



Андрас

ХОРВАТ (Horváth) (р. 1941) — венгерский астроном, научный сотрудник Астрономического института АН ВНР, член подкомитета «Искусственные небесные тела» АН ВНР, секретарь Венгерского астрономического общества.

В 1965 закончил математико-физический факультет Университета им. Этвеша (Будапешт). Еще будучи студентом, он опубликовал в «Астрономическом журнале» (СССР) сообщение об исследовании солнечной активности в древнейшие времена по годичным кольцам ископаемого дерева эпохи миоцена.

По окончании университета работал на станции наблюдения ИСЗ в г. Мишкольц. В 1969—1972 обучался в аспирантуре на Звенигородской экспериментальной станции Астрономического совета АН СССР.

В 1973 в Москве А. Хорват защитил кандидатскую диссертацию.

С 1973 он работает в Астрономическом институте АН ВНР и занимается исследованием верхней атмосферы Земли на основе оптических наблюдений ИСЗ. В 1975—1976 разработал концепцию специального дигитвизуального телескопа для оперативного наблюдения ИСЗ.

В 1977—1978 работал в Астросовете АН СССР. Он активно популяризирует эксперименты и результаты космонавтики, является одним из авторов Малой венгерской энциклопедии космонавтики.

Андр
ХОР

мич
обе
бор
пос
тры
Он
лед
пов
ны
пае
ны
свя
на
ис
ли

жи
ни
су
ри
Од
на
воз
ор
дел
по
ее
мо
дл
др

ст
пр
ег
ян

ма
рь
не
ян
мо
по
на

(н
ци

Наблюдения искусственных спутников Земли

Искусственные спутники Земли (ИСЗ), космические корабли и орбитальные станции, пока обеспечиваются их энергопитание и работают бортовые системы связи и научные приборы, посылают исключительно ценные данные в центры управления полетом и на станции слежения. Они дают сведения о состоянии атмосферы и ледового покрова Земли, изменениях земной поверхности, направлениях морских течений, лесных пожарах, местонахождении полезных ископаемых Земли (газа, нефти, угля) и т. д. Активные спутники связи осуществляют телефонную связь и передачу программ радио и телевидения на огромные расстояния с меньшими, чем при использовании микроволновых радиорелейных линий, затратами.

Можно подумать, что пассивный период жизни спутника, начинающийся после прекращения работы энергоисточников и, как правило, существенно превышающий его активный период, уже не представляет интереса для науки. Однако на самом деле это не так. На основе наблюдений ИСЗ по возникающим вследствие воздействия возмущающих сил отклонениям орбит спутников от теоретических мы можем делать выводы о фигуре Земли, о перемещениях полюса Земли, о плотности верхней атмосферы и ее изменениях. Наблюдения пассивных ИСЗ могут дать очень интересные научные результаты для геодезистов, геофизиков, астрономов и других специалистов.

Основная задача наблюдения спутников настолько проста, что ее можно выразить в одном предложении: увидев на небе ИСЗ, определить его координаты (направление на спутник, расстояние до него и момент времени наблюдения).

Возможно ли вообще наблюдение очень маленьких спутников (их характерные размеры — от нескольких десятков сантиметров до нескольких десятков метров) на больших расстояниях (обычно от 200 до 2000 км)? Да, это возможно, так как солнечный свет, отражаясь от поверхности спутника, может попадать в глаз наблюдателя.

При этом, конечно, необходимо, чтобы фон (небо) был бы темным. Иными словами, в принципе наблюдения ИСЗ возможны в том случае,

когда спутник движется на освещенной Солнцем стороне Земли, а наблюдатель находится на теневой, т. е. ночной, стороне Земли.

Однако света, отраженного от спутника, бывает иногда недостаточно для того, чтобы увидеть спутник невооруженным глазом. Поэтому возникает необходимость использовать телескопы, а так как спутники движутся по небу со скоростью, в 50—100 раз большей, чем у звезд, то это должны быть легко и быстро вращающиеся специальные телескопы.

Для определения направления на спутник нужно иметь опорные точки на небе с известными координатами или относительную систему координат. Опорными точками являются звезды, небесные координаты которых можно узнать из астрономических звездных каталогов. В качестве относительной системы координат можно использовать углы поворота осей телескопа, имеющего соответствующие устройства для определения угловых отклонений. Итак, определение координат спутника осуществляется путем сравнения его местонахождения с положением известных звезд (абсолютные координаты) или регистрации отсчетов углов поворота телескопа (относительные координаты). Момент времени наблюдения определяется по обычным или специальным хронометрам (от секундомеров до атомных эталонов частоты).

Приборы для наблюдения ИСЗ

В начале космической эры (в конце 50-х годов) первым поколением приборов для наблюдения ИСЗ были маленькие астрономические телескопы (рис. 1), теодолиты и военные бинокляры (рис. 2), измерявшие направления; время же определялось секундомером. Несколько позже уже применялись специальные теодолиты (рис. 3) и кинотеодолиты; появились механические и электрические хронографы.

Второе поколение наблюдательных приборов (60-е годы) — это большие фотокамеры, например АФУ-75 (СССР) и СБГ (ГДР), и печатающие фотохронографы, управляемые с помощью кварцевых часов.

Третьим поколением приборов (70-е годы) можно считать специальные лазерные даль-

Рис. 1. Приборы для наблюдения ИСЗ первого поколения: слева — станция с трубками АТ-1 (г. Киров); справа — трубка АТ-1

