

Space Research & Technologies

# КОСМИЧЕСКИЕ

№4  
2014

## ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ

Международный журнал о космонавтике International Journal of Aerospace



**Первое прикосновение  
к комете, открытой в Алма-Ате**

**Казахстанский  
КОСМОС в новом  
ведомстве**

**Космическое  
материаловедение  
на подъеме**

**Перспектива —  
радарный  
спутник**

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**Талгат Мусабаев** —  
председатель, Казахстан  
**Меирбек Молдабеков** —  
заместитель председателя, Казахстан  
**Еркин Шаймагамбетов** —  
заместитель председателя АКК (МИР), Казахстан  
**Ергазы Нурғалиев** —  
заместитель председателя АКК (МИР), Казахстан  
**Мэлис Абсаметов** —  
директор Института гидрогеологии  
и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, Казахстан  
**Александр Дегтярев** —  
генеральный конструктор — генеральный директор ГП  
«Конструкторское бюро «Южное» им.М. К. Янгеля», Украина  
**Жумабек Жантаев** —  
заместитель председателя, главный редактор, Казахстан  
**Жайлаубай Жубатов** —  
директор РПП «Научно-исследовательский центр  
«Гарыш-Экология», Казахстан  
**Леопольд Лобковский** —  
заместитель директора Института океанологии им. П.Ширшова  
РАН, член-корреспондент Российской Академии Наук, Россия  
**Даулет Нурумбетов** —  
генеральный директор РПП «Инфракос», Казахстан  
**Рене Пишель** —  
глава постоянного представительства Европейского  
космического агентства в Российской Федерации  
**Владислав Румянцев** —  
директор Института озероведения РАН,  
академик Российской Академии Наук, Россия  
**Мартин Свитинг** —  
исполнительный председатель совета директоров компании  
Surrey Satellite Technology Limited (SSTL), Великобритания  
**Куат Мустафинов** —  
Генеральный директор АО «Совместное Казахстанско-  
Российское предприятие «Байтерек», Казахстан  
**Сомчет Тинапонг** —  
председатель Агентства по геоинформатике и развитию  
космических технологий Королевства Таиланд (GISTDA),  
**Виктор Хартов** —  
генеральный конструктор — генеральный директор ФГУП  
«Научно-производственное объединение  
им. С.А. Лавочкина», Россия

Журнал представлен в Федеральном космическом агентстве России,  
Государственном космическом агентстве Украины, NASA (США), ESA, DLR  
(Германия), JAXA (Япония), Израильском космическом агентстве, CNES  
(Франция), UKSA (Великобритания), SSTL, AIRBUS DEFENCE & SPACE, THALES  
ALENIA SPACE, SPACEX, ORBITAL SCIENCES CORPORATION, GISTDA  
(Таиланд), РКК «Энергия» имени С.П. Королева, ГКНПЦ имени М.В.  
Хруничева, ЦСКБ «Прогресс», ГРЦ имени В.П. Макеева, ИСС имени М.Ф.  
Решетнева, Российской академии имени К.Э. Циолковского, ЦНИИМАШ, НПО  
«Техномаш», ЦЭНКИ, ЦПК имени Ю.А. Гагарина, НПО имени С.А. Лавочкина,  
КБ «Южное» имени М.К. Янгеля, ПО «Южный машиностроительный завод  
имени А.М. Макарова.

The magazine is presented in the Russian Federal Space Agency, the State Space  
Agency of Ukraine, NASA (USA), ESA, DLR (Germany), JAXA (Japan), Israel Space  
Agency, CNES (France), UKSA (United Kingdom), SSTL, AIRBUS DEFENCE &  
SPACE, THALES ALENIA SPACE, SPACEX, ORBITAL SCIENCES CORPORATION,  
GISTDA (Thailand), S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia, M.V.  
Khruichev State Research and Production Space Center, TsSKB-Progress, V.P. Makeev  
State Rocket Center, ISS named after Academician M.F. Reshetnev, K.E. Tsiolkovsky  
Russian Academy, TsNIIMASH, Tekhnomash NPO, TSENKI, CTC after J.A. Gagarin,  
NGO named after S.A. Lavochkin, Yuzhnoye State Design Office named after M.K.  
Yangel, A.M. Makarov Yuzhny Machine-Building Plant.

Журнал «Космические исследования и технологии», № 4(13) 2014

**Периодичность:** четыре номера в год  
**Главный редактор** Жумабек Жантаев  
**Шеф-редактор** Нурлан Аселкан  
**Заместитель главного редактора** Александр Губерт  
**Заместитель главного редактора** Николай Бреусов  
**Заместитель главного редактора** Леонид Чечин  
**Официальный представитель в Москве  
и Российской Федерации** Эльвира Ханко  
**Дизайн и верстка** Татьяна Рожковская  
**Техническая подготовка** Альберт Аджимуратов  
**Адрес редакции:** 050010, г. Алматы,  
ул. Шевченко, 15, тел. (727) 385-49-36, факс (727) 293-88-20  
e-mail: nurlan1410@mail.ru, info-nckit@yandex.ru  
www.cosmos.kz  
Свидетельство о постановке на учет № 11779-Ж от 02.07.2011,  
выдано Министерством связи и информации  
Республики Казахстан  
Мнение авторов не всегда совпадает с мнением редакции.  
Ответственность за содержание рекламных материалов  
несет рекламодатель.  
Перепечатка материалов, а также использование  
в электронных СМИ  
возможны только при условии письменного согласования  
с редакцией.  
**Отпечатано в типографии**  
ИП «ADJ print» г. Алматы, ул. Саина, 22-64  
Тираж 1000 экземпляров  
**Учредитель и издатель** ТОО COSMOS.KZ  
**Перевод и корректура** — Фонд поддержки науки  
и технологий «SCIENCE»

Magazine «Space Research and Technologies», № 4(13) (2014)  
**Periodicity:** four issues per year  
**Editor-in-Chief** Zhumabek Zhantayev  
**Chief Editor** Nurlan Aselkan  
**Deputy Editor-in Chief** Alexander Gubert  
**Deputy Editor-in-Chief** Nikolay Breusov  
**Deputy Editor-in-Chief** Leonid Chechin  
**Official Representative in Moscow and Russian Federation**  
Elvira Khanko  
**Design and make-up** Tatyana Rozhkovskaya  
**Technical preparation** Albert Ajimuratov  
**Address of Editorial Office:** Shevchenko str., 15, 050010, Almaty.  
Phone (727) 385-49-36, Fax (727) 293-88-20  
e-mail: nurlan1410@mail.ru, info-nckit@yandex.ru  
www.cosmos.kz

Certificate of registration № 11 779-Zh from 02.07.2011 issued  
by the Ministry of Communications and Information of the  
Republic of Kazakhstan Opinion of the authors do not always reflect  
the views of the publisher. The advertiser is responsible  
for the contents of advertising materials. The reprint of materials  
and the use at electronic media is possible only provided a written  
agreement with the editorial board.

**Printed at**  
«ADJ print» 2-64, Saina str., Almaty  
Circulation 1000 copies  
Founder and publisher LLP COSMOS.KZ  
Translation and proofreading —  
Fund for Supporting of Science  
and Technologies «SCIENCE»



## КАЗКОСМОС

- 2** Республиканский штаб по инновационному развитию Казкосмос работает в составе нового министерства

## ТЕХНОЛОГИИ

- 4** Аэросмическое материаловедение должно быть драйвером развития материаловедения в Казахстане  
*Ж. Жантаев*  
*М. Исмаилов*

## OBSERVING THE EARTH

- 10** Investigation the possibility of determining soil moisture in northern Kazakhstan on the basis of remote sensing data in the microwave portion of the spectrum  
*A. Basist*  
*Zh. Zhantaev*  
*S. Dolgih*  
*N. Thomas*  
*A. Kauazov*

## АСРОНОМИЯ

- 18** Большой казахстанский телескоп на астрономической карте мира  
*Ч. Омаров*  
*Р. Валиулин*  
*М. Кругов*

## ASTRONOMY

- 28** Big Kazakhstan's telescope on the astronomical world map  
*С. Омаров*  
*R. Valiulin*  
*M. Krugov*

## СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

- 34** На встречу с кометой

## ПРИКЛАДНАЯ КОСМОНАВТИКА

- 42** К созданию радарного спутника KazSAR  
*Ж. Жантаев,*  
*А. Бибосинов.,*  
*А. Иванчукова,*  
*Б. Курманов*

## НОСИТЕЛИ

- 50** НК-33: «окно возможностей»  
*Д. Воронцов*
- 58** «Чистый» разгонный блок для «Союза»  
*Д. Воронцов*

# Республиканский штаб по инновационному развитию

## Казкосмос работает в составе нового министерства



6 августа 2014 года Указом Президента Республики Казахстан Нурсултана Назарбаева создано Министерство инвестиций и развития. Его главой стал Асет Исекешев.

Новое Министерство по инвестициям и развитию Казахстана объединит функции МИНТ, МТК, Агентства по связи и информации, а также Национального космического агентства. Вопросы энергоэффективности, геологии также закрепляются за этим министерством.

После реорганизации из 68 структурных подразделений 4-х объединенных ведомств (МИНТ, МТК, АСИ, НКА) в составе МИР РК остались 25 структурных подразделений. Таким образом, количество структурных подразделений сократилось более чем в 2,5 раза. В компетенцию министерства теперь входят вопросы индустриально-инновационного развития, привлечения инвестиций, трансферта технологий, в том числе развития отраслей промышленности (горнодобывающая и обрабатывающая) и реализации политики казахстанского содержания, технического регулирования, энергосбережения; развития транспорта и коммуникаций, связи, информации и информатизации, туризма, космической сферы, геологии и недропользования, обеспечения промышленной безопасности.

Постановлением Правительства РК от 14 августа 2014 года Национальное космическое агентство (НКА) РК было преобразовано в Аэрокосмический комитет (АК) Министерства по инвестициям и развитию (МИР).

Накануне, 13 августа 2014 года распоряжением Премьер-Министра РК Талгат Мусабаев назначен внештатным советником главы Кабмина по вопросам гражданской авиации и космической деятельности.

21 августа 2014 года приказом главы МИР РК А. Исекешева Т. Мусабаев назначен председателем Аэрокосмического комитета Министерства по инвестициям и развитию РК.

С учетом поручений Главы государства Асет Исекешев определил первоочередные задачи до конца текущего года, а также приоритеты деятельности ведомства на ближайший год. Он подчеркнул, что вся деятельность будет направлена на содействие устойчивому развитию экономики страны путем повышения конкурентоспособности и эффективности реального сектора на основе привлечения инвестиций и применения передовых технологий. Перед новым министерством поставлена задача обеспечить выполнение запланированных темпов роста промышленного производства, успешно завершить первую пятилетку индустриализации и приступить к ее второму этапу - реализации программы индустриально-инновационного развития на 2015-2019 годы (ПИИР).

Как отметил министр, 5 лет назад программа Главы государства по индустриализации стала ответом на вызовы глобальных экономических изменений, происходящих в мире. Сегодня, по его словам, на первый план выходит борьба за создание качественных производительных рабочих мест. При этом опыт последних лет показал, что наиболее устой-

чивым к проявлениям кризиса в условиях высокой волатильности цен на сырье является именно высокотехнологичный обрабатывающий сектор.

Асет Исекешев заявил: «В инновационной сфере Казахстан сосредоточится на трех основных направлениях:

- развитие собственных научных компетенций, в том числе максимальное вовлечение научного потенциала в решение востребованных экономикой задач, настройку системы образования на обеспечение инноваций необходимыми кадрами;

- реализацию стратегии «умного» трансфера технологий, в том числе обеспечивающего приток опережающих технологий, находящихся на ранних стадиях разработки;

- формирование благоприятной инновационной среды, включая стимулирование спроса на инновации, упрощение регулирования инновационной деятельности, разработку эффективной системы защиты интеллектуальной собственности, совершенствование технического регулирования».

По поручению Президента РК страна выстраивает новую экономическую политику. Она будет политикой устойчивого роста, в которую входит несколько сегментов: развитие сырьевых секторов, которые обеспечат стабильность макроэкономическую, финансовую базу для дальнейшего роста. Второй сегмент — рыночно ориентированные секторы. Это обрабатывающая промышленность, индустриализация, которая дает качество роста, стабильность и развитие компетенции. Третий сегмент — инновационные секторы, которые дают конкурентоспособность будущего. Чтобы не отстать, мы должны этим заниматься.

Сейчас можно с уверенностью сказать, что благодаря

поддержке Главы государства выстроен каркас инновационной системы. Приняты десятки нормативных правовых актов, впервые появились инструменты господдержки инноваторов, реализуются важнейшие кластерные инициативы — Назарбаев Университет и Парк инновационных технологий, появляются новые и оптимизируются действующие элементы инновационной системы.

Построение инновационной экономики в первую очередь за счет инновационной индустрии — задача непростая. Однако у Казахстана есть все шансы, в том числе за счет таких факторов своей конкурентоспособности как:

- сильная политическая воля нашего президента;

- экономическая и политическая стабильность в стране;

- сильная вертикаль власти (еще раз отметим, что либерализация присуща эволюционному пути становления, для форсированного развития необходимы консолидация и дисциплина);

- малая административно-экономическая инерционность (у нас гораздо легче проходит проведение реформ, чем в более крупных странах);

- ресурсная самодостаточность;

- высокая восприимчивость казахстанцев к новым знаниям.

Причем последний фактор является особенно важным в складывающихся условиях — только наращивание компетенций позволит нам создать базу для устойчивого роста экономики и процветания страны.

Впереди еще много задач и трудностей, которые предстоит преодолеть. Но самый первый — он же самый сложный — шаг в верном направлении Казахстан уже сделал. ■



# Аэрокосмическое материаловедение должно быть драйвером развития материаловедения в Казахстане



**Жумабек ЖАНТАЕВ**

Доктор физико-математических наук,  
член-корреспондент НАН РК  
АО «НЦКИТ»



**Марат ИСМАИЛОВ**

Доктор технических наук  
АО «НЦКИТ»

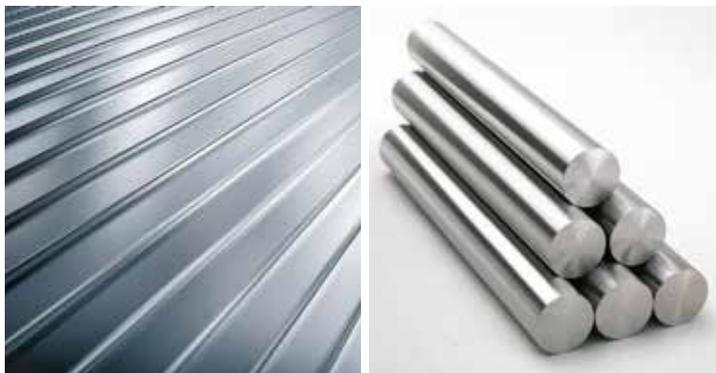


**В** 2016 году в г.Астане запускается производство космических аппаратов (далее- КА) в совместном казахстанско-французском предприятии СП ТОО «Галам». Как известно, все машиностроительные производства начинаются с конструкционных и функциональных материалов. Обязательным условием для развития собственных конструкционно-технологических решений и налаживания производства комплектующих является доступность к широкому кругу материалов, характеристики которых непрерывно совершенствуются.

## 1 Материалы для производства космических аппаратов

Исторически сложились центры материаловедения для космической техники в России (СНГ) и странах Запада (во многом интегрированные). Задача аэрокосмического материаловедения состоит в соз-

дании максимально легких и надежных конструкций, стойких к перегрузкам, вибрациям и факторам космического пространства. Ниже приведены основные конструкционные материалы, используемые в России и Европе для производства КА [1-3].



**1.1 Алюминиевые сплавы, для изготовления корпусов КА**

Марка	Полуфабрикат	Прочностные характеристики			
		Е, ГПа	σВ, МПа	σ0,2, МПа	δ, %
АМг6 (ρ = 2,64т/м³)	лист, штамповка, профиль, трубы	70	314-372	147-284	5-19,5
1420 легированная Li (ρ = 2,47 т/м³)	полосы, прутки, трубы	74	352-490	235-360	5-10
1575 легированная Sc (ρ = 2,6 т/м³)	лист, профиль	74	400-480	310-430	7-13
Д16 (ρ = 2,78 т/м³)	лист, профиль	70	145-475	252-360	8-11
АМг-2Н	фольга для сотовых заполнителей		200		15
5056 (США)	фольга для сотовых заполнителей		230		12

**1.2 Магниеые сплавы**

Сплавы марок МЛ5, МА5, МА20-СП, ВМД15, ВМЛ20, ВМЛ18 и др. Удельная вибрационная прочность в 100 раз больше дюралюминия и в 20 — больше стали. Используются для изготовления деталей, работающих в условиях вибраций или знакопеременных нагрузок. Порядки прочностных характеристик: σВ ≤ 400 МПа, σ0,2 ≤ 300 МПа, δ ~ 5%, Е ~ 45 ГПа, ρ = 1,74 т/м³.



**1.3 Титановые сплавы**

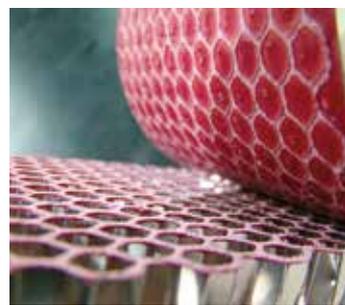
Для производства шарбалонов КА используются сплавы ВТ1-2, ВТ6с, ВТ23, ОТ4, ОТ4-1, имеющие следующие прочностные характеристики: σВ ≤ 1300 МПа, Е ≤ 112 ГПа, δ = 6-15%, ρ = 4,5 т/м³. Недостатком считается умеренный по величине удельный модуль

упругости, что приводит к значительным деформациям изделий при больших напряжениях.

**1.4 Углепластики**

Используются углеродные ленты «Кулон П», ЭЛУР-0,08П33У.0336.050, ЛУ-П, УТ-900; связующие ВК-36РТ 33У.0336.050,

ЭНФБ 33У.0336.024, ЭНФБ 33У.0336.024. Материалы имеют характеристики: σВ = 600-800 МПа, Е = 65-250 ГПа, ρ = 1,5 т/м³, коэффициент термического расширения близкий к нулю. Перспективные образцы имеют характеристики: σВ = 1600 МПа, Е = 300 ГПа. Удельный вес углепластиковых изделий среди конструкционных материалов



КА непрерывно возрастает. Материал считается наиболее наукоемким и дорогим.

**1.5 Стали**

Сплавы 30ХГСНА, 12Х18Н9Т, 20Х13Н4Г9, 12Х18Н10Т, 15Х8Н12С4ТЮ,

07Х16Н6, ВНС2 и др. Наибольшую прочность и технологичность имеют мартенситно-старееющие стали, прочность которых составляет  $\sigma_B \leq 2,5$  ГПа,  $\sigma_{0,2} \leq 2$  ГПа,  $\delta = 8-10\%$ ,  $E = 200$  ГПа. Из материала делают пружины, элементы кре-

пежа, арматуры, автоматики и трубопроводов.

**1.6 Европейские конструкционные и функциональные материалы для производства корпусов и полезной нагрузки КА**

Материал	E, ГПа	$\lambda/(\rho \cdot c_p)$ (x 1000)	$\alpha \cdot 10^{-6}$ , м/м К	Примечание
SiC 100	420	83	2,2	Полупроводники, элементы зеркал, крепеж
Ситалл	92	1	0,02	Оптика
Бериллий	287	61	11,3	Силовые элементы
CeSiC	250	71	2,1	Элементы зеркал
Алюминиевый сплав 6061	70	69	23	Детали корпуса
Углепластик M55J/RS 3M isotrope	120	20	- 0,4	Детали корпуса
Углепластик M55J/RS 3M isotrope 8x00 + 35	282	39	-1,6	Детали корпуса
Титановый сплав ТА6V	108	3	8,5	Баки для газов и топлива
Инвар	140	3	1,6	Корпуса оптики
Сталь	210	19	12,5	Силовые элементы
Медь	100	115	16,5	Теплообменники
Латунь UZ40 (латон)	92	38	20,8	Изделия сложной формы
Бронза	106	15	17,5	Изделия сложной формы
Сплав Al-Be 162	180	62	14	Радиоэлектроника
Магний	45	85	27	Силовые элементы
Бериллиевая бронза	130	14	17	Силовые элементы



### 1.7 Новые технологии материалов

В последнее время большой интерес проявляется к методам упрочнения материалов путем их наноструктурирования интенсивной пластической деформацией. Так, например, в алюминиевом сплаве, легированном цирконием и скандием и подвергнутом интенсивному пластическому деформированию кручением, удалось добиться уменьшения размера зерен до 70-100 нм. В результате сплав показывает высокую твердость до 200 Нv и предел текучести на растяжение до 900 МПа. По прочностным характеристикам наноструктурированный алюминиевый сплав приближается к стали.

В связи с широкими перспективами применения технологии 3D-принтинга для изготовления деталей КА встает вопрос о производстве металлических порошков с нужными характеристиками. Для производства КА требуются высокоэффективные терморегулирующие покрытия, клеи, смазки, герметики, стойкие к факторам космического пространства.



### 2 Экспортные ограничения на материалы

Конструкционные и функциональные материалы с высокими характеристиками подпадают под режим экспортного контроля товаров и технологий двойного назначения. К данной категории подпадают наиболее востребованные материалы: высокомолекулярные, высокопрочные композиты (прежде всего, углепластик), алюминиевые сплавы с  $\sigma_{\text{в}} \geq 415$  МПа, магниевые сплавы с  $\sigma_{\text{в}} \geq 345$  МПа, титановые сплавы с  $\sigma_{\text{в}} \geq 900$  МПа, мартенситно-старяющиеся стали, отдельные виды порошков и т.д. [4]. Импорт Казахстана материалов категории двойного назначения будет связан с трудностями. Ввиду этого возникает настоятельная необходимость развития отечественных технологий и производств.

### 3 Состояние производства конструкционных материалов в Казахстане

Промышленного производства конструкционных и функциональных материалов в Казахстане практически нет, однако имеются хорошие

предпосылки для их создания. Страна является значимым производителем металлов на мировом рынке: порядка 10 млн. т/год первичной стали, 250 тыс.т/год первичного алюминия, 26 тыс.т./год титановой губки и 500 т/год титановых сплавов (с доведением до 5 000 т/год к 2020 году), несколько тыс.т/год магния (экспорт составляет 1-1,5 тыс.т/год), 20-40 т/год бериллия. Имеется производство металлов, используемых или потенциально могущих быть использованными для производства конструкционных сплавов: Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cd, Sc, In, Tl, Ta, Te, Nb, Ce, La, Ga, Bi и др. Непрерывно расширяется номенклатура выпускаемых лигатур.

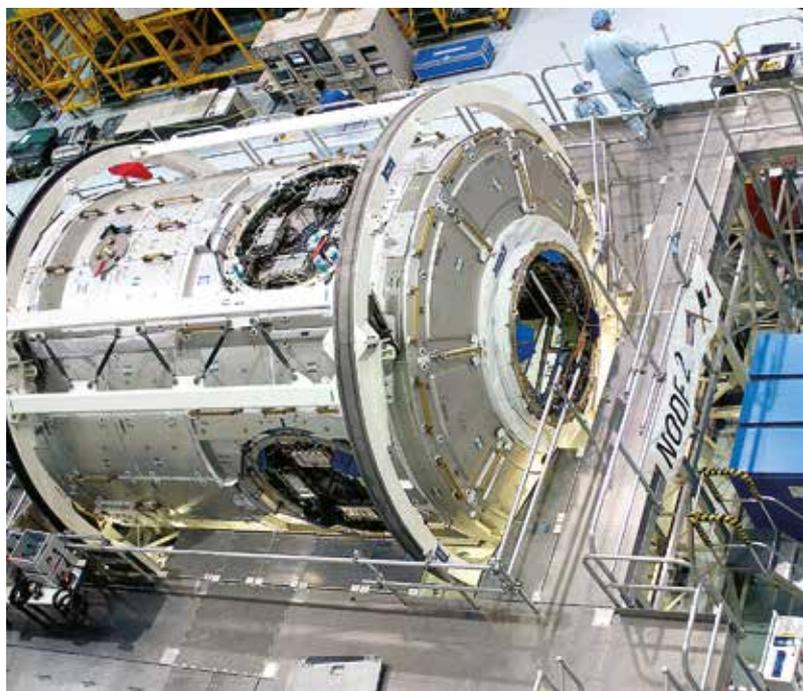
Сырье в виде металлов идет на экспорт, а потребность Казахстана в конструкционных материалах широкого потребления (сплавах) покрывается за счет импорта. Товарные конструкционные материалы имеют значительную большую прибавочную стоимость, чем выпуск первичных металлов. Например, Казахстан экспортирует первичный алюминий по цене 2020 \$/т, импортирует



алюминиевые сплавы по средней цене 6063 \$/т. Размер нормы прибыли возрастает с увеличением класса и качества материала. Наиболее качественные материалы не только дороги, но и становятся стратегическими по значению, их относят к классу материалов двойного назначения и накладывают ограничения на экспорт.

В настоящее время продукция черной и цветной металлургии Казахстана ограничивается 1-м, 2-м, и частично 3-м переделами. Ранее в стране предпринимались отдельные попытки активации 3-5 переделов, т.е. перехода к выпуску конкурентоспособных товарных конструкционных материалов, полуфабрикатов и изделий. Однако в последние годы отмечается обратный процесс падения экспорта и увеличения импорта продукции (материалов) с высокой добавленной стоимостью.

