

Воспоминания о четырёх десятилетиях исследования проблемы внесолнечных планет

В.А. Захожай

С середины 1970-х гг., когда возникла идея практического поиска планет у других звезд и в последующие десятилетия поисковые работы велись в СССР, в том числе в Украине, без специального на то финансирования. В первое время многие астрономы к ней отнеслись, как к постановке совершенно нереальной задачи, которую «нельзя будет решить в обозримом будущем». Поэтому, только на основании объединенных усилий энтузиастов, не оглядывающихся на то, будет реальный результат или нет, велись первые поисковые исследования этой фундаментальной проблемы.

Многие результаты, которые удалось получить уже в первые годы исследований, и сейчас носят приставку «впервые» и являются базовыми для продолжающихся исследований уже на основе многочисленных наблюдательных данных. На первых порах не всегда совпадали представления астрономов о методах, объекте и предмете исследований, не был сформирован круг специалистов и энтузиастов в этой области. Всё было впервые. Наряду с этим, одни отказывались от признания возникшего нового направления, другие – не хотели его видеть, были и такие, о которых не следует упоминать... Были только публикации, выступления на конференциях. Между единомышленниками возникла атмосфера, в которой сформировалось новое направление, являющееся сейчас одним из самых перспективных.

В приводимых ниже материалах упоминаются имена астрономов, физиков, государственных деятелей, поддержавших напрямую или косвенно идею исследования проблемы внесолнечных планет, а также сопряженные области, развитие которых могло бы обеспечить начало их поиска интерферометрическим методом. Такая постановка задачи открывала перспективу использования интерферометрии и для решения ряда прикладных задач в других сферах деятельности: от поисковых геологических работ до создания геофизической и геодезической сетей в Украине и, конечно же, для астрономического образования.

Интерес к этой проблеме у меня возник более 40 лет и вначале был связан с возможностью использования Когерентной оптической установки (КОУ) для обработки изображений АО ХГУ и проведения наблюдений на 6-м БТА АН СССР. Объединение усилий с использованием этих уникальных и самых больших в мире инструментов, появившихся во второй половине 1970-х гг., казалось, может дать интересные результаты. Тем более, что после Бюраканской конференции по СЕТИ (1971 г.) была сформулирована задача поиска планет у звезд.

В 1977 г. началось моделирование процесса прохождения планет и других холодных спутников звезд по их дискам, результатом чего был доклад в ГАО АН УССР на Конференции молодых ученых и первые публикации [1-3]. Полученные результаты на КОУ АО ХГУ и специально созданной установке [4] имели значение для использованного предложенного Лабейри (1970 г.) метода спекл-интерферометрии, для чего нужен был доступ к наблюдениям на телескопах с

большими апертурами. Поскольку практические поиски таких объектов (невидимых спутников у звезд) в то время проводились в Пулковской астрономической обсерватории методами А.Н. Дейчмен, то я туда поехал для знакомства с ним и его коллегами, доложив свои первые результаты. Мои исследования поддержали сотрудники ГАО АН СССР Ю.И. Гнедин, А.А. Киселев, Н.А. Шахт и М.С. Чубей.

Дальнейшие шаги были направлены на поиск возможных объектов исследования и формулировку предложения в комиссию КТШТ по использованию наблюдательного времени на БТА. В качестве кандидатов, были выбраны несколько затменных переменных (для наблюдения их в минимуме блеска, с целью проверки работоспособности метода и отработки методики) и ближайших звезд. Мною был составлен каталог звезд, расположенных ближе 10 пк от Солнца [5-6], который позже вошел ADS SIMBAD [7], где номера звезд Каталога фигурируют под номерами Zkh. Комиссия также выделяла время для наблюдений в рамках Харьковской программы, среди задач которой фигурировала и моя.

