезд: HD 84882, HD 109030, HD 170054, HD 189775, HD 341037, BD +61 2436. Новые данные получены для 120 магнитных звезд и для 43 немагнитных. Измерена лучевая скорость всех объектов, 46 звезд оказались двойными. В статье приведены краткие описания для каждой из 163 звезд.

При анализе 459 измерений продольной компоненты магнитного поля Ар-звезды  $\gamma$  Equ Savaonov et al. (2020) нашли, что период ее вращения составляет примерно 101 год. Возможен еще один период переменности продольного поля около 16.7 лет.

Semenko et al. (2020) представили новый обзор популяции химически пекулярных звезд в ассоциации OB1 в Орионе. В поляриметрических наблюдениях на 6-м телескопе было получено более 500 спектров для 60 звезд. Найдено более 20 новых магнитных звезд и около 20 двойных.

В работе Shultz et al. (2020a) изучается эволюция периодов вращения магнитных звезд в ассоциации OB1 в Орионе. Ожидается потеря углового момента, но пока только для нескольких звезд получены точные величины периода вращения. Необходимо увеличивать выборку объектов.

В работе Mikulášek et al. (2020a) обсуждаются новые результаты, полученные для уникальной звезды Ландстрита — HD 37776. Доплер-зеэмановское картирование показало, что на ее поверхности имеется очень сильное (более 30 кГс) магнитное поле сложной недипольной структуры. Данные беспрецедентно высокой точности, полученные со спутником TESS, выявили множество особенностей на кривой блеска, которую очень трудно воспроизвести при помощи стандартной модели с химическими и фотометрическими пятнами и твердотельным вращением.

Romanyuk et al. (2020b) обсуждают основные результаты исследований магнитного поля звезд, выполненные за последние 15 лет на 6-м телескопе БТА. Проведены наблюдения более 200 химически пекулярных звезд, магнитное поле найдено у примерно 80 объектов. Особое внимание было уделено изучению магнитных звезд в ассоциации Орион OB1. Получено более 500 зеэмановских спектров для 55 звезд, обнаружены десять новых звезд в ассоциации. При изучении звезд с очень длинными периодами вращения авторы определили периоды 3.7 года для HD 18078, 29 лет для HD 50169 и 17 лет для HD 965. Делаем вывод о том, что система магнитных измерений CAO РАН стабильна на протяжении 40 лет и соответствует международной.

Для поиска радиального градиента поля магнитных химически пекулярных звезд на 6-м телескопе БТА выполнены измерения с зеэмановским анализатором спектра в области 3500–4200 Å (Romanyuk et al. 2020a). Первые результаты получены для звезд  $\alpha^2$  CVn и 53 Cam.

В работе Romanyuk et al. (2021) представлены результаты измерений 15 химически пекулярных звезд подгруппы (b) в ассоциации Орион OB1. Наблюдения выполнены на 6-м телескопе БТА.

Обнаружено, что доля звезд с сильными магнитными полями среди этих 15 звезд в два раза выше, чем в подгруппе (a). Среднеквадратическое магнитное поле в подгруппе (b), возраст которой 2 млн. лет, в 2.3 раза выше, чем в подгруппе (a) возрастом 10 млн. лет. Результаты соответствуют концепции реликтового происхождения магнитного поля CP-звезд, однако степень ослабления поля с возрастом выше ожидаемой.

По фотометрическим данным спутника TESS (Landstreet et al. 2020) нашли у химически peculiarной звезды HD 65987, члена рассеянного скопления NGC 2516, четкую переменность блеска с периодом 1.45 суток. Однако новые магнитные и спектроскопические измерения указывают на период вращения звезды 7.7 суток. Авторы считают, что период 1.45 суток вызван звездными пульсациями.

