

# **Использование радиотехнических наблюдений посадочных аппаратов на Луне для уточнения эфемериды Луны**

**М. В. Васильев, Н.В. Шуйгина, Э.И. Ягодина  
Институт прикладной астрономии РАН  
г. Санкт-Петербург, Россия**

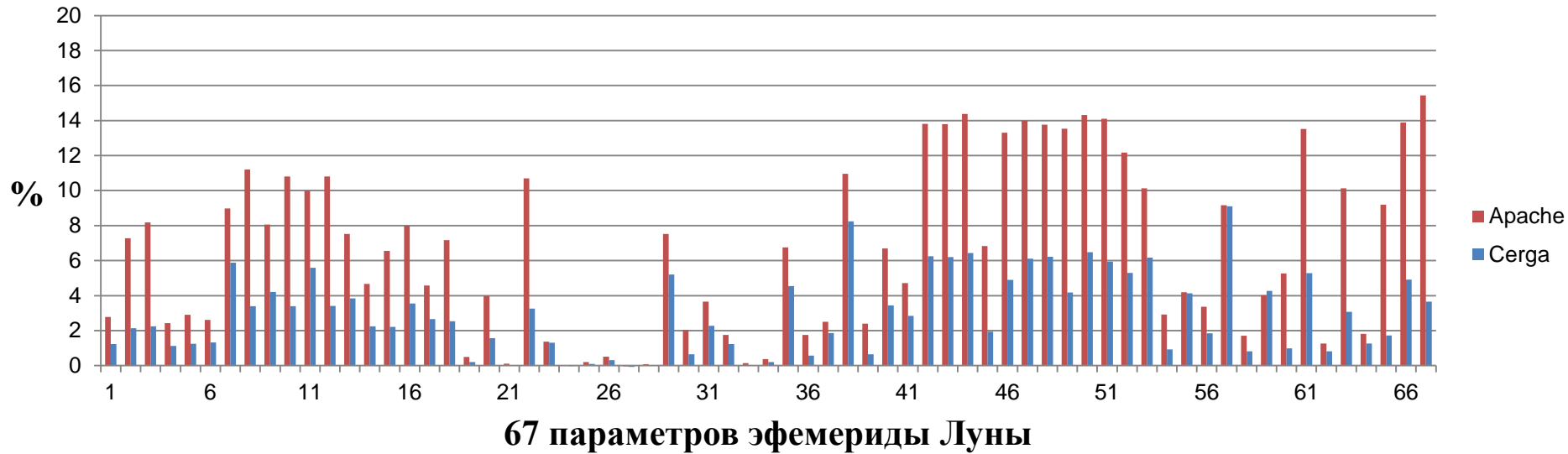
## Текущее состояние:

- Основные эфемериды Луны развивают и поддерживают 3 Института: JPL (США), IMCCE (Франция), ИПА РАН (Россия)
- ЛЛН (лунные лазерные наблюдения) – основа современных Лунных эфемерид
- В настоящее время основную массу ЛЛН получают на 3-х основных станциях: **MLRS2 (McDonald)**, **CERGA (GRASS)**, **APACHE (Apollo)**
- С 1969 по настоящее время произведено более **20000** ЛЛН

## Перспективы:

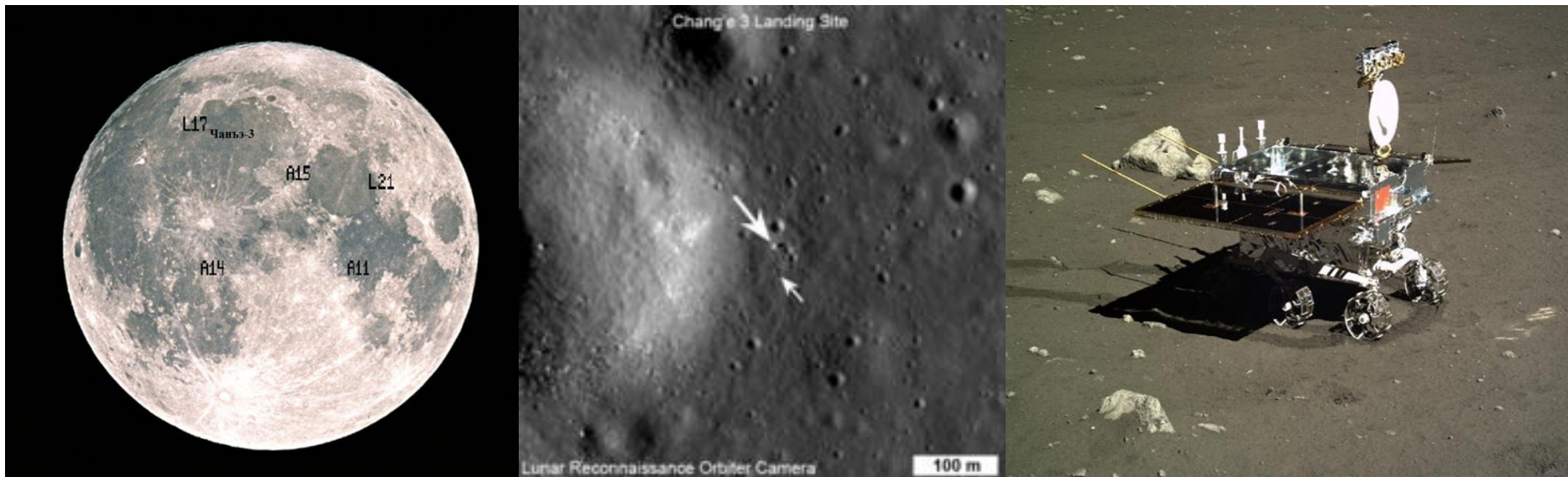
- В настоящее время существуют 2 проекта по установке новых лунных лазерных дальномеров (ЛЛД) на станциях **Алтай** (Россия) и **Ла Силья** (Европейский проект)
- Посадочные аппараты на Луне, оснащенные транспондерами для проведения ЛРН (лунные радиолокационные наблюдения), представляют особый интерес для уточнения лунных эфемерид и исследования селенодинамических параметров.