Чтобы фундаментально разобраться в проблеме, я начал работать над написанием соответствующего обзора. Выяснились сразу две нерешенные задачи: 1) какие объекты следует отнести к планетам за пределами Солнечной системы, т.е., каков предмет исследований? 2) сколько теоретически может быть планет в Галактике? Для решения 1-й задачи надо было дать определение понятию планеты, выделив такие их свойства, которые присущи только им. Первое такое определение в качестве основного признака выделяло наличие ядра, а главным процессом, позволяющим ему образоваться – гравитационную дифференциацию [8]. Наличие ядра у планет сейчас считается общепринятым. Первое предложенное решение позволило также выделить интервал масс для силикатных планет, из чего стало понятно, что кроме планет и звезд во Вселенной существуют ещё и объекты, природа которых отличается от тех и других. Мы с Ю.В. Александровым назвали их субзвездами, выделив в отдельный класс космических тел. Сейчас такое название, наряду с коричневыми карликами, данное Дж. Тартер, является общепринятым.

Чтобы оценить число планет в Галактике ранее предлагалось привлечь понятие «субъективной вероятности». Это, фактически, экспертная оценка, не имеющая никакого математического обоснования. Я занялся привлечением статистических свойств кратных звезд, на основании которых была выведена математическая формула, дающая объективную оценку вероятности наличия планет у звезд произвольной кратности. Результаты этой работы были опубликованы в [9]. Примерно к этому времени закончилась работа и над обзором [10]. Первые результаты были изложены на Всесоюзной конференции по исследованию Солнечной системы в Кацевели (1980 г.). После моего обзорного доклада ко мне подошел участник конференции из г. Горького, сказав мне, что со мной хотел бы встретиться В.С. Троицкий из НИРФИ (занимающийся в то время проблемой ВЦ и ведущий их поиск радиоастрономическим методом), для обсуждения поднятой в моем докладе проблемы. Через несколько месяцев мы с ним встретились, где кроме личной встречи, я выступил с докладом на семинаре. Всеволод Сергеевич в это время занимался подготовкой Конференции по SETI, проведение которой было запланировано через год в Таллине. Он мне предложил

выступить с обзором в одном из пяти направлений конференции, в качестве основного иницирующего доклада. Я удачно выступил на конференции [11], познакомившись со многими известными учеными, интересовавшимися этой проблемой, включая И.С. Шкловского и Н.С. Кардашева. Материалы конференции были опубликованы отдельной книгой, где фигурирует и обзор по обсуждаемой проблеме [12].

В.С. Троицкий также предложил мне выступить в Астросовете АН СССР, куда он пригласил многих ученых из Москвы, проявивших интерес к этой проблеме: Д.Я. Мартынова, Л.В. Ксанфомалити, М.Я. Марова и др. Результатом этого рабочего семинара было создание Рабочей группы по поиску внесолнечных планет при секции «Радиоастрономия» АН СССР. Её возглавил В.С. Троицкий, замом был избран Л.В. Ксанфомалити, а меня избрали ученым секретарем по оптической астрономии [13]. Деятельность рабочей группы способствовала тому, что в 1982 году в САО АН СССР состоялась Первая в Советском Союзе конференция по этой проблеме, куда уже съехались многие известные астрономы из Москвы, Ленинграда и др. городов. Из Украины было двое: я и А.В. Мороженко.

В 1980-е гг. я очень тесно взаимодействовал с Н.С. Кардашевым. Сначала он предложил мне с Т.В. Рузмайкиной написать статью о выборе объектов для поиска планетных систем у звезд, что мы и сделали [14]. Далее, после открытия у Веги протопланетного диска (1984 г.), он предоставил мне материалы НАСА (наземные и IRAS) об ИК- звездах, а также привлек к обсуждению идеи и научной программе, планируемого 1-го советского ИК- телескопа с рабочим названием «Аэлита». Мы также начали обсуждать возможность построения наземного оптического и ИК-интерферометра, где с его стороны высказывалась идея построения такого инструмента на Луне или в Антарктиде. Я же предложил такой инструмент построить на территории Загородной базы АО ХГУ.

Данные об ИК- потоках были мной использованы для составления каталога ближайших звезд, имеющих инфракрасные избытки и были опубликованы [15]. Идею создания ИК- интерферометра Н.С. Кардашев предложил мне обсудить с С.Я. Брауде. Семен Яковлевич в свою очередь предложил выступить с этой идеей на семинаре РИАН, а после, вместе с Л.Н. Литвиненко, поддержал эту идею. Было предложено разработать техническое задание и смету. Это было выполнено. Оценочная стоимость предлагаемого интерферометра составила несколько миллионов рублей. Но грянула перестройка, а потом и развал СССР, отсутствие финансирования и стало понятно, что не время для осуществления такого дорогостоящего мероприятия.

