

УДК 523.4-355, 523.44, 52-13, 52-14

Я. С. Яцків¹, Л. В. Рыхлова², В. К. Тарадий³

¹Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680
yatskiv@mao.kiev.ua

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт астрономии Российской академии наук
ул. Пятницкая 48, Москва, 119017
rykhlova@inasan.ru

³Международный центр астрономических и медико-экологических исследований
Национальной академии наук Украины
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680
v.tarady@gmail.com

Астрономия в Приэльбрусье

Астрономические исследования в Приэльбрусье выполняются на основе широкого международного сотрудничества, осуществляемого под эгидой Международной ассоциации академий наук в содружестве с Евро-Азийской ассоциацией университетов. По направлениям фундаментальных, прикладных и поисковых исследований в рамках международных астрономических программ в обсерватории на пику Терскол получены важные научные результаты, в частности по отождествлению диффузных межзвездных полос, изучению микропеременности блеска звезд, обнаружению оптического послесвечения гамма-всплесков, определению кинематических и физических характеристик малых тел Солнечной системы (астероидов и комет), а также по изучению популяции космических объектов техногенного происхождения в околоземном пространстве.

АСТРОНОМІЯ У ПРИЕЛЬБРУССІ, Яцків Я. С., Рихлова Л. В., Тарадій В. К. — Астрономічні дослідження у Приельбруссі виконуються на основі широкого міжнародного співробітництва, здійснюваного під егідою Міжнародної асоціації академій наук у співдружності з Євро-Азійською асоціацією університетів. За напрямками фундаментальних, прикладних і пошукових досліджень в рамках міжнародних астрономічних програм в обсерваторії на піку Терскол отримано важливі наукові результати, зокрема із ототожнення дифузних міжзоряних смуг, вивчення мікрозмінності блиску зір, виявлення оп-

тичного післясвічення гамма-сплесків, визначення кінематичних і фізичних характеристик малих тіл Сонячної системи (астероїдів і комет), а також з вивчення популяції космічних об'єктів техногенного походження в навколосемному просторі.

ASTRONOMY AT THE PRIELBRUSIE REGION, by Yatskiv Ya. S., Rykhlova L. V., Taradiy V. K. — Astronomical researches in Prielbrusie are conducted on the basis of the broad international collaboration, performed under the auspices of International association of academies of sciences in commonwealth with Euro-Asian association of universities. According to the course of fundamental, applied and exploratory studies within the international astronomical programs at the peak Terskol observatory the number of important results was obtained. These results are referred to the problems of the identification of diffuse interstellar bands, studies of the star light-curve, detection of gamma-ray bursts optical residuals, evaluation of kinematic and physical properties of small bodies of Solar system (asteroids and comets) and to the investigation of space objects of technogenic origin in near-Earth space environment.

Астрономические исследования в Приэльбрусье были начаты Главной астрономической обсерваторией Национальной академии наук Украины (ГАО НАН Украины) в конце 1960-х гг. с целью выбора места астрофизической высокогорной наблюдательной базы. Тогда результаты совместных исследований украинских и российских астрономов подтвердили высокое качество астроклимата в горах Северного Кавказа, что в дальнейшем способствовало решению НАН Украины о строительстве астрономической обсерватории в Приэльбрусье на пике Терскол (высота 3100 м) и установке там крупного зеркального телескопа. Обсерватория создавалась на протяжении 1980-х гг. К сожалению, ее капитальное строительство так и не было завершено в полном объеме и в запланированные сроки.

В обсерватории на пике Терскол в различные периоды времени были установлены и успешно функционируют пять телескопов.

1. Зеркальный телескоп «Цейс-2000» производства фирмы «Карл Цейс, Йена» (Германия) с ситаловым 2-м зеркалом, оснащенный системой автоматического управления, штатными научными приборами, современными высокочувствительными приемниками излучения и аппаратно-программными средствами информационной поддержки астрономических наблюдений [6].

В составе астрономического комплекса в фокусе кудэ телескопа «Цейс-2000» установлен мозаичный эшеле-спектрограф с разрешающей способностью до 500000 в диапазоне $\lambda = 300...1000$ нм, а в фокусе Кассегрена установлен многомодовый спектрометр MMCS (MultiMode Cassegrain Spectrometer).