## Ожидаемое влияние Российского ЛЛД на точность эфемериды Луны: сценарии "Apache 2006" и "Cerga2006" для станции Алтай

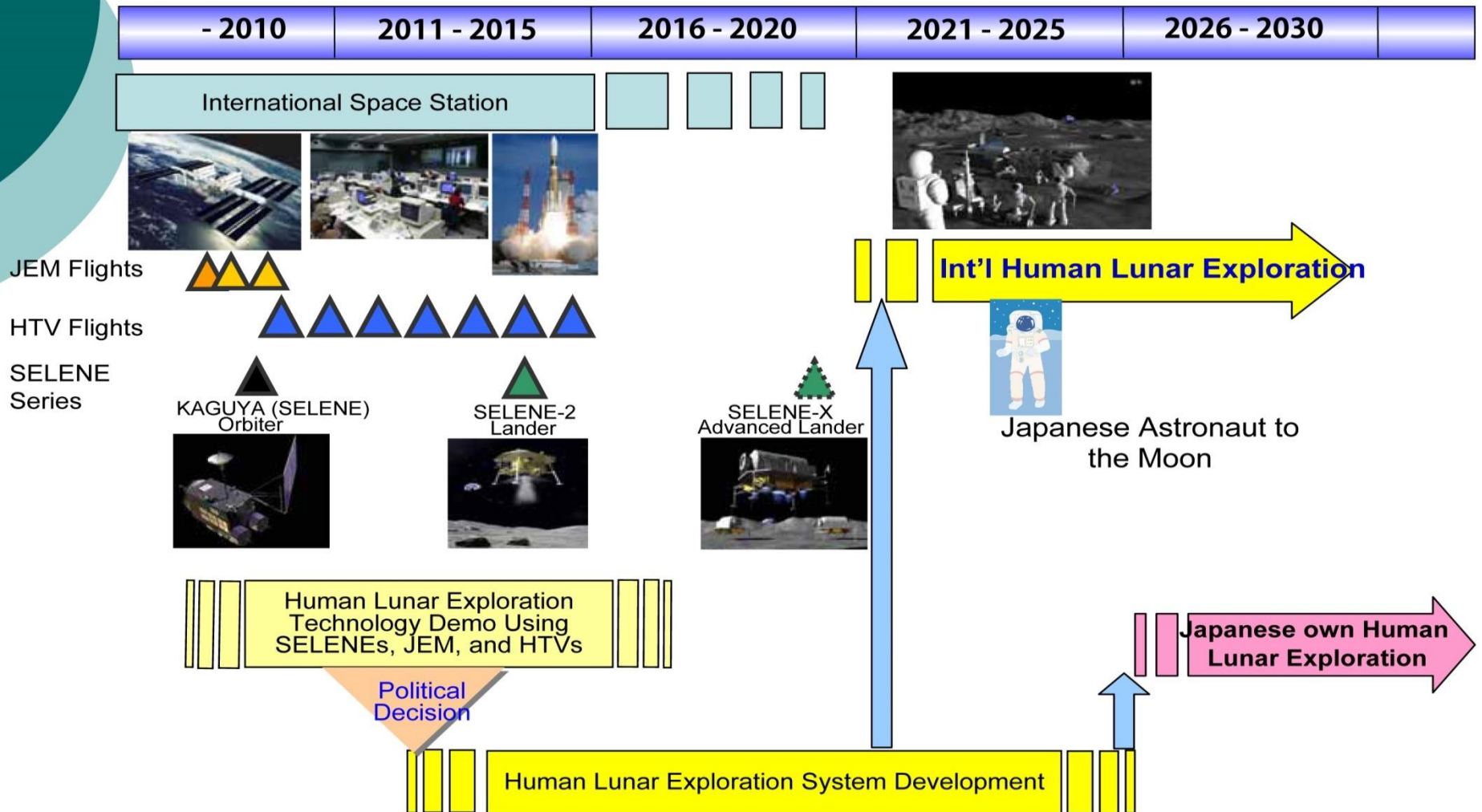


N	Parameter	N	Parameter	N	Parameter	N	Parameter	N	Parameter
1	X Moon	15	A11 PY	29	CERGA PX	42	$C_{20}$	55	T*sidt Moon
2	Y Moon	16	A14 long	30	CERGA long	43	$C_{21}$	56	T*deps
3	Z Moon	17	A14 PX	31	CERGA PY	44	$S_{21}$	57	T*dpsi
4	$V_x$ Moon	18	A14 PY	32	Halaek PX	45	$C_{22}$	58	deps
5	$V_y$ Moon	19	L2 long	33	Halaek long	46	$S_{22}$	59	dpsi
6	$V_z$ Moon	20	L2 PX	34	Halaek PY	47	$C_{30}$	60	Lag Moon
7	Libration $\Theta$	21	L2 PY	35	MLRS1 PX	48	$C_{31}$	61	k2 Moon
8	Libration $\phi$	22	A15 PX	36	MLRS1 long	49	$S_{31}$	62	A15 long
9	Libration $\psi$	23	MCD PX	37	MLRS1 PY	50	$C_{32}$	63	A15 PX
10	Libration $d\Theta/dt$	24	MCD long	38	Apache px	51	$S_{32}$	64	A15 Py
11	Libration $d\phi/dt$	25	MCD PY	39	Apache long	52	$C_{33}$	65	L1 long
12	Libration $d\psi/dt$	26	MLRS PX	40	Apache py	53	$S_{33}$	66	L1 PX
13	A11 long	27	MLRS long	41	Lag Earth	54	T*sidt	67	L1 PY
14	A11 PX	28	MLRS PY						