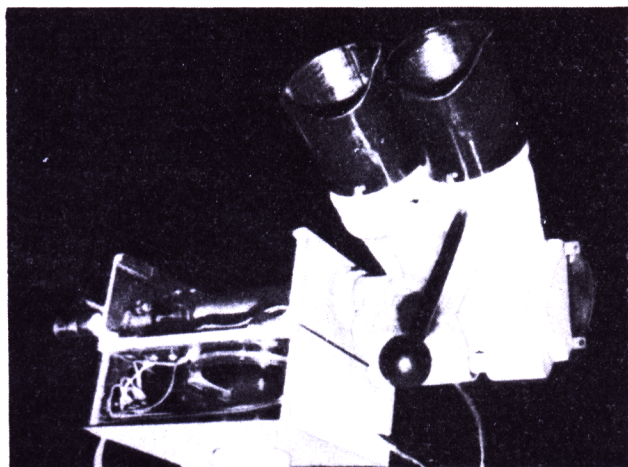
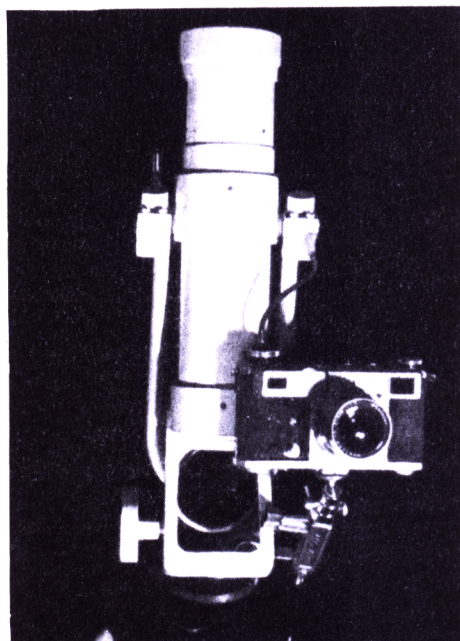
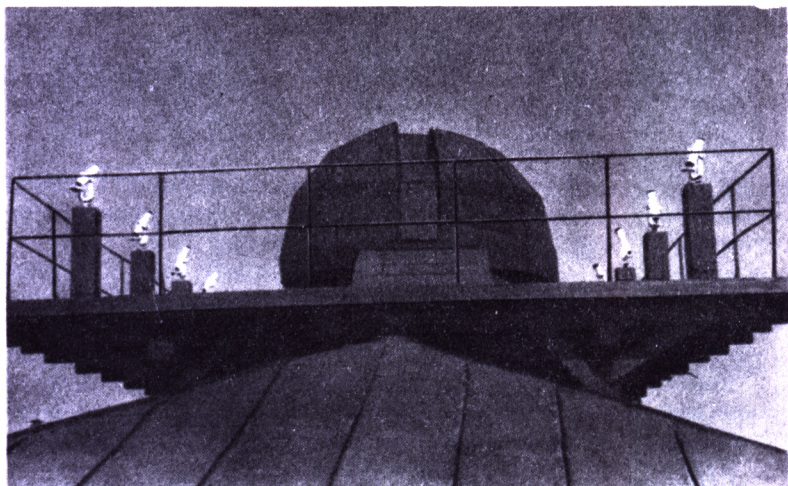
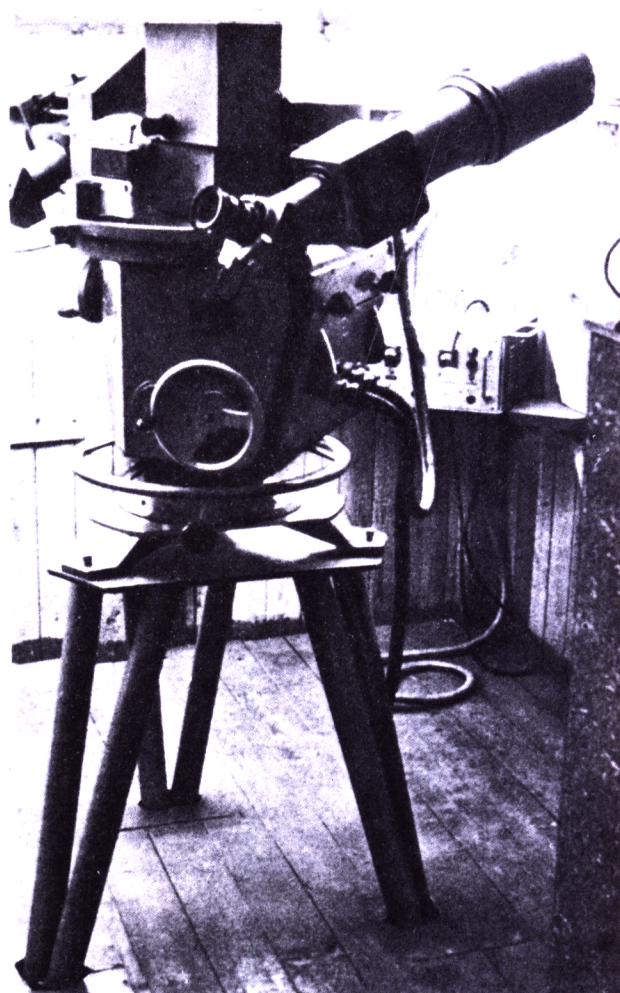


Рис. 2. Военный бинокляр ТЗК, переоборудованный для наблюдения спутников (г. Мишкольц, Венгрия)

Рис. 3. Специальный спутниковый теодолит для фотовизуальных наблюдений ИСЗ, снабженный собственным фотохронографом (г. Рига)



номеры и доплеровские приемники (см., например, рис. 6 и 8) с атомными часами.

Последние методы (лазерная и доплеровская техника наблюдений) могут использоваться только для малого числа специальных спутников, имеющих лазерные отражатели или доплеровские передатчики, поэтому в настоящее время возникает потребность в гораздо более высокого уровня приборах для визуальных наблюдений ИСЗ. Эти так называемые дигитвизуальные приборы (например, рис. 11 и 12), естественно, дают хорошую точность.

Другое преимущество дигитвизуальных телескопов состоит в том, что они дают результаты наблюдений ИСЗ сразу (т. е. еще во время слежения за спутником) и в цифровой форме (на перфо- или магнитной ленте), удобной для обработки на ЭВМ.

Сейчас для наблюдений спутников применяются и большие фотокамеры, и лазерные дальномеры, и доплеровские приемники, и дигитвизуальные телескопы.

Для того чтобы можно было еще нагляднее



Рис. 4. Главное здание Космической геодезической обсерватории (КГО, станция Пенц) Венгерской геодезической службы (обсерватория находится в 50 км севернее Будапешта, близ села Пенц)