Преимущество телескопа «Цейс-2000» на пике Терскол по сравнению с другими аналогичными инструментами в Европе состоит в том,

что он установлен на большей высоте (3100 м) в условиях хорошего астроклимата и разреженной атмосферы и обладает дополнительными возможностями при проведении спектральных исследований, а также большей проникающей способностью. Относительно большой диаметр зеркала телескопа, высокая скорость работы прецизионных автоматических приводов и высокочувствительные приемники излучения позволяют успешно наблюдать объекты слабее 23^m с позиционной ошибкой не более 0.5 .

2. Горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-26 производства Санкт-Петербургского оптико-механического объединения с диаметром главного зеркала, равным 65 см (единственный функционирующий на пространстве СНГ). Телескоп оснащен пятикамерным спектрометром, что позволяет вести спектральные измерения спокойных и активных образований в атмосфере Солнца одновременно в нескольких участках спектра.

3. Зеркальный телескоп «Цейс-600» производства фирмы «Карл Цейс, Йена» с диаметром зеркала 60 см, предназначенный для фотометрических исследований блеска переменных звезд и других небесных объектов, а также для изучения взаимных явлений в системах спутников больших планет и для наблюдений объектов техногенного загрязнения околоземного пространства («космического мусора»).

4. Автоматический робот-телескоп фирмы «Celestron» (США).

5. Автоматический робот-телескоп фирмы «Meade» (США).

Роботизированные телескопы предназначены для мониторинга событий и явлений в космическом пространстве, в том числе для изучения оптических проявлений гамма-всплесков, а также для комплексных исследований околоземного пространства и наземной поддержки космических проектов.

Самая высокая в Европе астрономическая обсерватория на пике Терскол стала местом разветвленного международного сотрудничества, осуществляемого под эгидой Международного астрономического союза, Международной ассоциации академий наук в содружестве с Евро-Азийской ассоциацией университетов. Организация такого сотрудничества способствовала оснащению телескопов современным оборудованием и приборами, в частности, телескопа «Цейс-2000», и созданию наблюдательных комплексов, соответствующих мировому уровню. Особо следует отметить вклады в оснащение телескопов: Главной астрономической обсерватории НАН Украины, Института астрономии Российской академии наук (РАН), Центра астрономии университета им. Н. Коперника (Польша), Международного центра астрономических и медико-экологических исследований НАН Украины, Специальной астрофизической обсерватории РАН, Института астрономии общества Макса Планка (Германия), Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН.

Исследования в обсерватории на пике Терскол выполняются по международным программам, утвержденным НАН Украины и РАН.

За прошедший период времени, начиная с 1998 г., были успешно завершены три пятилетние программы астрономических исследований и выполняется четвертая.

Работы по программам ведутся на основе широкой кооперации. Так, например, в реализации 42 проектов международной программы «Астрономия в Приэльбрусье. 2010—2014 гг.» участвовали 38 научных организаций из разных стран, в том числе из Украины, России, США, Германии, Франции, Болгарии, Польши, Литвы, Южной Кореи.

Фундаментальные, прикладные и поисковые исследования по международным программам выполнялись по таким направлениям:

- определение физических характеристик и химического состава звезд методами спектроскопии высокого и сверхвысокого разрешения;

- изучение межзвездной среды;

- исследования переменности излучения звезд методами высокоскоростной фотометрии и астросейсмологии;

- исследования галактических ядер и процессов звездообразования;

- изучение оптических проявлений гамма-всплесков;

- исследования звездно-планетных систем;

- изучение малых тел Солнечной системы;

- исследования по физике Солнца;

- комплексные исследования околоземного пространства;

- разработка новых методов и средств астрономических наблюдений и их информационного обеспечения;

- наземная поддержка космических проектов и экспериментальные астрономические наблюдения.

По всем указанным направлениям исследований были получены важные научные результаты, среди которых отметим следующие.

- По данным спектральных наблюдений с высоким разрешением (~100000) на телескопе «Цейс-2000» звезд ранних спектральных классов (от O6 до B3) были уточнены длины волн диффузных межзвездных полос (ДМП), измерены их эквивалентные ширины, полуширины, отождествлены 21 новая и подтверждены 336 ранее найденных ДМП. Создан атлас профилей ДМП [3]. Измерения и атлас представлены как онлайн-данные на www.icamer.org.ua/observations/DIBs_Survey и опубликованы в работе [4].