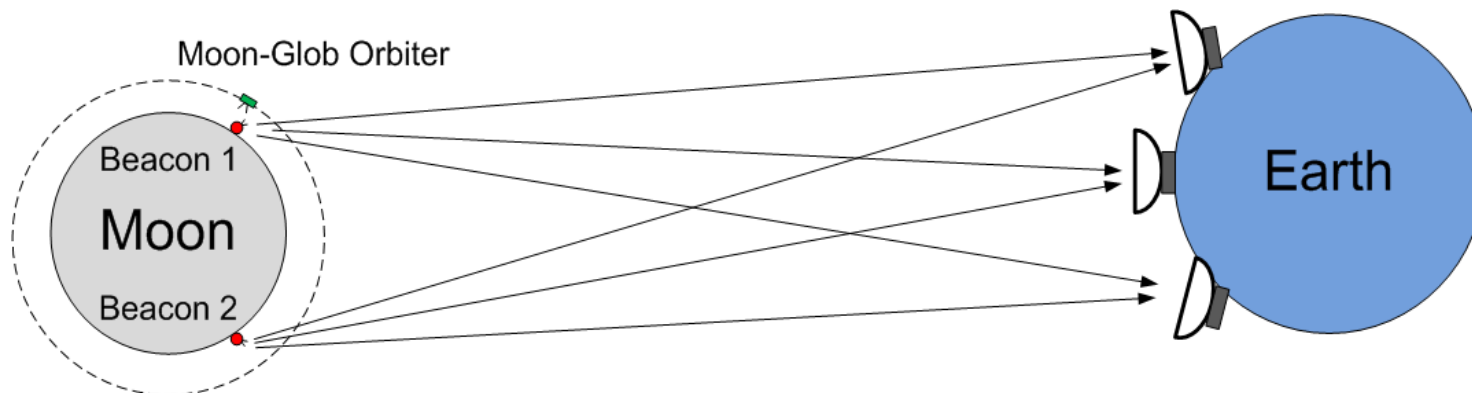
- Находится в активной фазе.
- На действующем посадочном аппарате «Чанъэ-3» установлен транспондер, позволяющий производить ЛРН и РСДБ наблюдения в X-диапазоне.
- Предполагается, что посадочные аппараты следующих миссий «Чанъэ-4,5,6» также будут оснащены аппаратурой для ЛРН и РСДБ наблюдений



## Lunar Exploration Roadmap



- Планируется, что посадочные аппараты Luna-Glob и Luna-Resource будут оснащены транспондерами, работающими в X и Ka диапазонах.
- Посадочные аппараты предполагается разместить в приполярных областях Луны.
- В качестве наземного наблюдательного комплекса предполагается использовать радиотелескопы РСДБ сети «Квазар-КВО».
- Предварительные сроки реализации проекта 2017-2019 гг.



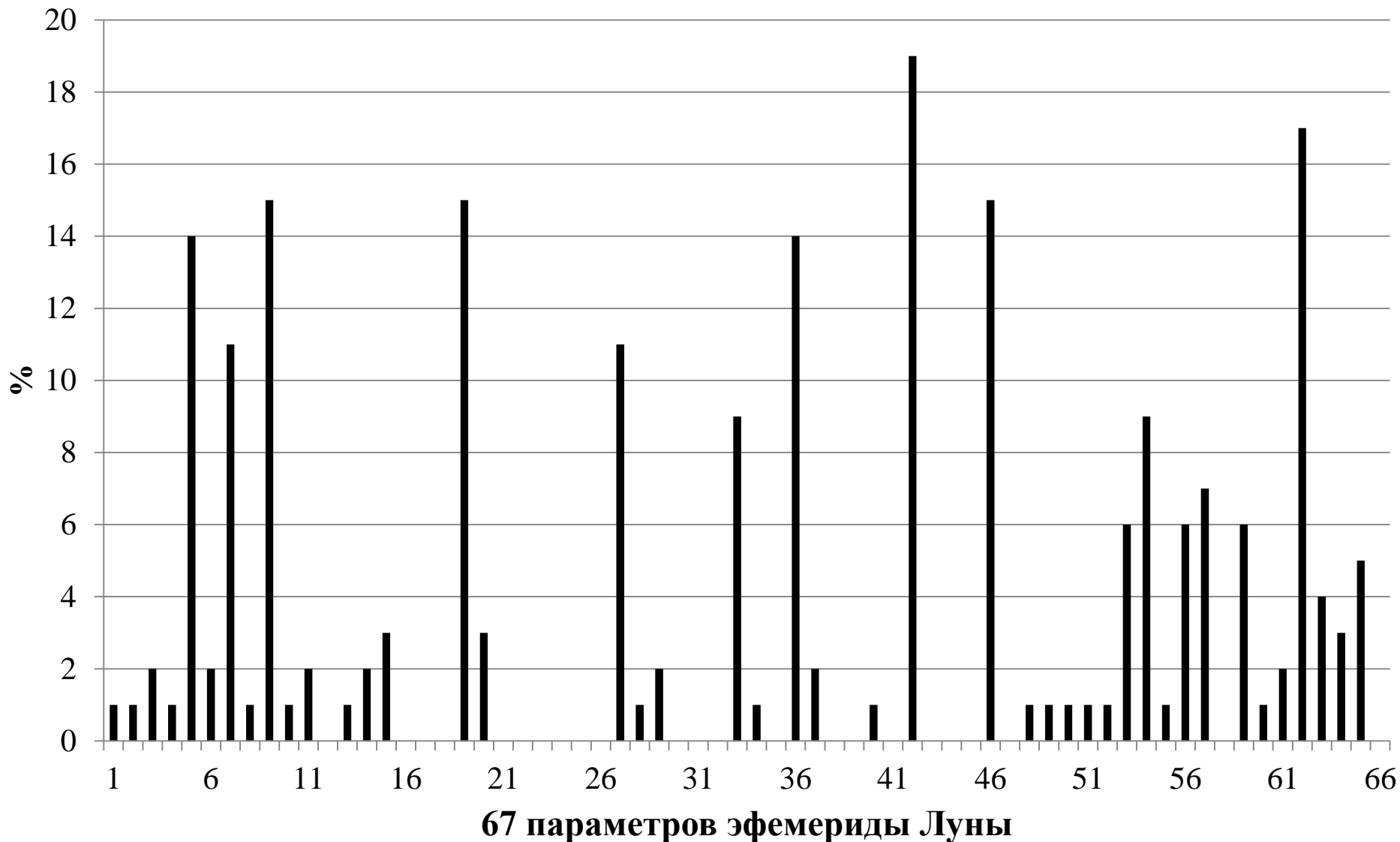
1. Моделировались радиотехнические наблюдения китайского посадочного аппарата «Чанъэ-3» станциями РСДБ сети IVS на интервале 2006-2013 г.г.
2. Предполагалось, что радиотехнические наблюдения могут проводиться в двух режимах: РСДБ и радиолокации.
3. Интервал между последовательными наблюдениями составлял 2 часа.
4. Рассматривались два варианта точностных характеристик (СКО) моделируемых радиотехнических наблюдений: 0.06 и 2 м для наблюдений с исключенными и с включенными атмосферными погрешностями, соответственно.
5. Считалось, что координаты станций РСДБ сети известны достаточно точно и не требуют уточнения в ходе обработки моделируемых радиотехнических наблюдений.
6. Для оценки потенциального влияния РСДБ и ЛРН на повышение точности эфемериды Луны использовались реальные ЛЛН и смоделированные радиотехнические наблюдения