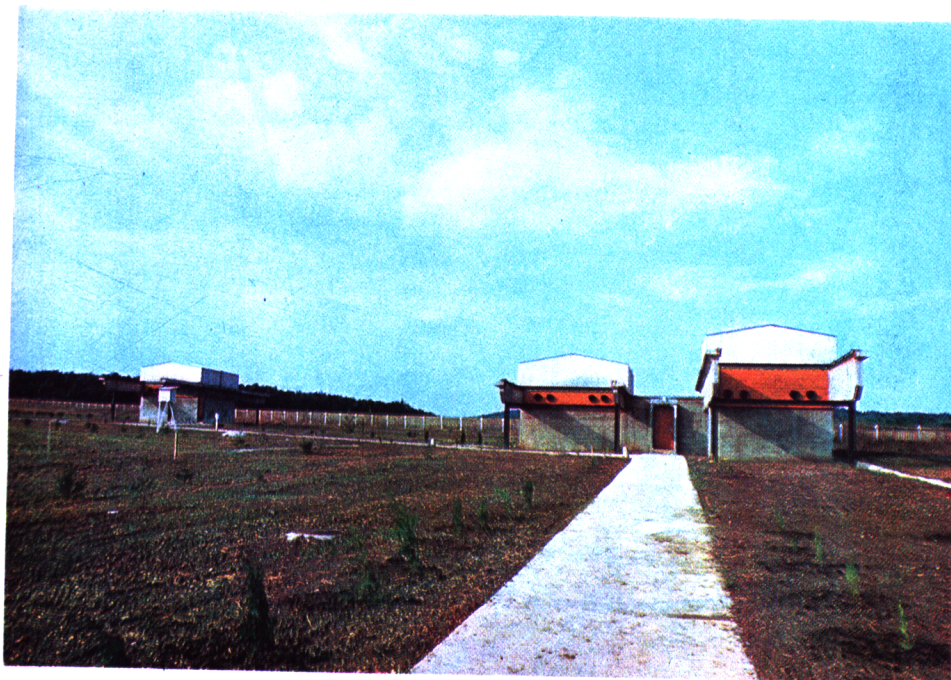
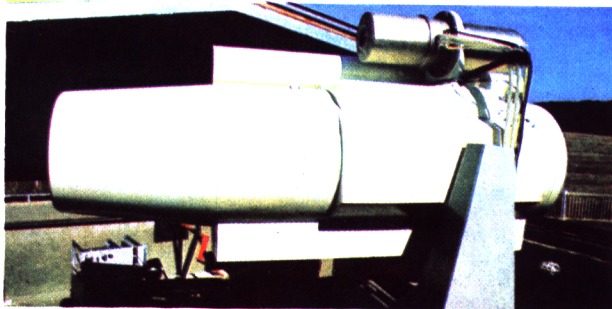


Рис. 5. Наблюдательные павильоны КГО. В левом одиночном павильоне находится камера АФУ-75, а в ближайшем двойном павильоне — камера СБГ с лазерным дальномером и его электроникой

Рис. 6. Камера СБГ (ГДР) станции Пенц — четырехосный астрономический телескоп типа Шмидта — Кассегрена. На камере смонтирована лазерная пушка (наверху справа)

представить себе современный уровень технического оснащения станций наблюдения ИСЗ, мы даем вкратце описание двух новых венгерских станций, начавших работать в конце 70-х годов в Байе и Пенце (рис. 4, 5).

Обе эти станции имеют во многом похожие комплекты инструментов для наблюдений и измерительных приборов и службы времени. И та и другая проводят наблюдения спутников по международным программам, однако научные задачи, стоящие перед ними, различны. Станция