- По данным международных кампаний синхронных фотометрических наблюдений блеска переменных звезд в сети удаленных телескопов, включающей комплексы «Цейс-2000» и «Цейс-600» на пике Терскол, подтверждена гипотеза о наличии микровспышек у звезды EV Lac. В полосе U эти микровспышки имеют амплитуду в среднем 0.02—0.04^m, частоту появления — примерно один раз в минуту, длительность от нескольких десятков секунд до нескольких минут. В микровспышках наблюдаются высокочастотные колебания с периодом около 30 с. Глубина модуляции может достигать 50 % [7].

— На астрономических комплексах обсерватории на пике Терскол по целеуказаниям спутника «Swift» было обнаружено оптическое послесвечение, получены ряды оценок блеска в фотометрических полосах *BVRc* для следующих гамма-всплесков: GRB 100206A, GRB 100418A, GRB 100901A, GRB 100902A, GRB 100906, GRB 110205, GRB 110315, GRB 110506, GRB 110530, GRB 110604, GRB 110731, GRB 110801, GRB 110807A, GRB110905A, GRB 110921A, GRB 111103A, GRB 111103B, GRB 111225A, GRB 120927A, GRB 121001A, GRB 150910A, GRB 150911A, GRB 151027A, 141109A, 141109B, SGR 1E 1841-045 (Swift trigger 649113) и др.

По данным наблюдений поля гамма-всплеска 021004 на телескопе «Цейс-2000» в полосах *BVRI* были получены фотометрические красные смещения и обнаружена фотометрическая неоднородность на $z = 0.5$. Проведенный анализ указывает на возможное скопление галактик в окрестности гамма-всплеска 021004 [5].

На основании данных оперативных и мониторинговых наблюдений гамма-всплесков в Приэльбрусье было выпущено 30 циркуляров сети GRB Coordinates Network.

Результаты, получаемые по астрономическим наблюдениям в обсерватории на пике Терскол, регулярно публикуются в рейтинговых периодических изданиях и трудах конференций. В частности, по материалам программы «Астрономия в Приэльбрусье. 2010—2014 гг.» были опубликованы 116 статей в научных журналах и представлены 69 докладов на международных конференциях.

В рамках международных астрономических программ в Приэльбрусье важное место отведено исследованиям актуальных проблем околоземной астрономии, в частности, изучению малых тел Солнечной системы, включая проблемы астероидно-кометной опасности для Земли и техногенного загрязнения околоземного космического пространства. Приоритетной для обсерватории на пике Терскол стала задача определения кинематических и физических характеристик избранных комет и астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), методами астрометрии, фотометрии и спектрометрии. Для этих целей на телескопах «Цейс-2000» и «Цейс-600» были созданы штатные астрономические приборы [6, 8]. Исследования АСЗ проводятся в координации с другими организациями, представленными в списке Minor Planet Center (MPC), в котором обсерватории на пике Терскол присвоен международный код В 18. Фотометрические наблюдения выполняются в стандартных фотометрических полосах и в узкополосных кометных фильтрах, а спектры АСЗ регистрируются с помощью многомодового спектрометра в фокусе Кассегрена (MMCS) телескопа «Цейс-2000» и комплекса динамической спектроскопии телескопа «Цейс-600» [8]. Для цифрового анализа спектров были разработаны пакеты программ.

Только в 2012 г. в обсерватории на пике Терскол были проведены более 1000 наблюдений 75 малых тел Солнечной системы, в том числе

слабых комет и астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ). В 2013—2014 гг. были выполнены спектральные наблюдения и определены физические характеристики избранных астероидов и комет (99942 Apophis, 2007 PA8, 2012 QG42, 4179 Toutatis, C/2012 S1, C/2012 S1 (ISON), C/2011 L4 2013 RE32, 2013 RF36, P/2010 TO20 LINEAR-Grauer и др.); проведены две международные кампании координированных наблюдений потенциально опасных астероидов Апофис и 2011 AG5; выполнены наблюдения астероида 4179 Toutatis при его сближении с Землей. При этом на телескопе «Цейс-600» были получены более 120 позиционных ПЗС-снимков этого астероида. Погрешность определения координат составила приблизительно 0.1 . Наблюдения проводились для наземной поддержки сближения китайского зонда «Чанъэ-2» с астероидом и были переданы в координационный центр.