В работе Mathys et al. (2020) исследовано магнитное поле быстро осциллирующей сильно замагниченной Ar-звезды HD 166473. На основании 56 измерений модуля его величины, выполненных в 1992–2019 гг., впервые с высокой точностью найден период вращения звезды. Он составляет 3836 суток. Таким образом, это одна из четырех Vp-звезд, периоды вращения которых превышают 10 лет. Поле звезды несколько отличается от дипольного, но в целом не наблюдается принципиальной разницы в магнитных свойствах HD 166473 и более быстро вращающихся Ar-звезд. Однако при рассмотрении группы из восьми Ar-звезд с периодами больше 1000 суток, для которых определен полный магнитный цикл, можно заключить, что угол между осью диполя и осью вращения имеет систематическую тенденцию быть большим.

Shultz et al. (2020b) изучают  $H\alpha$  эмиссию в качестве инструмента для диагностики переноса плазмы в центробежную магнитосферу у быстровращающихся звезд ранних типов с сильным магнитным полем. Детальное изучение поведения эмиссионной линии  $H\alpha$  позволяет проверить механизмы такого процесса. Рассматриваются различные сценарии. Показано, что радиус максимума эмиссии коррелирует с кеплеровским радиусом коротации, как и ожидалось при построении моделей.

По наблюдениям на спутнике TESS в работе Kurtz et al. (2020) у Oй?p-звезды NGC 1624-2 найдены когерентные моды пульсаций. Эта звезда представляет особый интерес, так как обладает сильнейшим среди всех O-звезд магнитным полем. Найдены три низкочастотных пика, вероятно, связанных с  $g$ -модой пульсаций. К настоящему времени это единственная O-звезда, у которой обнаружена пульсационная переменность.

#### 4.2. Магнитные белые карлики

Landstreet and Bagnulo (2020) сообщают об обнаружении уникальной невзаимодействующей двойной системы, подобной Сириусу, содержащей белый карлик WDS J03038+0608B с очень сильным (сотни МГс) магнитным полем и звезду Главной последовательности, образующих широкую пару. Амплитуда циркулярной поляризации белого карлика составляет 5% в континууме без признаков переменности на временной шкале 1 сутки. В синей области спектра линейная поляризация не обнаружена, а в красной достигает до 2%. Двойные невзаимодействующие (широко разделенные) системы, состоящие из магнитного белого карлика и звезды Главной последовательности, считаются очень редким явлением. Известны еще четыре такие системы, что позволяет оценить долю магнитных белых карликов, которые могут входить в широкие пары, в несколько процентов. Из-за широкого разделения, исключающего эволюцию в систему с заполнением полости Роша, они не могут рассматриваться как предшественники магнитных катаклизмических переменных (типа AM Her, DQ Her).

Также Bagnulo and Landstreet (2020) обнаружили внутри локальной области размером 20 пк шесть новых магнитных белых карликов с сильным магнитным полем, достигающим величин от нескольких МГс до 200 МГс. У двух из этих звезд наблюдается расщепление линий водорода и поляризация в магнитном поле. Линии в спектре еще у одной звезды, предположительно, белого карлика типа DA, очень слабые. Остальные три звезды имеют спектры без деталей, но поляризованный континуум. Эти открытия подтверждают предположение о том, что по крайней мере 20% всех белых карликов в локальном объеме 20 пк имеют магнитное поле и что магнетизм не является для белых карликов редким явлением. Наблюдения были проведены на FORS2/VLT, и в работе подчеркивается непреходящая важность спектрополяриметрии в поиске и изучении новых магнитных белых карликов, особенно старых, холодных и слабых.

#### 4.3. Активные ранние и поздние звезды со сложными полями

Работа Petit et al. (2021) посвящена изучению магнитного поля и активности карлика K2  $\epsilon$  Eri при помощи одновременных наблюдений с приборами SPIRou и NARVAL, а также на космическом телескопе TESS. Фундаментальные параметры звезды, определенные по данным спектрополяриметрии в видимой области и ближнем ИК-диапазоне, совпадают. Найдено, что поле на

поверхности звезды достигает 1.9 кГс, фактор заполнения  $f = 12.5 \pm 1.7\%$ . Данные магнитометрии, хромосферная эмиссия и широкополосная фотометрия указывают на эволюцию параметров, не связанную с вращением. Характерное время изменений, судя по кривой блеска и продольной компоненте магнитного поля, составляет 30–40 суток. Эволюция магнитной геометрии происходит за  $57 \pm 5$  суток. В структуре поля доминирует тороидальный компонент.