Диверсификация экономики страны на системном уровне предусмотрена в Государственной программе индустриально-инновационного развития Республики Казах-



стан на 2015-2019 годы [5], где одним из приоритетов определено опережающее развитие обрабатывающей промышленности, в том числе машиностроения и металлообработки. Сделан акцент на увеличение выпуска новой продукции в виде материалов и изделий из базовых металлов путем создания новых конкурентоспособных производств.

Президентом Республики Казахстан Назарбаевым Н.А. в декабре 2012 года поручено Правительству страны начать работы по созданию национальных кластеров нового поколения, в том числе кластера по материаловедению. Постановлением Правительства Республики Казахстан от 11 октября 2013 года № 1092 утверждена Концепция формирования перспективных национальных кластеров Республики Казахстан до 2020 года. Потенциальным кластером «экономики будущего» определен АО «Назарбаев Университет», с подкластером материаловедения со специализацией в производстве новых материалов.

Создание полновесного кластера материаловедения является долговременной задачей, очевидно, не одного десятилетия.

#### 4 Вопросы аэрокосмического материаловедения

С целью удовлетворения потребностей создаваемого производства КА в СП ТОО «Галам», а также зарождающихся отраслей авиастроения и машиностроения в целом, АО «НЦКИТ» активизирует свою работу по созданию отечественных технологий производства материалов. За прошедшие 5 лет разработаны базовые технологии производства алюминий-магниевых сплавов АМг6, АМг4, АМг2, дюралюминия Д16, магниевых высокопрочных и среднепрочных сплавов МЛ5, МЛ6, МА5, МА2-1. Лабораторные образцы материалов соответствуют действующим стандартам и промышленным образцам. Опытные партии этих материалов, при наличии заказа, могут быть выпущены в концерне АЛПРОФ г.Алматы. Базовые технологии позволяют пере-



йти к созданию технологий производства эксклюзивных материалов двойного назначения. Эта работа предстоящих лет. АО «НЦКИТ» приступает с 2015 года к работам по созданию отечественных технологий производства высокопрочных и высокомодульных углепластиковых изделий аэрокосмического класса методами формовки как «мокрой» намоткой, так и прессованием. Развивается направление по технологиям защитных и терморегулирующих покрытий. По этому направлению получены оригинальные результаты.

Между тем для полного удовлетворения нужд аэрокосмической отрасли (а также новых отраслей машиностроения) в качественных, конкурентоспособных материалах нужен серьезный, системный подход к решению этой задачи. На наш взгляд, первым шагом в этом направлении должна быть разработка государственной целевой научно-технологической программы по аэрокосмическому материаловедению (далее — Про-

грамма). Программа должна создаваться на принципах: 1) обоснованного перечня актуальных задач аэрокосмического материаловедения и путей их решения; 2) в качестве исполнителей Программы привлечь научные учреждения и ВУЗы страны, имеющие реальные предпосылки к результатам; 3) дооснащение исполнителей Программы современным научным и технологическим оборудованием; 4) развитие опытных производств для апробации и внедрения технологий; 5) решение вопросов подготовки кадров по направлениям работ.

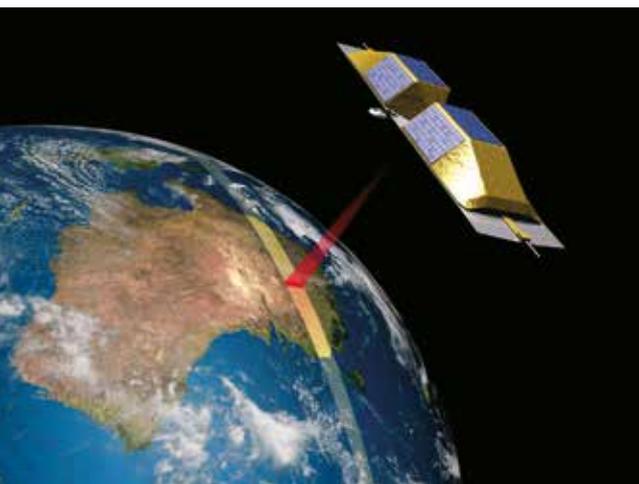
АО «НЦКИТ» совместно с исполнителями планирует начать эту работу.

Аэрокосмическое материаловедение нельзя считать узкой отраслью. Наоборот, оно, находясь на самой вершине пирамиды технологий, будет реальным драйвером развития материаловедения в стране. Достижения в этой отрасли будут иметь мультипликативный эффект для всей обрабатывающей промышленности страны. ■

## Литература

1. Исмаилов М.Б. Анализ применения конструкционных материалов для космических аппаратов. — В кн. «Серия «Казахстанские космические исследования», т.6 «Прикладные космические исследования в Казахстане», Алматы, АО «НЦКИТ», 2010, с.237-245.
2. S.W.Guo, G.Y.Zhang, W.Y.Wang and X.Z.Zhao. Design and Analysis of Lightweight Pointing Mirror Used in Space Camera.- Journal of Physics: Conferens Series 48 (2006) 920-624.
3. M.Bougoin. SiC challenging parts for gaia.-ICSO, International Conferens on Space Optics. Rhodes, Greece, 4-8 October 2010.
4. Жантаев Ж.Ш., Исмаилов М.Б. Режимы экспортного контроля и их возможное влияние на развитие космической отрасли Казахстана. — Журнал «Космические исследования и технологии», № 2 (7), 2013, с.14-19.
5. Государственная программа индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015 – 2019 годы.- Утверждена указом Президента Республики Казахстан от 9 июня 2014 года № 627.

# Investigation the possibility of determining soil moisture in northern Kazakhstan on the basis of remote sensing data in the microwave portion of the spectrum



## A. BASIST

Eyes on Earth (USA)

## ZH. ZHANTAEV

JSC National Center Space Research and Technology (Kazakhstan)

## S. DOLGIH

Kazhydromet (Kazakhstan)

## N. THOMAS

Resource Data (USA)

## A. KAUAZOV

JSC National Center Space Research and Technology (Kazakhstan)

### Abstract

Soil moisture is a critical factor affecting the production of wheat across northern Kazakhstan. In an effort to understand and monitor how soil moisture effects yields, we used probe data to detect fluctuations, and relate them to variability in the satellite derived wetness values. The soil moisture observations, provided by probe measurements, serve as calibration points to the satellite measurements. The regression equations derived from these relationships, identify the covariance between the quantities. Many of the relationships between the probe data and wetness index were meaningful, and can be utilized to effectively identify how upper level moisture fluctuates in Northern Kazakhstan during the important period of wheat production. The slope and intercepts of the equations determine the

ratio between the two measurements, and the intercept identifies when the soil is effectively dry, relative to the satellite observation. Generally, there were two unique relationships, one for the summer season (June, July and August) and one for May, when there was nominal vegetation covering the surface. Findings from this study were highly significant and can be applied in near real time, in order to monitor the distribution of upper level soil moisture across the northern oblasts of Kazakhstan.

### Introduction

The three northern Oblasts of Kazakhstan are the major sources of quality wheat (80 % of total wheat yields in Kazakhstan). The limiting factor of wheat yields is soil moisture in the region. Since food security is essential to national welfare, as well as international cooperation

across central Asia (Weinthal, E. 2002), we associate available soil moisture to the stability of the region. The extreme variability in the weather, and the potential impact of climate on water and yields has prompted concern that the region is vulnerable, (limited resilience) to climate change (Vörösmarty, et al. 2000). Therefore, it is important to understand the amount of moisture in the soil throughout the region (Robinson, et al. 2008), particularly during the active period of the growing season. They use information from regional network of moisture probes in the three oblasts of Northern Kazakhstan: 1. Kostanay, 2. Northern Kazakhstan and 3. Akmola to help predict fluctuations in crop yields. Probe data (PD) has availability in less than 50 sites through the region, and the data is not available in a digital format



until months after the observations are made. At the same time, soil moisture is very volatile even at short distances. Before data can be applied, it must be digitized and quality controlled, which can significantly delay its application and utility for assessing growing conditions in the region. These are some inherent strengths and weaknesses in the in situ PD used in the study.

An alternative approach is to use remotely sensed observations from space. There are several approaches to accomplish this goal. For instance, Alsdorf et al. (2007) provides an overview of many of the techniques and their applications. Griffiths and Wooding (1996) describe how Synthetic Active Radar (SAR) can be used to monitor temporal variability in soil moisture. In this study we will utilize a Wetness Index (WI), which is derived from the Special

Sensor Microwave Imager (Basist, et al. 2001). These WI observations are available in near real time, and are provided as weekly and monthly products. In this study, the PD is considered truth, and correlated with sensed observations (surface wetness), as identified by the SSMI. Therefore our goal is to determine if there is a meaningful relationship between upper level soil moisture (as identified by the probe measurement) and the surface wetness index observed by the SSMI satellite instrument.

The study will use the values of the WI to predict the soil moisture during the important months of the growing season: May, June, July, and August. The hypothesis is: that the relationship between the two measurements, could be applied throughout the wheat growing area. It would provide near real

time values, while the probe network data may only be available months later.

### Methodology

The primary goal is to derive a relationship between probe and satellite measurements. The PD is available on a ten day period, when the measurement is normally taken on the 8th, 18th, and 28th of the month. Although the measurement could have been delayed a day or two, if it was raining during the regular day of the observation. Therefore we have a potential of three observations a month at each station. The period of observations began in 2003 and extended through 2012, although the data in the early half of the record tends to be sparse.

Probe data (PD) is provided from three Oblasts: North Kazakhstan, Akmola, and Kostanay.



Since the PD is our calibration source, we chose to simulate these observations with the WI. We chose the coincide probe station that falls inside a 33 km by 33 km satellite pixel, and if the probe was near the boundary of the two satellite pixels, we included the average of multiple pixels against the probe measurements. A concern is one probe measurement every ten day period, while the WI combined up to 14 observations into a weekly observation. Therefore we had to find an appropriate relationship between the two measurements, and associate them over the period of record. We did this by giving a higher weighting of the satellite data that had the best correspondence to the end of the ten day period.

None-the-less, we realize that there is a fundamental difference between the two obser-

ventions. Fortunately, soils tend to have considerable lag respond and memory of recent rain and/or snow melt events. This premise allows us to view the two observations as complementary procedures, that would have coinciding variability in their measurement of upper level soil moisture. Moreover, we believe that there would be sufficient periods when the relationships would be apparent, a clear signal would be detected, and we could derive a statistical formula that identifies their relationship.

In order to extract that relationship, we were cautious about outliers and unreliable data, and thus, removed all questionable data from the analysis. We also recognized that there would be many times that the two data sets would be measuring considerable different conditions, based on the way there independent measurements are derived. By being liberal about which data to retain in the analysis, we achieved encouraging and stable results.

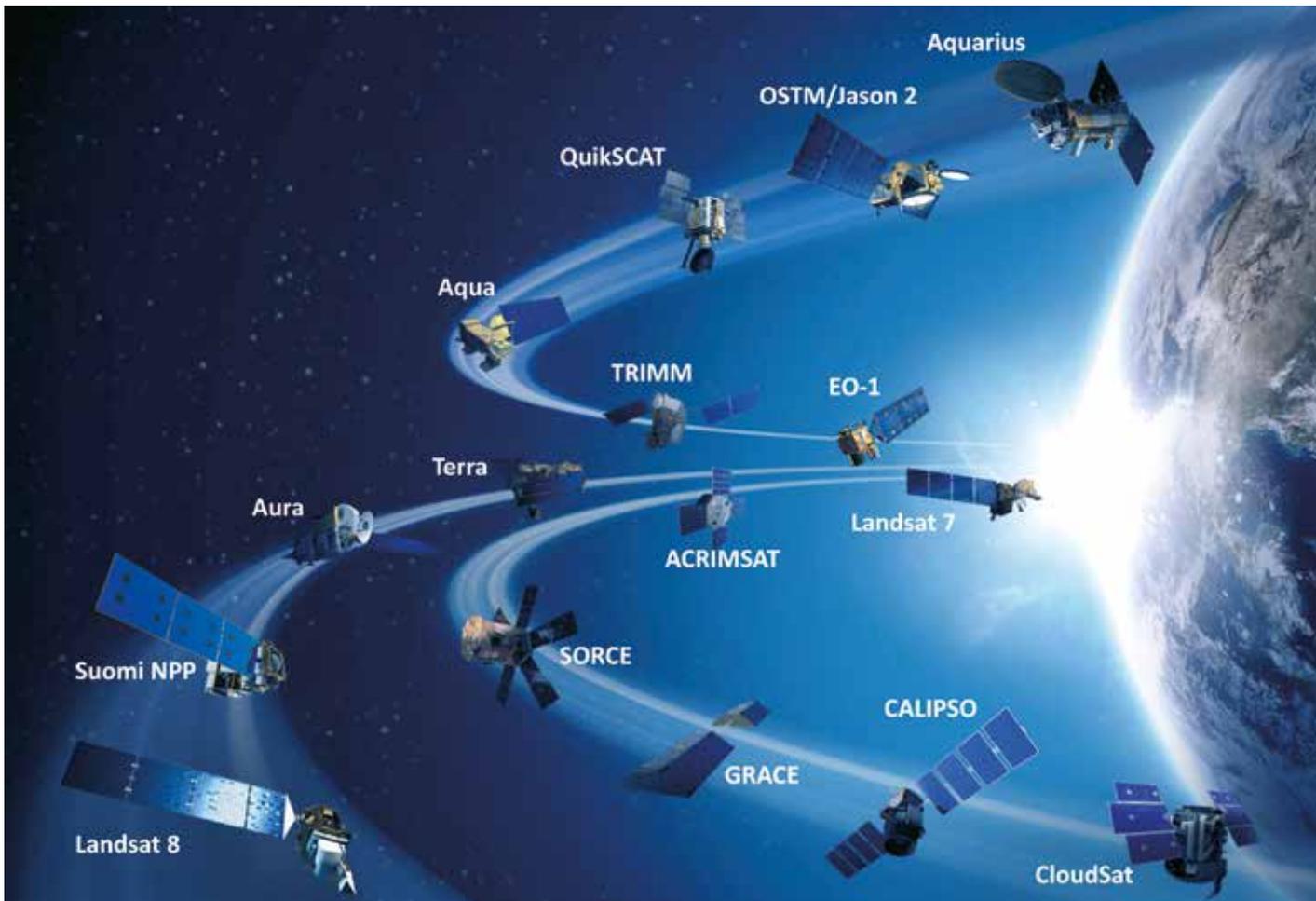
In order to simplify the study of their relationship, we assumed a linear relationship between the corresponding data sets. Originally, data was parsed into independent relationships for each probe station. The stations that demonstrated meaningful relationships between the two data were retained in the subsequent analyses.

The PD (dependent variable) was regressed on the WI (independent variable) for each station and monthly time step. Then, independently for each oblast, a combination of the probe stations were combined to generate to regression equation for each monthly (May-August). In the event that months share similar model parameters they were combined into composite models. This led to making a composite model for June, July, and August, while May retained its unique model equations.

Since our goals was to identify an equation that promoted high precision and retain a high degrees of freedom, we decided to merge the data among all the three Oblasts. This would allow us to converge on the true relationship among two data sets, and would give us greater confidence in the skill in predicting the soil moisture from the WI. It was apparent from the slope and intercept, as well as regression equations: that they came from the same distribution (population). Therefore the months and oblasts could be effectively merged into a more comprehensive model, that could be used predict the probe observation from the satellite derived measurements.

#### Data

There are numerous approaches to derived soil moisture from in situ observations. Arya and Paris (1981) describe how to use models that combine physical and empirical measurements to detect the bulk distribution of moisture in the soil. Cambardella, et al. (1994) uses empirical techniques to detect the spatial distribution in soil moisture across areas in Iowa. Haubrock, et al. (2008) developed a technique to employees hyperspectral and field observations to detect the quantity of moisture in the soil. Kodikara J., et al. 2014 demonstrates how neutron probes can identify the amount of water in the soil. We will use data from the Kazakhstan probe station network, which began during the Soviet era, and it was part of the world's largest network of soil moisture measurements. The technician uses a tool to extract a profile of soil from a location designated as one of the observation sites. Then the plug of soil is weighed, to obtain the total weight of soil and moisture, after which time the plug of soil is slowly heated to evaporate all



the moisture available to plants. The plug of soil is then weighed again, in order to obtain the volumetric weight of water that was held in the volume of soil.

These in situ measurements have great value, as they are direct observations into the soil moisture profile. Measurements are made in three profiles, top 20 cm, top 50 cm and top 100 cm of the soil. Since the satellite observations is much closer the top 20 cm of the soil, and it was the most complete data set of the three, it was used in the analysis.

Because in situ measurements are single point observations, they may not effectively represent the surrounding area to which they are generally applied. Moreover, since precipitation and soil water holding capacity has a lot of spatial variability in a small area, the single

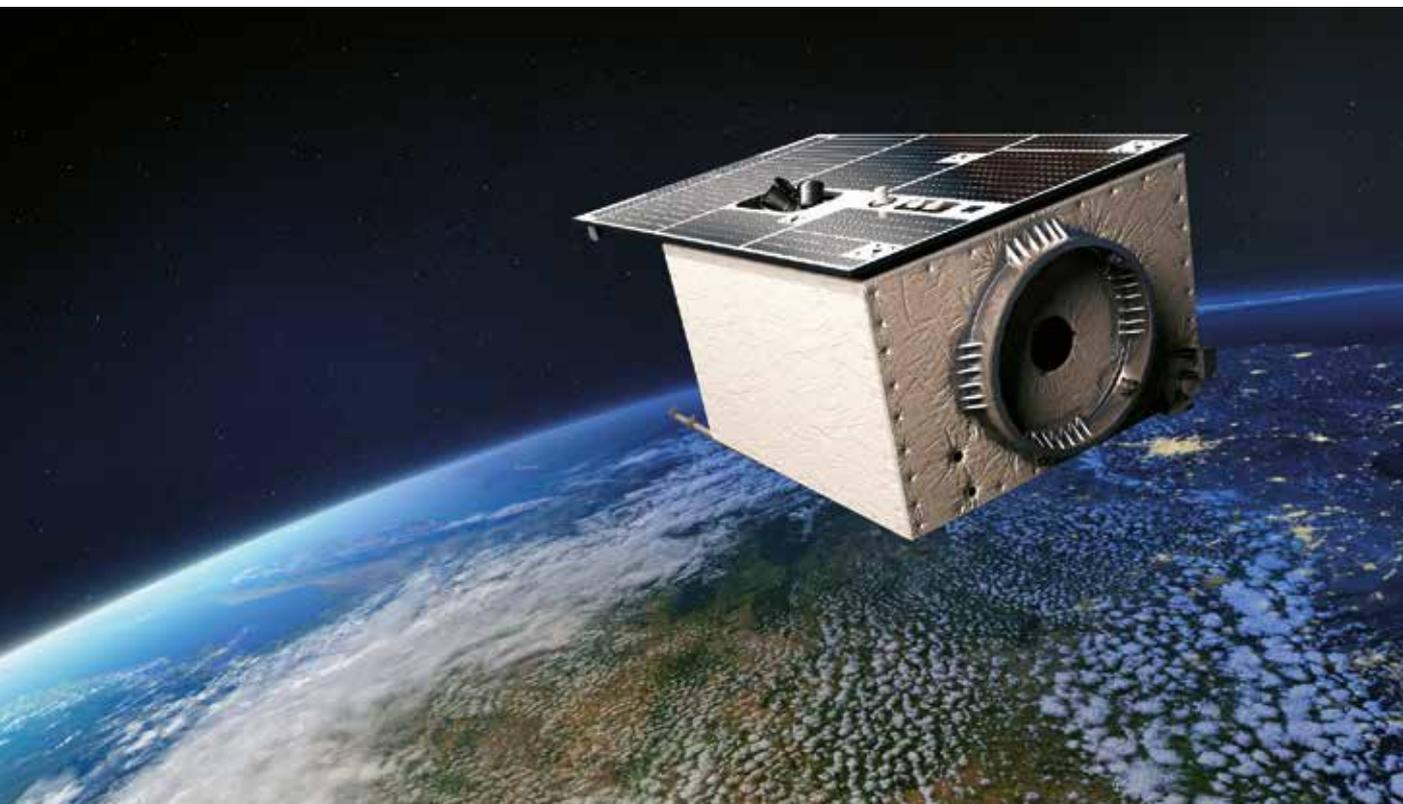
measurement may not represent the true distribution of soil moisture in the larger area. Considering the challenges of monitoring soil moisture directly, we demonstrate a simple yet robust procedure to predict upper level soil moisture from surface wetness values derived from satellite data. We utilize the Basist Wetness Index (BWI) as a surface wetness index that ranges from zero, which represents no water detected near the surface, to a percentage of the radiating surface that is liquid water. Therefore the range goes from zero to 100, where 100 means the entire surface is liquid water (Basist et al 2001). This index is derived from a linear relationship between channel measurements (Equation 1), where a channel measurement is the value observed at a particular frequency

and polarization (i.e. the SSM/I observes seven channels).

[Equation 1]

$$BWI = \Delta\varepsilon \cdot T_s = \beta_0 [T_b(v_1) - T_b(v_2)] + \beta_1 [T_b(v_3) - T_b(v_4)]$$

where the change of emissivity (Basist, et al. 2001),  $\Delta\varepsilon$ , is empirically determined from global SSM/I measurements,  $T_s$  is surface temperature over wet or dry land,  $T_b$  is the satellite brightness temperature at a particular frequency (GHz),  $v_n$  ( $n=1, 2, 3$ ) is a frequency observed by the SSM/I instrument,  $\beta_0$  and  $\beta_1$  are estimated coefficients that correlate the relationship of the various channel measurements to observed surface temperature at the time of the satellite overpass. Specifically, the greater the wetness, the larger are the differences between the observed surface temperature and

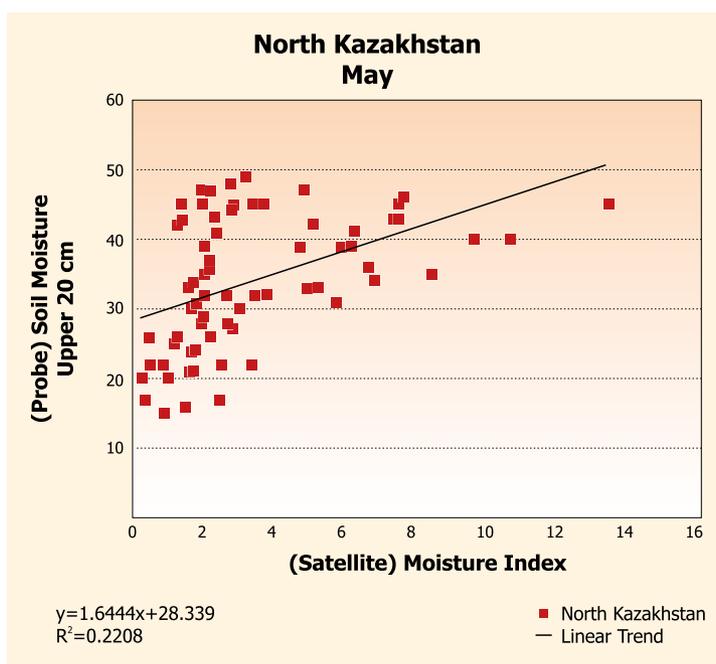


the observed channel measurements (Basist, et al. 1998).

We will calibrate a model based on the PD, since they are direct measurements. The goal is to use the PD as reliable calibration points, and the WI as a

means to better understand the actual spatial distribution of upper level soil moisture across northern Kazakhstan. Another advantage of the satellite observations, is that it allows for near real time monitoring. Therefore

if the relationship has value, the satellite will be able to provide current information on the spatial and temporal resolution of soil moisture throughout the wheat growing area of northern Kazakhstan.



**Fig. 1**

The regression equation, where the Wetness Index predicts the Probe Data

## Results

The analyses below provide the relationships among the various regression equations. Specifically, the summer months of June, July, and August are combined, and related between the PD and WI in each Oblasts. The reason for this is two-fold. 1. The monthly relationships were fairly similar across the summer months, 2. We chose to derive equations that have comprehensive applications. There was also three models corresponding with May, one for each Oblast. A description of the regression equations is presented in the following paragraphs.

Since all three considered administrative territorial One unit located approximately one

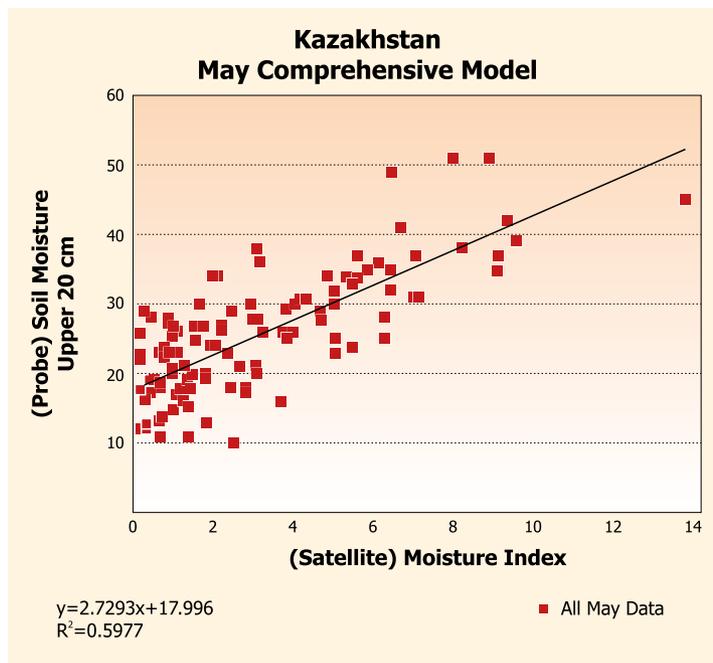
natural-climatic region, the reasonable and logical analysis of all these three areas of the complex.