Дальнейшая попытка осуществить идею с интерферометром связана с О.Е. Шорниковым (главным и единственным тогда в СССР разработчиком такого инструмента), с которым я познакомился уже после его отъезда из Николаева в Казань. Это сотрудничество длилось несколько лет. Было совместное выступление на Юбилейной конференции в Николаеве [16], на семинарах в Казани и в ГАО НАНУ при поддержке Я.С. Яцкива. Идея о построении интерферометра также была представлена на Первой украинской конференции по перспективным исследованиям и в ее материалах [17] были изложены перспективы его применения [18]. В России идею разработки и создания интерферометра поддерживал

А.А. Боярчук, по инициативе которого предполагалось установка его на МКС, где специально для этого было выделено место. Меня они привлекли как эксперта по разработке научной программы по поиску экзопланет.

Созданием интерферометра заинтересовались и российские нефтегазовые бурильщики, участие которых раскрывало перспективу реального финансирования такого проекта. Это было важно, поскольку вторая половина 1990-х гг. оставалась еще тяжелой для финансирования затратных научных проектов, как в России, так и в Украине. Но мы не совсем понимали для чего это им нужно. Поэтому я встретился с генеральным директором бурового управления «Укрбургаз» М.Г. Ульяновым и главным инженером В.А. Филем – ведущего предприятия буровых работ в Украине. Во время обсуждения возможности создания такого инструмента для прикладных целей, а именно решения проблем, которые существуют в буровом хозяйстве, выяснилось, что до сих пор не решена одна из важнейших задач: определение местонахождения бура при его движении внутрь Земли. Натыкаясь на породы с разной плотностью, бур существенно отклоняется от вертикального положения, и никто не может с уверенностью констатировать насколько далеко он отклонился от вертикали, особенно, когда ведется глубокое бурение. Это, в свою очередь, не позволяет решить проблему использования энергии Земли для народно-хозяйственных целей. На глубине уже около 6 км температура грунта достигает примерно 200° С, и чем глубже – тем больше. Решение этой проблемы позволило бы построить замкнутый контур, позволяющий вынести тепло из земных недр и использовать его для отопления населенных пунктов и других целей. Для Украины это могло бы решить энергетическую проблему. Была предложена идея, что интерферометр мог бы быть использован для определения третьей координаты, а две другие координаты могли обеспечить датчики, находящиеся на конце бура. Такое прикладное использование интерферометра поддержали в НАН Украины, (Я.С. Яцкив и В.П. Семиноженко).

Идея понравилась Вице-премьеру А.К. Кинаху, с которым удалось встретиться и обговорить её. Он связался с другим Вице-премьером В.В. Дурдинцом, который наложил резолюцию «Предусмотреть средства в бюджете страны». Зачем надо было «всё это»? Идея заключалась в том, что если бы такие инструменты пошли в серийное изготовление, то уж один инструмент можно было бы «оставить» для науки: для поиска экзопланет. Идею и предпринятые усилия «похоронило» профильное министерство нефти и газа, ссылаясь на то, что оно могло бы начать финансирование проекта, если бы Харьковский университет профинансировал изготовление экспериментальной установки, что конечно же было неподъемно, да ещё и в 1990-е годы.

Интерферометр мог иметь и еще одно применение. В 1990-е годы активно шло уничтожение ракетных шахт, в связи с тем, что Украина отказалась от ядерного оружия. В НАН Украины пришло предложение использовать ракетные шахты для создания геодезической сети. Об этом мне сообщил Ярослав Степанович, сведя меня с инициатором идеи. Ведь если бы удалось сохранить шахты, их можно было бы использовать под астрономические инструменты и, в частности, под астрометрические интерферометры. Я обратился к начальнику Академии имени Л.А. Говорова генерал-лейтенанту, докт. воен. наук В.Б. Толубко.