В работе Metcalfe et al. (2019) выполнена спектрополяриметрия старых звезд солнечного типа на LBT/PEPSI. Они рождаются быстровращающимися и с сильным магнитным полем. В процессе эволюции из-за магнитного торможения вращение замедляется. Степень потери углового момента зависит от морфологии магнитного поля. Имеются данные, свидетельствующие о существенном уменьшении магнитного торможения в середине жизни звезды на Главной последовательности. Для проверки этого предположения были изучены две звезды: более активная HD 100180 с неосесимметричным магнитным полем и менее активная HD 143761. Как считают авторы, астросейсмический возраст данной звезды при последующих наблюдениях TESS окажется существенно больше предполагаемого гирохронологического. Делается заключение о наличии сдвига в магнитной топологии, который свидетельствует о потере углового момента у звезд среднего возраста.

Kochukhov et al. (2020) изучили зеэмановское уширение линий 15 звезд солнечного типа с целью обнаружения магнитного поля. Всего сделано 78 измерений. Авторы нашли, что средняя величина поля падает от 1.3–2.0 кГс для звезд моложе 120 млн. лет до 0.2–0.8 кГс для более старых. Средняя величина поля четко коррелирует с числом Россби, с корональной и хромосферной активностью, определяемой по эмиссиям в линиях. Результаты показывают, что для всех звезд локальное поле имеет одну и ту же величину — около 3.2 кГс с систематически возрастающим со звездной активностью фактором заполнения. Анализ проводился методом ZDI (Zeeman Doppler Imaging).

В работе Lavail et al. (2020) изучено крупномасштабное магнитное поле молодой двойной системы V1878 Ori. Оба компонента представляют собой звезды типа  $\tau$  Тау на вытянутой и асинхронной орбите. Спектрополяриметрические наблюдения были получены на ESPaDOnS. С помощью метода LSD для многих линий был обнаружен сигнал круговой поляризации от обоих компонентов. Используя метод ZDI, авторы построили карты распределения яркости и топологии магнитного поля для обеих звезд. Найдено, что компоненты А и В системы имеют совершенно разные величины и

топологию магнитного поля: магнитное поле главного компонента преимущественно полоидальное и неосесимметричное со средней величиной около 180 Гс, в то время как вторичный компонент обладает преимущественно тороидальным и осесимметричным глобальным полем со средней величиной 310 Гс.

Hubrig et al. (2020c) исследуют магнитное поле двух звезд типа Вольфа–Райе WR 46 и WR 55, используя спектрополяриметрические наблюдения на FORS2. У звезды WR 55 найдено магнитное поле величиной несколько сотен Гс. Звезда находится в туманности RCW 78 и в молекулярном окружении. У второй звезды магнитное поле не обнаружено.

В работе Cole-Kodikara et al. (2019) изучается эволюция пятен на звезде LQ Hyа, являющейся молодым аналогом Солнца. Наблюдения объекта проводились на спектрографе SOFIN более 25 лет. Для построения температурных карт поверхности звезды использовался метод доплеровского картирования. Найдено слабое, но систематическое увеличение температуры поверхности звезды. Высокоширотные пятна явно несимметричные. Экваториальные пятна тоже видны, но интерпретация их затруднительна в связи с плохим покрытием наблюдений по фазе периода вращения звезды. Делается заключение о том, что пятенная активность наблюдается на высоких широтах и на экваторе, а на умеренных широтах она слабее.

Aronson and Piskunov (2019) представили не зависящий от модели метод картирования поверхностных неоднородностей яркости. Метод не зависит ни от применяемой модели звездной атмосферы, ни от уравнений потемнения к краю. Метод основан на анализе высококачественных кривых блеска, и вариации блеска интерпретируются как вариации яркости на поверхности звезды. Дополнительные предположения о размере, форме или контрасте вариаций не требуются.