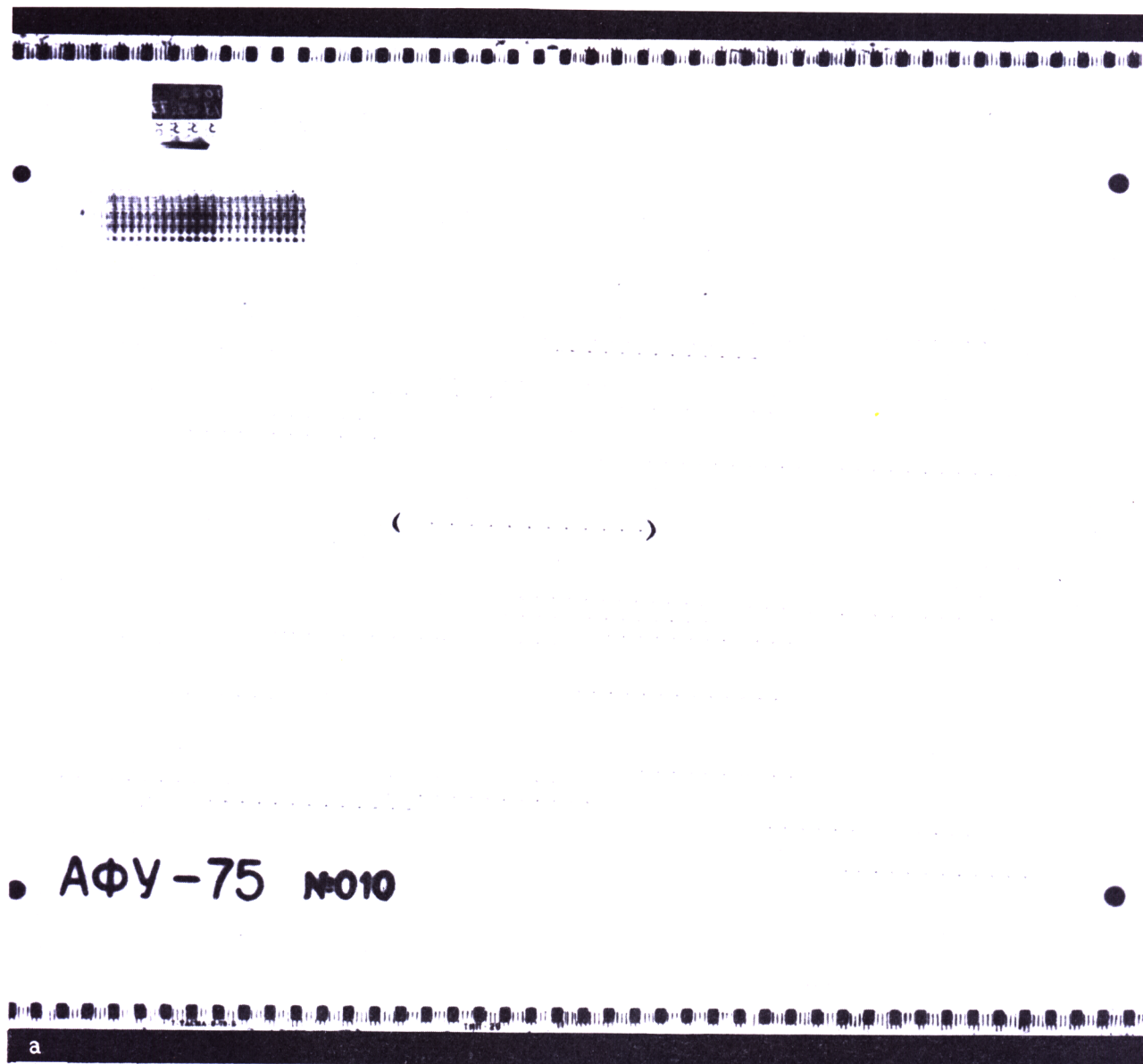


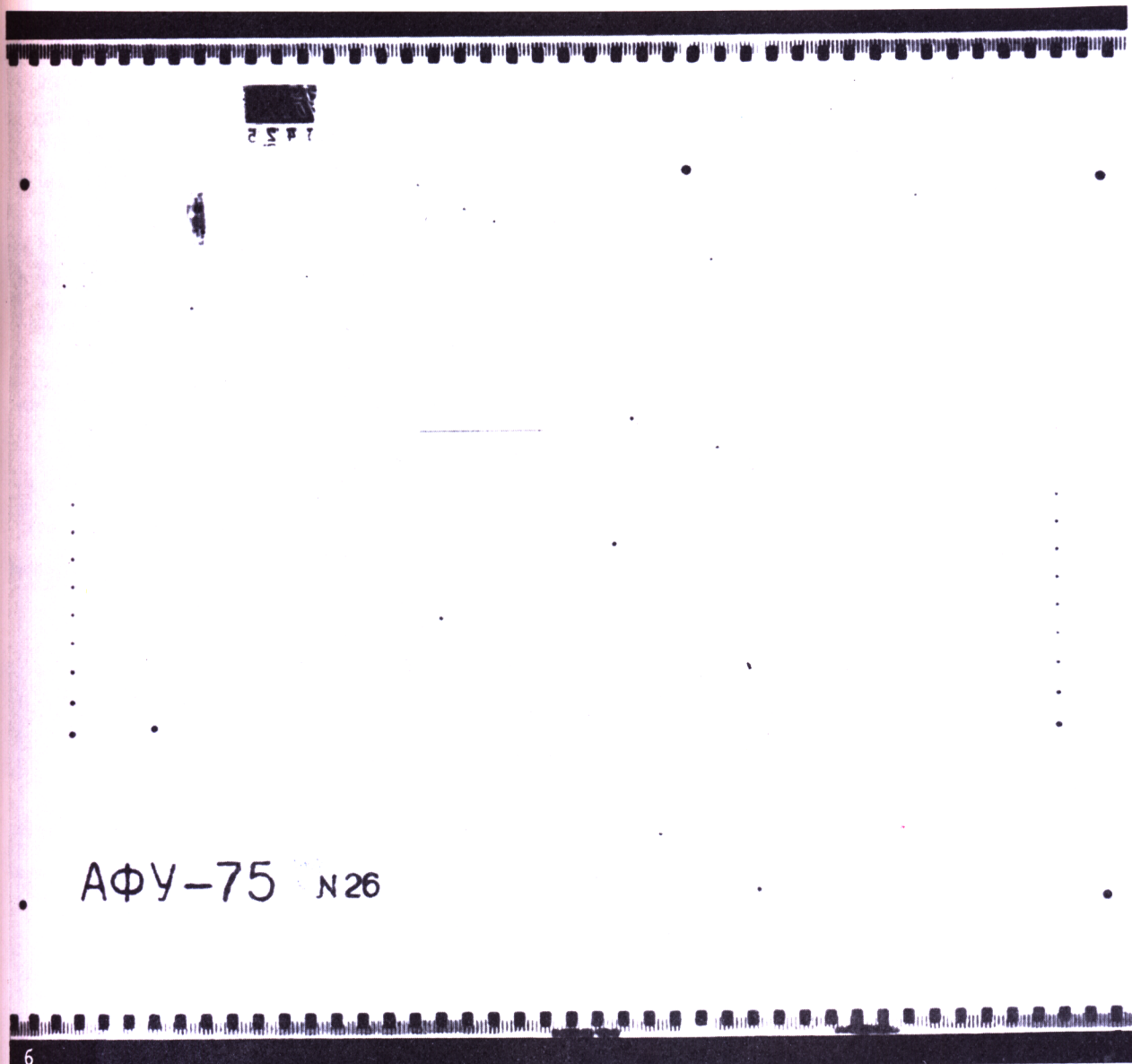
Рис. 7. Спутникограммы слабого (а) и яркого (б) спутников, полученные с помощью камеры АФУ-75 (на первом снимке след спутника заключен в скобки). На каждой из них: точки в углах — геометрические отметки кадра; внизу слева — номер камеры; вверху слева — информационная метка. На фотографии а под ней находятся цифровые метки фотохронографа (делаются каждые 3 мм перемещения фотопленки); цифровая метка фотохронографа на фотографии б размещается аналогичным образом, однако

для точного определения моментов времени добавлены еще вспомогательные метки — цепочки точек по краям снимка

Пенц участвует в программах космической геодезии, а станция Байя координирует исследования верхней атмосферы Земли, проводимые в рамках сотрудничества «Интеркосмос».

Для измерения времени на станциях используется специальная система — служба времени (рис. 9). Тремя ее главными задачами являются: 1) обеспечение связи с внешними службами времени, иными словами, синхронизация с большой точностью эталонов частоты и часов на станциях с эталонами международной службы времени, т. е. со всемирно координированным временем; 2) организация работы собственных систем регистрации времени станций; 3) подача сигналов времени на наблюдательные приборы (камеры, лазерные инструменты и т. д.). В соответствии с этим служба времени имеет три группы прибо-

ров:
врем
Приб
тели
мати
вани
лоно
нала
маем
Во в
обес
рова
лазер
интер
луча
щает
В



ров: приборы для сравнения, эталоны частоты и времени, устройства для регистрации времени. Приборы для сравнения (осциллографы, измерители фазы, цифровые счетчики) служат для автоматического определения разницы (т. е. запаздывания или опережения) между показаниями эталонов частоты или атомных часов станции и сигналами международной службы времени, принимаемыми через радио- или телевизионную сети. Во время наблюдения спутника служба времени обеспечивает регистрацию момента фотографирования ИСЗ с требуемой точностью, а при лазерных измерениях служба определяет также интервал времени от момента посылки лазерного луча до момента, когда отраженный луч возвращается назад.

В настоящее время классическим инструмен-

том, предназначенным для наблюдения ИСЗ, можно считать фотокамеру. Советская камера АФУ-75*, по сути дела, является большим фотоаппаратом, который имеет объектив диаметром 210 мм и фокусное расстояние 736 мм. В соответствии с этими размерами фотопленка здесь имеет большую, чем обычная, ширину — 190 мм. Сам инструмент для слежения за ИСЗ (в отличие от других астрономических телескопов) имеет четырехосную систему наведения. На камере смонтирован телескоп-гид, который служит для наведения фотокамеры на спутник и для визуального

* Фотографии камеры АФУ-75 помещены в ежегодниках «Наука и человечество. 1974» (статья Л. Сехнала «Определение орбит искусственных спутников Земли») и «Наука и человечество. 1978» («Летопись науки»). — Ред.