Эта академия была одной из ведущих организаций Космических войск в СССР, а в то время – в Украине. Владимир Борисович сказал мне, что борется за то, чтобы сохранить эти шахты и полностью поддерживает идею. Но вместе с уничтожением стратегических ракет были уничтожены и их шахты, и повлиять на ситуацию не представлялось возможным.

Последняя попытка найти финансирование и обеспечить создание интерферометра, связана с проведением модернизации учебного оборудования в Украине и, в частности, астрономического инструментария. В начале 2000-х гг. В.Е. Сторижко, занимаясь в НАН Украины вопросами конверсии предприятий военного назначения, предложил мне исследовать вопрос об использовании возможностей Феодосийского «Научно-производственного центра «Ай-Петри» для организации на его базе производства учебных телескопов в Украине. С этой целью была сформулирована 3-х уровневая концепция об обеспечении школ, педагогических и классических университетов новым поколением астрономических телескопов и оборудования [19]. Один из пунктов этой концепции, включал предложение организовать на базе одной из ведущих украинских астрономических обсерваторий базу для прохождения учебных практик, оснащенную современными астрономическими средствами, среди которых был и учебно-научный оптический интерферометр. Естественно, с моей стороны, предполагалось его использовать и для поиска экзопланет. Я дважды побывал в Феодосии и нашел понимание и поддержку со стороны его руководства Центра. Но в 2003 году профильное министерство этого Центра поменяло руководство и объединило его с другим предприятием сходного направления деятельности, что исключало возможность «продвижения развиваемой конверсионной идеи». Так ушла последняя надежда найти финансирование для разработки и создания интерферометра. Ситуация ещё и усугубилась тем, что серьёзно заболел О.Е. Шорников – наш главный разработчик интерферометра (что исключало дальнейшее продвижение идеи) и связь с ним была потеряна.

В 2000-х гг. большое внимание уделялось теоретическим вопросам, таким как классификация планет [20, 21], внутренне строение субзвезд, самые маломассивные из которых сходны по структуре с водородно-гелиевыми планетами, а также моделирование их атмосфер [22-25], обсуждение природы Немезиды, если она существует [26], выделение и анализ кандидатов в карликовые планеты в Солнечной системе [27], околозвездным дискам, природа которых связана с ранней стадией существования планетных систем [28-33], популяризации проблемы [34-36]. Было опубликовано ряд новых обзоров о проблеме поиска и результатам исследований [37-40], а также истории изучения проблемы экзопланет в Советском Союзе: роли Харьковской и Пулковской [41, 42] обсерваторий.

Классификация планет обосновывалась, с одной стороны, как составная часть общей предложенной классификации космических тел [43], в основе которой лежит выделение определенного интервала масс и ключевого механизма образования; с другой – планеты выделялись ещё и по признаку наличия у них ядра [8], что зависит от их характерного среднего химического состава. Мерой их минимальных масс может служить продолжительность времени их коагуляции, отклонение от гидростатического равновесия, за которое удобно принять высоту

возможных (или наблюдаемых в Солнечной системе) гор; возможности удержания водородно-гелиевой атмосферы. Все перечисленные факторы позволили разделить планеты на четыре основных класса: металлические, силикатные, ледяные (включая их гиганты) и водородно-гелиевые [44, 45].

Моделирование внутренней структуры субзвезд привело к пониманию того, какой следует ожидать (а в Солнечной системе наблюдается) химический состав у атмосфер водородно-гелиевых планет [23-25]. Были проведены расчеты, на основе теории квантовой химии, результатом которых было обосновано более 100 химических соединений, которые могут существовать в таких космических телах.

С самого начала изучения осуждаемой проблемы к планетным системам относились не только сформированные системы, а и протопланетные диски как исходная стадия их существования [10, 12, 14]. Поэтому в последнее время уделялось внимание созданию алгоритма расчетов для определения параметров протопланетных дисков по данным о распределениях энергии в спектрах (РЭС) звезд и субзвезд, составной частью которых являются их ИК- избытки. В результате такой работы были получены параметры 10 протопланетных дисков, по данным о первых РЭС субзвезд, обнаруженных в одной из ближайших областей звездообразования, находящейся в Верхнем Скорпионе [46]. Эти работы послужили основой и для интерпретации ИК- избытка, выявленного у звезды Ae/Be- Хербига IRAS22150+6109, а в дальнейшем и определения параметров её огромного впервые выявленного диска [47-50]. Полученные результаты качественно не противоречили результатам первых определений параметров околозвездных дисков, в которых было установлено, что диаметр диска тем больше, чем больше масса центрального объекта [51, 52].