В работе Moura et al. (2020) выполнен спектроскопический анализ двух звезд типа Ae/Be Хербига: HD 261941 и V590 Mon. Звезды Хербига более массивны по сравнению с подобными им звездами типа  $\tau$  Тау. У исследованных объектов обнаружено магнитное поле. Авторы нашли, что в окрестностях двух этих звезд имеется достаточное количество околозвездного материала для того, чтобы стала возможной аккреция или его выброс. При помощи магнитогидродинамических моделей показано, что в случае HD 261941 имеют место истечение и аккреция, а для V590 Mon линия H $\alpha$  возникает преимущественно в ветре от диска.

Lisogorskyi et al. (2020) рассматривают влияние звездной активности на точность измерения лучевой скорости при поисках экзопланет. Выполнено

моделирование в предположении различного набора неразрешаемых магнитных пятен во вращающейся звезде типа K2  $\epsilon$  Eri. Сигнал от магнитных пятен дает величину порядка  $10 \text{ мс}^{-1}$  в амплитуде изменений лучевой скорости. Форма кривой изменений лучевой скорости зависит от распределения пятен. По мнению авторов работы, представления о магнитной активности звезды и распределении пятен на ее поверхности крайне важны для обнаружения землеподобных планет с помощью доплеровского метода.

В работе Cang et al. (2020) изучено магнитное поле молодой звезды солнечного типа V530 Persei. Объект демонстрирует очень сильную магнитную активность, генерируя потерю углового момента через ветер и выбросы массы. V530 Persei является ультрабыстрым ротатором, членом молодого скопления  $\alpha$  Persei. Период вращения звезды короче, чем у всех других звезд с доступными магнитными картами. Спектрополяриметрические наблюдения были выполнены на ESPaDOnS/CFHT на протяжении двух ночей. С помощью метода доплер-зеemanовского картирования построены карты распределения яркости по поверхности звезды и ее магнитного поля. Результаты работы следующие: в картах распределения яркости доминирует большое темное пятно недалеко от полюса, а на более низких широтах наблюдается сложное распределение ярких и темных областей. Большая часть магнитной энергии крупномасштабного поля сосредоточена в тороидальной компоненте поля. Главная структура радиального поля имеет положительную полярность и величину  $+500 \text{ Гс}$  и расположена в области темного полярного пятна, линия  $\text{H}\alpha$  наблюдается в эмиссии и модулируется с периодом вращения.

Aurière et al. (2021) провели исследование красного гиганта Pollux для изучения его магнитного поля и выяснения того, как магнитная активность влияет на характерные для звезды синусоидальные вариации лучевой скорости, период которых составляет около 590 суток. С помощью ESPaDOnS/CFHT и NARVAL TBL были получены ряды спектрополяриметрических наблюдений звезды продолжительностью 4.25 лет, то есть двух периодов изменений лучевой скорости. Для определения магнитного поля использовался метод LSD, а для построения карт — метод ZDI. В результате было установлено, что продольное магнитное поле меняется по синусоидальному закону с периодом, близким к периоду изменений лучевой скорости, однако период, полученный по картам ZDI, отличается:  $P = 660 \pm 15$  суток. Полоидальный компонент доминирует и он почти чисто дипольный с углом наклона оси диполя  $10^\circ.5$  к оси вращения. Средняя

величина поля на полюсе составляет  $0.44 \text{ Гс}$ . Авторы считают, что поле звезды сформировано механизмом динамо. Для объяснения вариаций лучевой скорости предлагается два сценария: наличие планетной системы и магнитная активность.

В работе Das et al. (2019) найдена когерентная радиоэмиссия от магнитной звезды HD 35298. Это уже пятая горячая Вр-звезда с обнаруженной радиоэмиссией. HD 35298 — наиболее медленно вращающаяся и наиболее удаленная из всех Вр-звезд, у которых удалось обнаружить радиоэмиссию.