Рис. 8. Американский доплеровский приемник JMR-1 (станция Пенц), с помощью которого на основе наблюдений ИСЗ, имеющих доплеровские передатчики, можно определить координаты наземной станции (точность — порядка 1 м)

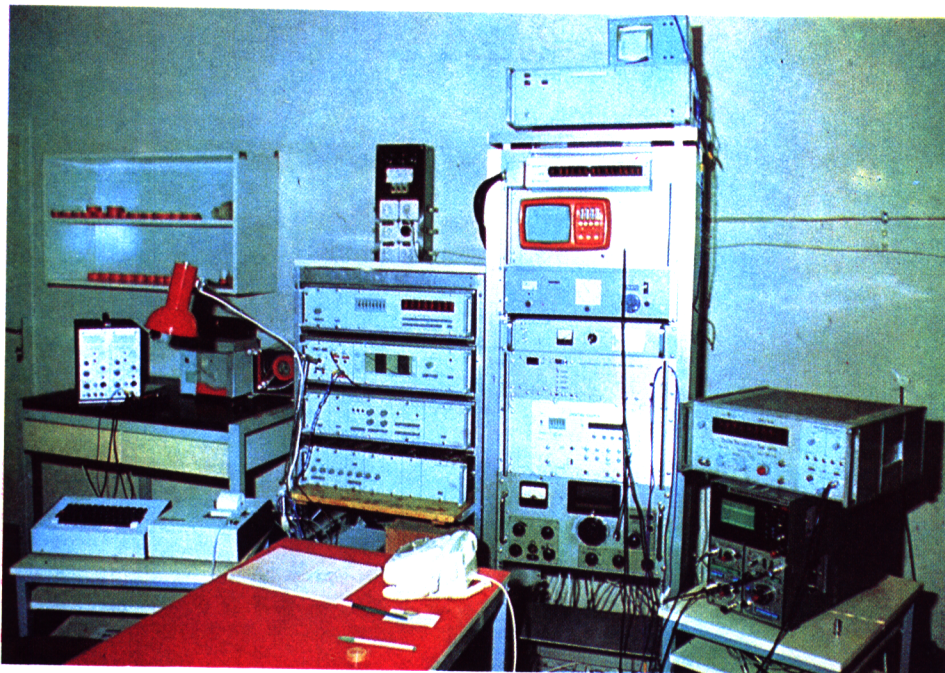


Рис. 9. Служба времени КГО, расположенная в главном здании станции Пенц: левый блок аппаратуры (около стола) — цифровые часы с системой регистрации данных (ГДР); средний блок (сверху вниз) — советский рубидиевый стандарт частоты Ч-1-50; венгерская система для приема телевизионных сигналов времени; кварцевые часы (фирмы «Rode Schwarz», ФРГ); венгерский длинноволновый радиоприемник с автоматической калибровочной системой; венгерские цифровые часы и советский коротковолновый приемник; правый блок — венгерский счетчик частоты (100 МГц) и японский осциллоскоп (350 МГц)

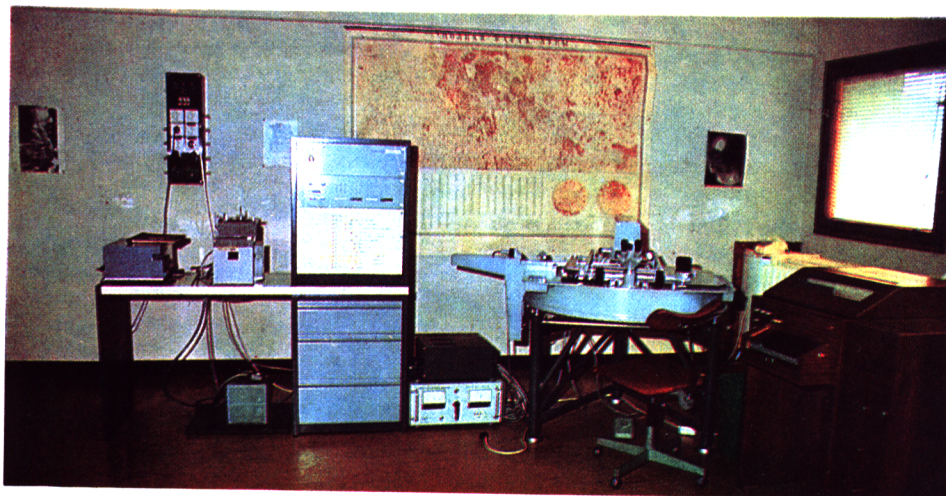


Рис. 10. Система *Asco-record-3DP* из ГДР (станция Пенц) для точного измерения спутникограмм (см. рис. 7): управляющая вычислительная машина, осуществляющая числовые преобразования и автоматическую регистрацию измеренных координат (слева, на столе); оптический измерительный стол (в центре); теле-тайп, регистрирующий данные на перфоленте (справа)

Рис. 3
за
раз
мич
ВНФ
Вен
тре
ма
пре
ния
дви
шаг
вые
юс
имп
под
цен
ния
опр
блю
циф
ма
соб
наб
фор
или
тоф