1. 18700 реальных ЛЛН-наблюдений (1970-2013 г.г.) + смоделированные ЛРН-наблюдения с 2006 по 2013 год на станции «Зеленчукская»: СКО ЛРН-наблюдений 0.06 или 2 метра
2. 18700 реальных ЛЛН-наблюдений (1970-2013 г.г.) + смоделированные ЛРН-наблюдения с 2006 по 2013 год на станциях РСДБ сети «Квазар-КВО» : СКО ЛРН-наблюдений 0.06 или 2 метра
3. 18700 реальных ЛЛН-наблюдений (1970-2013 г.г.) + смоделированные ЛРН-наблюдения с 2006 по 2013 год на станциях РСДБ сети IVS: СКО ЛРН-наблюдений 0.06 или 2 метра
4. 18700 реальных ЛЛН-наблюдений (1970-2013 г.г.) + смоделированные РСДБ-наблюдения с 2006 по 2013 год на станциях РСДБ сети IVS : СКО РСДБ-наблюдений 0.06 или 2 метра

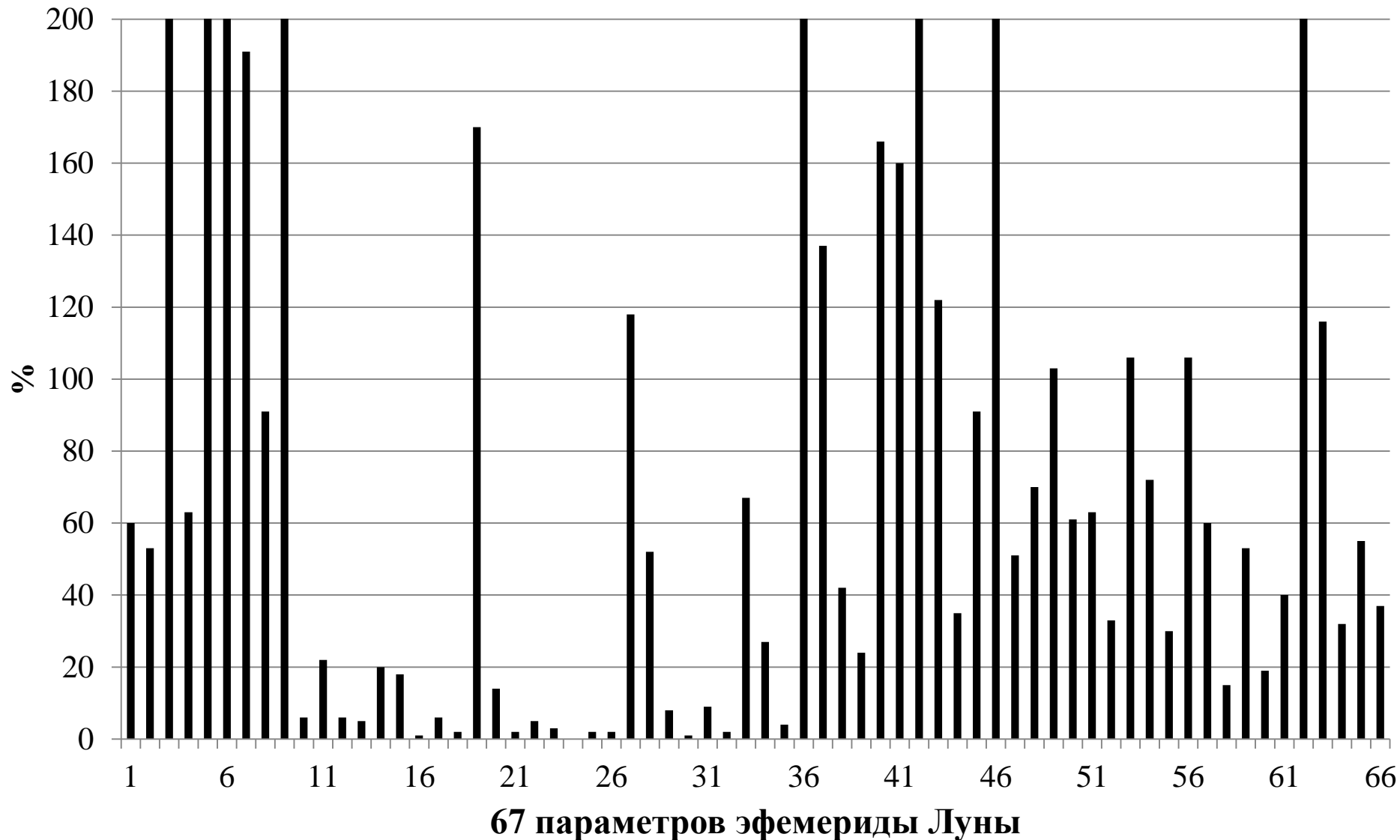


1. При моделировании предполагалось, что производилась радиолокация посадочного аппарата «Чанъэ-3» с 2006 по 2013 гг.
2. В настоящее время транспондер «Чанъэ-3» работает около 4 часов в день в течение 10 дней около фазы полной Луны.
3. По приватным сообщениям китайских коллег точность ЛРН наблюдений может конкурировать с точностью ЛЛН наблюдений и составляет по разным оценкам от единиц сантиметров до единиц миллиметров.
4. По предварительным соглашениям с китайскими коллегами ЛРН-наблюдения будут предоставлены для анализа и использования при построении эфемерид Луны EPM-ERA.