Das et al. (2020) сообщают, что HD 133880 является шестой из горячих магнитных звезд, у которых найдена когерентная пульсирующая радиоэмиссия, возникающая в процессе электронной циклотронной мазерной эмиссии. Наблюдения показали, что свойства пульсаций зависят от ориентации звезды по отношению к лучу зрения. Этот результат говорит о сильной азимутальной асимметрии в распределении материи в магнитосфере относительно магнитной оси и большом угле наклона магнитной оси к оси вращения, а также об отличии конфигурации поля от дипольной.

В работе Krtićka et al. (2020) показано, что у магнитных звезд с усиленными линиями гелия могут быть искажения поверхности. Они вызваны вариациями содержания гелия по поверхности и изменениями шкалы атмосферных высот, из-за которых области, богатые гелием, устремляются вглубь звезды. На примере звезды  $\alpha$  Cen методом доплеровского картирования были построены карты распределения He, N, O, Si, Fe. Авторы установили, что наибольшее влияние на излучение в УФ и видимой области имеет перераспределение потока звезды с асферической поверхностью вследствие неоднородного распределения гелия и железа по ее поверхности.

В работе Seach et al. (2020) представлены результаты спектрополяриметрических наблюдений 55 звезд, из которых 53 являются F-звездами (от F0 до F9), а две звезды —  $\beta$  CrB и  $\delta$  Cap — химически пекулярные. Спектрополяриметрия с высоким спектральным разрешением проводилась с помощью ESPaDOnS/CFHT, NARVAL/TBL и HARSPol/3.6 m ESO. При поиске магнитного поля был рассмотрен весь диапазон эффективных температур, на котором, как принято считать, происходит переход от реликтового поля к динамо. Продольное магнитное поле было обнаружено у 14 звезд во всех спектральных подклассах F3V–F9V. Его величина составляет от  $0.3 \pm 0.1 \text{ Гс}$  (36 UMa, F8V) до  $8.3 \pm 0.9 \text{ Гс}$  ( $\chi$  Dra, F8V). Таким образом, фотосферные магнитные поля найдены у звезд начиная со спектрального класса F3V, где толщина внешней конвекционной зоны не превышает нескольких процентов от радиуса звезды.

В работе Klein et al. (2021) изучается крупномасштабное магнитное поле звезды Proxima Centauri вблизи максимума активности. Проксима Центавра — ближайшая к нам звезда, медленно вращающийся полностью конвективный М-карлик. С апреля по июль 2017 г. было получено 10 циркулярно-поляризованных спектров на HARPS, что позволило определить период вращения звезды:  $P = 89.8 \pm 4.0$  суток. С помощью метода ZDI было найдено распределение магнитного поля на ее поверхности. Согласно полученным результатам, Проксима Центавра обладает крупномасштабным магнитным полем с типичной величиной порядка 200 Гс. Топология поля в основном полоидальная, умеренно осесимметричная. Дипольная компонента величиной 135 Гс наклонена под углом  $51^\circ$  к оси вращения. Поток от крупномасштабного магнитного поля в первом приближении в три раза меньше, чем оценки по зеэмановскому уширению неполяризованных линий. Это приводит к предположению, что при генерации крупномасштабных полей основную роль играют процессы динамо.

### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлен обзор более 70 статей, опубликованных в основном в 2020 году. Из них 26 опубликованы в *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 11 — в *Astronomy and Astrophysics*, 7 — в *Astrophysical Bulletin*, остальные — в других ведущих журналах и материалах конференций. Можно заключить, что *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* по-прежнему остается ведущим мировым журналом, в котором печатаются результаты исследований магнитных звезд. Отметим, что количество работ по исследованию магнитных белых карликов и классических химически пекулярных звезд по сравнению с предыдущими годами ниже, но возрос интерес к изучению магнитного поля активных звезд солнечного типа. Найдено радиоизлучение у нескольких магнитных В-звезд. В 2020 году продолжили активные исследования звездного магнетизма 6–7 исследовательских групп с использованием крупнейших телескопов мира (8-м VLT, 6-м БТА, 3.6м CFHT), разработаны и внедрены новые методы анализа данных. Таким образом, исследования звездного магнетизма продолжают оставаться актуальными.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит А. В. Моисееву за помощь в оформлении статьи.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Автор благодарит Российский научный фонд за частичную финансовую поддержку работы (грант РНФ № 21-12-00147).