To generalize the applications of the three models (one for each oblasts), one could state that when the WI goes to zero, there is less than 5 to 7 grams of liquid water in the top 20 cm of the soil profile. We could also state that the relationship between the PD and WI generally has a 5 / 1 ratio. Moreover all three models were able to explain over 50% of the variance in the PD. The stability of the model and their accuracy leads us to believe that the WI could be useful for identifying the availability and variability of upper level soil moisture during the summer months (in these three Oblasts of northern Kazakhstan).

The next discussion will focus on the relationship between the PD and the WI during the month of May. Again, the relationship were derived from the period of record (10 years). It is apparent that fewer stations were utilized, since there is only one month of data, and the early years were largely devoid of data. However, we were able to derive meaningful findings from the analyses.

In general, the May model has a lower explanatory power than the models generated from data over the summer months. Regression equations had an explanatory power of 47% (for Ak-mola), 22 % (for North Kazakhstan), 62 % (for Kostanay). The slope was 2.7, 1.6, and 2.8 respectively. This is appreciably lower than the model from the summer months. The cause for this difference is not apparent, but it could be related to a higher percentage of the radiating surface that is bare soil, while the summer surface is vegetated. In other words, vegetation has an appreciable influence on the radiating surface.

The regression equation for May in North Kazakhstan (Fig. 1) had an minimum explanatory



**Fig. 2**

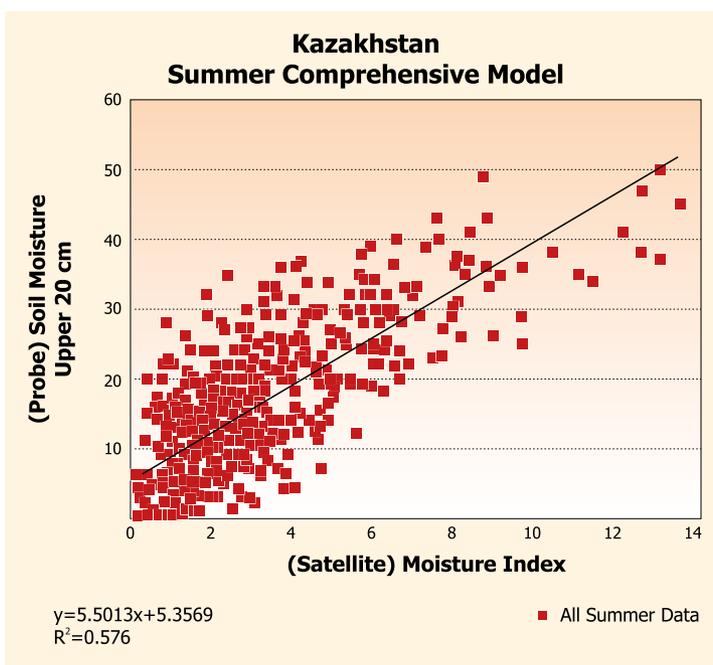
The regression equation, where the Wetness Index predicts the Probe Data

power — 22%. Consequently, its predictive skill was only significant at the 0.05 confidence level. This model does not promote much confidence and we chose to dismiss it, and its inferior result.

We included the May data for the two Oblasts (Akmola and Kostanay) into one comprehensive model, and all three Oblasts for the summer months into a different comprehensive model (Fig. 2).

The justification of the integration of the data sets into their perspective models is based on similar: 1. Slopes, 2. Intercepts, 3. And Population distribution. Since our goal is to identify a comprehensive model, an integrated regression equation that may define a clear relationship between the PD and WI.

The summer time comprehensive model (Fig. 3) had an



**Fig. 3**

The regression equation, where the Wetness Index predicts the Probe Data



explanatory power of 57%, which is encouraging.

We expected that the explanatory power would decrease a bit, as it usually does go down as one increases the sample area. An advantage of the larger sample, is that it does not over specify a regression equation from a limited number of observations. This makes the models better at predicting. The Slope was 5.4, which is a good compromise from the three equations integrated into one. The Intercept was also encouraging, since it fit in a tight range from the three data sets. The intercept also makes sense, being a very low value of probe moisture, at the time the WI identified the surface as completely dry. We

believe this final model is a good approximation of the true relationship between the PD and WI, and that it has application in both near real time, and historical analysis. Consequently, the application of the model to access soil moisture quantities and distribution is promising, and can be used to monitor for the recent moisture in the soil across northern Kazakhstan.

In terms of developing a comprehensive model for May, we chose to use the data from Akmola and Kostanay, since their models had appreciably higher R-square than North Kazakhstan. The comprehensive May regression equation had the explanatory power to 59%, which we deemed favorable. Since both the Akmola

and Kostanay equations had very similar slope and y-intercept, their integration into one model leans confidence that they converge towards the true relationship between PD and WI during the month of May.

#### Concluding Discussion

We performed a study that used soil moisture from Probe Data (PD) provided by Kazhydromet, and attempted to calibrate these measurements against satellite observations of surface wetness (WI). This satellite data was derived from the Special Sensor Microwave Imager (SSM/I), which detects liquid water near the surface. Similar to Jury, W., and H. Vaux. 2005, we are attempting to introduce

science and technology to improve our understanding, as well as monitor environmental issues, that directly impact social welfare. The WI is the percentage of the radiating surface that is liquid water. Whereas the PD is the weight of the water in the column, that was evaporated from the soil sample. The soil sample are generally taken every 10 days: 8th, 18th and 28th of the month. Whereas the WI is generally observed twice a day, and average into weekly data sets. Therefore we realize that the relationship will have a considerable amount of unexplained variance. None-the-less, we believed that clear relationships could be derived.

Therefore, regression models were developed between the PD and WI for the months of June, July and August (summer months) during the years 2003 and 2012. Models for various Probes inside the oblasts were combined together for each months. Then the months were combined into one comprehensive model. We believe this model approaches the true relationship between the PD and WI. In the summer, there is generally a 5.5 to 1 ratio for the PD/WI, and explanatory power of the model is 58%. This results gave us confidence that the comprehensive model has value in explaining the relationship between soil moisture, derived from probe data to the Wetness values derived from the satellite observations. Consequently, we can use this regression equation and the WI to perform near real assessment of soil moisture, at both moderate resolutions and weekly time intervals during the important periods of the growing season for Winter Wheat.

The relationships for May had a similar explanatory skill (60%) to the summer months, however in terms of slope they were significantly different (the

slope was 2.7 and the intercept 18). As stated in above, generally when the slope is less the intercept is higher, which has consistently been true in these analyses. The findings demonstrate a clear relationship between the PD and WI during the month of May, which is significantly different than the summer months. We do not fully understand the reason for these different relationships; however, we believe it pertains to a considerable portion of the satellite derived wetness signal originating from vegetative cover during the summer months, whereas the vast majority of the signal comes directly from the soil during the month of May.

Due to the positive findings obtained by the study, we hope to expand on the research and application. The natural next step is to implement the regression equations into software that would automatically generate the distribution of the soil moisture at the satellite resolution. We assume a linear relationship between WI and PD. However, the distribution of observation points indicates the possible existence of a nonlinear relationship. In other words, perhaps there is a separate relationship for low soil moisture and private relationship for high values of soil moisture, especially in the summer months. Therefore, creating the software we use advanced and more accurate values relationships. Since the resolution is 33 by 33 km, the satellite would provide a much larger network of simulated probe data, i.e. of soil moisture in the upper 20 cm for the soil. Another advantage, is that these data would be available in near real time, each week. There is a considerable amount of work to perform, to generate that capability, but we believe the effort would be beneficial for monitoring water resources and food security in Kazakhstan and Central Asia. ■

## References

- Alsdorf, D., et al. 2007. "Measuring Surface Water from Space," *American Geophysical Union*, 45(2): 1-24.
- Arya, Lalit M., and Jack F. Paris. 1981. «A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data.» *Soil Science Society of America Journal* 45.6: 1023-1030
- Basist, A., Grody, N. C., Peterson, T. C., and Williams, C. N. 1998. "Using the Special Sensor Microwave / Imager to Monitor Land Surface Temperatures, Wetness, and Snow Cover," *Journal of Applied Meteorology*, 37: 888-911.
- Basist, A., C. Williams Jr., N. Grody, T.F. Ross, S. Shen, A. T.C. Chang, R. Ferraro, and M.J. Menne. 2001. "Using the Special Sensor Microwave imager to Monitor Surface Wetness," *Journal of Hydrometeorology*, 2: 297-308.
- Camardella, C. A., et al. 1994: Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5): 1501-1511.
- Griffiths, G. H., & Wooding, M. G. (1996). Temporal monitoring of soil moisture using ERS-1 SAR data. *Hydrological Processes*, 10(9): 1127-1138.
- Haubrock, et al. (2008). Surface soil moisture quantification and validation based on hyperspectral data and field measurements. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2(1): 023552-023552.
- Jury, W., and H. Vaux. 2005. "The role of science in solving the world's emerging water problems," *PNAS*, 102(44): 15715-15720.
- Kodikara J., et al. 2014. Soil moisture monitoring at the field scale using neutron probe Canadian *Geotechnical Journal*, 51(3): 332-345.
- Robinson D.A., et al. 2008: Soil Moisture Measurement for Ecological and Hydrological Watershed-Scale Observatories: A Review *Soil Science Society of America*, v. 7 p. 358-389.
- Vörösmarty, Charles, Pamela Green, Joseph Salisbury, and Richard Lammers. 2000. "Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth," *Science*, 289: 284-288.
- Wagner, et al. (2007). Soil moisture from operational meteorological satellites. *Hydrogeology Journal*, 15(1), 121-131.
- Weinthal, Erika. 2002. *State Making and Environmental Cooperation: Linking Domestic and International Politics in Central Asia*. Cambridge, MA: The MIT Press.

# Большой казахстанский телескоп на астрономической карте мира



**Чингис ОМАРОВ**  
директор Астрофизического  
института им. В.Г.Фесенкова



**Рашит ВАЛИУЛИН**  
зам. директора Астрофизического  
института им. В.Г.Фесенкова



**Максим КРУГОВ**  
инженер отдела поддержки  
телескопов АФИФ

**В**озвращаясь к теме «Большого Казахстанского Телескопа», о котором вышла статья в журнале «Космические

исследования и технологии» № 03 за 2012 год, хотелось бы уделить внимание возможно-му месту установки телескопа, факторам, влияющим на его

работу, и обзору подобных телескопов, расположенных в мире.

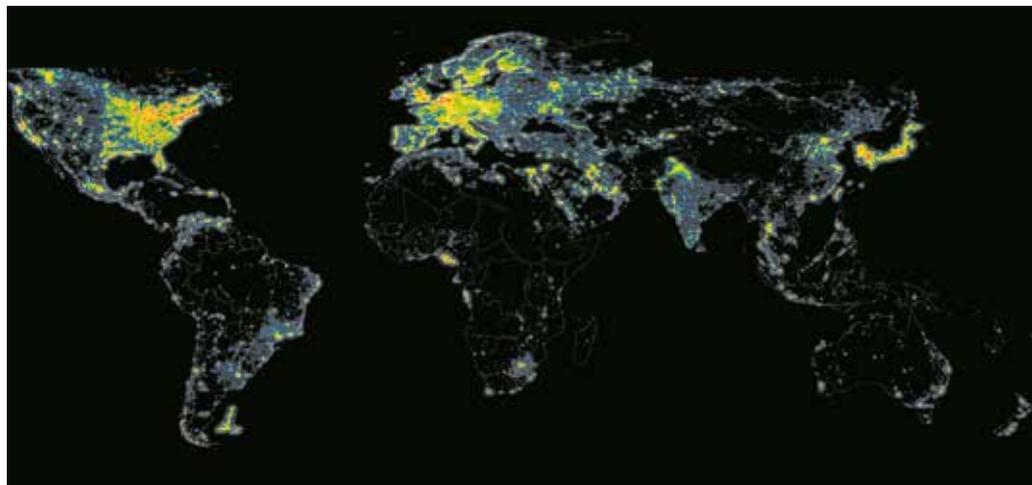
Проанализировав основ-ные условия, необходимые для



ведения эффективной работы на любом оптическом телескопе, можно выделить следующие важные критерии:

1. малый уровень светового загрязнения;
2. чистота воздушной массы (минимальная концентрация аэрозолей);
3. стабильность воздушных потоков для малого искажения получаемого изображения;
4. количество чистых, безоблачных ночей.

Для многих людей, даже далеких от астрономии, большой радостью является созерцание ночного чистого неба с миллиардами звезд, Млечным путем, яркими планетами. В настоящее время большинство людей уже не может видеть истинную красоту ночного неба. Даже некоторые из самых ярких звезд потеряны в ярком свете наших городов. Для многих вид Млечного пути, простирающегося через ночное небо, остался в памяти



с детства. И только выезжая далеко за пределы городов и крупных населенных пунктов можно увидеть всю глубину звездной бездны. Вызвано это прежде всего тем, что в мире постоянно увеличивается уровень светового освещения. В городах растет концентрация пыли и веществ в воздухе, что приводит к рассеянию света в ночном небе. Конечно, для астрономических наблюдений

это является, пожалуй, самым неприятным фактором. Поэтому у астрономов и возникает необходимость устанавливать наземные телескопы в отдаленных местах с минимальными уровнями засветки. Где же эти места?

Если обратиться к ночной спутниковой карте, то видны территории с повышенным уровнем светового загрязнения и уровнем, приемлемым для оптических астрономических наблюдений.

Небольшие и средне-размерные наземные оптические телескопы в мире расположены практически повсеместно. Они обычно выполняют рабочие задачи, не требующие абсолютно темного неба, и довольствуются тем, что есть, находясь в рабочей зоне университетов и организаций, владеющих телескопами. С ростом информационно-технологического прогресса оптический телескоп стал представлять собой еще и программно-аппаратный комплекс. Наличие скоростного канала интернет связи к нему позволяет повысить эффективность работы телескопа в десятки раз. Для примера, два дистанционно управляемых метровых телескопа Тянь-Шаньской астрономической обсерватории за рабочую ночь

**Рисунок 1**  
Карта мира с распределением светового загрязнения

**Figure 1**  
Map of the world with the distribution of light pollution



**Рисунок 2**

Гавайские острова, телескопы Кек

**Figure 2**

The Hawaiian Islands, Keck telescopes

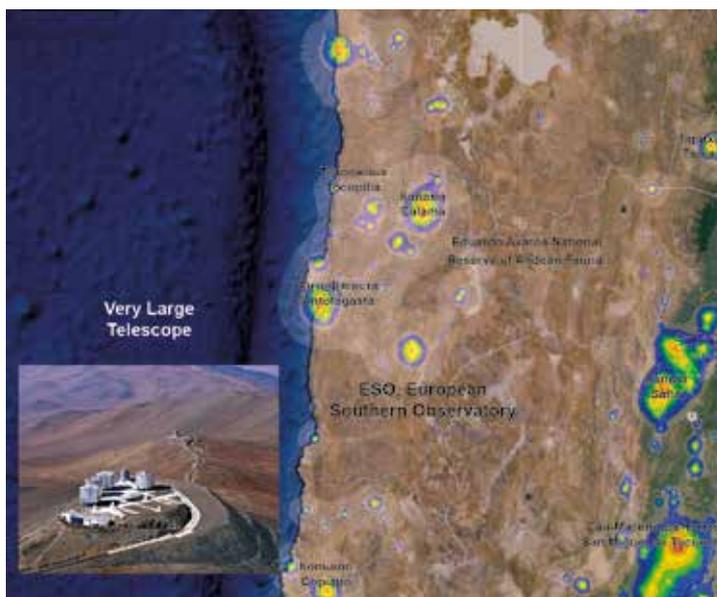


**Рисунок 3**

Чили, VLT телескопы Subaru. и др.

**Figure 3**

Chile, VLT telescopes Subaru. et al.



**Рисунок 4**

Канарские острова, обсерватория Roque de los Muchachos, GTC телескоп

**Figure 4**

The Canary Islands, the Roque de los Muchachos observatory, GTC telescope

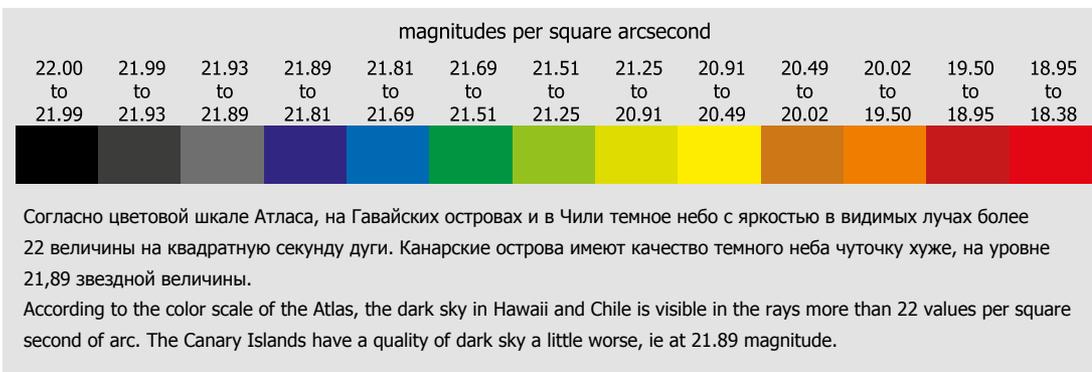


выдают до 16 гигабайт данных. А если таких телескопов восемь? Тогда, действительно, вопрос доступности к информации телескопов становится весьма актуальным. При относительно небольшом расстоянии до места обсерватории можно раз в 2-3 дня с нее привозить данные на сменных носителях информации или проложить скоростной оптоволоконный канал связи. Но что касается крупных наземных оптических телескопов и инструментов, помогающих подтверждать или опровергать гипотезы в астрофизической науке. Тут сомнений нет — нужны самые темные закутки мира, а до них, как правило, добраться не легко.

Признанными местами установки крупноапертурных телескопов в мире являются Гавайские острова, Чили и Канарские острова. И тому есть ряд причин. Давайте рассмотрим их. Как уже говорилось выше, самый весомый фактор установки крупноапертурных телескопов — это уровень светового загрязнения. Мы воспользовались Атласом светового загрязнения от Дэвида Лоренца (более подробно можно посмотреть по ссылке — <http://djlorenz.github.io/astronomy/lp2006/>).

Согласно цветовой шкале Атласа, на Гавайских островах и в Чили темное небо с яркостью в видимых лучах более 22 величины на квадратную секунду дуги. Канарские острова имеют качество темного неба чуточку хуже, на уровне 21,89 звездной величины.

Проанализировав по Атласу световой засветки территорию нашей Республики, можно увидеть множество мест с очень хорошей для астрономических наблюдений поверхностью яркостью ночного неба. Принимая во внимание этот критерий, а также аэрозольно-пыле-



вой и спектральный факторы в атмосфере (к ним мы перейдем чуть позже) нужно сказать, что идеальным местом является высокогорное плато Ассы-Тургень. Обсерватория расположена на высоте 2750 метров над уровнем моря. Величина светового загрязнения в районе обсерватории Ассы-Тургень соответствует показателям места размещения крупнейшего в настоящий момент наземного оптического телескопа Gran Telescopio CANARIAS (GTC) с эффективным диаметром зеркала в 10.4 метра.

По второму важному критерию, необходимому для проведения качественных оптических наблюдений, это количество мелко-дисперсионных взвесей — аэрозолей и пыли в воздухе. И это надо рассматривать в масштабе общемировой составляющей, так как существуют переносы веществ и пыли, которым океаны не помеха. Так, на сайте наземной обсерватории NASA представлена ежедневная информация по распределению аэрозолей в атмосфере земли.

Как показывает анализ, наибольшая концентрация аэрозолей в атмосфере Азиатского континента распределяется на июнь-июль месяцы. В это время наблюдается перемещение воздушных потоков со стороны Индии и Афганистана. К счастью, благодаря наличию высоких хребтов Тянь-Шаня, эти потоки не доходят до наших обсерваторий.

Положительную роль оказывает также наличие растительного слоя вокруг обсерватории Ассы-Тургень, препятствующее выветриванию почвы и, тем самым, местному запылению атмосферы.

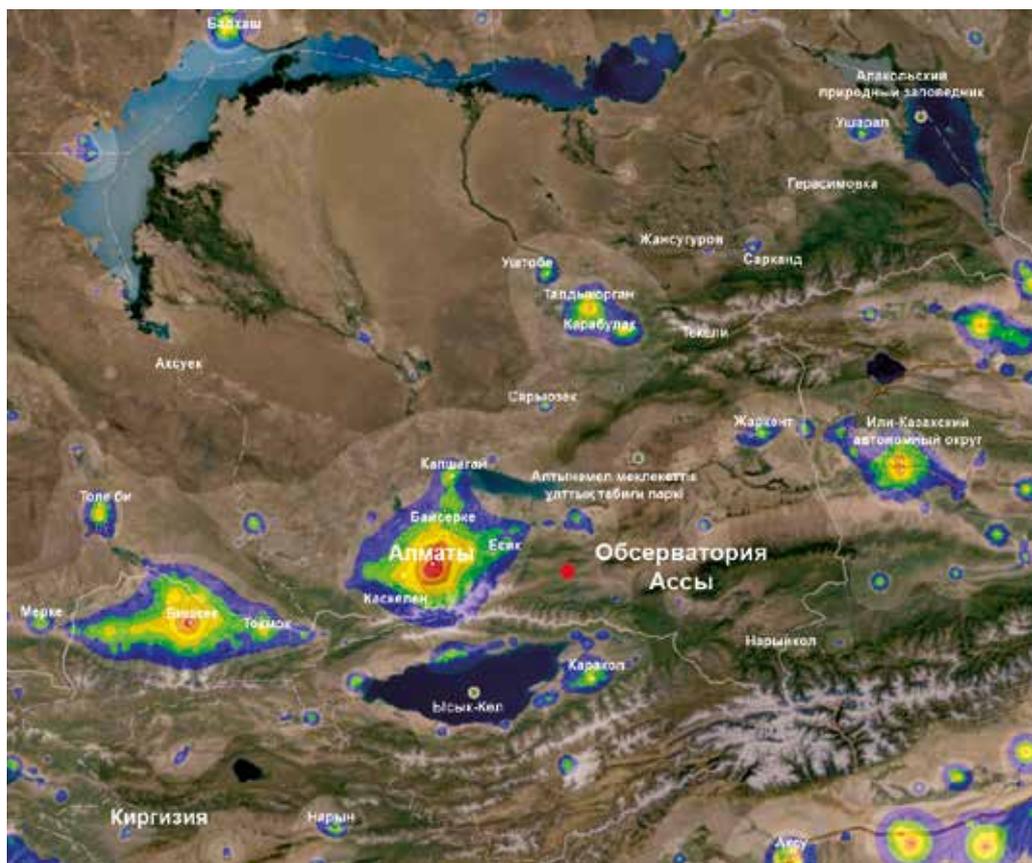
В местах оптических обсерваторий Гавайи и Чили аэрозольные загрязнения наблюдаются в минимальном количестве и практически отсутствуют в течение всего года.

Следующим важным критерием является стабильность

атмосферы в месте установки телескопа. Ведь от того, насколько однороден слой воздушной массы от изучаемого объекта до приемника, зависит и качество получаемого изображения. Связано это, прежде всего, с тем, что сигнал на приемнике изображения накапливается определенное время. Если за это время происходит смещение изображения объекта или его дефокусировка, то это непременно скажется на получаемом изображении.