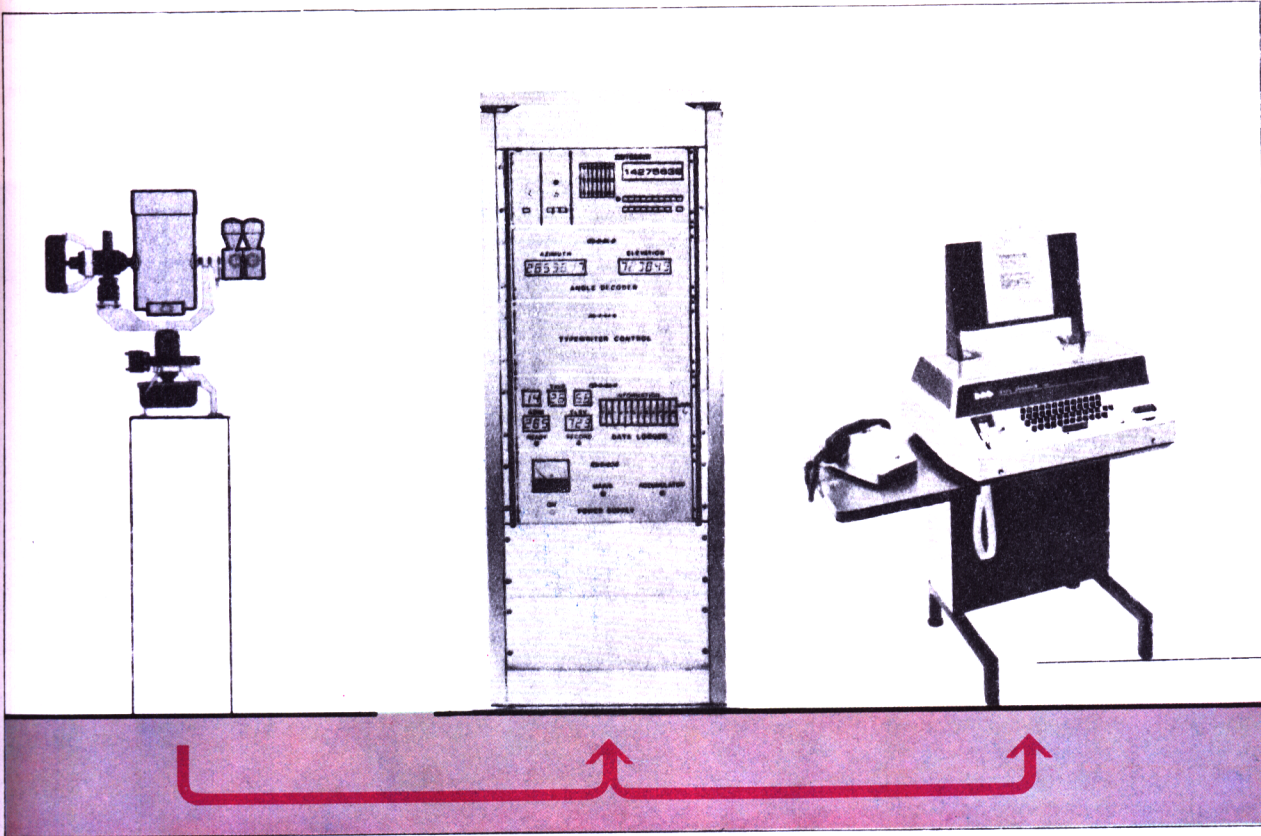
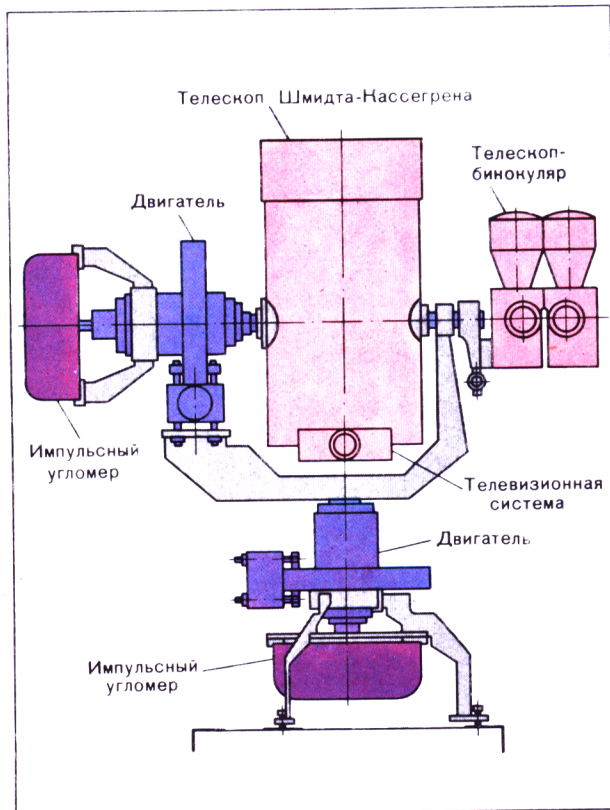


Рис. 11. Система дигитвизуального телескопа, разработанная в Астрономическом институте АН ВНР и изготовленная в Венгрии. Она состоит из трех подсистем: подсистема телескопов (слева) предназначена для слежения за спутником, она движется с помощью шаговых моторов, и угловые координаты измеряются автоматическими импульсными угломерами; подсистема управления (в центре) декодирует значения измеренных углов и определяет момент наблюдения с помощью цифровых часов; подсистема регистрации (справа) собирает и хранит данные наблюдений в цифровой форме на перфоленте или на кассетном магнитофоне

Рис. 12. Подсистема телескопов дигитвизуального телескопа с контрольным бинокляром ТЗК и основным телескопом типа Шмидта — Кассегрена



контроля точности совмещения скорости компенсации со скоростью изображения спутника. Вся камера установлена на специальной экваториальной платформе, которая обеспечивает отслеживание суточного вращения звезд. В фокальной плоскости камеры установлен специальный механизм компенсации сдвига изображения спутника. Без этого механизма слабые спутники не могли бы оставить след на фотопленке. Главная задача наблюдателя — точное согласование направления и скорости движения контрольного телескопа-гида с направлением и видимой скоростью ИСЗ.

Для этого камера снабжена всеми необходимыми рычагами управления, которыми можно оперировать, не отрывая глаз от гида. Фотографирование начинается только тогда, когда в результате отслеживания изображение спутника находится неподвижно на специальной отметке в поле зрения движущегося гида.

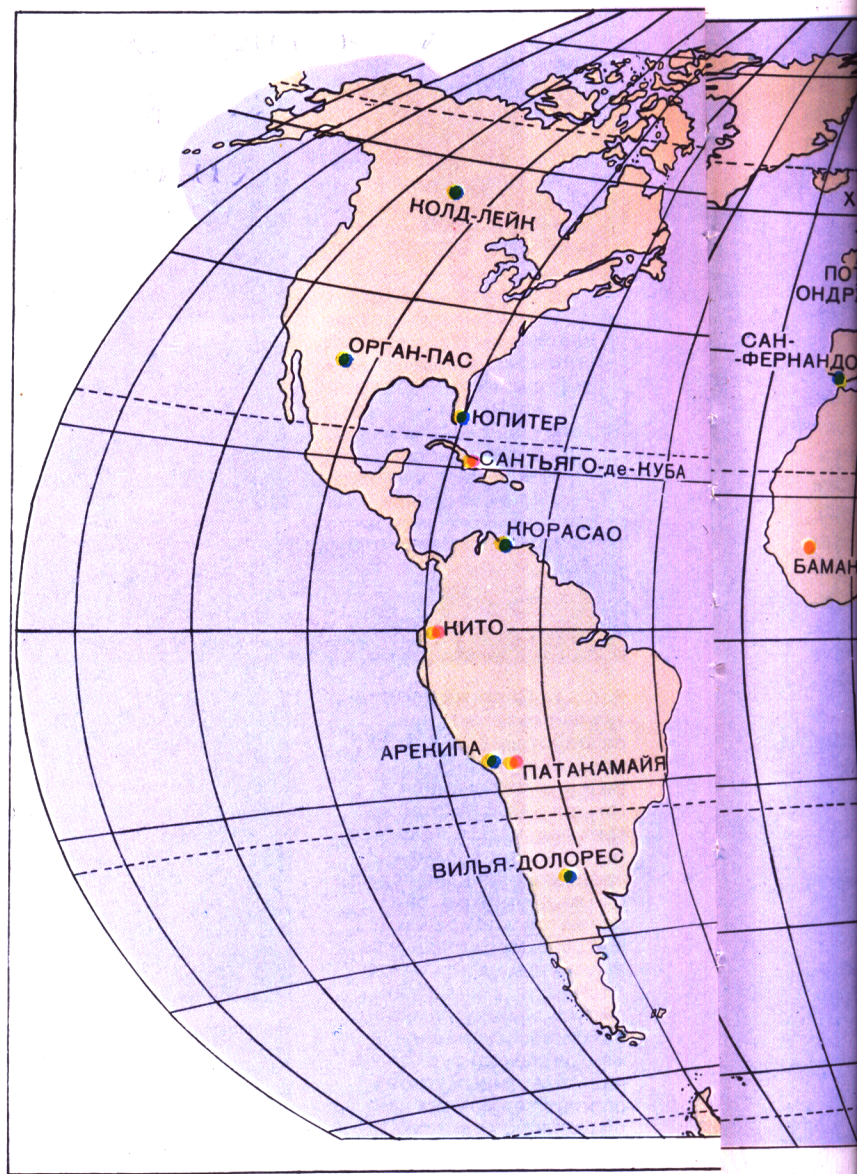
Фотографирование слабых спутников на камере АФУ начинается с экспозиции звезд. В это время работает экваториальная платформа, центральный затвор открыт, камера и механизм компенсации с пленкой неподвижны. По окончании фотографирования звезд механизм компенсации с пленкой начинает перемещаться в направлении движения изображения спутника в фокальной плоскости со скоростью, равной скорости изображения. За это время изображение спутника получается в виде точки. Цикл экспозиций звезд и спутника можно повторить, и поэтому изображения звезд и спутника получаются в виде прямой цепочки точек (рис. 7, а). В кассетной части камеры АФУ размещен фотохронограф, который дает на пленке мгновенные изображения циферблатов, освещаемых лампой-вспышкой и управляемых службой времени.