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S. Alexeeva, T. Chen, T. Ryabchikova, et al., *Astrophys. J.* **896** (1), 59 (2020).
2. E. Aronson and N. Piskunov, *Astron. and Astrophys.* **630**, id. A122 (2019).
3. M. Aurière, P. Petit, P. Mathias, et al., *Astron. and Astrophys.* **646**, id. A130 (2021).
4. S. Bagnulo and J. D. Landstreet, *Astron. and Astrophys.* **643**, id. A134 (2020).
5. S. Bagnulo, G. A. Wade, Y. Nazè, et al., *Astron. and Astrophys.* **635**, id. A163 (2020).
6. K. Bernhard, S. Hümmerich, and E. Paunzen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **493** (3), 3293 (2020).
7. A. Blazère, P. Petit, C. Neiner, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **492** (4), 5794 (2020).
8. D. M. Bowman and D. L. Holdsworth, *Astron. and Astrophys.* **629**, id. A21 (2019).
9. T. E. Burlakova, G. G. Vallyavin, V. N. Aitov, et al., *Astrophysical Bulletin* **75** (4), 482 (2020).
10. T. Q. Cang, P. Petit, J. F. Donati, et al., *Astron. and Astrophys.* **643**, A39 (2020).
11. G. Catanzaro, M. Giarrusso, M. Munari, and F. Leone, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **499** (3), 3720 (2020).
12. E. M. Cole-Kodikara, M. J. Käpylä, J. J. Lehtinen, et al., *Astron. and Astrophys.* **629**, id. A120 (2019).
13. B. Das, P. Chandra, M. E. Shultz, and G. A. Wade, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **489** (1), L102 (2019).
14. B. Das, P. Chandra, and G. A. Wade, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **499** (1), 702 (2020).
15. A. David-Uraz, V. Petit, M. E. Shultz, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **501** (2), 2677 (2021).
16. I. Di Varano, S. Yuan, M. Woche, et al., *SPIE Conf. Proc.* **11451**, 114514G (2020).
17. J. F. Donati, D. Kouach, C. Moutou, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **498** (4), 5684 (2020).
18. Y. V. Glagolevskij, *Astrophysical Bulletin* **75** (2), 139 (2020).
19. M. J. Hobson, F. Bouchy, N. J. Cook, et al., *Astron. and Astrophys.* **648**, id. A48 (2021).
20. D. L. Holdsworth and E. Brunsden, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **132** (1016), 105001 (2020).
21. S. Hubrig, S. P. Järvinen, H. Korhonen, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **495** (1), L97 (2020a).
22. S. Hubrig, S. P. Järvinen, M. Schöller, and C. A. Hummel, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **491** (1), 281 (2020b).
23. S. Hubrig, M. Schöller, A. Cikota, and S. P. Järvinen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **499** (1), L116 (2020c).
24. S. Hubrig, M. Schöller, and S. P. Järvinen, *Proc. IAU* **359**, pp. 132–132 (2020d).