Были и другие выступления на конференциях и семинарах, тезисы которых, как правило, опубликованы, а материалы или еще не опубликованы, или готовятся к публикации. В частности, ведется работа по систематизации имеющихся данных об открытых протопланетных дисках и ИК- избытках у близких к Солнцу звезд, целью которых является, как поиск общих закономерностей, так и определение их параметров.

Подводя итоги 40-летней деятельности следует отметить следующее. За времена Советского Союза, данное направление было пионерским и объективно, инициатива исходила из харьковской школы, к которой принадлежу и я. Вначале в нём участвовали астрономы из Харькова, Ленинграда, Москвы, Горького, позже, из Казани. Список в литературе отражает участников исследования проблемы внесолнечных планет в разное время. Он не является полным после открытия экзопланет в середине 1990-х гг., поскольку интерес к этой проблеме резко возрос, как и число астрономов, которые начали проводить свои исследования в этой области, ставшей в настоящее время одной из основных.

Почему мы утратили лидерство в этой области в последние 20 лет? На это есть несколько причин. Основная из них – такие работы никак не финансировались ни в Минобразовании, ни в Академии наук Украины, они были известны в России, но их не замечали в Украине. Начатое направление не поощрялось ни финансово, ни академическими или министерскими премиями, наличие которых могло бы

привлечь внимание научной общественности к новому направлению исследований. Хотя, в конце 1980-х гг. в Радиоастрономическом институте АН УССР и была такая попытка, но развал СССР помешал этому, из-за недостаточного финансирования уже существовавших направлений исследований. Начать же финансировать новое направление, для которого были необходимы миллионные затраты и, прежде всего, для создания оптического интерферометра, никто не решился, даже при поддержке такого именитого радиоастронома, как С.Я. Брауде, отозвавшегося на инициативу Н.С. Кардашева о моей поддержке «продвижения» идеи в Украине. Вторая причина, является производной от первой. Отсутствие наблюдательных средств в Украине не дало возможность подключиться к начатому практическому поиску экзопланет, ставшему одной из основных задач наземной и космической наблюдательной астрономии.

Так есть ли вклад национальной астрономии в проблему существования планет в Галактике? Есть. Это развитие теоретических вопросов проблемы. Начатые в 1980-х годах её широкомасштабные исследования, рассмотренные выше, не потеряли актуальности и до настоящего времени. Во-первых, был правильно определен предмет исследований – планеты, как космические тела не только Солнечной системы, а и Вселенной в целом. Первое их определение [8] с его последовательным усовершенствованием [21, 40-44] остается по-прежнему актуальным. В настоящее время я продолжаю работу над его модернизацией в связи с увеличением наблюдательных данных об экзопланетах. Во-вторых, предсказанная вероятность наличия планет у звезд [9] не противоречит наблюдательным данным об их распространенности, с учетом «работающих» методов поиска экзопланет, которые открывают, в основном, когда плоскость их орбит ориентирована на земного наблюдателя. В-третьих, в течение всех четырёх десятилетий постоянно отслеживались теоретические исследования и появляющиеся наблюдательные данные. Этот материал постоянно анализировался, обобщался в публикуемых обзорах [11, 12, 37-40, 44, 51, 52], данные которых докладывались на научных конференциях. Проводился поиск закономерностей в открытых планетных системах [51], положено начало определения параметров дисков у субзвезд и звезд Ae/Be Хербига наклонённых к наблюдателю под произвольным углом [46-50]. Перечисленные направления исследований велись мной как самостоятельно, так и в соавторстве, как видно из приведенной литературы, но инициатором их проведения посчастливилось быть мне.