При фотографировании ярких спутников непрерывный след ИСЗ прерывается специальным вращающимся обтюраторным затвором, совершающим один оборот в секунду синхронно с секундными импульсами кварцевых часов. След спутника получается, таким образом, в виде линии, состоящей из штрихов и точек (рис. 7, б), а знаки времени, относящиеся к точечным изображениям ИСЗ, впечатываются на том же снимке.

Другой метод фотографирования спутников заключается в том, что во время съемки компенсация движения изображения ИСЗ происходит путем синхронного отслеживания спутника самим телескопом. По этому принципу разработана в ГДР камера СБГ (см. рис. 6). Это специальный астрономический телескоп, имеющий, кроме обычных астрономических осей (склонения и прямого восхождения), еще две (азимутальную и высоты), что позволяет отслеживать движение спутника. Камера СБГ состоит из телескопа

Рис. 13. Мировые сети станций наблюдения ИСЗ (на конец 1977 г.): оранжевый цвет — станции «Интеркосмос», работа которых координируется

Астрономическим советом АН СССР; зеленый цвет — станции Смитсоновской астрофизической обсерватории (США)

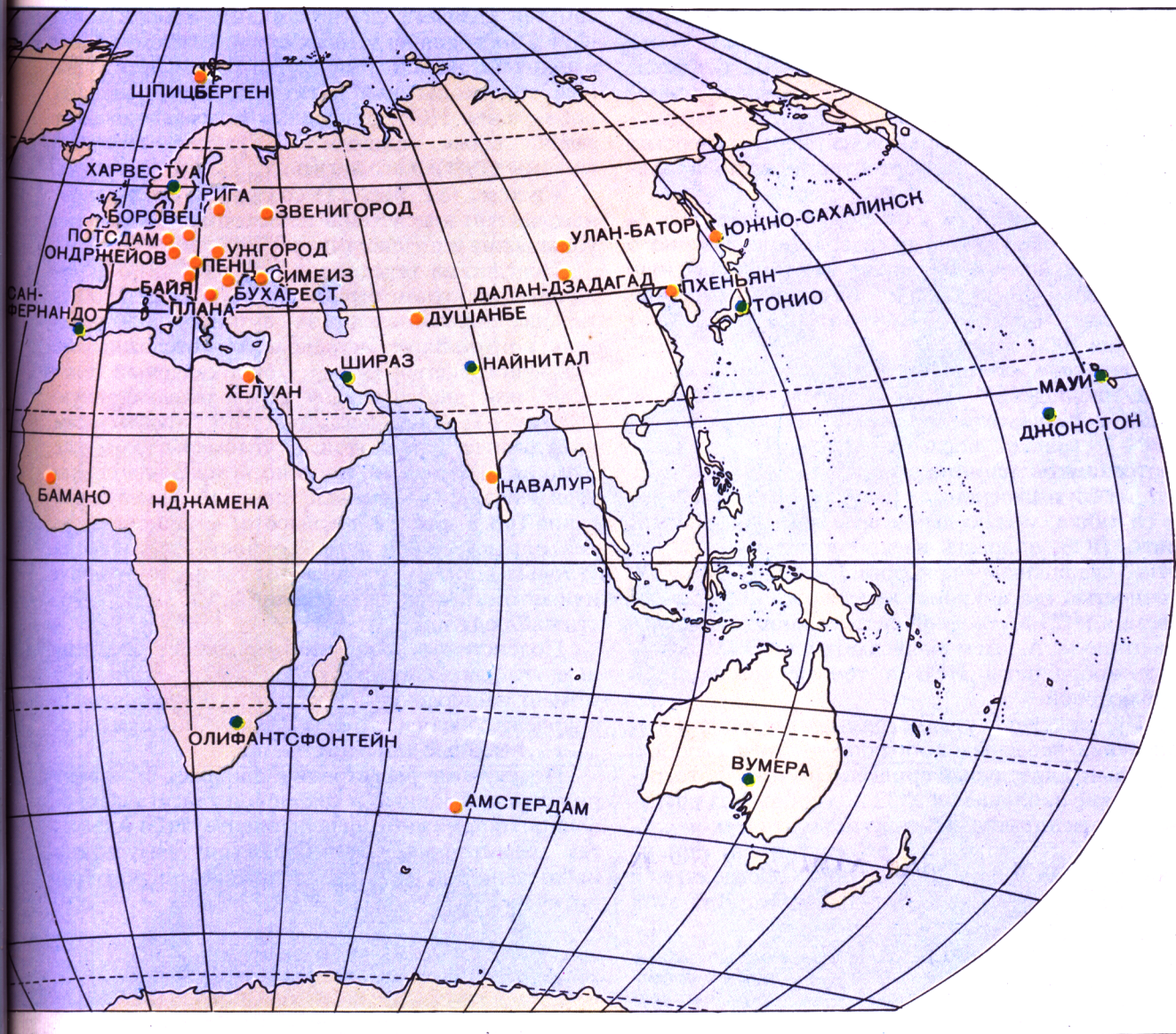


системы Шмидта* с диаметром входного отверстия 425 мм, фокусным расстоянием 760 мм и диаметром главного зеркала 530 мм.