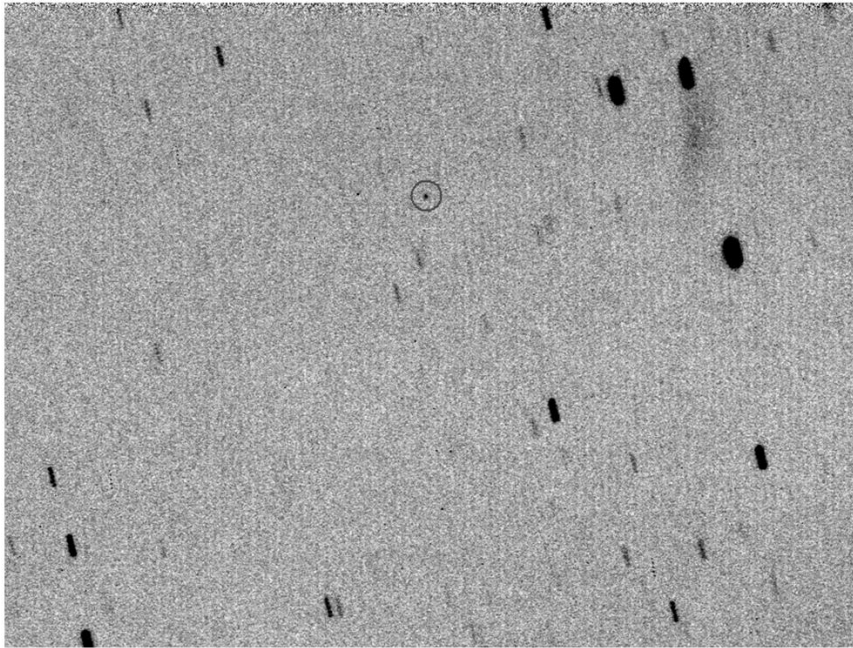
Проведены спектрофотометрические исследования физических свойств и удаленной активности избранных тел облака Оорта и пояса Койпера, в том числе:

- динамически новых комет облака Оорта C/2010 X1 и C/2010 S1;
- комет облака Оорта C/2008 FK75 и C/2008 S3, демонстрирующих значительную активность на больших гелиоцентрических расстояниях;
- активных Кентавров: 2006 SX368, 95P-2060 Chiron и 2008 YB3.

Терскольская обсерватория является официальным участником (код — В 18) международного проекта GAIA Follow-Up Network for Solar System Objects (GAIA-FUN-SSO) наземной поддержки миссии GAIA (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) Европейского космического агентства. На протяжении 2015 г. по проекту выполнялся мониторинг и измерение координат зонда GAIA для получения оперативной информации о движении аппарата. При этом, поскольку зонд GAIA является слабым объектом (около 22^m), доступным для наблюдений только крупными телескопами с высокоэффективными приемниками излучения, для его уверенного обнаружения среди звезд использовалась методика сложения нескольких ПЗС-кадров, получаемых на телескопе «Цейс-2000» (изображение комбинированного кадра представлено на рисунке ниже).

Определенные из наблюдений координаты зонда были переданы в MPC и опубликованы в циркулярах DASO (Distant Artificial Satellites Observation circular).

В 2015 г. по программе «Астрономия в Приэльбрусье. 2015—2019 гг.», а также в рамках международного проекта GAIA-FUN-SSO на телескопах «Цейс-2000» и «Цейс-600» проводились астрономические (позиционные, фотометрические и спектральные) наблюдения избранных астероидов для определения их кинематических и физических параметров, в том числе и позиционные измерения вновь открытых астероидов, обнаруженных в процессе наземного сопровождения зонда GAIA, с целью подтверждения существования этих объектов и



Комбинированный кадр с обозначенным местоположением зонда GAIA, полученный по результатам наблюдений 19 сентября 2015 г. (2-м телескоп, экспозиция 60 с)

уточнения их орбит. В период май — ноябрь 2015 г. были исследованы десятки площадок с вышеуказанными объектами и подтверждены обнаружения 10 новых астероидов: G01237, G01366, G01378, G01764 G01773, G01831, G01893, G01899, G01900, G01949. Кроме того, были проведены 126 измерений с погрешностями 0.05— 0.08 потенциально опасного АСЗ 99942 Apophis.