**Рисунок 5**  
Карта распределения светового загрязнения вблизи Алматы

**Figure 5**  
Map of the distribution of light pollution near Almaty

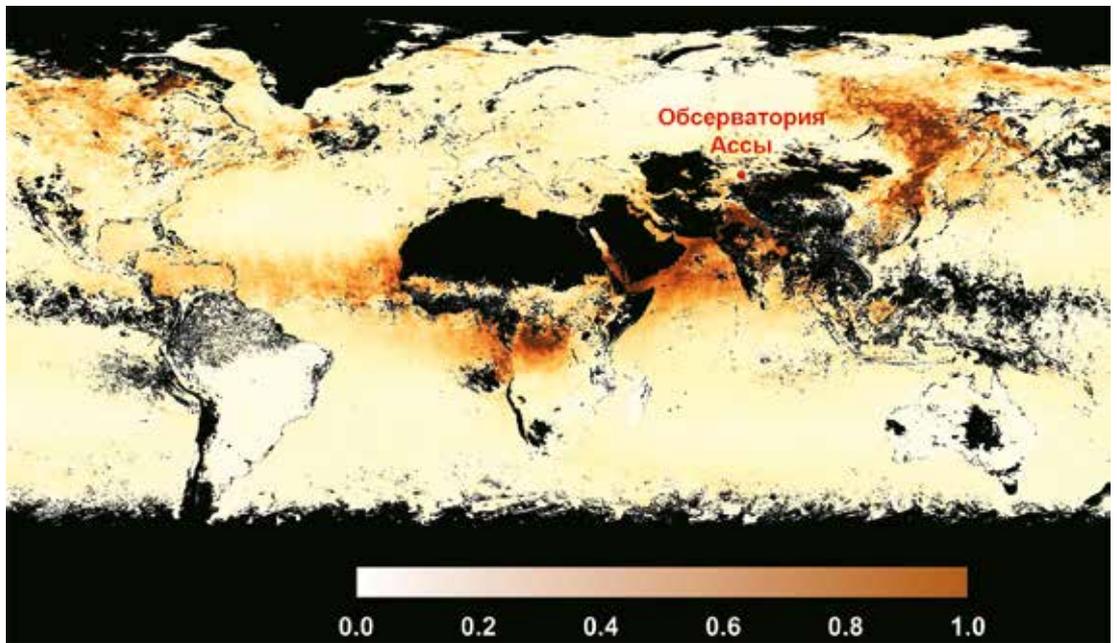


**Рисунок 6**

Распределение оптических аэрозолей в атмосфере земли Июль 2014 г. NASA Earth Observations (NEO) (темно-коричневый цвет показывают максимальную концентрацию аэрозолей)

**Figure 6**

Distribution of optical aerosols in Earth's atmosphere in July 2014. NASA Earth Observations (NEO) (dark brown color indicates the maximum concentration of aerosols)



Так, ветер в приземном слое атмосферы, перемешивая слою холодного и теплого воздуха, вызывает появление разной плотности в столбе воздуха над телескопом. Неоднородности, размер которых меньше диме-

тра зеркала телескопа, приводят к дефокусировке изображения. Более крупные флуктуации не вызывают резких искажений фронта волны и приводят к смещению изображения на пикселях приемника. Результатом

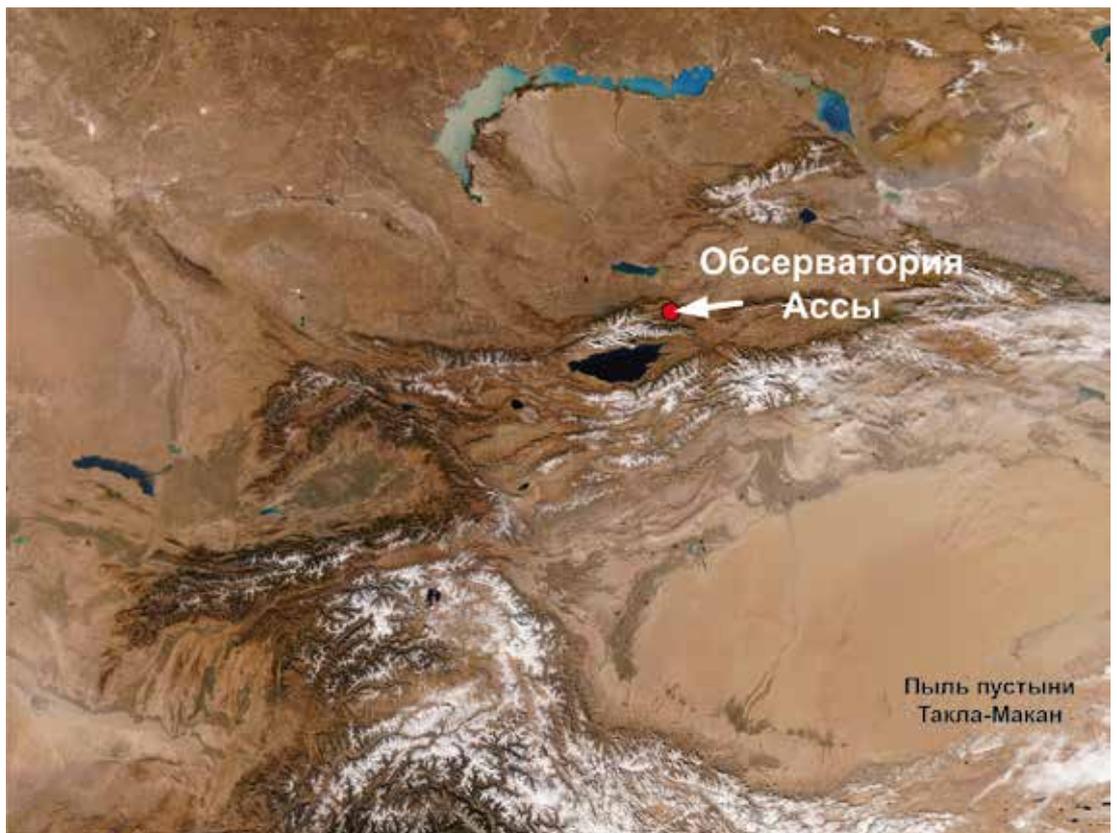
же и в том и в другом случае является потеря качества изображения. Поверхность Земли в ночное время значительно охлаждается и охлаждает прилегающий к ней слой воздуха. На изолированных горных вер-

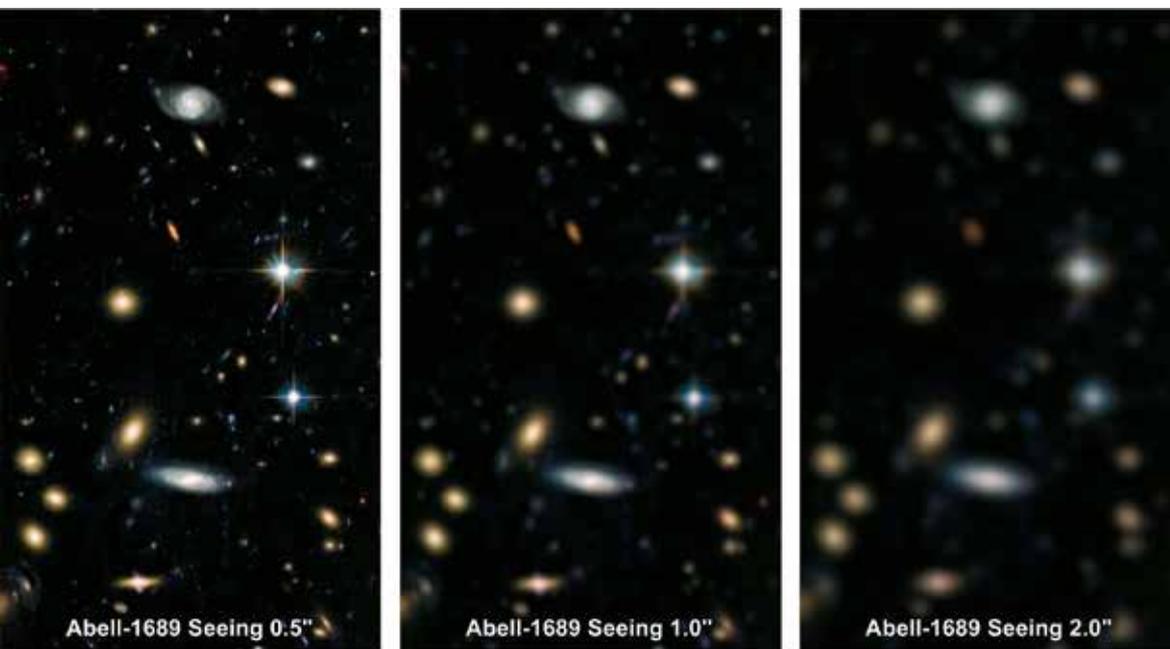
**Рисунок 7**

Спутниковая фотография региона Центральной Азии с сайта EOSDIS. В нижней правой и левой части снимка видны пылевые потоки, отсекаемые горами Тянь-Шань

**Figure 7**

Satellite photograph of the Central Asian region from the site EOSDIS. In the lower right and left of the photograph the dust streams that are separated by Tien Shan Mountains, are visible





**Рисунок 8**  
Изображение участка кластера Abell-1689 в сравнении при разном качестве «seeing»

**Figure 8**  
The image area of the Abell-1689 cluster compared with different quality «seeing»

шинах толщина приземного слоя воздуха со значительным перепадом температуры может достигать нескольких десятков метров. В долинах и на равнинах этот слой значительно толще и может составлять сот-

ни метров. Этим объясняется более благоприятное расположение обсерваторий в горах на изолированных вершинах или отрогах хребтов. Так, оценка той или иной астрономической площадки в первую очередь

сводится к анализу «seeing» — показателю дрожания изображения, получаемого телескопом.

«Seeing» параметр зависит от многих составляющих и меняется как в течение года, так и в течение ночи. Между-

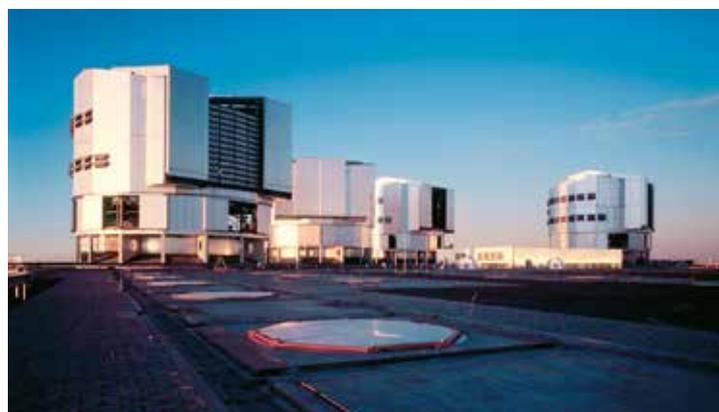
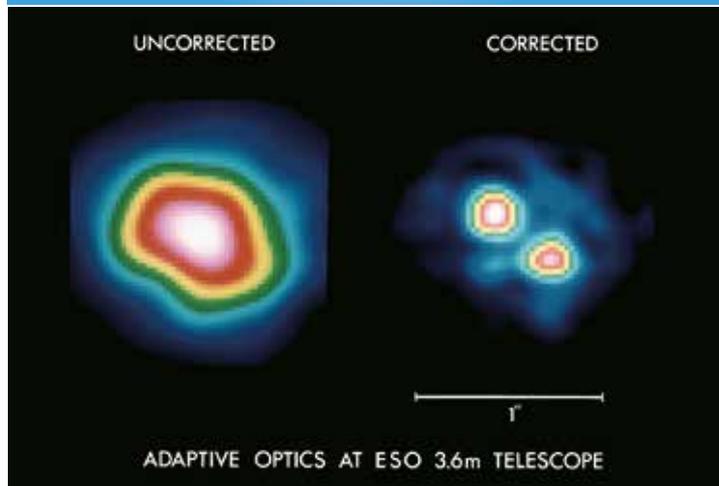
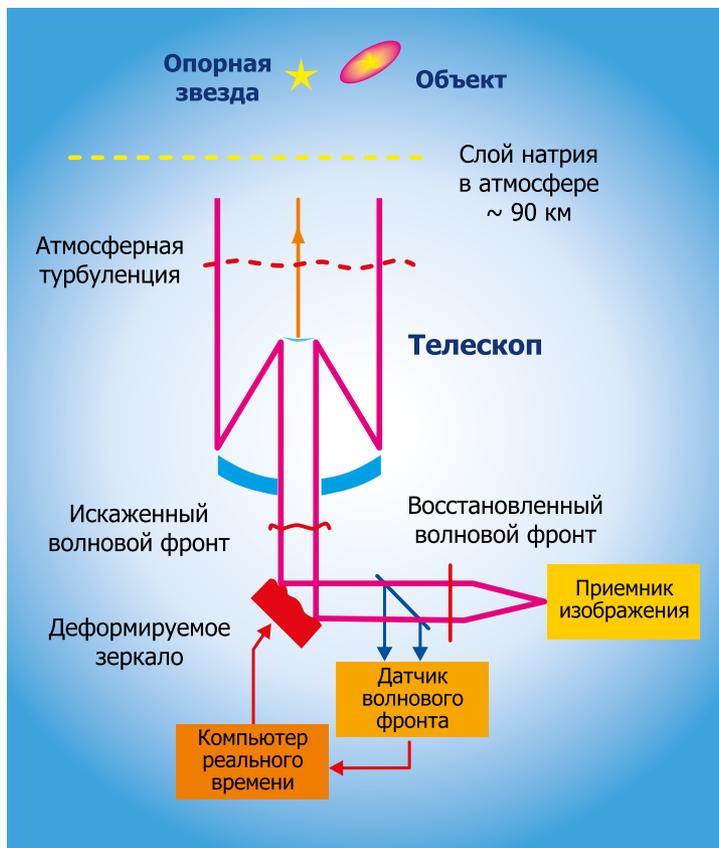


**Рисунок 9**

Схема типовой адаптивной оптики и результат ее применения на 3,6 метровом телескопе обсерватории ESO в Чили

**Figure 9**

Scheme of typical adaptive optics and the result of its application to the 3.6 meter telescope at the ESO in Chile



народные обсерватории постоянно ведут статистику метеоизмерений и показателей качества неба. На Гавайях и для Чили среднегодовым является значение в 0,5-0,8 арксекунд. Обсерватории США в штатах Калифорния и Нью Мексика приводят значения в 1.2-1.8 арксекунд. Для обсерватории на Канарских островах приводится «seeing» 1,0-1,2 арксекунды.

Как же можно еще улучшить качество изображения, чтобы добиться уровня, близкого к орбитальным телескопам? Для этого существуют системы адаптивной оптики, интегрируемые в телескоп. В адаптивной оптике благодаря использованию гибкого зеркала и эффективности высокопроизводительного компьютера реального времени достигается восстановление волнового фронта от объекта. В основе процесса лежит изменение формы деформируемого гибкого зеркала частотой до 1000 коррекций в секунду на основе данных датчика или датчиков волнового фронта. Эталонном в этом случае служит опорная звезда, возбуждаемая лазерным лучом в атмосферном слое натрия. В случае присутствия яркой опорной звезды в поле зрения телескопа можно будет восстанавливать изображение без использования лазера. Работы над этим в настоящее время ведутся.

Систематические астрономические исследования на плато Ассы-Тургень для определения амплитуды дрожания изображений звезд — «seeing» были начаты в конце 1975 года. С января 1976 года по апрель 1980 года было проведено более 3000 визуальных оценок амплитуды. Величина «seeing» в среднем составила 0.76 арксекунд, что сопоставимо с лучшими мировыми астрономическими площадками. Но



это было 35 лет назад. Что же сейчас? А сейчас есть мировой опыт исследования астроклимата с помощью приборов DIMM/MASS (Дифференциальный монитор дрожания и многоапертурный датчик мерцания звезд), успешно используемых уже более чем в 30-ти обсерваториях мира. Данные этих приборов позволяют построить профиль распределения атмосферной турбулентции на высотах от 0.5 до 16 км и оценить вклад каждого слоя в размытие изображения. Эти данные являются определяющими для построения систем адаптивной оптики. Кроме того, накапливается статистика по астроклимату на основе реальных данных и большого статистического материала.

Необходимо также сказать относительно полосы спек-

трального пропускания для обсерваторий, расположенных в горах. Чем выше находится обсерватория, тем меньше коэффициент поглощения лучей ультрафиолетового и ближнего инфракрасного спектров. При определенных конфигурациях оборудования допустимо наземными телескопами проводить измерения астрономических объектов в более широком спектральном диапазоне, что значительно расширяет понимание ряда астрофизических процессов. Измерения астроклимата на обсерватории Ассы в 1980 году показали прозрачность в видимой области спектра, близкую к релейской. А прозрачность атмосферы на обсерватории в ультрафиолетовой области обеспечивает идеальные условия для проведения UVBR спектрофотометрии.

В настоящее время техническим отделом Астрофизического института имени В.Г. Фесенкова ведутся работы по изготовлению прибора DIMM/MASS, аналогичного применяемого ранее на обсерваториях ESO Cerro Tololo (Чили), Mauna Kea (Hawaii), Кисловодск (Россия), Майданак (Узбекистан) и др. Совместно с этим прибором на 2015 год планируется установка Seeing монитора, погодной станции, сенсора прозрачности неба и all-sky камеры. Ведутся работы по организации рабочей группы из числа студентов и магистрантов по специальности «Астрономия» Казахского национального университета имени аль-Фараби. Запуск этого оборудования позволит создать современный паспорт обсерватории и получить ана-

литические данные на настоящий момент времени.

По одному из параметров, а именно количеству ясных ночей, обсерватория Ассы уступает мировым астроплощадкам. Так, при количестве чистых ночей на Мауна-Кеа около 325 в год, в Чили — от 300 до 340 и на Канарах — около 276, в обсерватории Ассы, по данным 1980 года, эта цифра составляет около 178 ночей. Эти данные, конечно, требуют уточнения, так как климат постоянно меняется и возможны отклонения как в одну, так и другую сторону. Нужно сказать, что регулярные астрономические наблюдения в обсерватории Ассы ведутся с 1981 года. Используется телескоп с диаметром главного зеркала в 1 метр и спектроскоп низкого разрешения UAGS, созданный компанией Карл-Цейс Йена. Сейчас для более качественного проведения спектроскопии объектов этого инструмента становится абсолютно недостаточно и необходим крупноапертурный инструмент, позволяющий Республике Казахстан принимать участие в международных, значимых совместных проектах, растить свою астрофизическую школу. Еще в 80-х годах прошлого века было

принято решение о финансировании и заказе нового 2,6 метрового телескопа системы Риччи-Кретьена для установки его в обсерватории Ассы. К сожалению, политическая обстановка того времени не позволила провести эти планы в жизнь. Как же обстоят дела сейчас с крупноапертурными телескопами в регионе и мире?

Если на карту мира нанести телескопы с диаметрами главного зеркала более 2,3 метров, то получится следующее распределение телескопов.

Не так уж и много телескопов с зеркалами от 3х метров. В азиатском регионе только два — Китайский LAMOST (4м) и Индийский ARIES (3.6м). Отчасти это связано с факторами светового загрязнения и аэрозолей в атмосфере в регионах южнее хребтов Тянь-Шаня, а отчасти и с тем, что страны, которые в состоянии инвестировать десятки миллионов евро в собственные крупные телескопы, инвестируют их в совместные телескопы на Гавайях и Чили.

Ближайшим телескопом на нашей долготе является 3,6 метровый телескоп по совместному проекту Индии и Бельгии обсерватории Aryabhata Research Institute of Observational Sciences на горе Devasthal. Начатый в

2008 году, он будет закончен в 2015 году. С вводом в строй этого телескопа появится двойной инфракрасный спектрограф высокого разрешения — крупнейший в регионе. Телескоп построен компанией AMOS (Бельгия). Он практически аналогичен «Большому Казахстанскому Телескопу», («Космические исследования и технологии» № 03 за 2012г).

От многих казахстанских астрономов слышим – «ну вот опоздали, не успели поставить в Ассах, теперь Индия перехватила долготу». Нет, ничего подобного. Это замечательно, что на горе Devasthal появится крупноапертурный телескоп, схожий с телескопом, планируемыми нами. В данном случае речь идет не о конкуренции, а о взаимном сотрудничестве команд астрономов. Индия и Китай давно двигаются семимильными шагами в освоении Космических наук.

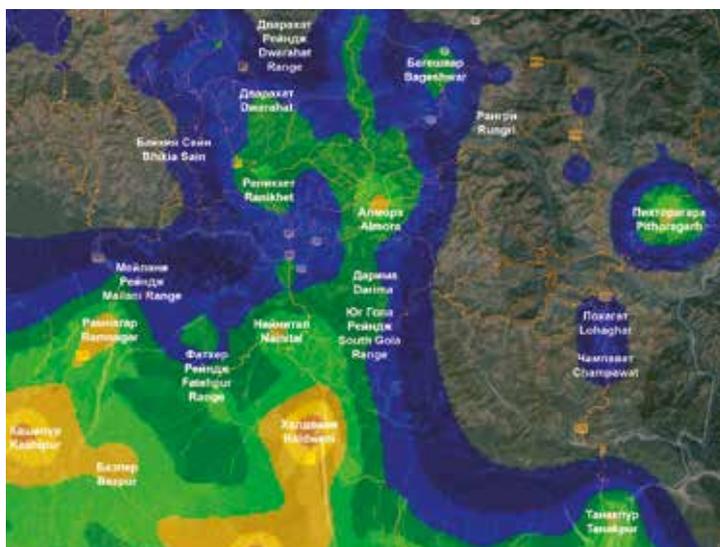
Мир становится более открытым. Мы видим прорыв казахстанской астрономии именно в формировании международных команд вне зависимости от страны, где они находятся. У Казахстана очень большое преимущество. Благодаря своему геополитическому положению он одинаково эф-

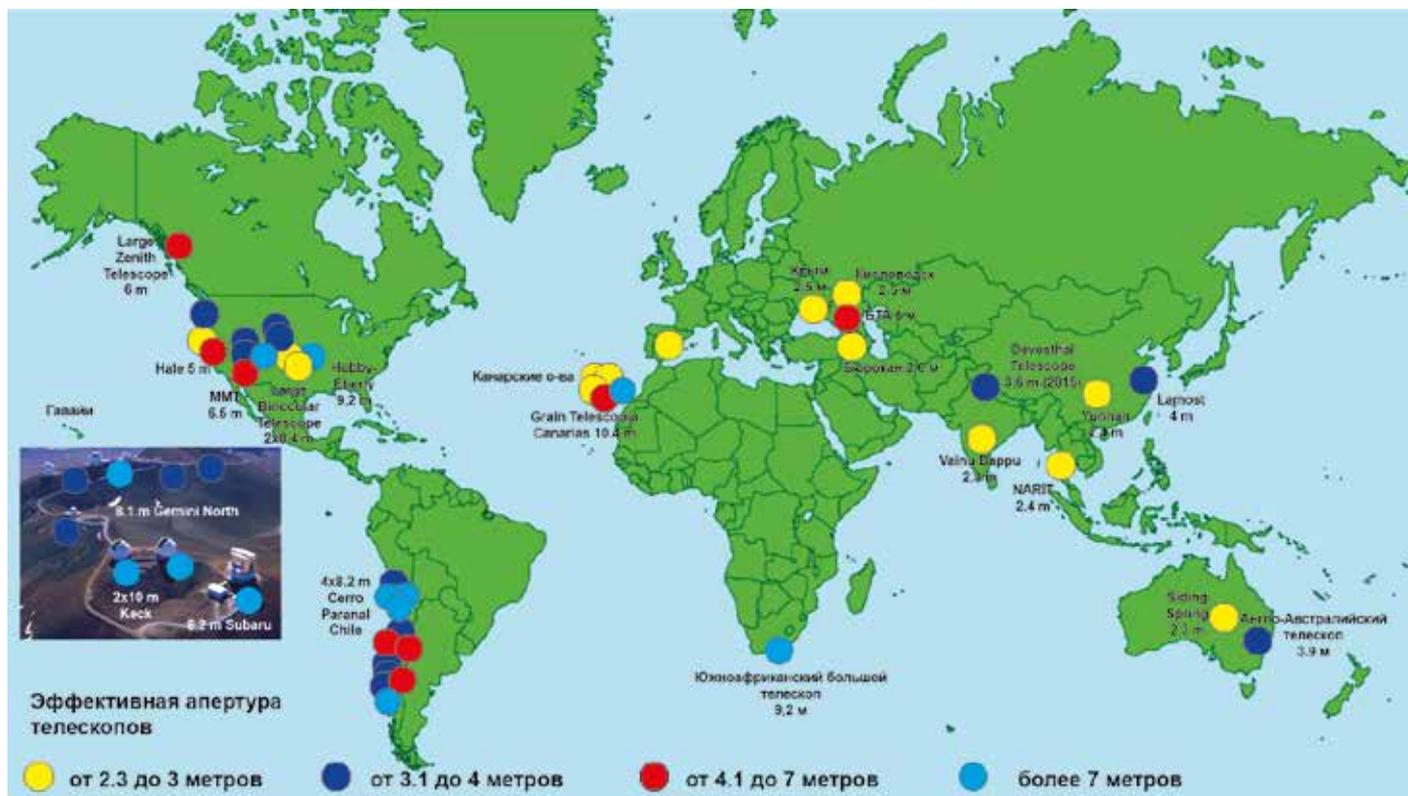
**Рисунок 10**

Карта засветки горы Devasthal и 3.6 метровый телескоп на заводе AMOS

**Figure 10**

Map of backlight of the Devasthal Mountain and 3.6 meter telescope at the factory AMOS





эффективно может работать со всем миром. К примеру, сегодня профессор из университета Северной Каролины США принимает в научную команду магистрантов Казахского национального университета и работают они дистанционно на телескопе, как в Ассах, так и в США или Чили, а профессор казахстанского вуза привлекает для работы коллег из Южной Кореи и Германии. Сейчас это норма для астрономов. Завтра же международные группы специалистов смогут работать на орбитальных телескопах, создаваемых в Казахстане и запускаемых с Байконура.