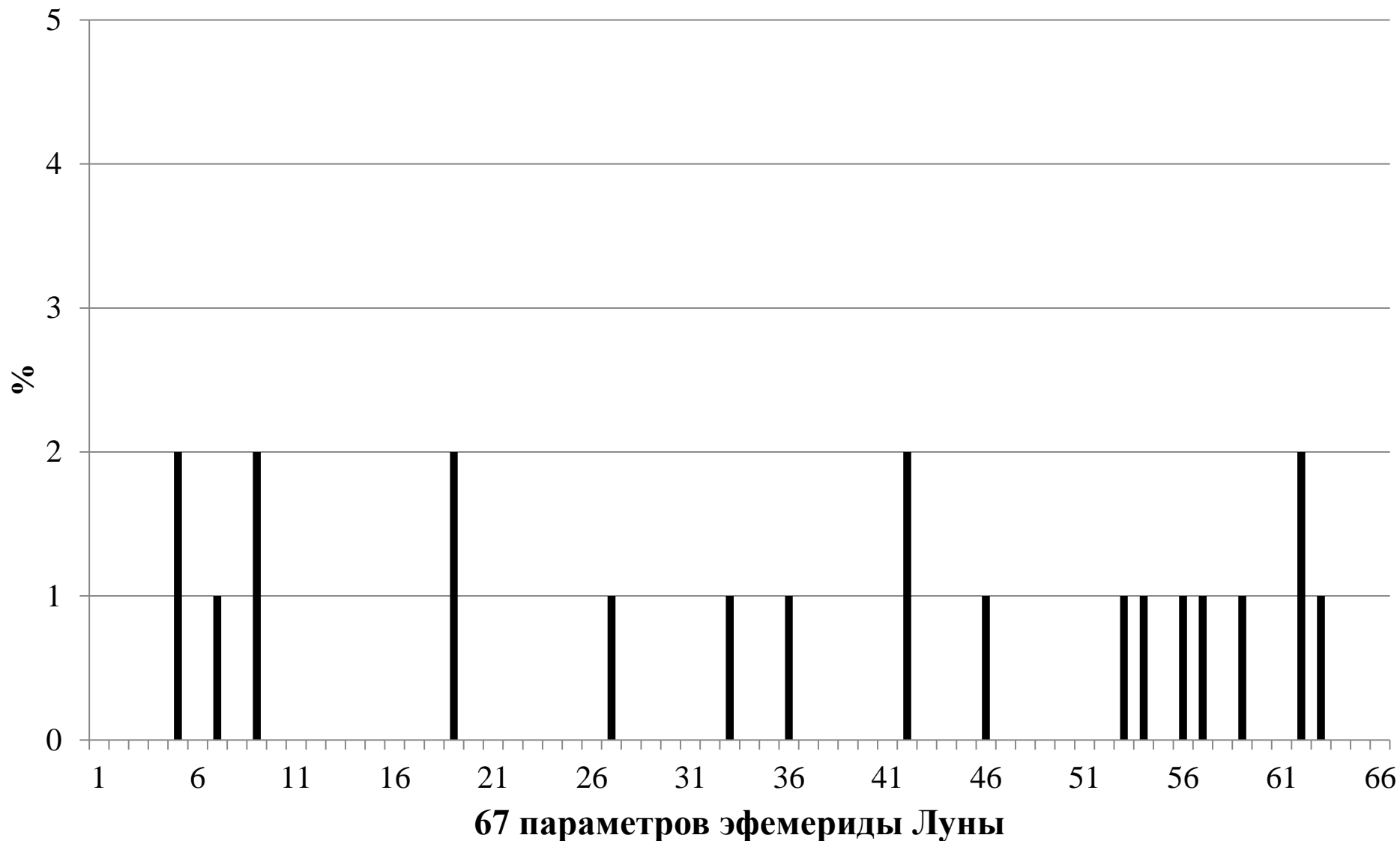
РСДБ-сеть IVS, СКО наблюдений 2 метра



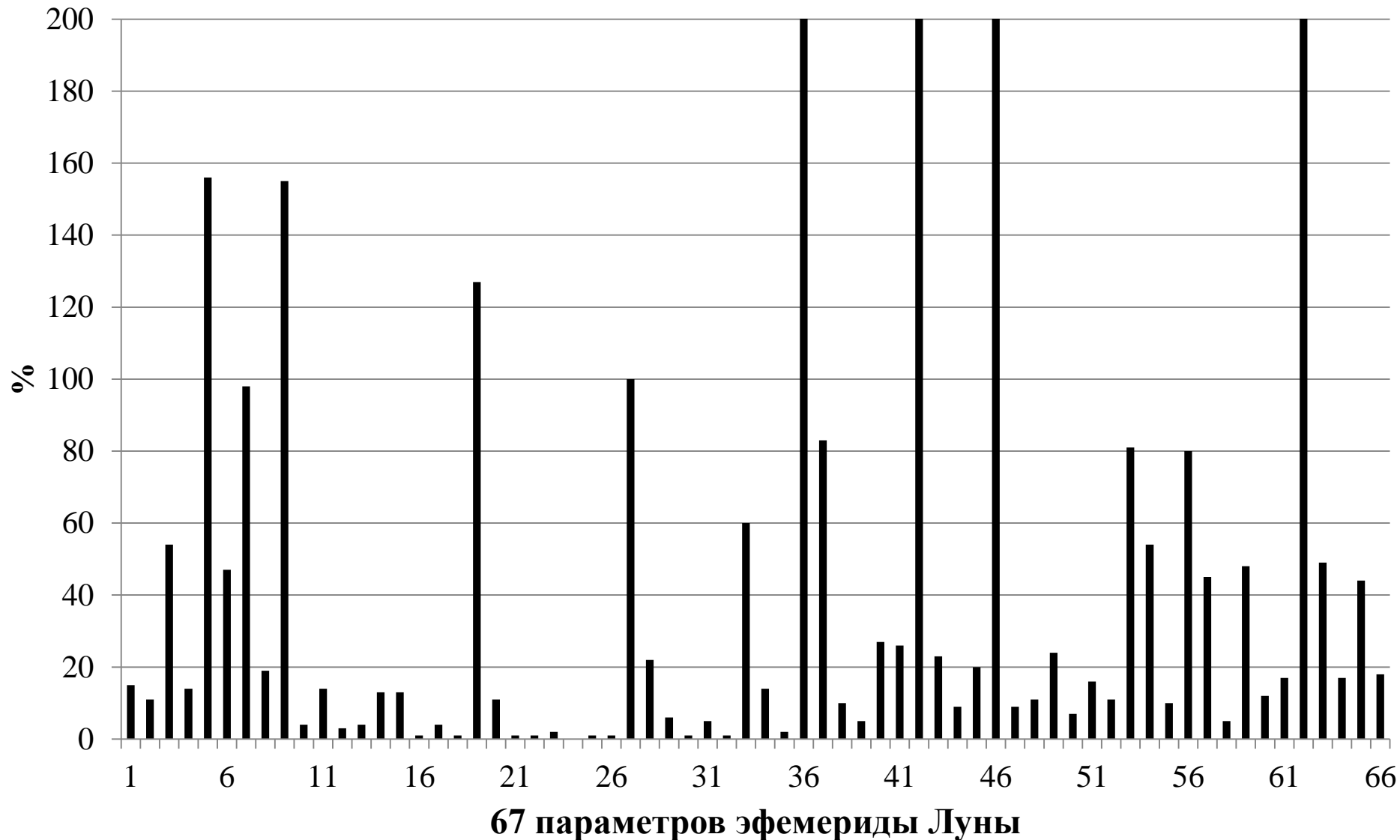
РСДБ сеть IVS, СКО наблюдений 0.06 метра