25. S. Hümmerich, E. Paunzen, and K. Bernhard, *Astron. and Astrophys.* **640**, id. A40 (2020).
26. S. P. Järvinen, S. Hubrig, M. Schöller, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **501** (3), 4534 (2021).
27. Z. Keszthelyi, G. Meynet, M. E. Shultz, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **493** (1), 518 (2020).
28. A. F. Kholtzygin, A. V. Moiseeva, I. A. Yakunin, and S. Hubrig, *Astrophysical Bulletin* **75** (3), 284 (2020).
29. B. Klein, J.-F. Donati, É. M. Hébrard, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **500** (2), 1844 (2021).
30. O. Kochukhov, T. Hackman, J. J. Lehtinen, and A. Wehrhahn, *Astron. and Astrophys.* **635**, id. A142 (2020).
31. J. Krtička, Z. Mikulášek, M. Prvák, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **493** (2), 2140 (2020).
32. D. W. Kurtz, S. Hubrig, S. P. Järvinen, and M. Schöller, *Research Notes Amer. Astron. Soc.* **4** (9), 157 (2020).
33. J. D. Landstreet and S. Bagnulo, *Astron. and Astrophys.* **634**, L10 (2020).
34. J. D. Landstreet, A. David-Uraz, O. Kochukhov, et al., in *Proc. conf. on Stars and their Variability Observed from Space, Vienna, Austria, 2019*, Ed. by C. Neiner, W. W. Weiss, D. Baade, et al., pp. 181–182 (University of Vienna, 2020).
35. A. Lavail, O. Kochukhov, G. A. J. Hussain, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **497** (1), 632 (2020).
36. M. Lisogorskyi, S. Boro Saikia, S. V. Jeffers, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **497** (3), 4009 (2020).
37. A. Marconi, M. Abreu, V. Adibekyan, et al., *Messenger* **182**, 27 (2021).
38. G. Mathys, V. Khalack, and J. D. Landstreet, *Astron. and Astrophys.* **636**, id. A6 (2020).
39. T. S. Metcalfe, O. Kochukhov, I. V. Ilyin, et al., *Astrophys. J.* **887** (2), L38 (2019).
40. Z. Mikulášek, J. Krtička, M. E. Shultz, et al., *Proc. Polish Astron. Soc.* **11**, pp. 46–53 (2020a).
41. Z. Mikulášek, E. Paunzen, S. Hümmerich, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **498** (1), 548 (2020b).
42. T. Moura, S. H. P. Alencar, A. P. Sousa, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **494** (3), 3512 (2020).
43. K. E. Nielsen, K. G. Carpenter, G. V. Kober, and G. M. Wahlgren, *Astrophys. J.* **899** (2), 166 (2020).
44. E. Niemczura, P. A. Kołaczek-Szymański, F. Castelli, et al., *Proc. IAU* **350**, pp. 412–414 (2020).
45. E. Paunzen, J. Janik, J. Krtička, et al., in *Proc. conf. on Stars and their Variability Observed from Space, Vienna, Austria, 2019*, Ed. by C. Neiner, W. W. Weiss, D. Baade, et al., pp. 19–24 (University of Vienna, 2020).
46. K. Perraut, M. Cunha, A. Romanovskaya, et al., *Astron. and Astrophys.* **642**, id. A101 (2020).
47. P. Petit, C. P. Folsom, J. F. Donati, et al., *Astron. and Astrophys.* **648**, id. A55 (2021).
48. V. Petit, G. A. Wade, F. R. N. Schneider, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **489** (4), 5669 (2019).
49. N. Piskunov, A. Wehrhahn, and T. Marquart, *Astron. and Astrophys.* **646**, id. A32 (2021).
50. A. M. Romanovskaya, T. A. Ryabchikova, and D. V. Shulyak, *Astronomy Letters* **46** (5), 331 (2020).
51. A. M. Romanovskaya and D. V. Shulyak, *INASAN Science Reports* **3**, 149 (2019).
52. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **70** (2), 191 (2015).
53. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **75** (4), 447 (2020).
54. I. I. Romanyuk, D. O. Kudryavtsev, A. V. Moiseeva, and I. A. Yakunin, in *Proc. All-Russian Conf. on Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century, Nizhny Arkhyz, Russia, 2020*, Ed. by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, and D. O. Kudryavtsev, pp. 301–303 (Special Astrophysical Observatory of RAS, Nizhny Arkhyz, 2020a).
55. I. I. Romanyuk, D. O. Kudryavtsev, E. A. Semenko, et al., in *Proc. All-Russian Conf. on Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century, Nizhny Arkhyz, Russia, 2020*, Ed. by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, and D. O. Kudryavtsev, pp. 56–63 (Special Astrophysical Observatory of RAS, Nizhny Arkhyz, 2020b).
56. I. I. Romanyuk, Z. Mikulášek, S. Hümmerich, et al., in *Proc. conf. on Stars and their Variability Observed from Space, Vienna, Austria, 2019*, Ed. by C. Neiner, W. W. Weiss, D. Baade, et al., pp. 197–198 (University of Vienna, 2020c).
57. I. I. Romanyuk, A. V. Moiseeva, E. A. Semenko, et al., *Astrophysical Bulletin* **75** (3), 294 (2020d).
58. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, A. V. Moiseeva, et al., *Astrophysical Bulletin* **76** (1), 39 (2021).
59. I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, and D. O. Kudryavtsev (eds.), *Proc. All-Russian Conf. on Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century, Nizhny Arkhyz, Russia, 2020* (Special Astrophysical Observatory of RAS, Nizhny Arkhyz, 2020e).
60. I. S. Savanov, I. I. Romanyuk, and E. S. Dmitrienko, *Astronomicheskij Tsirkulyar* **1647**, 1 (2020).
61. M. Schöller, C. A. Hummel, S. Hubrig, et al., *Astron. and Astrophys.* **642**, id. A188 (2020).
62. J. M. Seach, S. C. Marsden, B. D. Carter, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **494** (4), 5682 (2020).
63. E. A. Semenko, I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, et al., *Proc. Polish Astron. Soc.* **11**, pp. 25–31 (2020).
64. M. E. Shultz, A. David-Uraz, J. Labadie-Bartz, et al., in *Proc. conf. on Stars and their Variability Observed from Space, Vienna, Austria, 2019*, Ed. by C. Neiner, W. W. Weiss, D. Baade, et al., pp. 177–179 (University of Vienna, 2020a).
65. M. E. Shultz, C. Johnston, J. Labadie-Bartz, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **490** (3), 4154 (2019a).
66. M. E. Shultz, S. Owocki, T. Rivinius, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **499** (4), 5379 (2020b).
67. M. E. Shultz, G. A. Wade, T. Rivinius, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **490** (1), 274 (2019b).