В заключение, хотелось выразить огромную благодарность астрономам, профессионалам своего дела, исследовавшим астроклимат и выбравшим идеальное место для обсерватории Ассы. Опыт и результаты многолетних наблюдений показали правильность их выбора. ■

**Рисунок 11**

Карта расположения наземных оптических телескопов с эффективной апертурой более 2.3 метров

**Figure 11**

Location map for ground-based optical telescopes with an effective aperture more than 2.3 meters

**Использованные источники:**

1. Астроклимат высокогорного плато Ассы-Тургень, /Омаров Т.Б., Курчаков А.В., Демченко Б.И., Заварзин Ю.М. — Алма-Ата: Наука, 1982. 60с.
2. Атлас светового загрязнения — <http://www.lightpollution.it/worldatlas/pages/fig7.htm>
3. Mauna Kea Weather Center — <http://mkwc.ifa.hawaii.edu/current/seeing/>
4. Kitt Peak, Cerro Tololo, Cerro Pachon seeing [http://ast.noao.edu/facilities/site\\_data](http://ast.noao.edu/facilities/site_data)
5. ESO seeing <http://archive.eso.org/asm/ambient-server?t=1101762000&site=paranal>
6. LAMOST seeing <http://www.raa-journal.org/raa/index.php/raa/article/viewFile/479/340>
7. DIMM/MASS прибор <http://www.ctio.noao.edu/~atokovin/profiler/>
8. Наземная обсерватория NASA — <http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/gallery.cgi>
9. Weather Center Canarias <http://catserver.ing.iac.es/weather/>

# Big Kazakhstan's telescope on the astronomical world map

## Chingis OMAROV

Director of the V.G. Fesenkov Astrophysical Institute

## Rashit VALIULIN

Vice-Director of the V.G. Fesenkov Astrophysical Institute

## Maxim KRUGOV

telescope support engineer



**R**eturning to the theme of «Big Kazakhstan's telescope», an article which was published in the «Space Research & Technologies» № 3 2012, we would like devote more attention to a possible location for the telescope, factors affecting its operation, and the review of such telescopes working in other countries.

The following important cri-

teria can be identified after analyzing the basic conditions necessary for effective work on any optical telescope:

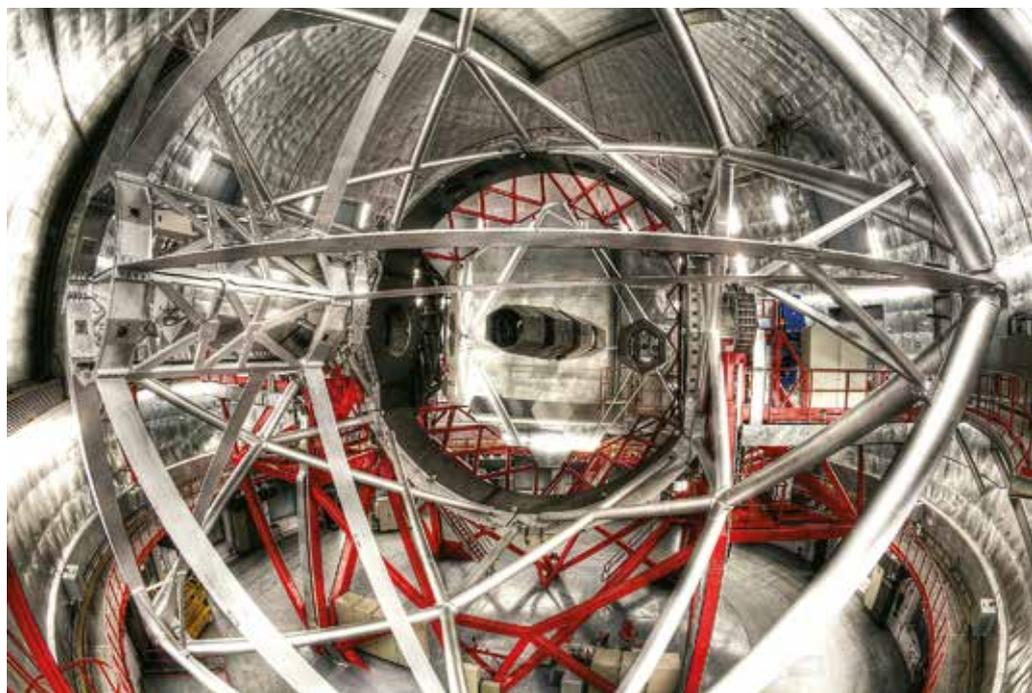
1. Low level of light pollution;
2. The purity of the air mass (minimum concentration of aerosols);
3. The stability of the air flow for a small distortion the resulting image;
4. Number of clean cloudless nights.

Contemplation of the night clear sky with myriads of stars, the Milky Way and bright planets is a great joy for many people, even far from astronomy. At present, the vast majority of people can not see the real beauty of the night sky. Even some of the brightest stars were extinguished in the bright light of our cities. View of the Milky Way stretching across the night sky, remained in the memory of many people

since childhood. To see the full depth of the star abyss can only leaving far beyond the cities and large towns. It is caused primarily by the fact that light illumination level increases in the world constantly. In cities the dust concentration and substances in air increases, which leads to scattering of light in the night sky. Of course, this is perhaps the most unpleasant factor for astronomical observations. Therefore, there is necessity to establish ground-based telescopes in remote locations with minimal levels of exposure. Where are these places?

If we look at the night satellite map, you can see areas with elevated levels of light pollution and the level acceptable for optical astronomical observations.

Small and medium-sized terrestrial optical telescopes in the world are located almost everywhere. They usually perform work tasks that do not require a completely dark sky, and satisfied the conditions that exist in the working area of universities and organizations who own telescopes. Optical telescopes have become a more hardware-software complex with the growth of information technology progress. The presence of high-speed Internet connection can improve the efficiency of the telescope ten times. For example, two remotely operated meter telescope of the Tien-Shan Astronomical Observatory issued up to 16 gigabytes of data per night working. And if such telescopes is eight? Then, indeed, the issue of accessibility of telescopes to information becomes very relevant. At a relatively short distance to the observatory is possible to bring the data on removable media every 2-3 days, or to make a high-speed fiber-optic link. Let's talk about the large ground-based optical telescopes and instruments that help to confirm or refute the hypothesis in astrophysical science. There is no doubt - we need the



darkest places in the world in the optical sense; and to reach them is not easy, as a rule.

Hawaiian Islands, Chile and the Canary Islands are recognized as the place of installation of large-aperture telescopes in the world. And there are a number of reasons. As mentioned above, the most significant factor in the siting of large-aperture telescopes - is the level of light pollution. We have used the Atlas of

light pollution from David Lorenz (more details can be viewed at the link — <http://djlorenz.github.io/astronomy/lp2006/>).

According to the color scale of the Atlas, the dark sky in Hawaii and Chile is visible in the rays more than 22 values per square second of arc. The Canary Islands have a quality of dark sky a little worse, ie at 21.89 magnitude.

After analyzing the territory of Kazakhstan by the Atlas of light



exposure, it is possible to see a lot of places with a suitable surface brightness of the night sky for astronomical observations. Given this criterion, as well as aerosol and dust and spectral factors in the atmosphere it is necessary to say that the Assy-Turgen mountain plateau is the perfect place. The observatory is located at an altitude of 2750 meters above sea level. The value of light pollution in the Assy-Turgen Observatory area corresponds to the installation site of the largest currently ground-based Gran Telescopio CANARIAS (GTC) optical telescope with the 10.4 meters effective diameter of mirror.

On the second important criterion, which is necessary for high-quality optical observations — is the amount of finely-dispersed suspensions: aerosols and dust in the air. This should be considered in a global scale component, since there are transfers of substances and dust, for which the oceans are not a hindrance. Thus, the daily

information on the distribution of aerosols in the atmosphere of the earth is presented on the NASA ground-based observatories site.

The analysis shows that the highest concentration of aerosols in the atmosphere of the Asian continent is distributed in June and July months. Moving the air flows from India and Afghanistan observed at this time. Fortunately, these flows do not reach the national observatories due to the presence of the Tien Shan high mountain ranges.

The presence of vegetation around the observatory Assy-Turgen, preventing soil weathering and thus the local dusty atmosphere, also has a positive role.

Aerosol pollution is observed in the minimum amount and practically absent throughout the year in the field of optical observatories Hawaii and Chile.

The stability of atmosphere in the place of installation of the telescope is the next important criterion. The resulting image quality

depends on how is homogeneous layer of air masses from the studied object to the receiver. This is due to the fact that the image signal is accumulated in the receiver a certain time. If during this time there is a shift of the object image or defocusing, it will certainly affect the image. Thus, the wind in the surface layer of the atmosphere, mixing layers of cold and warm air, causes the appearance of different density in the column of air above the telescope. Heterogeneity, the size of which is smaller than the diameter of the telescope mirror, leads to defocusing the image. Larger fluctuations do not cause sharp distortion of the wave front and lead to the displacement of the image in pixels of the receiver. Loss of image quality is the result of both cases. The surface of the earth during the night is cooled significantly and cools the adjacent air layer. The thickness of the surface layer of air on an isolated mountain peaks with a significant drop in temperature can reach



several tens of meters. This layer is much thicker in the valleys and plains, and can be hundreds of meters. More favorable location of observatories on the mountains or on the isolated tops or mountain range is explained by this. Thus, evaluation of astronomical site in the first place reduces to the analysis «seeing» — image shaking indicator obtained by telescope.

«Seeing» parameter depends on many components, and varies during the year as well as overnight. International Observatory constantly carries out statistics of meteorological measurements and indicators of the quality of sky. The value of 0.5-0.8 arcseconds is the annual average in Hawaii and Chile. Observatory of the US in California and New Mexico show the values in the 1.2-1.8 arcseconds. For the observatory in the Canary Islands provided «seeing» 1,0-1,2 arcseconds.

How is it possible to further improve image quality in order to achieve a level close to the Space

Telescope? Adaptive optics system, integrated into the telescope, there for it. Wavefront reconstruction of the object is reached in adaptive optics through the use of flexible mirror and effectiveness of high-performance real-time computer. Changing the shape of the deformable mirror at a frequency up to 1000 correction per second based on the sensor data or sensors of the wavefront is the basis of process. Reference star, excited by a laser beam in the atmospheric layer of sodium, serves as a benchmark in this case. Image without the use of laser can be recovered in the case of the presence of a bright reference star in the telescope's field of view. Work on this are ongoing.

Systematic astronomical research on the Assy-Turgen plateau to determine the jitter amplitude images of stars — «seeing» were started in late 1975. From January 1976 to April 1980 was carried out more than 3,000 visual assessments of amplitude. The value of



«seeing» was in average 0.76 arcseconds, which is comparable to the world's best astronomical sites. But that was 35 years ago. What now? Now there is a global experience in studying the astroclimate with instruments DIMM / MASS (Differential monitor of jitter and multi-aperture sensor scintillation of stars) has been successfully used in more than 30 observatories around the world. Data from these instruments allow us to construct the distribution profile of atmospheric turbulence at altitudes ranging from 0.5 to 16 km and to assess the contribution of each layer to image blurring. These data are crucial for building adaptive optics systems. In addition, statistics on astroclimate based on real data and a large statistical material accumulates.

It is also necessary to note the role of band of spectral transmission for observatories located in the mountains. The higher is the observatory, the lower the absorption coefficient of the rays of ultra-



violet and near-infrared spectra. In certain hardware configurations is valid carry out measurements of astronomical objects in a wide spectral range by ground-based telescopes, which significantly expands the understanding of a number of astrophysical processes. Measurements the astroclimate on an Assy observatory in 1980 showed transparency in the visible region of the spectrum close to Rayleigh. Transparency of the atmosphere on an observatory in the ultraviolet region provides ideal conditions for UBVR spectrophotometry.

At present, the technical department of the V.G. Fesenkov Astrophysical Institute conducts works on the production of the device DIMM / MASS, similar to those used earlier by observatories ESO Cerro Tololo (Chile), Mauna Kea (Hawaii), Kislovodsk (Russia), Maidanak (Uzbekistan) and others. Installation of seeing

monitor, weather station, sensor of transparency of the sky and all-sky camera is planned in conjunction with this instrument in 2015. Work on the organization of working groups composed of students and undergraduates on a specialty «Astronomy» of the Al-Farabi Kazakh National University are conducted. Running the equipment will allow create a modern observatory passport and obtain analytical data at the current time.

Observatory Assy inferior to world astro-sites on one of the parameters, namely, the number of clear nights. Thus, when the number of clean nights on Mauna Kea is about 325 a year, in Chile — from 300 to 340 and in the Canary Islands — about 276, in the observatory Assy, according to the 1980, this figure is about 178 nights. Of course, these data need to be clarified, as the climate is constantly

changing and there may be deviations in one or the other side. It should be noted that regular astronomical observations at the observatory Assy are conducted since 1981. Telescope with diameter of the main mirror of 1 meter and spectroscopy of low-resolution UAGS, created by Carl-Zeiss Jena, is used. Now this tool becomes absolutely insufficient for better handling of the spectrography of objects and is a necessary large-aperture tool that allows the Republic of Kazakhstan to participate in major international projects, to develop its astrophysical school. In the 80s of the last century, it was decided on the financing and ordering a new 2.6 meter telescope Ritchey-Chretien to install it at the observatory Assy. Unfortunately, the political situation of that time did not allow to carry out these plans. Let's discuss the issue with large-apertured

telescopes in the region and the world.

If the telescopes with diameters of the primary mirror more than 2.3 meters to put on the world map, we get the following distribution of telescopes.

Not so many telescopes with mirrors of 3 meters. In Asia, they are only two — Chinese LAMOST (4 m) and the Indian ARIES (3.6 m). This is due to factors of light pollution and aerosols in the atmosphere of the southern Tien Shan, as well as the fact that the countries that are able to invest tens of millions of Euros in its own large telescopes, invest them in joint telescopes in Hawaii and Chile.

3.6 meter telescope on a joint project of India and Belgium of the Observatory of Aryabhata Research Institute of Observational Sciences at Devasthal mountain is the closest telescope to our longitude. Initiated in 2008, it will be finished in 2015. The largest double-infrared spectrograph of high resolution will appear in the region with the commissioning of the telescope. The telescope was performed by AMOS (Belgium). It is almost similar to the «Big Kazakhstan's Telescope («Space Research & Technologies» No 3 2012).

We hear from many Kazakhstan's astronomers: «We were late; we did not have time to put in Assy; now India intercepted the longitude». No, nothing like that. It is remarkable that the large-aperture telescope, similar to a telescope, which was planned by us, will appear at Devasthal Mountain. In this case it is not a competition, but mutual cooperation of astronomer's teams.

The world is becoming more open. We see the breakthrough of Kazakhstan's astronomy in the formation of international teams, regardless of the country where the study was conducted. Kazakhstan has a very big advantage. Due to its geopolitical position it can work equally well with



the world. For example, today a professor from the University of North Carolina, United States takes into scientific team the undergraduates from the Kazakh National University and they work remotely on the telescope, both in the Assy, and the United States or Chile; and Professor of the Kazakh University attracts to work the colleagues from South Korea and Germany. Now this is the norm for astronomers. Tomorrow the international teams of specialists will be able to work on space telescopes produced in Kazakhstan and launched from Baikonur.

In conclusion, we would like to express our gratitude to the astronomers, professionals in their field who have researched astroclimate and selected the perfect place for the Assy Observatory. Experience and results of long-term observations have shown the correctness of their choice. ■

#### References:

1. Astroclimate of the high plateau Assy-Turgen / Omarov T.B., Kurchakov A.V., Demchenko B.I., Zavarzin Yu.M. - Alma-Ata: Nauka, 1982. 60p.
2. Atlas of light pollution - <http://www.lightpollution.it/worldatlas/pages/fig7.htm>
3. Mauna Kea Weather Center - <http://mkwc.ifa.hawaii.edu/current/seeing/>
4. Kitt Peak, Cerro Tololo, Cerro Pachon seeing [http://ast.noao.edu/facilities/site\\_data](http://ast.noao.edu/facilities/site_data)
5. ESO seeing <http://archive.eso.org/asm/ambient-server?t=1101762000&site=paranal>
6. LAMOST seeing <http://www.raa-journal.org/raa/index.php/raa/article/viewFile/479/340>
7. DIMM/MASS прибор <http://www.ctio.noao.edu/~atokovin/profiler/>
8. Ground-based observatories NASA - <http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/gallery.cgi>
9. Weather Center Canarias <http://catserver.ing.iac.es/weather/>

# На встрече с кометой



12 ноября 2014 года произошло выдающееся событие в истории космонавтики: впервые на поверхность кометы был высажен исследовательский аппарат.

Европейская станция Rosetta достигла цели своего десятилетнего путешествия по Солнечной системе — кометы Чурюмова-Герасименко. Комету 67P/Чурюмова-Герасименко открыли в 1969 году советские астрономы Клим Чурюмов и Светлана Герасименко, работавшие тогда в Алма-Ате. Она относится к

группе короткопериодических (ее период обращения равен 6,6 года). Размеры большой полуоси орбиты составляют немногим более 3,5 астрономических единиц, линейные размеры ядра имеют порядок нескольких километров. Средняя температура поверхности ядра кометы  $-70^{\circ}\text{C}$ .

Космический аппарат Rosetta вместе со спускаемым зондом Philae стартовал 2 марта 2004 года на ракете-носителе семейства Ariane 5 с космодрома Куру во Французской Гвиане. Название космический

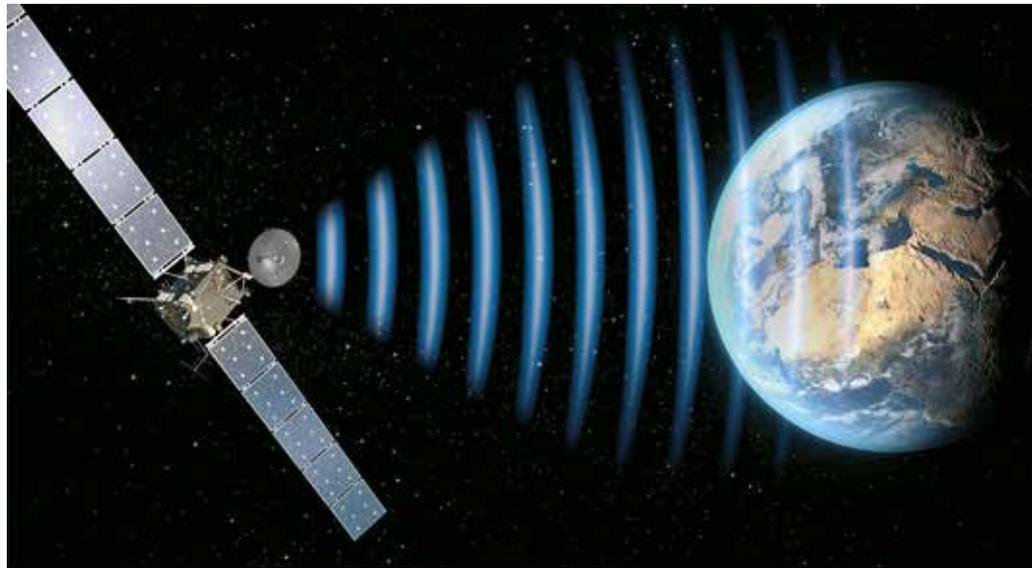
аппарат получил в честь розеттского камня. Расшифровка надписей на этой древней каменной плите, выполненная к 1822 году французом Жаном-Франсуа Шампольном, позволила лингвистам совершить гигантский прорыв в изучении египетской иероглифической письменности. Подобного качественного скачка в исследовании эволюции Солнечной системы ученые ожидают и от миссии Rosetta. Сама Rosetta — это компактная алюминиевая конструкция размерами 2,8x2,1x2,0 метров с

двумя солнечными батареями по 14 метров каждая.

Стоимость проекта — 1,3 миллиарда долларов, а его разработчиком выступает Европейское космическое агентство (ESA). Участие в нем принимают также NASA, а также национальные космические агентства ряда стран. Всего в проекте задействовано 50 компаний из 14 стран Европы и США. На Rosetta размещено одиннадцать научных инструментов — специальных систем из датчиков и анализаторов.

По ходу своего путешествия Rosetta совершила три маневра вокруг орбиты Земли и один — вокруг Марса. К орбите кометы аппарат приблизился 6 августа 2014 года. За свой долгий путь аппарат успел выполнить ряд исследований. Так, в 2007-м, пролетая мимо Марса на расстоянии тысячи километров, он передал на Землю данные о магнитном поле планеты.

В 2008 году наземными специалистами во избежание столкновения с астероидом Штейнс была проведена корректировка орбиты корабля, что не помешало ему сфотографировать поверхность небесного тела. На снимках ученые обнаружили более 20 кратеров диаметрами от 200 метров. В 2010 Rosetta передала на Землю фотографии другого астероида — Лютеции. Это небесное тело оказалось планетезималью — образованием, из которых в прошлом формировались планеты. В июне 2011 аппарат перевели в спящий режим для экономии энергии, а 20 января 2014 года Rosetta «проснулась». Сигнал о штатной работе межпланетного зонда вечером в понедельник 20 января достиг Земли. Он шел на Землю более восьми часов. ESA вело прямую трансляцию «пробуждения» зонда, который находил-



ся в состоянии гибернации около 2,5 лет.

Вначале специалисты ESA отобрали пять мест для посадки модуля Philae. Зонд назван в честь острова Филы на реке Нил в Египте. Там находились древние культовые сооружения, а также обнаружена плита с иероглифическими записями цариц Клеопатры II и Клеопатры III. В итоге для посадки на комету ученые выбрали участок под названием Агилика. На Земле это тоже остров на реке Нил, куда была перенесена часть древних памятников,

которым угрожало подтопление в результате строительства Асуанской плотины. Масса спускаемого зонда Philae — сто килограммов. Линейные размеры не превышают метра. Зонд несет на своем борту десять инструментов, необходимых для исследования ядра кометы. С помощью радиоволн ученые планируют изучить внутреннюю структуру ядра, а микрокамеры позволят сделать с поверхности кометы панорамные снимки. Бур, установленный на Philae, поможет взять пробы грунта с глубины до 20 санти-



метров. Батарей Philae хватит на 60 часов автономной работы, потом питание переключится на солнечные батареи. Все данные измерений в режиме онлайн будут поступать на аппарат Rosetta, а с него — к Земле. После спуска Philae аппарат Rosetta начнет отдалять-

ся от кометы, превратившись в ее спутник.

### Спуск

К неприятностям со спуском Philae европейские инженеры были готовы еще с момента планирования самой миссии. Действительно, осуще-

ствить первую мягкую посадку на поверхность небесного тела с чрезвычайно слабой гравитацией (примерно в восемь тысяч раз слабее земной), движущегося со скоростью более десяти километров в секунду, прикрепиться к нему и собрать необходимые данные — весьма сложная техническая задача.

Современные вычислительные методы небесной механики позволяют с высокой точностью рассчитать параметры траекторий аппарата и небесного тела вплоть до одновременного пересечения их траекторий, однако само маневрирование спускаемого зонда, а также его непосредственная посадка и поведение на поверхности трудны для моделирования из-за большого числа неизвестных параметров. Это связано с непредсказуемостью конкретных условий на поверхности кометы (не говоря уже о других небесных телах): вместо точных чисел имеется только качественное представление о химии и физике ядра кометы. Такова особенность





астрономии: неопределенность в численных значениях параметров многих космических тел и явлений у представителей других точных наук просто вызвали бы ужас. Неопределенность в численных значениях величин сравнима с ними самими: фактически речь идет о порядке величин, но никак не об их значении. А удаленность космических объектов не позволит проводить какие-либо опыты. В астрономии нет экспериментаторов — только наблюдатели. Европейские ученые оценили шансы на успех спускаемой части миссии Rosetta в 70 процентов.

Неполадки с зондом начались еще до отделения от материнского аппарата: у посадочного модуля обнаружили проблемы с двигателем малой тяги в его верхней части. Этот двигатель предназначен для противодействия отдаче гарпунов, с помощью которых Philae должен был закрепиться на ядре кометы. Необходимость в таком устройстве возникает из-за того, что сила



#### FAST FACTS

Launch: 07:17 GMT on 2 March 2004, on an Ariane 5 G+ from ESA's spaceport at Kourou, French Guiana  
Launch mass: 3000 kg (fully fuelled) of which the Or-

biter accounted for 2900 kg (including 1670 kg propellant and 165 kg science payload),

and the Lander 100kg (with 26.7 kg of science payload).

Orbiter dimensions: 2.8m x 2.1m x 2.0m with two 14m long solar wings

Orbiter payload: 11 experiments (ALICE, CONSERT, COSIMA, GIADA, MIDAS, MIRO, OSIRIS, ROSINA, RPC [ICA, IES, LAP, MAG, MIP, PIU], RSI and VIRTIS) to study the comet's global and local environment, surface, and sub-surface.

Lander dimensions: 1 m x 1 m x 1 m (before deployment of landing gear)

Lander payload: 10 experiments (APXS, CIVA, CONSERT, COSAC, PTOLEMY, MUPUS, ROLIS, ROMAP, SD2, SESAME) to investigate the local comet environment, surface and sub-surface.

Distance travelled (by 12 November\*): 6,550 million km

One-way signal travel time (on 12 November\*): 1700 seconds

Ground communications: ESA's New Norcia (03:08-14:27 UTC) and Malargüe (00:00-03:02 UTC; 14:33 – 23:59 UTC) will be the primary ground stations during this period, with backup from NASA's Canberra (DSS-45), Madrid (DSS-55) and Goldstone (DSS-15) stations.

Distance of Rosetta from Sun (on 12 November\*): 448 million km

Distance of Rosetta from Earth (on 12 November\*): 510 million km

Speed of spacecraft and comet with respect to Sun: 18.3 km/s

Cost: The total cost of the mission is 1.4 billion Euro. This includes the launch, the spacecraft, the science payload (instruments and lander), and mission and science operations.

Industrial contributions: The Rosetta spacecraft was built by an industrial team led by prime contractor Astrium GmbH, Friedrichshafen, Germany, and involving more than 50 contractors from 14 European countries and the USA.