1. Захожай В.А. К вопросу определения диаметров компонентов затменных переменных звезд // Вестн. Харьк. ун-та. – 1978. – №176, вып.13: Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия. – Харьков. – С. 85-91.
2. Захожай В.А. Применение когерентной оптической системы к поиску холодных спутников у звезд // Астрометрия и астрофиз. – 1979. – № 37. – С. 85-88.
3. Захожай В.А. Возможности спекл-интерферометрии при наблюдении затменных переменных систем /результаты машинного моделирования/ // Вестн. Харьк. ун-та. – 1981. – № 223, вып. 16: Методы обработки астрономических и космических изображений. – Харьков. – С. 60-63.

4. Захожай В.А. Установка для моделирования спекл-интерферометрии // Вестн. Харьк. ун-та. – 1983. – № 247, вып. 18: Астрометрия Солнечной системы. – Харьков. – С. 44-49.
5. Захожай В.А. Ближайшие звезды // Вестн. Харьк. ун-та. – 1979. – № 190, вып. 14: Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия. – Харьков. – С. 52-77.
6. Захожай В.А. Дополнения и исправления каталога ближайших звезд до 10 пс // Вестн. Харьк. ун-та. – 1982. – № 232, вып. 17: Астрометрия и физика Солнечной системы. – Харьков. – С. 64-70.
7. Zakhozhaĵ V.A. Catalogue of stars within ten parsecs of the Sun. – 1996. – URL: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?-source=V/101>.
8. Александров Ю.В., Захожай В.А. Что такое планеты // Астрон. вестн. – 1980. – **14**, №3. – С. 129-132.
9. Александров Ю.В., Захожай В.А. К вопросу о возможном числе планетных систем в Галактике // Астрон.вестн. – 1983. – **17**, №2. – С. 82-86.
10. Александров Ю.В., Захожай В.А. Проблемы внесолнечных планет в Галактике // Астрон.вестн. – 1983. – **17**, №3. – С. 131-144.
11. Захожай В.А., Александров Ю.В. Существование планетных систем в Галактике и проблемы их поиска // Поиск разумной жизни во Вселенной / Тезисы всесоюзного симпозиума "SETI", Tallin' 81"/. – Таллин. – 1981. – С. 27.
12. Александров Ю.В., Захожай В.А. Существование планетных систем в Галактике и проблемы их поиска // В кн.: Проблемы поиска жизни во Вселенной. – М.: Наука. – 1986. – С. 201-210.
13. Захожай В.А. “Проблема поиска внесолнечных планет” – новая рабочая группа // Астрон. вестн. – 1982. – **16**, №1. – С. 63-64.
14. Захожай В.А., Ружмайкина Т.В. Звезды для поиска планетных систем // Астрон.вестн. – 1986. – **20**, №2. – С. 128-133.
15. Захожай В.А., Шапаренко Э.Ф., Васильев В.П., Васильева Л.В. ИК-источники в окрестностях Солнца // Кинем.и физ.неб.тел. – 1994. – 10, №2. – С. 74-85.
16. Захожай В.А., Федоров П.Н., Шорников О.Е. Звездный интерферометр в миллисекундной астрометрии // Тези доповідей міжнародної наукової конференції "Роль наземної астрометрії в POST-HIPPARCOS період", присвяченої 175-річчю Миколаївської астрономічної обсерваторії (9-12 вересня 1996 р.). – Миколаїв: МАО. – 1996. – С. 13.
17. Захожай В.А., Федоров П.Н., Мызников А.А. Многоцелевой оптический звездный интерферометр // Первая украинская конференция по перспективным космическим исследованиям, Сборник тезисов. – Киев. – 2001. С. 30.
18. Zakhozhaĵ V.A. Astrometrical method of searching for cool satellites of stars. Results and perspectives // In: Extension and connection of reference frames using ground based CCD technique. – Nikolaev. – 2001. – P. 274-283.
19. Александров Ю.В., Захожай В.А. Про розвиток навчального астрономічного приладобудування // Київ, 13-14 травня 2003 р. – Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції „Астрономічна освіта учнівської молоді”. – Київ. – 2003. – 6 стор.
20. Evsukov N.N., Zakhozhaĵ V.A., Psaryov V.A. Planetary systems of the Galaxy // Odessa Astronomical Publications. – 2001. – Vol. 14. – P. 205-207.
21. Захожай В.А. Космические тела Галактики: классификация и эволюция // Вісн. астрон. школи. – 2002. – **3**, № 2. – С. 81-99.
22. Писаренко А.И., Яценко А.А., Захожай В.А. Модель эволюции субзвездных объектов // Астрон. журн. – 2007. – Т. 84, № 8. – С. 675-684.