68. M. Skarka, P. Kabáth, E. Paunzen, et al., in *Proc. conf. on Stars and their Variability Observed from Space, Vienna, Austria, 2019*, Ed. by C. Neiner, W. W. Weiss, D. Baade, et al., pp. 175–176 (University of Vienna, 2020).
69. G. G. Valyavin, F. A. Musaev, A. V. Perkov, et al., *Astrophysical Bulletin* **75** (2), 191 (2020a).
70. G. G. Valyavin, A. V. Perkov, F. A. Musaev, et al., in *Proc. All-Russian Conf. on Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century, Nizhny Arkhyz, Russia, 2020*, Ed. by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, and D. O. Kudryavtsev, pp. 41–47 (Special Astrophysical Observatory of RAS, Nizhny Arkhyz, 2020b).
71. G. A. Wade, S. Bagnulo, Z. Keszthelyi, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **492** (1), L1 (2020).
72. M. Weber, M. Woche, K. G. Strassmeier, et al., *SPIE Conf. Proc.* **11449**, 114490J (2020).

**Magnetic Fields of Chemically Peculiar and Related Stars.  
VII. Main Results of 2020 and Near-Future Prospects**

**I. I. Romanyuk<sup>1</sup>**

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

We present a review of the papers written in the field of stellar magnetism studies in 2020. More than 70 original papers related to different areas of the specified scientific topics have been analyzed. Instruments, methods of analysis, and software are considered, as well as: chemically peculiar stars and their identification; magnetic fields, chemical abundance, and photometry of chemically peculiar stars; magnetic white dwarfs, active cool stars and other objects. In the field of stellar magnetism research, 6–7 scientific groups continue to work actively using the world’s largest telescopes, which fact indicates the relevance and importance of the problem under study.

Keywords: *publications, bibliography*