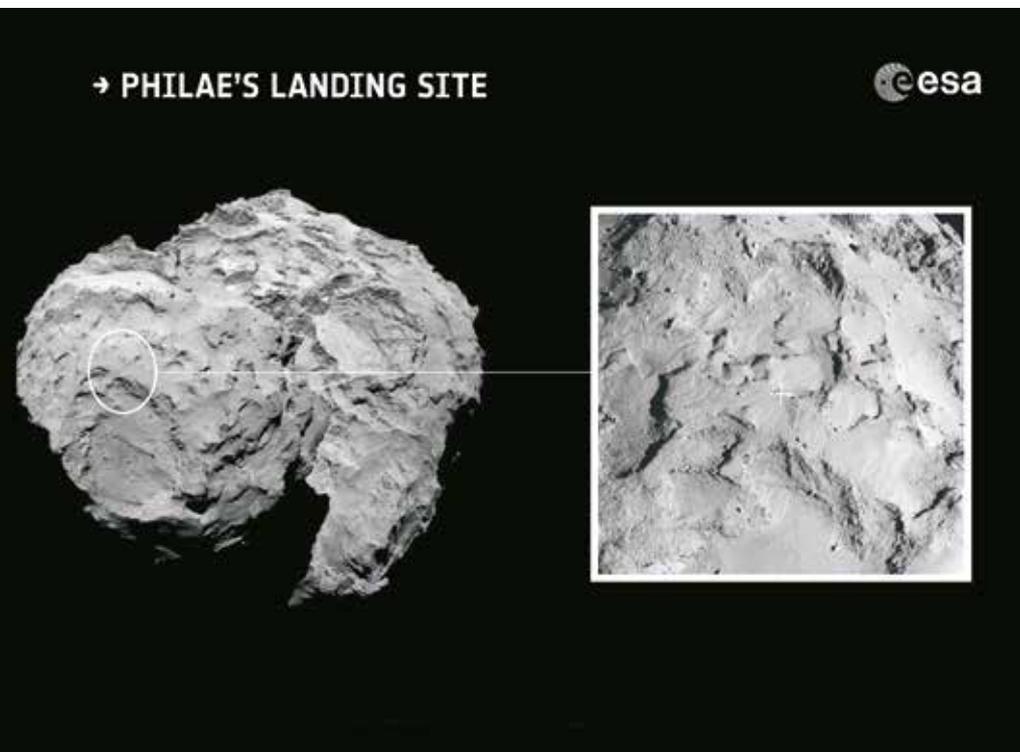
тяжести на этом небесном теле крайне мала.

### Посадка и бурение

Высадиться зонд должен был на участке, получившем название Агилика. Однако посадка 12 ноября 2014 года произошла в другом месте, где именно — точно неизвестно. К тому же зонд недостаточно прочно закрепился на поверхности кометы: система развертки гарпунов не сработала, и аппарат в любой момент мог перевернуться, деформироваться или даже отскочить от поверхности. Philae опирался только на две из трех своих опор. Более того, специалисты ESA обнаружили, что зонд не один раз, а целых три пытался сесть на поверхность кометы. В одной из таких попыток он поднялся над ее поверхностью на высоту, равную примерно 0,5 километра. Из-за того, что Philae совершил посадку не там, где планировалось, он оказался не на запыленной поверхности, а на твердой скалистой породе под возвышенностью, закрывающую зонд своей тенью. Свет попадал на фотоэлементы солнечных батарей Philae только в течение 90 минут каждые 12 часов.

Среди 11 научных инструментов зонда есть устройство MUPUS с пенетратором, которому удалось выдвинуться примерно на четверть метра. С его помощью специалисты ESA надеялись привести зонд в более устойчивое положение, а в оптимистичном сценарии — осуществить его разворот к солнечному свету и взять пробы грунта. Манипуляции с пенетратором действительно частично помогли.

Инженеры миссии сообщили, что пенетратор осуществил первое в мире успешное проникновение в недра кометы, однако прошел только сквозь ее мягкий слой и не смог пробурить твердый из-за



поломки, случившейся, когда ученые заставили его работать в режиме максимальной нагрузки. Однако инструментом SD2 все же удалось осуществить по-настоящему первое бурение именно твердой поверхности кометы.

Неудачи в бурении MUPUS ученые связали с неожиданно твердой структурой поверхности кометы, на которую натолкнулся пенетратор. Астрономы выдвигали разные предположения. Модели включали в себя и мягкое ядро, и твердую поверхность, и различные промежуточные комбинации. Однако для точных выводов данных не хватало.

Разработчики модуля Philae старались учесть все неопределенности в наших представлениях о характере ядра кометы. Молот инструмента MUPUS, забивающий пенетратор в поверхность, был рассчитан на бурение твердых слоев, но так и не справился со своей задачей. Специалисты ESA не ожидали, что поверхность кометы окажется столь твердой.

Все кометы такие, или зонду «не повезло», неясно. Так, согласно одной из версий случившегося, спускаемый модуль попал на твердый остаток космического тела, когда-то упавшего на комету. В ESA также сообщили о том, что температура пенетратора после его извлечения из мягкого слоя поверхности ядра сильно понизилась из-за того, что к нему что-то прикрепило. Могло ли это послужить причиной сбоев в работе устройства, тоже остается вопросом.

Зонд Philae за свои первые сутки на поверхности кометы передал до 90 процентов запланированной на тот период информации. В ESA рискнули и задействовали все имеющиеся возможности для сбора максимально больших объемов данных о комете. Пока

Major subcontractors were Astrium Ltd. who built the spacecraft platform, Astrium France who supplied the spacecraft avionics and Alenia Spazio, Turin, Italy, for assembly, integration and verification. Canada participated in the construction of ESA's first 35 m-diameter Deep Space Antenna in Australia, which was built for Rosetta. Scientific consortia from institutes across Europe and the United States provided the 11 experiments for the orbiter.

Rosetta's Philae lander is provided by a consortium led by DLR, MPS, CNES and ASI. Other members of the consortium are ESA and institutes from Austria, Finland, France, Hungary, Ireland, Italy and the UK.

### WHAT'S IN STORY FOR ROSETTA IN 2015?

During 2014, Rosetta woke up from deep space hibernation, chased and reached its target comet – 67P/Churyumov-Gerasimenko – began to study and characterise the comet and, on 12 November, will deploy a lander, Philae, to the comet's surface. The main mission phase has begun in earnest and will continue until December 2015.

The mission's scientific programme following the deployment of Philae is to a large extent determined by the activity of the comet, which will increase as 67P/C-G approaches perihelion – the position on its orbit that is closest to the Sun – in August 2015.

From late November 2014 until sometime around the beginning of February 2015, depending on the activity of the comet, the Rosetta orbiter will stay close enough to comet 67P/C-G to be held in a bound orbit. The orbiter will build up a detailed picture of the comet's thermal and physical properties during this time as the comet warms up. Rosetta will also make measurements of dust grain sizes and chemistry to monitor effects arising in the changing comet environment.

From February 2015, determined by the anticipated increased in cometary activity, Rosetta will move out of bound orbits and instead will conduct a series of comet flybys, the most daring of which will approach to within 8 km of the centre of the comet's nucleus. The operational challenge during this period will be to stay as close to the comet as possible while not jeopardising the spacecraft. This phase of the mission will focus on studying and monitoring the comet, including its surface and its surrounding coma, painting a portrait of 67P/C-G as an evolving object.

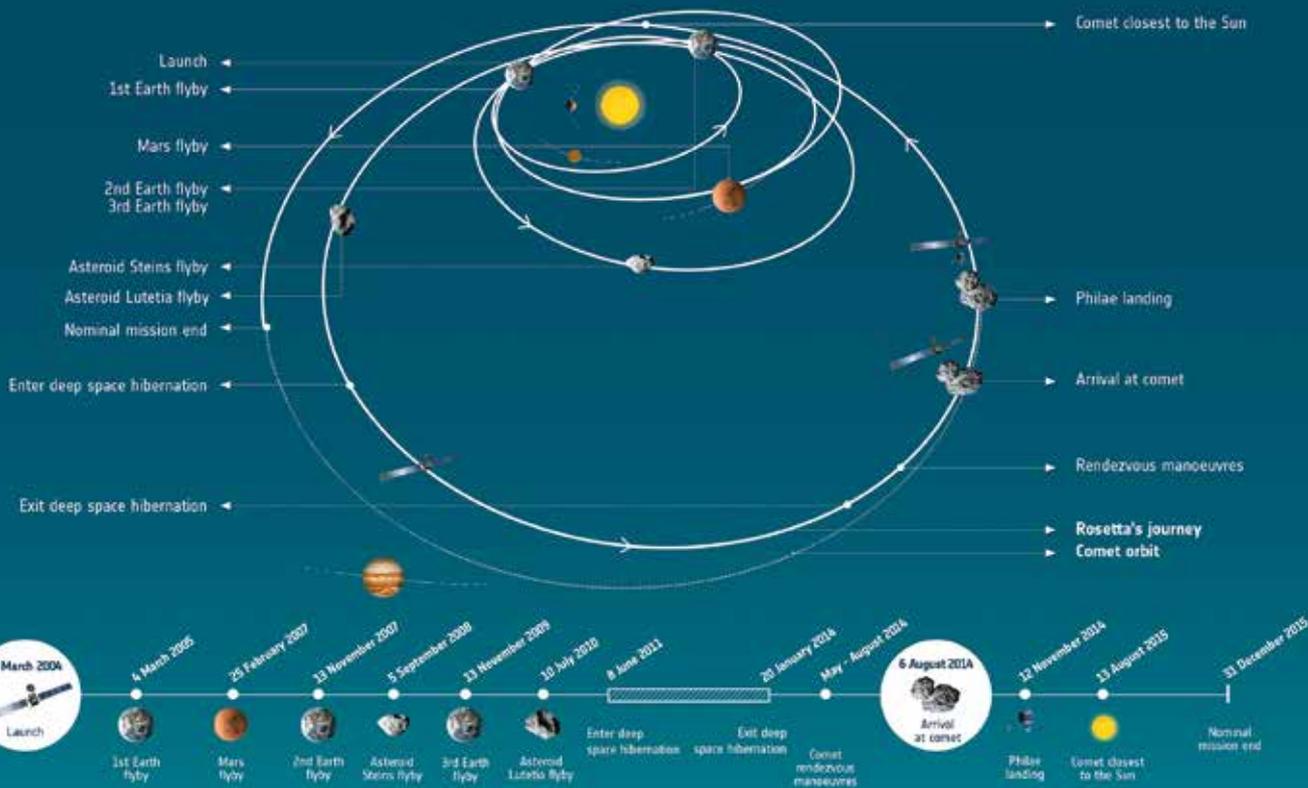
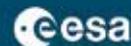
If all goes well, Philae could be operational until March 2015, after which it is expected that temperatures inside the lander will have risen too high to continue scientific measurements. Until then, there is the possibility for coordinated measurements between the orbiter and lander, with the orbiter making measurements of and around the landing site, providing vital context for the in-situ measurements made by Philae. The orbiter and lander will also send low-frequency radio signals between them, through the nucleus, to study its interior.

Beyond that, in July 2015, the team plan to fly Rosetta directly over an active region where jets of material are seen to be emerging from the comet's surface.

Then, in August 2015, the comet reaches perihelion, the closest approach to the Sun at 186 million km, between the orbits of Earth and Mars. As the comet then starts to cool again and activity subsides, Rosetta will watch the behaviour of 67P/C-G through to the end of the nominal mission, in December 2015, at least, to see if the activity decreases in a symmetrical way to its increase on approach. Scientists will also be able to assess how much the comet nucleus has changed during this whole period.

Rosetta's operations are currently funded until the end of 2015, but depending on the status of the spacecraft and its scientific instruments, and based on the additional science that can be gained by studying the comet as it moves farther away from the Sun, a possible extension to the mission will be discussed closer to the time.

## → ROSETTA'S JOURNEY



работало научное оборудование зонда, его аккумуляторы почти полностью разрядились, и Philae перешел в режим гибернации. Пробуждение зонда — отдельная задача. Несмотря на некоторые неудачи, в целом европейцы довольны результатами работы Philae.

Оставшейся энергии хватило для предполагаемого обмена данными с материнским аппаратом Rosetta. Кроме того, по мере приближения к Солнцу участок, на котором находится зонд, будет освещаться сильнее, и эксперты ESA не исключают оживления Philae. Наиболее сдержанный прогноз специалистов предполагает, что миссия Philae в основном завершена. Ученым предстоит анализ данных, полученных со спускаемого модуля, и наблюдение с материнского аппарата Rosetta,

вращающегося вокруг кометы, за эволюцией кометы по мере ее приближения к Солнцу. Программа рассчитана еще примерно на два года. А для завершения части миссии, связанной с зондом Philae, некоторые эксперты даже предлагают приблизить Rosetta к комете и опустить аппарат на нее.

Попытки оживить Philae инженеры ESA не оставят — пожелаем им успеха. Несмотря на все шероховатости миссии Rosetta, у астрономов теперь есть уникальные данные о комете, которые никаким другим способом, кроме спуска на ее поверхность, получить бы не удалось.

Измерения, выполненные в рамках миссии Rosetta, показали: температура кометы слишком высока, чтобы ее ядро полностью покрывалось слоем

льда. Как считают исследователи, поверхность ядра представляет собой темную пылевую корку. Тем не менее ученые не исключают, что там могут быть и ледяные участки. Также установлено, что в поток газов, истекающих из комы (облака вокруг ядра кометы), входят сероводород, аммиак, формальдегид, сильная кислота, метанол, сернистый ангидрид и сероуглерод. Ранее считалось, что по мере нагревания ледяной поверхности кометы, приближающейся к Солнцу, выделяются только самые летучие соединения — двуокись и моноокись углерода. Максимальное сближение с Солнцем произойдет 13 августа 2015 года, когда комета 67P/Чурюмова-Герасименко окажется в точке перигелия. Тогда и будет наблюдаться наиболее интенсивное испарение ее материи.

Исследование кометы важнее высадки на Луну. Об этом заявила один из первооткрывателей кометы 67P/Чурюмова-Герасименко Светлана Герасименко.

«На мой взгляд, посадка лендера (спускаемого зонда Philae) на поверхность кометы даже важнее, чем посадка на Луну. Потому что там вообще всё еще не изучено в кометах, а о Луне мы знаем намного больше, а ядро кометы вообще не изучено. Мы же, когда наблюдаем кометы, мы наблюдаем не ядро, а атмосферу кометы, и о ядре раньше могли делать только предположения», — сообщила астроном. Герасименко также выразила надежду на освоение Красной планеты. «Хотелось бы, чтобы на Марс летали. Это всё так быстро развивается. Сегодня не знаешь, что будет в ближайшие несколько лет», — сказала она.

Исследования, подобные экспедиции Rosetta необходимо проводить, во-первых, для изучения эволюции кометного вещества, и, во-вторых, для понимания возможного влияния испаряющихся в комете газов на движение окружающих небесных тел. Данные, полученные с помощью миссии Rosetta, помогут объяснить процессы эволюции Солнечной системы и возникновения воды на Земле. Кроме того, ученые надеются обнаружить органические следы от L-форм («левосторонних» форм) аминокислот, являющихся основой жизни на Земле. Если эти вещества будут найдены, гипотеза о внеземных источниках земной органики получит новое подтверждение.

Возможно теперь кометы перестанут быть зловещими предвестниками земных бед, как в былые века, а будут наиболее важными источниками информации о жизни во Вселенной. ■

*По материалам  
информгентств*

### MISSIONS TO COMETS - ROSETTA IN CONTEXT

For much of history, humans have been fascinated by comets. Evidence for this can be found in Scottish rock carvings dating back to the second millennium BC, on clay tablets from ancient Babylon, and on an 11th century BC Chinese almanac transcribed on silk.

Comets were seen as omens of portent, and thought by many to be atmospheric phenomena rather than celestial. Gradually, astronomers realised that these apparitions were visitors from the distant reaches of outer space. In doing so, mere curiosity evolved over the centuries into scientific study.

Where did comets come from? How did they move through space? What were they made from? All of these became key drivers in the astronomers' pursuit of knowledge throughout the 18th century Age of Enlightenment.

Towards the end of the twentieth century, advances in space technology provided exciting new possibilities for comet scientists. Before they had relied solely on naked-eye observations or ground-based telescopes to study these ghostly messengers. Now it was possible to approach them with spacecraft, catching them as they journeyed towards the inner regions of the Solar System, relatively close to Earth.

In 1985, NASA's International Cometary Explorer (ICE) became the first space mission to pass through the tail of a comet. It flew past at a distance of 7800 kilometres from the nucleus of comet 21P/Giacobini-Zinner.

Just one year later, when Halley's Comet returned to our skies, an armada of spacecraft was sent to study the comet up close: these included two probes from Russia (Vega-1 and Vega-2), two from Japan (Sakigake and Suisei), and ESA's Giotto spacecraft.

Giotto flew within 600 kilometres of comet 1P/Halley, closer than any other spacecraft, and sent back detailed images of the icy nucleus at the heart of the comet. This was a world-leading first. Giotto's unique data showed, among other things, that comets contain complex organic molecules. Studying these may help us understand if comets helped to 'seed' life on Earth.

After Halley, the spacecraft continued its journey. It was revived in 1992 to fly past comet 26P/Grigg-Skjellerup. Giotto's camera had been blinded by dust particles during its encounter with Halley, but nonetheless its other instruments could sense 26P's nucleus.

*ESA provided*



# К созданию радарного спутника KazSAR

**Ж.Ш. ЖАНТАЕВ,  
А.Ж. БИБОСИНОВ.,  
А.В. ИВАНЧУКОВА,  
Б.К. КУРМАНОВ**

АО «НЦКИТ», ДТОО «Институт ионосферы»



## К созданию радарного спутника KazSAR

Актуальность проблемы

Дистанционное зондирование Земли с помощью радарных спутников — метод, позволяющий получать актуальные сведения как о состоянии объектов исследования, так и о динамике развития деформационных процессов на них и прилегающих территориях, находит все большее применение в самых различных областях промышленности и хозяйственной деятельности заинтересованных субъектов: от частных компаний до правительств государств во всем мире. Достаточно сказать, что практически все индустриально развитые страны на всех континентах, в том числе США, страны Евросоюза, Япония, Индия, Ки-

тай, Австралия и др. обладают собственными спутниковыми, в том числе и РСА системами оборонного, навигационного и/или промышленного назначения. Развитию этого направления до 2020 года посвящен доклад, сделанный в виде независимого исследования Робертом А. Вебером и Кевином М. О'Коннеллом (Innovative Analytics and Training, США) для заинтересованных ведомств США ([www.gisa.ru/file/file2201.doc](http://www.gisa.ru/file/file2201.doc)). По мнению Кевина М. О'Коннелла, «космическое дистанционное зондирование находится, как и десять лет назад, «на переднем крае глобальной прозрачности». Ключевым отличием сегодняшнего дня является то, что ДЗЗ — лишь одна из нитей в переплетении данных, технологий, а также новых приложений информации и инноваций. Становящийся все более прозрачным мир ставит сложные задачи по управлению, безопасности и экономике. Возможности их решения требуют значительного переосмысления» ([www.gisa.ru/file/file2201.doc](http://www.gisa.ru/file/file2201.doc)). Причем на развитие этого направления в США тратятся значительные средства, исчисляемые не одним миллиардом долларов. В следующем десятилетии различными странами планируется

запуск 42 коммерческих и государственных спутников. 36 из них оснащены радиолокаторами с синтезированной апертурой (РСА). «Эксперты сходятся во мнении, что главной целью геопространственной отрасли является отслеживание процессов на планете и изменений материальных ресурсов, таких как продовольствие, вода и минеральное сырье. Если аналитики правы в том, что международная политико-экономическая система к 2025 г. изменится до неузнаваемости, то коммерческие космические снимки высокого разрешения будут гораздо больше, чем сейчас, востребованы в невоенных целях» ([www.gisa.ru/file/file2201.doc](http://www.gisa.ru/file/file2201.doc)).

## Анализ рынка услуг результатов космической деятельности (РКД)

Во многих странах мира, в том числе не обладающих собственным космическим потенциалом, проблема использования РКД решена на инфраструктурном уровне и результаты космической деятельности (космические связи и навигация, дистанционное зондирование Земли, гидрометеорология, картографическое и другие виды космического обеспечения) прочно вошли в повседневную жизнь.



К числу государств мира, обладающих развитой космической инфраструктурой, позволяющей самостоятельно решать сложные задачи освоения и практического использования космоса, как и ранее, относятся США, Франция, Китай, Япония, Индия и Россия.

Ежегодный рост мирового рынка космических продуктов и услуг составляет в среднем 7 % в год. В 2013 году он достиг 325 млрд. долл. США. Рост спроса на современные космические продукты и услуги объясняется тем, что только космические системы способны обеспечивать непрерывное функционирование глобальных информационных полей навигации, наблюдений из космоса, связи, управления и передачи данных, гидрометеорологического и других видов

космического обеспечения. Это предполагает усиление регулирующей роли государства в данном направлении.

В отличие от США и Европы, где с самого начала становления космического комплекса значительное внимание уделялось коммерциализации космических технологий и их рыночной эффективности, а, следовательно — складывались и отработывались механизмы продвижения космических услуг на рынки, в СССР, а затем и Казахстане ракетно-космический комплекс изначально развивался как «бюджетный», в рамках жесткого государственного регулирования преимущественно административными методами.

Понимание выгод и преимуществ, которые можно получить, используя космические

технологии в хозяйственной и иной деятельности государства, привело к тому, что космическая отрасль выбрана одним из стратегических направлений развития нашей страны. В то же время темпы внедрения РКД в деятельность государственных органов управления всех уровней, масштабы использования космических продуктов (услуг) в различных секторах экономики пока нельзя признать достаточными.

Значительную часть рынка космических продуктов и услуг составляет коммерческое дистанционное зондирование Земли. Источниками дохода данного сегмента являются продажа снимков и сопутствующие услуги. Развитие рынка геоинформационных услуг, основу которого составляют данные, получаемые с космических

Название РСА системы	Страна/ оператор	Режим съемки/ пространственное разрешение	Официальный прайс/ или цена от дистрибьютера
COSMO-SkyMed 1-4	Италия/ e-Geos	Stripmap/ 3-5 м	1 275 евро
Radarsat-2	Канада/MDA	Ultra-Fine/до 3 м	2 750 евро
TerraSAR-X	Германия/ Astrium	Stripmap/ до 3 м	1 400 евро
Alos-2	Япония/ Restec	Ultra-Fine/до 3 м	1 900 евро
КОМPSAT-5	Корея/ KARI	Не установлена	Не установлена



аппаратов различного назначения. является одним из самых перспективных направлений коммерческого использования результатов РКД. Интеграция данных ДЗЗ в геоинформационные системы открывает возможность стабильного роста спроса на услуги.

Одним из наиболее острых вопросов создания отечественного информационного рынка ДЗЗ является отсутствие широкого круга коммерческих потребителей и прямая зависимость рынка от государственных закупок и зарубежной информации. Необходимо расширить перечень отечественных информационных продуктов и услуг ДЗЗ, развивать технологии сетевого обслуживания, обеспечивающие удовлетворение более широкого круга потребителей, интегрировать данные ДЗЗ в геоинформационные системы.

В России рынок данных ДЗЗ характеризуется высоким уровнем концентрации. Лидеры рынка — НЦ ОМЗ, ИТЦ

«Сканэкс», ЗАО «Совзонд», ООО «ГИА «Иннотер» — занимают совокупно 87% рынка (по данным GIS MARKET SUPPORT ASSOCIATION). В Казахстане этот рынок только зарождается. Основу его составят данные двух оптических спутников и ожидаемый запуск радарного спутника KazSAR (управляющая компания КазГарышСапары).

#### Современные тенденции в развитии РСА систем

Рынок радарных данных развивается очень динамично. По подсчетам исследователей он должен возрасти с 93 миллионов евро в 2013 году до 226 миллионов евро в 2021 году. По результатам исследования Northern Sky («Дистанционное зондирование Земли, 5 выпуск») по состоянию на 2012 год данные РСА высокого пространственного разрешения занимали 3% всего объема, а среднего пространственного разрешения — 6%. Возросший интерес к радарным данным определяется

расширением сфер применения этих данных и, во вторую очередь — совершенствованием аппаратуры спутников в пользу лучшего пространственного разрешения, периодичности и оперативности получения данных, а также увеличением предложений со стороны операторов. Ниже приводится сравнительная таблица цен на радарные снимки наиболее известных РСА систем высокого пространственного разрешения.

#### Радарный спутник Sentinel-1

3 апреля 2014 года с космодрома во французской Гвиане Европейским Космическим Агенством (ESA) был запущен спутник Sentinel-1. Он стал первым спутником, запущенным в рамках программы Copernicus, ранее известной как GMES (Global Monitoring for Environment and Security – Глобальная стратегия Мониторинга для Окружающей среды и Безопасности). В рамках проекта предусмотрено 5 миссий: Sentinel-1 — два радарных спут-



ника; Sentinel-2 — два спутника с оптико-электронной аппаратурой; Sentinel-3 — два спутника для наблюдения за океанами с помощью различной оптико-электронной и радиолокационной аппаратуры. Запуск спутников Sentinel-4,5, предназначенных для наблюдения за атмосферой, планируется в 2019–2020 гг.