Для четырех АСЗ: 2014ЕК24, 2015FS332, 59К0006 и 2015SZ2 были накоплены массивы фотометрических данных, построены кривые блеска и определены периоды вращения.

Всего в 2015 г. в базу данных MPC были переданы результаты позиционных измерений более 100 астероидов.

Полученные в течение 2010—2015 гг. данные астрономических наблюдений малых тел Солнечной системы опубликованы в 194 циркулярах МРЕС (Minor Planet Electronic Circular).

В обсерватории на пике Терскол в течение длительного времени проводится мониторинг отдельных областей геостационарной орбиты (ГСО) для обнаружения и каталогизации малоразмерных космических объектов техногенного происхождения (фрагментов космического мусора), для последующего определения кинематических и физических характеристик этих объектов, а также для изучения эволюции их орбит с целью обеспечения безопасной навигации в избранных областях ГСО. Постоянно осуществляемые запуски новых геостационарных ИСЗ, а также требования обеспечения режимов их безопасного функционирования делают необходимым контроль за всеми фраг-

ментами космического мусора, образовавшимися в результате событий, произошедших на орбите (взрывы космических аппаратов и др.).

Современные средства контроля космического пространства обеспечивают возможности наблюдений объектов на ГСО размером не менее 10 см.

В то же время астрономический комплекс «Цейс-2000» на пике Терскол позволяет наблюдать существенно меньшие фрагменты. Так, например, в сентябре 2012 г. впервые наблюдался объект геостационарной области слабее 21^m , что по оценкам соответствует фрагменту размером менее 10 см. С июня 2009 г. по ноябрь 2014 г. в Терскольской обсерватории были осуществлены более 50000 позиционных измерений около 500 фрагментов космического мусора [1, 2]. Кроме позиционных измерений, выполнялись также и фотометрические наблюдения блеска объектов для целей Службы контроля космического пространства. Эффективность исследований обеспечили высокая точность и продолжительность измерений.

Астрономические комплексы на пике Терскол принимают участие также и в выполнении космических проектов, в частности они обеспечили наземную поддержку запусков искусственных спутников Земли «Купон», «Ямал», «Бонум», «КазСат», «Сириус», «Электра-Л» и многих других.

1. Бахтигараев Н. С., Левкина П. А., Рыхлова Л. В. и др. Исследование космического мусора в обсерватории на пике Терскол // Кинематика и физика небес. тел.—2016.—**32**, № 5.—С. 40—44.
2. Левкина П. А., Бахтигараев Н. С., Сергеев А. В., Чазов В. В. Результаты фотометрических и позиционных наблюдений фрагментов космического мусора в обсерватории на пике Терскол // Изв. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове.—2012.—№ 220.—С. 47—52.
3. Bondar A. A high resolution survey of diffuse interstellar bands // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—2012.—**423**.—P. 725—734.
4. Bondar A. Survey of diffuse interstellar bands (Bondar, 2012): VizieR On-line Data Catalog // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—2013.—<http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=J/MNRAS/423/725>.
5. Petkov V. B., Pozanenko A. S., Loznikov V. M., et al. Search for high energy gamma-ray bursts // Astrophys. and Space Sci. Trans.—2011.—**7**, N 2.—P. 97—100.
6. Yatskiv Ya., Tarady V. The New 2m RCC telescope in the Northern Caucasus for modern astronomical research // Astron. and Astrophys. Trans.—1997.—N 13.—P. 19—21.
7. Zhilyaev B. E., Andreev M. V., Sergeev A. V., et al. Fast spectrophotometry of the flare star EV Lacertae // Astron. Lett.—2012.—**38**, N 11.—P. 793—800.
8. Zhilyaev B. E., Sergeev A. V., Andreev M. V., et al. Slitless spectrograph for small telescopes: First results // Kinematics and Physics of Celestial Bodies.—2013.—**29**, N 3.—P. 120—130.

Статья поступила в редакцию 01.12.15