23. Захожай В.А., Писаренко, А.И., Яценко А.А., Педаш Ю.Ф., Котелевский С.И. Химическое равновесие в атмосферах водородно-гелиевых субзвезд // Кинем. и физ. неб. тел. – 1999. – **15**, №6. – С. 516-522.
24. Захожай В.А., Котелевский С.И., Педаш Ю.Ф., Писаренко, А.И., Яценко А.А. Особенности молекулярного состава атмосфер субзвезд. // Кинем. и физ. неб. тел. – 2001. – 17, №1. – С. 3-16.
25. Котелевський С.І., Педаш Ю.Ф., Захожай В.А., Писаренко А.І. Особливості хімічної та іонізаційної рівноваги у атмосферах субзірок сонячного елементного складу при низьких температурах // Кинем. и физ. неб. тел. – 2004. – **20**, №2. – С. 118-132.
26. Захожай В.А., Соловьев В.О. Ритмы развития земной коры и кинематика небесных тел // Труды Конгресса-2008: «Фундаментальные проблемы естествознания и техники». – Книга первая (А–М). – С-Пб. – 2008. – С. 219-231.
27. Zakhzhay O.V., Zakhzhay V.A., Krugly Yu.N. Catalogue of Planetary Objects. Version 2006.0 // Proceedings of 13th Open Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics / Ed. A. Golovin, G. Ivashchenko & A. Simon. – April 25-29, 2006, Kyiv. – Kyiv National Taras Shevchenko University. – P. 122-133.
28. Захожай В.А., Захожай О.В. Результаты предварительных расчетов энергетических спектров излучения субзвезд с плоскими дисками без центральной щели // Изв. ГАО в Пулкове. – 2009. – № 219, вып.4. – Труды Всероссийской конф. «Пулково - 2009». – С. 119-124.
29. Zakhzhay O.V., Zakhzhay V.A. The SEDs of Circumstellar Protoplanetary Disks // In: Pathways Towards Habitable Planets. – Barcelona, Spain. – 14-18 September, 2009. – ASP Conference Series, Vol. 430, 2010. – Visent Coudé du Foresto, Dawn M. Gelino, and Ignasi Ribas, eds. – San Francisco, 2010. – P. 560-563.
30. Захожай В.А., Захожай О.В., Видьмаченко А.П. Особенности моделирования тонких плоских дисков с центральными объектами в зависимости от их пространственного расположения // Кинем. и физ. неб. тел. – 2011. – Т. 27, № 3. – С. 54-74.
31. Zakhzhay O.V., del Burgo C. and Zakhzhay V.A. Geometry of highly inclined protoplanetary disks // Advances in Astronomy and Space Physics – 2015. – Vol. 5. – P. 33-38.
32. Kuratova A. K., Zakhzhay O. V., Kuratov K. S., Zakhzhay V. A., Miroshnichenko A. S. Physical parameters of protoplanetary disk surrounding IRAS 22150+6109 young star // Odessa Astron. Public. – 2017. – Vol. 30. – P. 98-100.
33. Zakhzhay O.V., Miroshnichenko A.S., Kuratov K.S., Zakhzhay V.A., Khokhlov S.A., Zharikov S.V., Manset N. IRAS 22150+6109 - a young B-type star with a large disc // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. – 2018. – Vol. 477. – P. 977-982.
34. Захожай В., Кузьменков С. Що таке планети? Одинадцять років по тому // Фізика та астрономія в рідній школі. – 2017. – № 6. – С. 31-36.
35. Захожай В.А. 50 найближчих до Сонця зір і субзір. – Астрономічний календар – 2019. – Київ: Академ. періодика, 2018. – С. 239-248.
36. Захожай В.А. Планети ближайших к Солнцу звезд. – Одесский астрономический календарь – 2019. – Одесса: Астропринт, 2018. – С. 184-190.
37. Захожай В.А. Проблема существования планетных систем. I. Методы и средства поиска // Вісник астрономічної школи. – 2005. – **4**, № 2. – С. 34-54.
38. Захожай В.А. Проблема существования планетных систем. II. Ожидаемые свойства и первые результаты поиска // Вісник астрономічної школи. – 2005. – **4**, № 2. – С. 55-72.
39. Захожай В.А., Захожай О.В. Диски вокруг ближайших звезд и субзвезд // Кинем. и физ. неб. тел. – 2010. – Т. 26, № 1. – С. 3-30.