Миссия Sentinel-1 представляет собой группировку из двух радарных спутников на полярной орбите, оснащенных радаром с синтезированной апертурой (SAR) для съемок в С-диапазоне. Предусмотрены следующие режимы съемки и пространственное разрешение:

- Strip Map Mode — полоса съемки 80 км, пространственное разрешение 5x5 м;
- Interferometric Wide Swath — полоса съемки 250 км, пространственное разрешение 5x20 м;
- Extra-Wide Swath Mode — полоса съемки 400 км, пространственное разрешение 20x40 м;

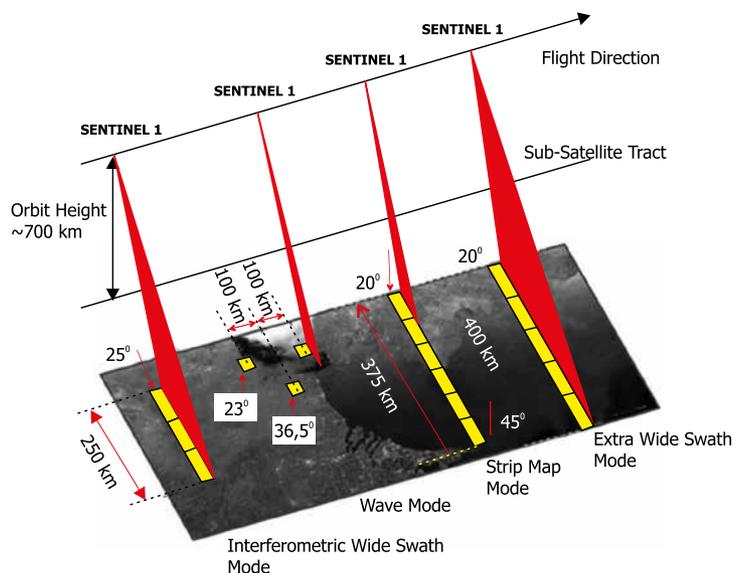
- Wave-Mode — размер кадра 20x20 км, пространственное разрешение 5x5 м (данные взяты с сайта <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview/mission-summary>).

По данным ESA на данный момент спутник находится в режиме «увеличения мощно-

сти» — съемка ведется на территорию Европы, Арктики и зон высокого риска землетрясений и вулканической активности. Планируется, что с весны следующего года спутник, наконец, начнет выполнять съемку глобального покрытия.

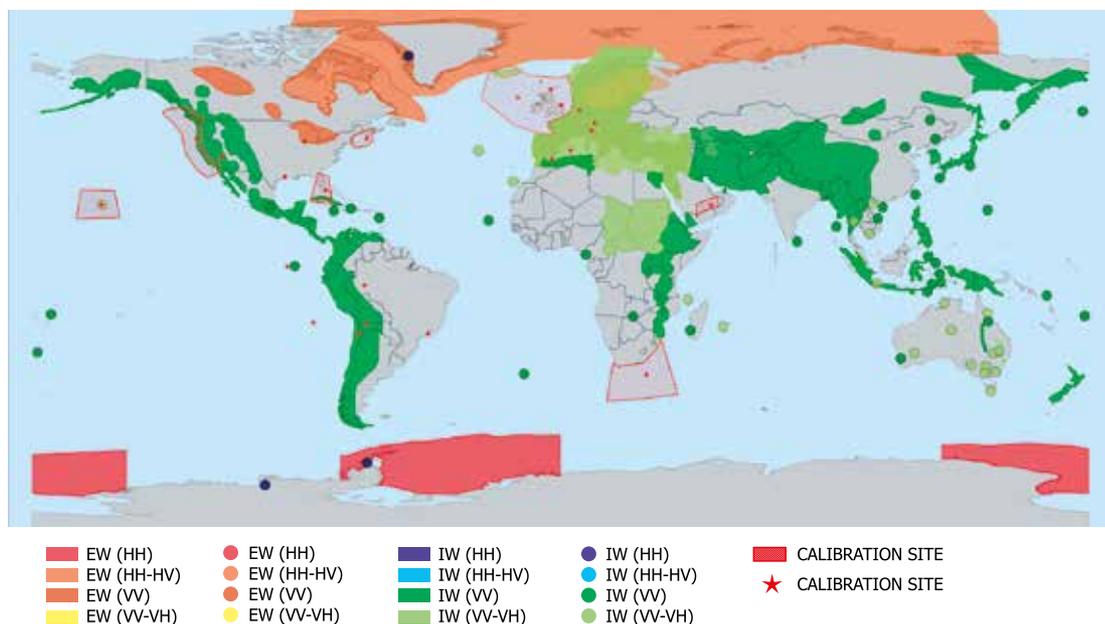
Как видно из рис. 3 покрытие радарной съемкой терри-

**Рисунок 1.** Радарный спутник Европейского Космического Агенства Sentinel-1



**Рисунок 2.** Схема режимов съемки спутника Sentinel-1

**Рисунок 3.**  
Сценарий покрытия  
цикла съемки №37  
с 4 января 2015 года  
по 16 января  
2015 года



тории нашей республики представлено только всей южной частью страны, включая зоны повышенного сейсмического риска в предгорных районах. Съемка будет производиться с периодичностью каждые 12 дней в поляризации VV (вертикальная поляризация) в режиме съемки IW — полоса съемки 250 км, пространственное разрешение 5-20 м.

На данный момент (на 12 декабря 2014 г.) в архиве данных спутника Sentinel-1 на территорию Казахстана уже собрано более 200 снимков в форматах SLC (single look complex) и GRDH (сырой формат).

Сервис каталога данных находится по адресу <https://scihub.esa.int/dhus/>, процедура регистрации занимает пару минут и не требует больших объемов информации о пользователе. Сервис позволяет сохранить результаты поиска и область интереса, а также содержит прямую ссылку на скачивание снимков. Стоит также заметить, что лозунг этой программы — доступность данных для всех, как для академических, так и для коммерческих организаций.

**Первые результаты применения данных со спутника Sentinel-1 для мониторинга деформационных процессов земной поверхности**

Пять снимков со спутника Sentinel-1, полученные между 3 октября и 2 декабря 2014 года, были обработаны и получены результаты деформации земной поверхности города Мехико. Выявлено, что смещения поверхности связаны с извлечением подземных вод, в некоторых участках опускания земной поверхности города достигают 2.5 см/месяц — красным цветом на рисунке 4.

Еще одним из ярких примеров применения данных со спутника является картирование землетрясения в Калифорнии в долине Напа, которое произошло 25 августа 2014 года. При обработке двух снимков за 7 и 31 августа была сгенерирована дифференциальная интерферограмма (рис.6). Расстояние между одинаковыми цветными фрингами равно 28 мм. Максимальные значения деформаций земной поверхности больше 10 см были зафиксированы на территории около 30x30 км. На снимке также четко прослеживается

разлом Сан Андреас, который простирается вдоль береговой линии. Интерферограммы, подобные этой, используются для моделирования и картографирования разломов земной поверхности. Полученные результаты позволяют утверждать, что со спутником Sentinel 1 открывается новая эра картографирования землетрясений из космоса. Информация была взята с информационного сайта ЕКА <http://www.esa.int/spaceimages/Images/2014/09>.

**Технологии РСА интерферометрии в решении проблем геологии, геофизики и экологии**

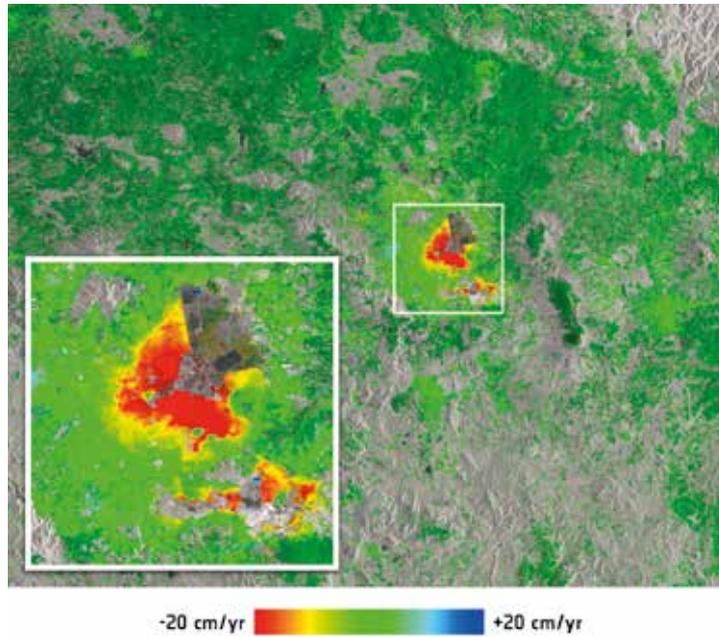
Данные со спутников РСА применяются в агропромышленном секторе, лесном хозяйстве, геологии, в мониторинге нефтегазового сектора, в мониторинге и регулировании чрезвычайных ситуаций, таких как наводнения, быстрые движения ледников, оценка ущерба от землетрясений, а также в решении задач оборонного характера и многого другого. Следует подчеркнуть, что главным преимуществом радарных спутников перед оптико-электронными — это всепогодность съемки и воз-

возможность измерения превышений поверхности с миллиметровой точностью, достигаемой, благодаря информации о фазовой составляющей радарного сигнала. Помимо возросшей области применения РСА данных вызывает интерес возможность их использования в мониторинге опасных геологических процессов, в том числе таких, как деформационные процессы локальных и региональных объектов городских территорий и территорий месторождений полезных ископаемых, зон активных разломов и высокой сейсмической опасности. Кроме того, данные РСА систем могут быть использованы в моделировании землетрясений, мониторинге активности вулканов и других приложениях.

В последнее десятилетие отмечается широкое использование спутниковой радиолокационной интерферометрии для картирования деформаций дневной поверхности. Метод основан на измерении амплитуды и фазы отраженного радиолокационного сигнала от объекта или земной поверхности. Съемки обычно проводятся с двух и более параллельных орбит. Это позволяет с высокой точностью восстановить фазу рельефа поверхности. Проведя точно такие же измерения через некоторый промежуток времени (обычно цикл повторения орбиты спутника), можно выявить изменения высоты рельефа дневной поверхности с субмиллиметровой точностью.

Следует подчеркнуть, что впервые эти исследования были выполнены для землетрясения Ландерс, произошедшего 28 июня 1992 года с  $M=7.3$  в Калифорнии [1].

На рис. 6 показана дифференциальная интерферограмма землетрясения Ландерс, построенная по данным европейского спутника ERS-1. Это была первая в мире интерферограмма и



**Рисунок 4.** Вертикальные смещения точек земной поверхности города Мехико (Мексика)

первое в мире детализированное изображение землетрясения и оказываемого им эффекта на поверхность Земли [2]. Появившись на обложке журнала Nature в 1993 году, это изображение стало предвестником начала новой эпохи в развитии технологий обработки данных, получаемых с радарных спутников и новым этапом в понимании природы землетрясений.

**Рекомендации по выбору технических характеристик спутника KazSAR**

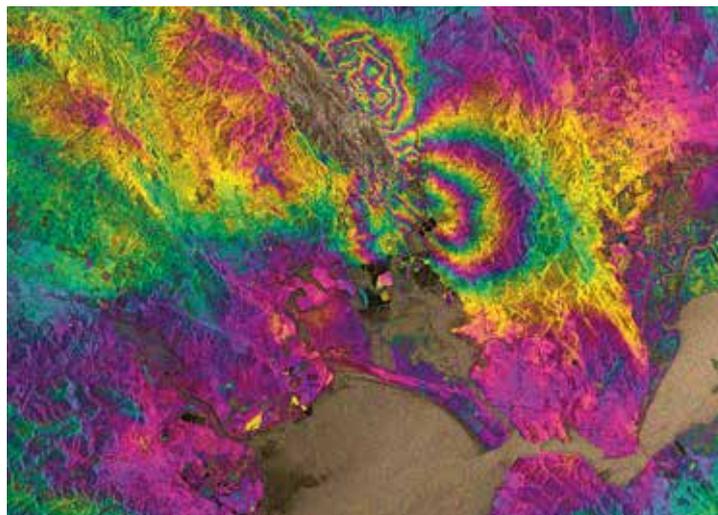
При разработке инвестиционного предложения необходи-

мо обратить внимание на выбор технических характеристик спутника KazSAR. В том числе:

1) Пространственное разрешение.

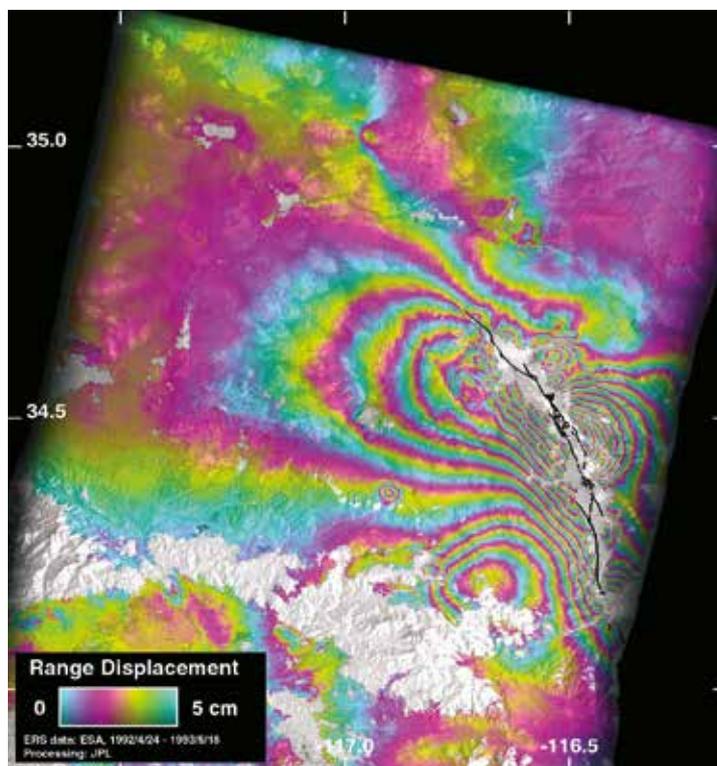
Современные РСА системы поддерживают пространственное разрешение спутников от 1 м до десятков метров. Обычно режимы менее 1 м используют для военных целей. В последнее время также большее внимание уделяется увеличению полосы обзора с сохранением высокого пространственного разрешения.

2) Диапазон зондирующей волны.



**Рисунок 5.** Дифференциальная интерферограмма на землетрясение Напа, Калифорния

**Рисунок 6.**  
Дифференциальная  
интерферограмма  
на землетрясение  
Ландерс;  
каждый фринг  
(цветная полоса)  
представляет собой  
вертикальные  
смещения земной  
поверхности в 28  
мм между первым и  
вторым снимками



Основные диапазоны, используемые РСА системами, это X, L и С. Все они относительно одинаково пользуются спросом, но отличаются разной проникающей способностью. Проникающие свойства диапазонов разные: — X отражается от поверхности, С — проникает на большую глубину, L — может проникать сквозь листву деревьев, редкую растительность, сухую почву или снег. Этими свойствами определяется устойчивость уровня когерентности сигнала во времени.

3) Поляризация сигнала.

Мультиполяризационные возможности РСА системы позволяют получать не только привычные человеческому глазу RGB композиты, но широко применяются в агрокомплексе, лесном хозяйстве, изучении снежных покровов и др.

4) Режим съемки.

Режим съемки определяет пространственное разрешение снимка и его площадные размеры. Модификации режимов

в современных РСА системах позволяют изучать территорию с использованием от трех до пяти-шести различных режимов, которые соответственно определяют область применения полученных данных.

5) Период повтора.

Период повтора орбиты важен для применения данных в мониторинговых наблюдениях. Так, например, итальянская группировка спутников COSMO-SkyMed позволяет получать данные на объект интереса с периодичностью до 8 раз в месяц, что делает эту систему привлекательной для исследований и коммерческих проектов, нуждающихся в большом наборе данных за относительно короткий промежуток времени.

6) Угол наклона.

Угол наклона варьируется от 20 до 60 градусов, используется в основном для уменьшения эффекта радарной тени для сильно пересеченной местности.

Вышеперечисленные технические характеристики

необходимо учитывать при проведении маркетинговых исследований с целью выработки оптимальной конфигурации систем создаваемого спутника, соответствующих решению приоритетных задач экономики РК. Можно предполагать, что учет рекомендаций и мирового опыта использования РСА интерферометрии для решения народно-хозяйственных задач в комплектации спутника KazSAR и получаемой с его помощью информации, будут отвечать современным международным требованиям и стандартам. ■

**Литература**

1. Peltzer G., K. Hudnut, and K. Feigl, Analysis of coseismic surface displacement gradients using radar interferometry: New insights into the Landers earthquake, *J. Geophys. Res.*, 99, 21, 971-21, 981, 1994.
2. Massonnet, D., M. Rossi, C. Carmona, F. Adragna, G. Peltzer, K. Feigl, and T. Rabaute. The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature* 364: 138-142, 1993.
3. Роберт А. Вебер, Кевин М. О'Коннелл Американская коммерческая спутниковая съемка в 2020 г.: варианты будущего. ([www.gisa.ru/file/file2201.doc](http://www.gisa.ru/file/file2201.doc)).
4. Горный В.И., Тронин А.А. Обзор достижений последнего десятилетия в области применения спутниковых методов дистанционного зондирования при геологических и геофизических исследованиях. *Ж. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012, т.9, № 5, с. 116-132.
5. Годовой отчет ОАО НПК «РЕКОД» за 2013 год. М. 2014 ([rekod.ru/.../Годовой%20отчет%20ОАО%20НПК%20РЕКОД%202013](http://rekod.ru/.../Годовой%20отчет%20ОАО%20НПК%20РЕКОД%202013))

# Launchers

Приложение к журналу «Космические исследования и технологии»



КОСМОДРОМЫ  
И НОСИТЕЛИ



Страсти по «лунному» двигателю

Перспективный проект для двух стран

# НК-33: «ОКНО ВОЗМОЖНОСТЕЙ»



**Дмитрий ВОРОНЦОВ,**  
независимый эксперт в области ракетно-космической техники,  
Россия

*«Нет двигателя — и любая самая совершенная конструкция ракеты со всей ее начинкой мертва»*

*Академик В.П.Глушко*



**В** какое динамичное время мы живем! Еще несколько месяцев назад мы дружно рукоплескали стартам американского «Антареса» и российского «Союза-2.1в», предрекая ренессанс легендарного двигателя НК-33. Но в октябре все изменилось.

28 октября при старте со Среднеатлантического космического порта MARS примерно на 13 секунде полета потерпел аварию коммерческий носитель «Антарес», чья первая ступень оснащена двумя ракетными

двигателями AJ-26, являющихся модификацией советских НК-33. Ракета была подорвана дежурным офицером безопасности за считанные мгновения до падения на землю. Ракета и ее полезная нагрузка — корабль Sygnus и несколько микроспутников — были потеряны, стартовый комплекс получил существенные повреждения.

Обычно расследование такого рода аварий занимает от нескольких недель до нескольких месяцев. Лишь после этого компетентная комиссия сообщает о наиболее вероят-

ной причине аварии. В данном случае все было не так. Уже через несколько дней после аварии «Антареса» руководство Orbital сообщило, что вероятной причиной инцидента стал отказ турбонасосного агрегата одного из двух AJ-26.

Дальнейшее использование AJ-26 на ракетах «Антарес» приостановлено на неопределенный срок, до того момента, когда будет подтверждена возможность их безопасного использования. Очевидно, данная оговорка — лишь форма речи, поскольку в том же заявлении руководители OSC заявили о намерении до 2017 года создать для «Антареса» новую двигательную установку. Одновременно было объявлено о переносе оставшихся миссий программы CRS-1 по коммерческой доставке грузов на МКС на носители других провайдеров. В частности, называется носитель Falcon 9 «заклятого друга» — компании SpaceX.

Похоже, единственным проигравшим в данной истории стал НК-33. Как выяснилось, громкая авария стала лишь удачным информационным поводом для объявления давно принятого решения. Еще около года назад компа-

ния Orbital провела тендер на новый ракетный двигатель для первой ступени РН «Антарес». Насколько известно, рассматривались несколько вариантов. Компания ATK — давний партнер Orbital и один из мировых лидеров в области твердотопливных двигателей — предложила мощный РДТТ. Orbital также присматривалась к РД-180, рассматривала предложения российских компаний — обновленный НК-33 от ОАО «Кузнецов» и РД-181 от НПО «Энергомаш». Последний вариант и был выбран.

Вариант с большой твердотопливной ступенью был чреват длительными сроками отработки. РД-180 был отличным вариантом с технической точки зрения. Однако Объединенный пусковой альянс ULA, эксплуатирующий двигатель в составе первой ступени носителя Atlas V, отказал Orbital. Думается, в этом отказе не было иной подоплеку, кроме опасений Альянса столкнуться с нехваткой РД-180 в условиях обострения отношений с Россией. Теперь же, после одобрения бюджета Пентагона с поправкой сенатора Маккейна, которая предусматривает отказ от закупок РД-180, этот двигатель и вовсе оказался недоступным. Поправка Маккейна не касается 29 двигателей, заказанных еще до начала «украинского кризиса». Они будут поставлены в течение ближайших пяти лет. В принципе, запаса имеющихся и поставляемых ЖРД достаточно для эксплуатации Atlas V в течение 5-6 лет, но для других потребителей РД-180 точно не хватит.

Кстати, отвлекаясь немного в сторону, американские ракетчики тоже поставлены в не совсем удобную позицию. Atlas V является рабочей лошадкой военного космоса США. Delta IV не может в полной мере заменить своего собрата по при-



чине более высокой стоимости. Носитель Falcon 9 только на стадии сертификации для использования в интересах ВВС США. Поэтому Конгресс США выделил в оборонном бюджете 220 млн \$ на разработку американского двигателя. Однако этой суммы явно недостаточно. Учитывая, что разработка потребует не менее 1,5 млрд \$, такими темпами она будет идти около 7 лет. Это много, поскольку проблему надо решить за 3-5 лет, и то, по оценке экспертов, новый двигатель обеспечит не более 60% запусков

по федеральным заказам.

Сейчас в США ведутся работы минимум по трем проектам: освоение серийного выпуска РД-180, разработка двигателя AR1 компании Aerojet-Rocketdyne (на основе решений AJ-26), разработка метанового ЖРД VE-4 от компании Blue Origine. Все три начинания имеют достаточно высокий технический риск, и какое из них будет выбрано, станет известно, вероятно, в 2015 году.

Но вернемся к судьбе НК-33. Казалось бы, двигатель



обновленной серии являлся предпочтительным вариантом. Он был уже хорошо изучен, его технические характеристики до сих пор соответствуют высшим мировым стандартам. Кроме того, компания Aerojet-Rocketdyne, поставщик AJ-26, в 2013 году заключила с «Кузнецовым» опционный договор на поставку нескольких десятков ЖРД.

Тем не менее, выбор пал на РД-181. Оставляя в стороне моральные аспекты этого выбора, связанные с конкуренцией на внешнем рынке одной российской компании с другой, надо отметить, что такое решение имеет весомые резоны. ЖРД от «Энергомаш» базируется на проверенных серийных технологиях семейства РД-170/180/191. Фактически, РД-181 отличается от РД-191 в незначительной степени, что позволяет быстро запустить его в серию. Прототипы двигателя уже проходят испытания.

По сравнению с НК-33, РД-181 имеет более высокую тягу (почти на 30%) и несколько лучший удельный импульс. Соответственно, «Антарес» прибавит в полезной нагрузке несколько сотен килограммов. В «минусах» — более высокая масса и напряженность рабочего процесса (более высокое давление в газогенераторе и камере сгорания и более высокая температура «кислого» генераторного газа).

Таким образом, отказ американских ракетчиков от НК-33 подвешивает судьбу двигателя на «тонкий гвоздик» проекта «Союз-2.1в». Ракета стартовала всего один раз, и ее следующий пуск планируется в первом квартале 2015 года. Затем ракета будет стартовать с темпом 1...3 пуска в год. Это не та частота пусков, которая может оправдать возобновление производства НК-33. Если не будет запущен еще хотя бы один про-



ект с использованием НК-33, то на двигателе действительно придется ставить крест.

К сожалению, пока никаких проектов новых ракет, в которых мог бы применяться НК-33, на горизонте не видно. Еще в 2008-2009 гг. перспективным считался «Союз-2-3» — по сути, «Союз-2.1В, но оснащенный четырьмя «боковушками». Грузоподъемность данного варианта достигала 10 и более тонн. Увы, в настоящее время статус проекта не определен, упоминаний на сайте ГРЦ «Прогресс» об этой ракете нет. Скорее всего, проект приостановлен или вообще закрыт. В любом случае, данный проект был противоречивым: он мог обеспечить существенный рост грузоподъемности «Союзов», одновременно

консервируя их технологическую архаичность. От чего, собственно, РКЦ «Прогресс» и хочет уйти в проекте «Союз-5».

Между тем, использование РД-193 в ракете-носителе «Союз-2.1В» также нельзя назвать безусловно удачным. Конечно, с точки зрения серийных поставок, двигатель «Энергомаша», вероятно, предпочтительнее. Но полная переделка двигательной установки таит и немало минусов.

Во-первых, потребуется ощутимое время на переработку конструкции первой ступени и всей ракеты. Изменится компоновка хвостового отека, вероятно, придется менять диаметр трубопроводов, поменяется большое количество арматуры. Придется провести исследова-

ния динамических характеристик РН с учетом новых частотных параметров нового ЖРД. Придется заново произвести прочностной расчет, поскольку пустотная тяга вырастет на 40 тс. Естественно, придется заново произвести статические и динамические прочностные испытания. Наконец, придется провести полный цикл холодных и огневых стендовых испытаний комплектной первой ступени. В общем, работы — на несколько лет.