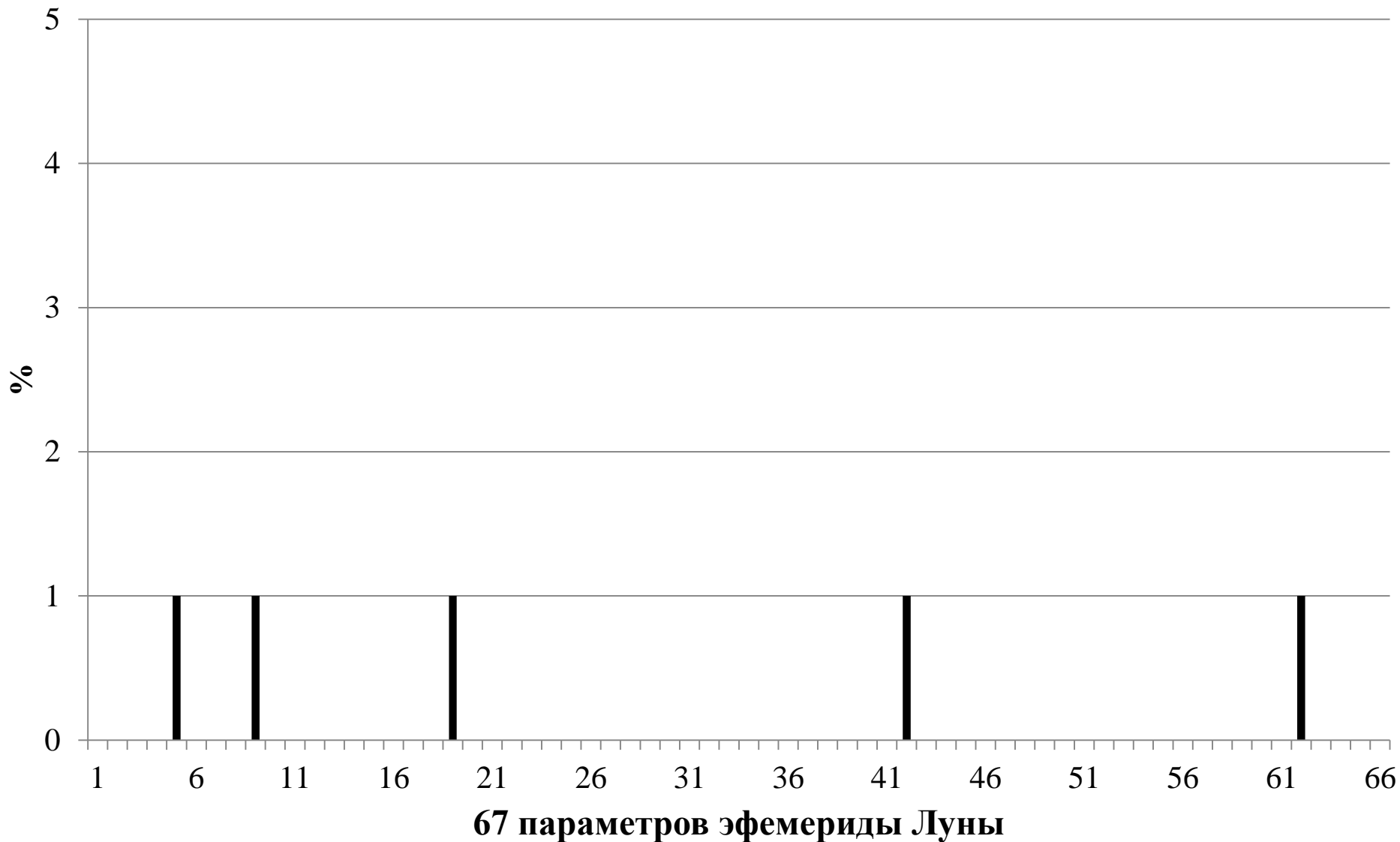
## РСДБ сеть «Квazar-КВО», СКО наблюдений 2 метра