40. Захожай В.А., Бабенко М.А. Околосолнечное звездно-субзвездное окружение. II. Классификация и определения основных характеристик // Вісн. астрон. школи. – 2012. – 8, № 2. – С. 108-118.
41. Захожай В.А., Гнедин Ю.Н., Шахт Н.А. Вклад Пулковской и Харьковской астрономических школ в развитие проблемы поиска и существования планетных систем в Галактике // Изв. ГАО в Пулкове. – 2009. – № 219, вып. 4. – Труды Всероссийской конф. «Пулково - 2009». – С. 111-118.
42. Zakhzhay V.A., Gnedin Yu.N., Shakht N.A. The contribution of Pulkovo and Kharkiv scientific schools in a problem of searches of exoplanets and dark satellites of stars // Astrophysics. – 2010. – Vol. 53, No. 4. – P. 575-591.
43. Захожай В.А. Космические тела Галактики: классификация и эволюция // Вісн. астрон. школи. – 2002. – 3, № 2. – С. 81-99.
44. Захожай В.А., Бабенко М.А. Околосолнечное звездно-субзвездное окружение. II. Классификация и определения основных характеристик // Вісн. астрон. школи. – 2012. – 8, № 2. – С. 108-118.
45. Захожай В.А., Бабенко М.А. Ближайшие к Солнцу звезды и субзвезды: обзор исследований // Кинем. и физ. неб. тел. – 2013. – Т. 29, № 3. – С. 21-47.
46. Zakhzhay O.V., Zakhzhay V.A., Vidmachenko A.P. Substars radii and effective temperature changes on protostellar and later stages of evolution // Proceedings of 15th Open Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics. April 14-19, 2008. – Kyiv National Taras Shevchenko University. – 2008. – P. 37-40.
47. Kuratov K.S., Zakhzhay O.V., Miroshnichenko A.S., Zakhzhay V.A. IRAS 22150+6190: A Poorly Studied Young Star // Odessa Astron. Public. – 2015. – Vol. 28. – P. 34-38.
48. Zakhzhay O.V., Miroshnichenko A.S., Kuratov K.S., Zakhzhay V.A., Khokhlov S.A., Zharikov S.V., Manset N. The results of SED simulations for a young B-type star IRAS22150+6109 // Proceedings of the conference The B[e] Phenomenon: Forty Years of Studies. ASP Conference Series – 2017. – Vol. 508. – P. 191-195.
49. Kuratova A.K., Zakhzhay O.V., Kuratov K.S., Zakhzhay V.A., Miroshnichenko A.S. Physical parameters of protoplanetary disk surrounding IRAS 22150+6109 young star // Odessa Astron. Public. – 2017. – Vol. 30. – P. 98-100.
50. Zakhzhay O.V., Miroshnichenko A.S., Kuratov K.S., Zakhzhay V.A., Khokhlov S.A., Zharikov S.V., Manset N. IRAS 22150+6109 - a young B-type star with a large disc // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. – 2018. – Vol. 477. – P. 977-982.
51. Захожай В.А. Проблема существования планетных систем. II. Ожидаемые свойства и первые результаты поиска // Вісн. астрон. школи. – 2005. – 4, № 2. – С. 55-72.
52. Захожай В.А., Захожай О.В. Диски вокруг ближайших звезд и субзвезд // Кинем. и физ. неб. тел. – 2010. – Т. 26, № 1. – С. 3-30.