Есть и еще один минус, незаметный с первого взгляда. Сейчас «Союз-2.1в», выводя на низкую околоземную орбиту до 3,1 тонны полезного груза, позиционируется чуть ниже «Ангары-1.2» (грузоподъемность 3,8 т). То есть, самарская



ракета занимает свою нишу и «как бы» не слишком конкурирует с ракетой «особой государственной важности». Между тем, баллистические расчеты показывают, что даже с НК-33 «Союз-2.1в» может вывести на низкую орбиту до 3,9 тонны.

Разница в расчетной и официально объявленной грузоподъемности, скорее всего, объясняется затратами энергии на выполнение пространственного маневра, обеспечивающего попадание отделившейся первой ступени и головного обтекателя в существующие районы падения. Если это ограничение снять, то грузоподъемность приблизится к расчетной, а ракета «Союз-2.1в» станет прямым конкурентом легкой «Ангара». А теперь проведем тот же

расчет, но уже с двигательной установкой на основе РД-193. Результат — более пяти тонн на низкой орбите! Но ведь это уже выводит «Союз-2.1в» в класс средних носителей, где ниша уже занята «Союзами — У/ФГ и - 2».

Рост энергетики легкого носителя вплоть до диапазона РН среднего класса противоречит тенденции изменения массы малых космических аппаратов (МКА). Они в среднем теряют в весе. По экспертным оценкам, вскоре спутник ДЗЗ с разрешением лучше 1 м может быть создан в массе 50-100 кг. Поэтому наращивание грузоподъемности «Союза-2.1в» бессмысленно. Лучше направить усилия в русло улучшения стоимостных и эксплуатационных характеристик. В общем, в данном случае НК-33 предпочтительнее.

В данной ситуации встает вопрос о судьбе уже имеющихся НК-33. Здесь возможны варианты. Самый простой — «каждый остается при своих». Россия «отстреливает» имеющийся запас в пусках легкого «Союза», а американцы расходуют свои AJ-26 в различных стендовых испытаниях и, не исключено, в пусках «Антаресов», если надежность двигателей будет подтверждена.

Второй вариант — выкупить у Aerojet оставшиеся двигатели. Это маловероятно как по политическим, так и техническим причинам. Последние заключаются в устранении всех «американских» доработок, материалов и элементов конструкции AJ-26, чтобы вернуть его в оригинальное состояние НК-33. Это хлопотно,



дорого и чревато повреждениями конструкции. На наш взгляд, затея не стоящая.

Неужели, дни НК-33 сочтены, и смысла возобновлять его производство нет? На наш взгляд, для легендарного двигателя все же есть «окно возможностей». Повторимся, до сих пор НК-33 — один из лучших кислородно-керосиновых ЖРД в мире. Но дело не только в этом. Простейшие соображения подсказывают, что делать ставку на единственное семейство ракетных двигателей опасно. Случись серьезная авария, весь парк носителей, использующий их, встанет на прикол. В США, к примеру, сделали ставку на одновременное использование носителей с разными двигателями: Atlas V, Delta IV и Falcon 9.

Понятно, что США богаче и ресурсов у них больше. Но

и в России многими высказываются идеи о необходимости взаимной подстраховки различных ракет-носителей. Так, бывший заместитель Д.И. Козлова и шеф-проектант ЦСКБ Г.Е. Фомин высказал идею параллельной «Ангаре» разработки еще одного семейства РН на основе двигателя НК-33. Рассмотрим эту возможность.

Что же можно сделать, используя НК-33? Кроме «Союза-2.1в» возможны многочисленные варианты РН различной грузоподъемности. К примеру, РН стартовой массой 250 т, оснащенная двумя двигателями НК-33 на первой ступени и использующая модифицированный блок «И» от РН «Союз-2.1б», способна вывести на низкую орбиту более 8 тонн полезного груза. То есть, это прямая замена «Союзу-2.1б».



Причем более простая — всего 3 двигателя против шести — и дешевая (всего два ракетных блока простой формы). Ракетный блок первой ступени при этом может быть выполнен в диаметре 3,6...4,1 м, сохранив железнодорожную транспортабельность. Похожий проект «Русь-МС» разрабатывал ГРЦ «Прогресс» в рамках программы «Русь-М». Правда, он был рассчитан на применение РД-180В на первой ступени.

Оснадив первую ступень увеличенной заправки четырьмя НК-33 и новой ступенью с двумя РД0125 (однокамерная модификация РД0124) мы получим замену «Зениту-2» и конкурента «Ангаре-3». При этом ракета сохранит моноблочную простую конструкцию и будет вполне пригодна для выведения на орбиту пи-



лотированного корабля ПТК НП для околоземных полетов. Оснащение ракеты криогенным разгонным блоком позволит выводить на геостационарную (или на геопереходную орбиту) полезный груз, сопоставимый с выводимым «Протоном». Заметим, что в одной из предыдущих публикаций, посвященных теме возрождения проекта «Байтерек», уже был рассмотрен похожий вариант, отличающийся лишь применением РД-171М на первой ступени.

Добавив к двухдвигательному варианту два боковых блока на основе его же первой ступени, получим аналог «Ангары-А5». А если такую же

процедуру проделать с четырехдвигательным вариантом, то может быть создан носитель, сопоставимый по грузоподъемности с «Ангарой-А7». Несложно заметить, что мы только что практически сформулировали концепцию «Союза-5», только не в метановом, а в керосиновом воплощении. Иными словами, предложенная концепция может дублировать еще и разработку «Союза-5». При этом керосиновая версия перспективного носителя могла бы так же использовать строительную часть СК «Союза-2», с тем лишь достоинством, что полностью сохранялась бы топливная инфраструктура стартового комплекса.

Реализация описанной концепции может сделать перспективу возобновления производства обновленного НК-33 более привлекательной. Например, 1-2 старта «Союза-2.1в», десять пусков «восьмитонника» и пять пусков «15-тонника» потребуют — даже без учета тяжелых вариантов — 40-42 двигателей в год. С учетом резервных ЖРД и двигателей для испытаний цифра может вырасти до 50-55 двигателей ежегодно. Это уже вполне серьезная серия, достойная больших усилий. Соответственно, вкладом Казахстана могло бы стать доленое финансирование возобновления серийного выпуска,



а также разработки носителей на базе НК-33.

Можно пофантазировать и о более экзотичных проектах. Лет семь назад автор совместно с И. Афанасьевым сформулировал концепцию частично многоразового «космического такси» для низкоорбитального туризма. Идея предполагала спасение и повторное спасение двигателя НК-33-1, который должен был устанавливаться на первой ступени системы в спасаемой капсуле. Однако надо признать, что при настоящем положении дел эта идея вряд ли осуществима.

Во-первых, по настоящему многоразовый НК-33 еще не создан. Длитель-

ная работа на стенде с многоразовыми запусками — этого недостаточно для многократного использования в полете. Многоразовый ЖРД должен выдерживать полетные динамические нагрузки и ударные нагрузки при посадке. Его конструкция должна быть приспособлена к техническому обслуживанию и ремонту. Во-вторых, концепция многоразового «космического такси» требует куда более тщательной проработки с учетом экономики и проблем безопасности. Во всяком случае, сейчас это не тот проект, в который стоит вкладывать деньги.

Мы уже неоднократно возвращаемся к теме участия

Казахстана в ракетных проектах различного назначения и различной сложности. Проблема такого участия во все не в технических или финансовых трудностях — они преодолимы. При этом сам носитель может быть любым — коммерческим или «государственным», большим или маленьким, жидкостным или твердотопливным. Это не столь уж и важно. Центральный вопрос национального ракетостроения — это правильная постановка целей и наличие политической воли для их достижения. Без этого любая ракета, какой бы хорошей она ни была, так и останется на бумаге. ■

# «Чистый» разгонный блок для «Союза»



**Дмитрий ВОРОНЦОВ,**  
независимый эксперт в области ракетно-космической техники,  
Россия



**В** предыдущей статье, посвященной будущему проекта «Байтерек» в качестве основной альтернативы ранее рассматривавшимся вариантам носителя, была предложена РН «Союз», оснащенная новым разгонным блоком. Актуальность данной темы подтверждается намерением России уже в 2025 г. осуществить пуск РН «Союз» с разгонным блоком «Двина-МЛ». Каким он может быть?

## Зачем менять «Фрегат»?

В настоящее время «Союз» — это один из самых надежных космических носителей. Кроме того, несмотря на неблестящую технологичность, эта ракета по экономическим показателям пока еще удовлетворяет современным требованиям. Определенным недостатком «Союза» является использование космического разгонного блока (КРБ) «Фре-

гат». Впрочем, слово «недостаток», скорее, относится не к конструкции «Фрегата», который, безусловно, является блестящим инженерным достижением. Речь идет об использовании в КРБ токсичных компонентов топлива.

Дискуссию о токсичности и экологической опасности гептила (несимметричного диметилгидразина) и амила (азотного тетраоксида) можно вести бесконечно. Но факт остается фактом — эти вещества реально являются опасными. Но и кроме этого у долгохранимых компонентов есть недостатки.

Во-первых, синтетическое горючее всегда очень дорогое. Во времена С.П. Королева НДМГ стоил дороже жидкого водорода. Он и сейчас не дешев. Во-вторых, у пары «гептил+амил» далеко не рекордная энергетика: даже высотные ЖРД не могут похвастать удельным импульсом более 332...335 сек. В-третьих, если мы говорим о «Союзе», то надо отметить отсутствие заправочной инфраструктуры РБ «Фрегат» на стартовом комплексе. Заправку блока приходится проводить в от-

дельном помещении, затем уже заправленный блок стыкуется с РН, потом вместе с ней транспортируется на стартовый комплекс. В ходе каждой из этих операций есть риск разгерметизации топливных баков РБ с соответствующими последствиями, в том числе тяжёлыми.

Практически, у гептила и амила есть три достоинства в техническом плане. Эти компоненты являются самовоспламеняющимися, что здорово упрощает и облегчает конструкцию ЖРД. Средняя плотность топливной пары «гептил-амил» довольно высока (выше чем у пары «жидкий кислород-керосин»), что обеспечивает более низкую массу конструкции. Этому же способствует и то, что оба компонента являются жидкими при нормальных условиях, а значит, проще сделать баки с совмещенными днищами, облегчив конструкцию.

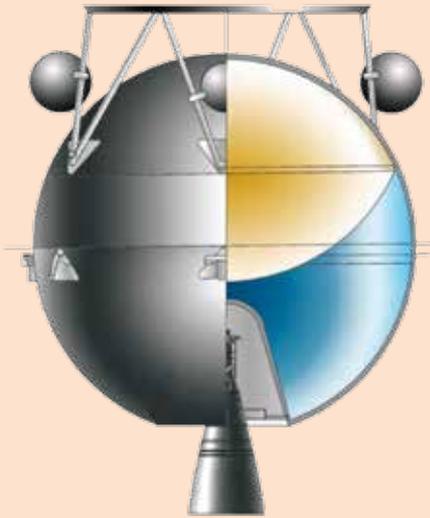
В любом случае, дальнейшее использование гептила и амила, какими бы достоинствами они не обладали, сопряжено с большими политическими издержками: общественность убеждена, что эти компоненты опасны, и никакими разумными доводами эту ситуацию исправить нельзя. В данном случае, политически оправдано создание нового, экологически чистого КРБ.

Здесь, пожалуй, следует сделать оговорку насчет упоминания «политического момента». Дело в том, что космонавтика зародилась и развивалась именно благодаря политике. Во многом это развитие связано с общественной поддержкой, потеря которой равносильна катастрофе. Что касается обсуждаемой ситуации, то здесь разработка КРБ на нетоксичных компонентах позволяет «убить нескольких зайцев»: удовлетворить запрос обще-



Разгонные блоки на высокоэффективном топливе

РБ на кислороде и метане  
(РН «Союз»)



Масса блока — 8,5 т в том числе  $CH_4$  — 1,75 т  
ДУ: ЖРД тягой 2 тс  
 $I_{уд} = 370$  с

Проведен сравнительный анализ эффективности использования перспективных двигательных установок в составе разгонного блока (верхней ступени) для ракет-носителей среднего класса типа «Союз».

Двигатель	Компоненты топлива	$M_{КА}$ , кг
С5.92	АТ + НДМГ	600–880*)
РД-161	$O_2$ + РГ-1	880–1130*)
С5.149	$O_2$ + СПГ	1170–1420*)
РД-0126	$O_2$ + $H_2$	1200–1440*)
СТРДУ	$O_2$ + $H_2$	2100, 60 суток
ЭРДУ	РБ на $O_2$ + УВГ	2100, 180 суток

\*) с доразгоном.

В частности, показано, что применение разгонного блока с ДУ на компонентах кислород-метан обеспечивает повышение энергетической эффективности носителя в ~1,5 раза по сравнению со штатным РБ «Фрегат-СБ».

ственности, улучшить энергетику и экономику ракетного комплекса.

**Немного о разгонных блоках**

Космический разгонный блок необходим для формирования орбит и траекторий, требующих больших затрат энергии. Например, энергетические возможности обычной двухступенчатой ракеты, использующей керосин и жидкий кислород, исчерпываются очень быстро: уже на высоту 700-800 км она не способна, обычно, вывести какой-либо полезный груз при непрерывном выведении. Обеспечение возможности повторного запуска двигателя верхней ступени существенно улучшает энергетику носителя. Но наибольший эффект дает применение КРБ, которые стали неотъемлемым атрибутом большинства ныне эксплуатируемых ракетных систем.

В зависимости от располагаемой энергетики, КРБ можно условно разделить на две категории: блоки довыведения и межорбитальные буксиры. Первые используются для формирования сравнительно невысоких орбит, а также для повышения точности выведения, например, при использовании твердотопливных маршевых ступеней. Примерами блоков выведения служат «Икар» и «Волга», созданные в «ЦСКБ-Прогресс» (ныне РКЦ «Прогресс») на основе приборно-агрегатных отсеков спутников серии «Янтарь» для РН серии «Союз», а также ступень AVUM европейской ракеты Vega. Межорбитальные буксиры предназначены для выведения космических аппаратов на высокие круговые, высокоэллиптические, геопереходные и геостационарную орбиты, а также на отлетные траектории к небесным телам.

Несмотря на различие в энергетике, и БВ и КРБ обладают множеством общих черт. В силу специфики функционирования они сочетают в себе черты как ракетной ступени, так и космического аппарата. С ракетной ступенью разгонный блок роднят относительно большие запасы рабочего тела и наличие маршевого двигателя. Как космический аппарат, КРБ может совершать длительный орбитальный полет. В последнем случае его необходимо оснащать специфическими системами: стабилизации и ориентации; обеспечения запуска двигателей; обеспечения теплового режима.

К космическим разгонным блокам применяются и специфические требования:

- возможность длительного — от нескольких часов до нескольких суток — автономного полета;



- возможность многократного (от двух до пяти и более раз) запуска маршевого двигателя для формирования разнообразных орбит;

- «безмоментный» сброс дренажа для уменьшения возмущений движения на пассивных участках полета;

- минимальный объем, занимаемый КРБ под головным обтекателем.

Последнее требование стоит пояснить особо. Оно обусловлено низкой плотностью современных телекоммуникационных спутников, которые имеют большие габариты. Но объем (а значит и габариты) головного обтекателя нельзя наращивать неограниченно из-за аэродинамических нагрузок и ограничений по массе. Поэтому, если КРБ также расположен в дефицитном объеме ГО, он должен занимать как можно меньше места.

#### Каким быть новому разгонному блоку?

Облик КРБ определяют тип топлива, количество ступеней, тяга ракетного двигателя и общая компоновка. Рассмотрим эти факторы подробнее.

Выбор нетоксичных топливных пар, из числа более или менее освоенных компонентов, достаточно ограничен: керосин, жидкий метан (ЖМ) или сжиженный природный газ (СПГ), жидкий водород (ЖВ), жидкий кислород (ЖК), высококонцентрированная перекись водорода (ВПВ). Применительно к космическому ракетному комплексу «Союз» предпочтительны пары «ВПВ+керосин» и «ЖК+керосин», поскольку входящие в них компоненты уже применяются в «Союзе». Перекись и керосин являются долгохраняемыми компонента-



ми, а топливо на их основе имеет высокую плотность. Увы, низкий удельный импульс (даже ниже, чем при использовании гептила и амила) — примерно 315...320 сек — сводит на нет эти достоинства.

Керосин и ЖК являются давно освоенными и недорогими компонентами ракетного топлива. Они сочетают в себе достаточно высокую энергетику, относительную экологическую чистоту и низкий технический риск. На этих компонентах работали блоки «Л» и «ЛМ», а ныне работают КРБ серии «ДМ». Недостатком данного топлива является криогенность кислорода, а также относительно низкая средняя плотность – примерно на 30% ниже, чем у пары «ВПВ-керосин».

Самые экологически чистые топливные пары — «ЖК+ЖВ» и «ЖК+ЖМ (СПГ)».



Применительно к ракете-носителю «Союз» использование жидкого водорода выглядит не слишком оправданным. В малой размерности кислородно-водородные разгонные блоки имеют низкое массовое совершенство при высокой стоимости. Тем не менее, в РКЦ «Прогресс» несколько лет назад рассматривался вариант водородного разгонного блока «Дельфин». Из-за высокого значения удельного импульса двигателя водородный разгонный блок выигрывает по энергетике, но по соотношению «эффективность-стоимость», вероятно, это не лучший вариант.

Жидкий метан (СПГ) может оказаться именно тем компромиссом, который даст «Союзу» новое качество. Пара ЖК и ЖМ (СПГ) обеспечивает

заметно более высокий удельный импульс по сравнению с керосином и жидким кислородом. В то же время, средняя плотность кислородно-метанового топлива существенно выше, чем у кислородно-водородного. По оценкам Центра Келдыша, выполненным несколько лет назад, разгонные блоки с этими двумя видами топлива практически равноценны по энергетическим возможностям. По стоимости же метан существенно выигрывает у водорода.

Выбор топлива неразрывно связан с определением основных схемных решений, а также с оптимизацией основных проектных параметров. Важнейший структурный вопрос — количество ступеней КРБ. Здесь вопрос

практически решается однозначно — одна ступень. В некоторых случаях, когда другие способы наращивания энергетики исчерпаны, КРБ могут оснащаться сбрасываемыми баками. Примером такого решения служат разгонные блоки «Бриз-М» и «Фрегат-СБ». Но для ситуации «проектирование с нуля» и тех значений характеристической скорости, которая характерна для основных миссий (выведение на геостационар, отправка КА к Луне и Марсу) — а это примерно 3.2...5.0 км/с — одной ступени вполне достаточно.

Что касается тяги двигателей, то она является оптимизируемым параметром. Чем выше тяга, тем ниже гравитационные потери, но, с другой стороны, растет ко-



пов двигателей лежит в пределах 0,165...0,17. Соответственно, тяга двигателя – примерно 1,4..1,45 тс. Результаты расчета сведены в Таблицу 1.

Разумеется, приведенные цифры являются результатом «нулевого приближения». Но они уже позволяют сделать некоторые выводы. Например, следует отвергнуть КРБ, использующий в качестве окислителя высококонцентрированную перекись водорода. «Водородный» КРБ обладает, как и ожидалось, наивысшей энергетикой, но это

Параметр	Тип топлива			
	ВВП+керосин	ЖК+керосин*	ЖК+ЖМ (СПГ)	ЖК+ЖВ**
Удельный импульс в пустоте, сек	319	365	380	457
Масса ПГ при выведении на геостационарную орбиту, кг	879	1107	1319	1697
Масса рабочего запаса топлива, кг	6904	6520	6399	5828
Конечная масса КРБ, кг	820	970	880	1070
Тяга двигателя, тс	1,43	1,42	1,42	1,46

\*За основу приняты данные по ЖРД РД-161 (НПО «Энергомаш»)

\*\*За основу приняты данные по ДУ для КРБ «Дельфин» (КБ Химмаш)

нечная масса КРБ. По оценкам Центра Келдыша и других профильных организаций для КРБ, предназначенного для РН «Союз», оптимальная тяга двигателя равна 2 тс. Для проверки этих данных было проведено численное моделирование основных проектных параметров КРБ на различных компонентах топлива. Расчет велся, исходя из следующих допущений:

- используется РН «Союз-2.16»;
- третья ступень РН выводится не на замкнутую орбиту, а на переходную эллиптическую траекторию с апогеем 200 км, перигеем -10 км, а отделение ступени происходит на высоте 160 км. Данный способ выведения обеспечивает падение ступе-

ни в «антиподную точку» (не загрязняется околоземное пространство), а также сохранение основных летных характеристик ракеты — максимальных перегрузок и скоростных напоров — и зон падения отделяемых частей;

- в качестве целевой орбиты рассматривается геостационарная;
- выведение на целевую орбиту осуществляется по гомановской схеме (приращение характеристических скоростей мгновенными импульсами) с учетом гравитационных потерь, зависящих от тяговооруженности КРБ.

При этих допущениях начальная масса КРБ на переходной орбите составляет примерно 8600 кг. Оптимальная тяговооруженность для всех ти-

самый дорогостоящий и, вероятно, длительный по срокам реализации, вариант. Для дальнейшего рассмотрения стоит, пожалуй, оставить варианты с керосином и метаном.

Самой сложной технической задачей будет разработка абсолютно нового ЖРД. Для керосинового разгонного блока за основу можно взять наработки 20-летней давности, выполненные в НПО «Энергомаш» по двигателю РД-161 тягой 2 тс. Создание такого двигателя займет не менее 5 лет.

Не менее важен вопрос об общей компоновке КРБ. Здесь возможно множество вариантов и конкретный будут выбирать проектанты. Здесь лишь остановимся на некоторых особенностях подходов к компоновке.



Традиционная «осевая» компоновка ракетных блоков, когда его составные части располагаются последовательно друг за другом вдоль продольной оси (бак окислителя, межбачковый отсек, бак горючего, хвостовой отсек с двигательной установкой), зачастую не подходит для КРБ малой размерности. Попытка вписать блок в диаметр последней ступени ведет к вырождению цилиндрических баков в тяжелые «чечевицы» и к появлению избыточных объемов. Плотность компоновки и массовое совершенство получаются низкими.

Указанные недостатки могут быть устранены (или смягчены) при переходе к «радиальной» компоновке, когда топливные баки разносятся по периферии выделенного объема, а двигательная установка и другие системы и агрегаты

размещаются в освободившемся центральном пространстве. Примером такой схемы являются блоки «Л» с тороидальными баками, а также блоки «Бриз-М» и «Фрегат». Тороидальные баки также «тяжелые» (примерно в полтора раза тяжелее равного по объему цилиндрического бака), но здорово уплотняют компоновку.

Компоновку, подобную «фрегатской», можно применить и для метанового блока, где температуры компонентов близки. Для керосинового КРБ, где разница температур достигает до 200 градусов по Цельсию, подобный вариант не применим, но и здесь можно дать волю фантазии (см. например, Рис.1). Но, повторимся, выбор конкретного варианта компоновки разгонного блока будут делать специалисты.

### Участие Казахстана

В прошлой публикации уже рассматривалось в общих чертах возможное участие Казахстана в проекте. Сейчас это участие можно попробовать оценить подробнее. С деньгами все понятно – финансовый вклад в проект дает Казахстану право участвовать в нем на равноправных партнерских началах. Гораздо интереснее оценить внос страны в технику.

Участие в проектировании казахстанских специалистов, в силу существующего положения, будет, вероятно, носить характер обучения «на конкретном примере». Учитывая, что КРБ сочетает в себе черты ракет и космических аппаратов, можно полагать, что участие в проекте позволит вырастить специалистов высочайшей квалификации.

Как представляется, в Казахстане можно полностью разместить производство корпусных отсеков – баков, адаптеров, переходников, гаргротов и т.п. Двигатели, арматуру пневмогидросистемы и систему оборудования по кооперации на первых порах может поставлять Россия. Окончательную сборку КРБ можно осуществлять непосредственно на территории космодром Байконур. Со временем, по мере развития собственной производственной базы, на территорию Казахстана можно перенести изготовление практически всех элементов разгонного блока.

Здесь уместно повторить мысль, которая была высказана в одной из наших первых публикаций, посвященных космическим ракетным комплексам космодрома Байконур: выгоднее вкладывать деньги в высокотехнологичные компоненты ракет-носителей, чем в «сталь и бетон» стартовых комплексов. Приобретенный опыт позволит приступить к самостоятельным разработкам ракетно-космической техники. ■



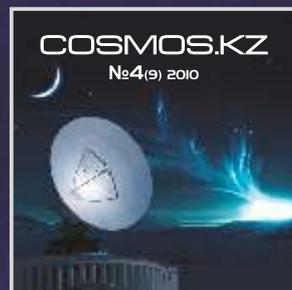
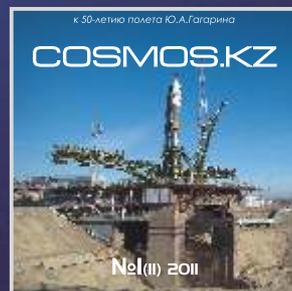
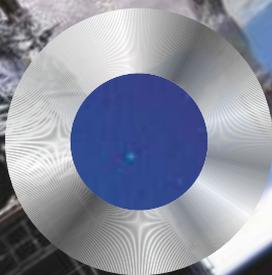
*Журнал «Космические исследования и технологии» — достоверная информация  
о международном космическом сотрудничестве*



# cosmos.kz

The first TV program  
on space technologies  
in Kazakhstan

# COSMOS.KZ



[www.cosmos.kz](http://www.cosmos.kz)