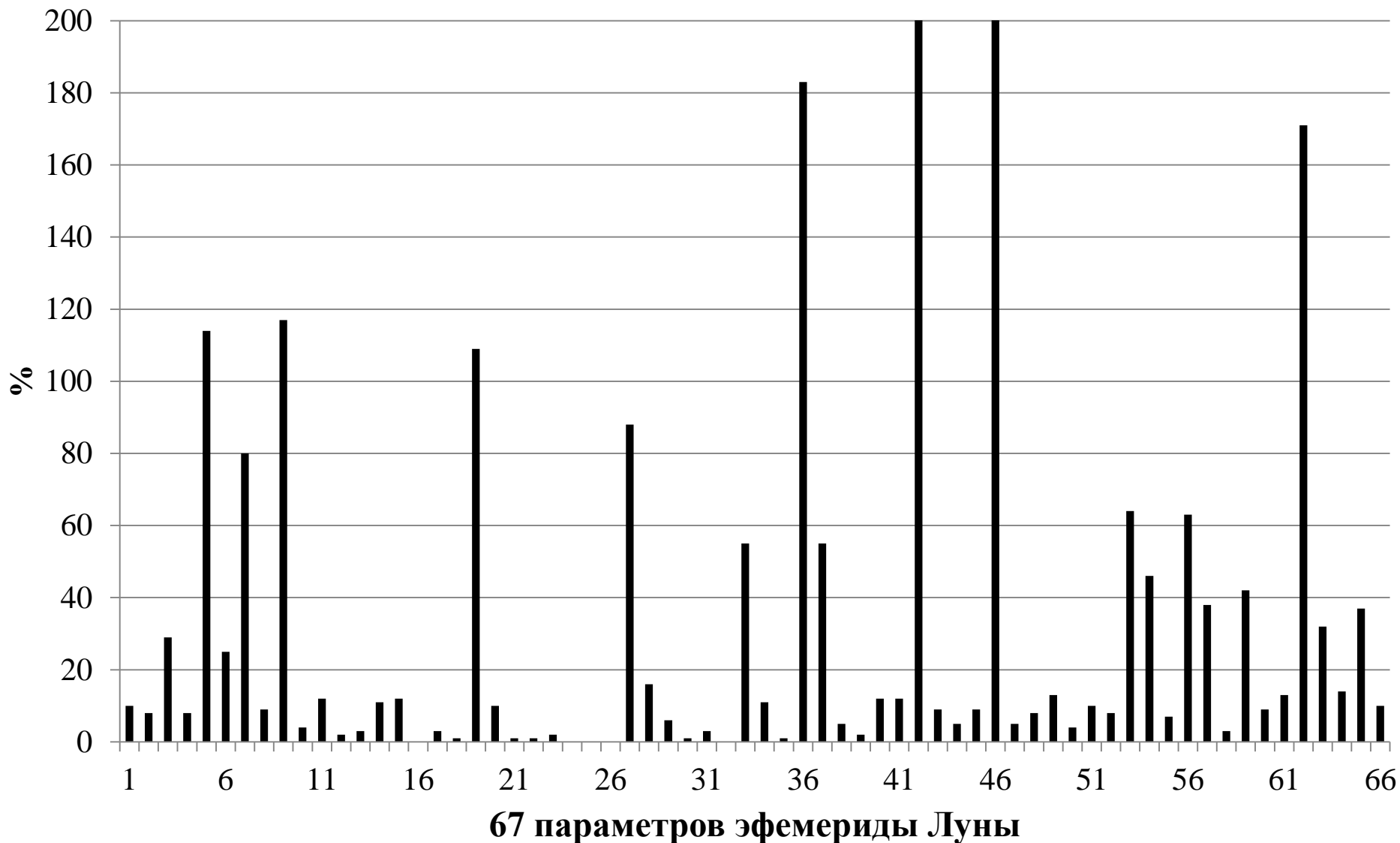
РСДБ сеть «Квazar-КВО», СКО наблюдений 0.06 метра



## Станция «Зеленчукская», СКО наблюдений 2 метра



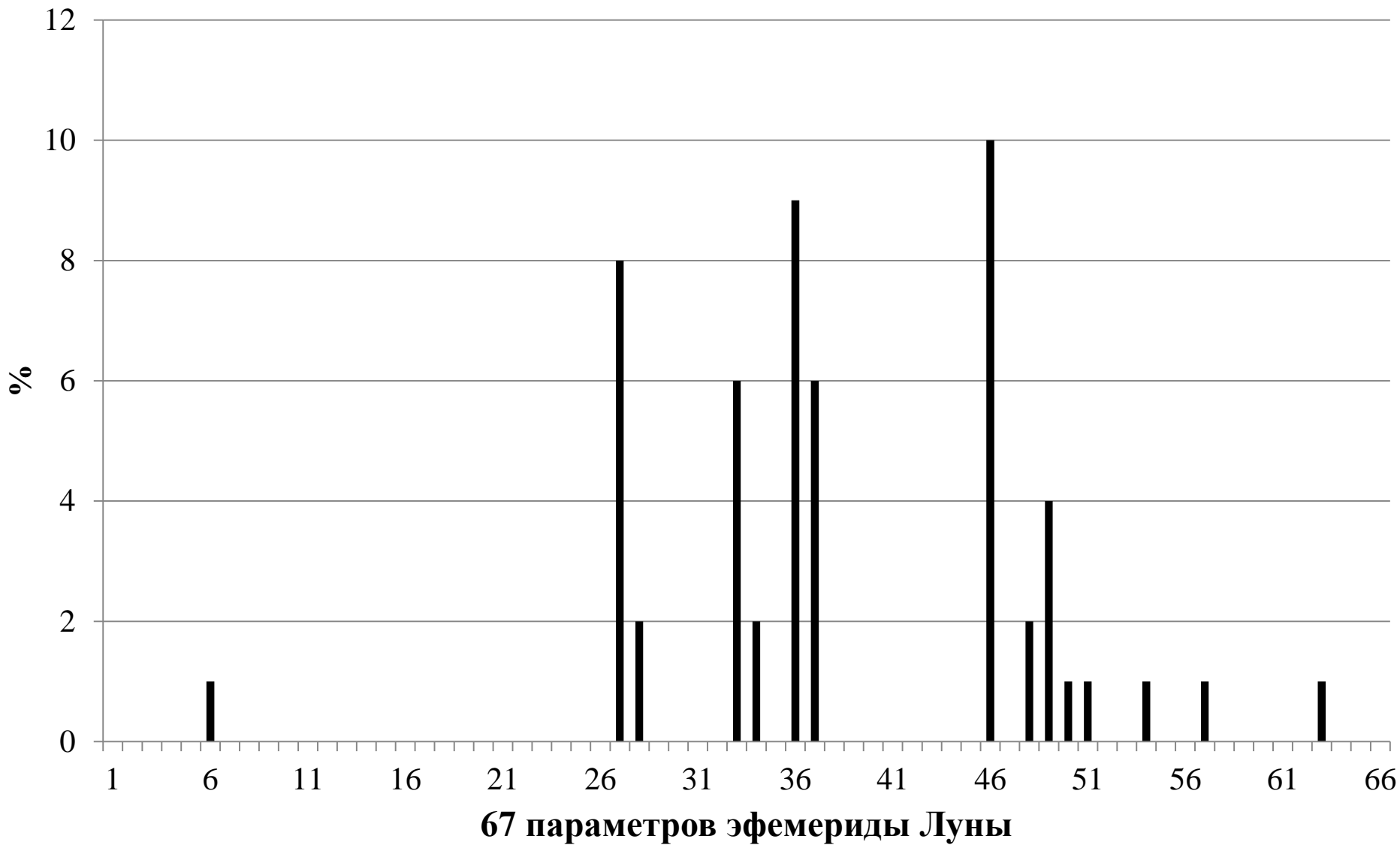
## Станция «Зеленчукская», СКО наблюдений 0.06 метра



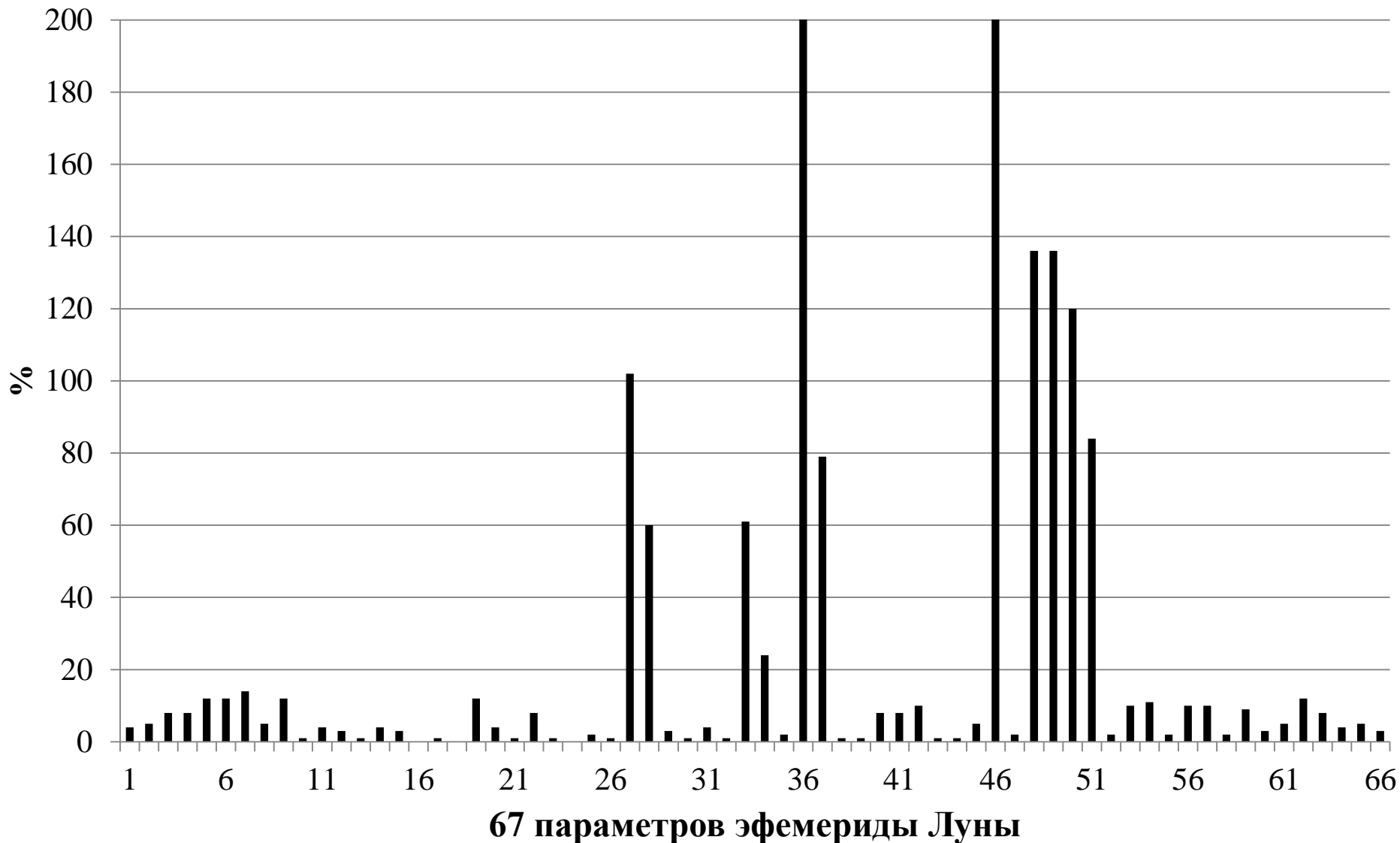
1. При моделировании предполагалось, что производились РСДБ-наблюдения посадочного аппарата «Чанъэ-3» с 2006 по 2013 гг.
2. В настоящее время с участием РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» проводятся дифференциальные РСДБ-наблюдения посадочного аппарата «Чанъэ-3». В течение 2014-2015 гг. проводились наблюдательные сессии РСДБ-сетью из 10 радиотелескопов продолжительностью 24 часа каждая. Наблюдения находятся в стадии предварительной обработки.
3. Точность дифференциальных фазовых РСДБ-наблюдений посадочный аппарат – ровер достигает 0.03 пс.
4. Планируется использование полученных РСДБ-наблюдений для анализа и построения эфемерид Луны EPM-ERA.



## РСДБ-сеть IVS, СКО наблюдений 2 метра



## РСДБ-сеть IVS, СКО наблюдений 0.06 метра



1. Были созданы специальные программы для оценки влияния новых радиотехнических наблюдений лунных посадочных аппаратов на точность эфемериды Луны.
2. Моделирование радиотехнических наблюдений проведено для двух вариантов остаточных погрешностей моделирования атмосферных задержек.
3. Показано, что радиотехнические наблюдения посадочных аппаратов на Луне могут стать существенным дополнением к современным высокоточным ЛЛН-наблюдениям и привести к значительному, в несколько раз, увеличению точности определения параметров эфемериды Луны.
4. Планируется использование радиотехнических наблюдений посадочного аппарата «Чанъэ-3» для анализа и последующего уточнения параметров теории орбитально-вращательного движения Луны.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**