Фотографирование ИСЗ камерой СБГ производится на пластинках 90 × 120 мм с автоматическим отслеживанием спутника с помощью специальной системы. В результате спутник получается на пластинке в виде точки (экспозиция спут-

* О системах телескопов см. статью О. А. Мельникова и В. С. Попова «Современный оптический телескоп» в ежегоднике «Наука и человечество. 1975». — Ред.

ни
оп
на
ни
ют
на
(э
ли
зве
ЭК



ника), а звезды — в виде отрезков линий. В определенный момент кассета с пластинкой начинает двигаться так, чтобы компенсировать движение камеры. Теперь звезды на пластинке получаются в виде очень коротких штрихов, имеющих наклон по отношению к упомянутым отрезкам (за счет суточного движения неба), а спутник (если он достаточно яркий) — в виде отрезка линии. Моменты начала и окончания экспозиции звезд, или, то же самое, моменты окончания экспозиции спутника и начала экспозиции следу-

ющего его изображения, регистрируются службой времени по специальным датчикам ускорения кассеты. Эта система регистрации позволяет обходиться без быстродействующего обтюраторного затвора. На одной пластинке может быть получено несколько изображений спутника и звезд. Скорость отслеживания различных ИСЗ задается перфолентой и является переменной, т. е. зависит от каждого прохождения спутника. Перфолента выдается специальной ЭВМ.

Учитывая, что камера СБГ отслеживает пере-

мещение спутника своим собственным движением, ее целесообразно применять в качестве основы для лазерного дальномера. Для этого на телескоп прикрепляется лазерная пушка, которая испускает лазерные импульсы (см. рис. 6). Затем отраженные от специальной поверхности наблюдаемого спутника импульсы принимаются телескопом. При лазерных наблюдениях он работает в системе Кассегрена. Это значит, что отраженный от спутника лазерный луч с помощью дополнительного зеркала, находящегося перед фокальной плоскостью, направляется через отверстие главного зеркала на фоточувствительный элемент.

Служба времени станции измеряет интервал времени от выхода до возвращения лазерного луча, а автоматика вычисляет по этому значению расстояние до спутника. Точность измерений составляет несколько метров для расстояний порядка 1000 км.

Очевидно, что мы получаем результаты лазерных наблюдений сразу же после наблюдения ИСЗ, а результаты фотографических наблюдений — только после длительной обработки фотоснимков (спутникограмм). Благодаря тому что на спутникограммах находятся следы и звезд и спутника, можно вычислять небесные координаты ИСЗ, опираясь на координаты звезд. Для этого специальным прибором (рис. 10) с большой точностью (до микрона) измеряются координаты звезд и ИСЗ в условной системе координат спутникограмм. А затем вычисляются на ЭВМ небесные координаты ИСЗ и точные моменты их наблюдений.

Проявление спутникограмм, измерение и вычисление небесных координат — трудоемкий и довольно длительный процесс. Поэтому фотографические наблюдения ИСЗ не удобны для оперативного использования при систематическом слежении за большим числом спутников, они не дают возможность оперативно определять и постоянно улучшать элементы орбит. Для этой

цели непригодны и лазерные наблюдения из-за того, что следить с помощью такой техники можно лишь за немногими спутниками. Упомянутые выше задачи требуют такого наблюдательного инструмента, который дает результаты сразу после наблюдения и может следить за самыми разными спутниками. Во второй половине 70-х годов во многих странах, в том числе и в Венгрии, начали разрабатывать дигитизуальные телескопы или дигитизуальные системы наблюдения ИСЗ, пригодные для решения этих задач. Ниже приводится краткое описание системы венгерского дигитизуального телескопа.

Система (см. рис. 11) состоит из трех основных частей: подсистемы телескопов, подсистемы управления и подсистемы регистрации.

Подсистема телескопов (см. рис. 12) с шагающими электромоторами по двум осям (азимутальная система) следит за спутником; наблюдатель контролирует и исправляет отслеживание или непосредственно через бинокулярный телескоп, или дистанционно через телевизионную систему. Подсистема имеет по обеим осям импульсные или кодовые угломеры, которые либо автоматически, либо по команде наблюдателя выдают мгновенные значения измеренных углов (по азимуту и по высоте) с точностью до нескольких секунд дуги. Точность определения угловых координат зависит от точности ручного или автоматического слежения за ИСЗ и опытности наблюдателя.

Подсистема управления декодирует измеренные угловые координаты спутника, определяет момент наблюдений с использованием цифровых кварцевых часов (с точностью до 0,001 с) и передает эти данные для регистрации.

Подсистема регистрации собирает и хранит полученные данные в цифровой (дигитализированной) форме либо на перфоленге, либо в кассетах магнитофона, благодаря чему результаты наблюдений допускают непосредственную обработку на ЭВМ.



ПЕТЕРБУРГ. С достоверностью можно утверждать, что почва на Луне местами от действия солнечных лучей нагревается до такой степени, что в состоянии расплавить олово, в то же время места, находящиеся в тени, остаются совершенно холодными. Вследствие этого происходит растяжение и сжатие каменных масс, которые должны лопаться. Новейшие ученые утверждают, что на Луне царит гробовая тишина. Нет ни растений, ни птиц, ни вообще животных. Но, может быть, есть там существа, которые могли постепенно привыкнуть к условиям лунной природы. Этот вопрос не может разрешить никто. В самые сильные телескопы видны на Луне только предметы величиною с египетские пирамиды.

«Нива», № 12, 1879 г.

ФРАНЦИЯ. Во время последних праздников в Нанси было совершено поднятие на воздушном шаре. Был произведен интересный опыт обмена световых сигналов между воздухоплатателями и внизу находящимися наблюдателями. Для этого были расставлены на некоторых местах наблюдательные пункты, снабженные приборами для передачи световых сигналов. Такой прибор был и у воздухоплатателей. Опыт вполне удался. Переданные снизу сигналы были восприняты совершенно верно воздухоплатателями, и, наоборот, сигналы, переданные последними, были верно восприняты на наблюдательных пунктах.

«Новое время», 6 сентября 1879 г.

Рис. 1
фигур
тричн
объем
ное) г
ного
клене
чен);
диану
экват
сплош
пункт
откло

а

б

1+10

Рис. 15. Развернутая рельефная карта отклонений фигуры Земли от эллипсоида, т. е. реальная форма геоида (масштаб отклонений сильно увеличен)

Рис. 14. Отклонение фигуры Земли от симметричного эллипсоида: а — объемное (пространственное) представление земного шара (масштаб отклонений сильно увеличен); б — разрез по меридиану; в — разрез по экватору. На рис. б и в: сплошная линия — геоид, пунктирная — эллипсоид; отклонения даны в метрах

а

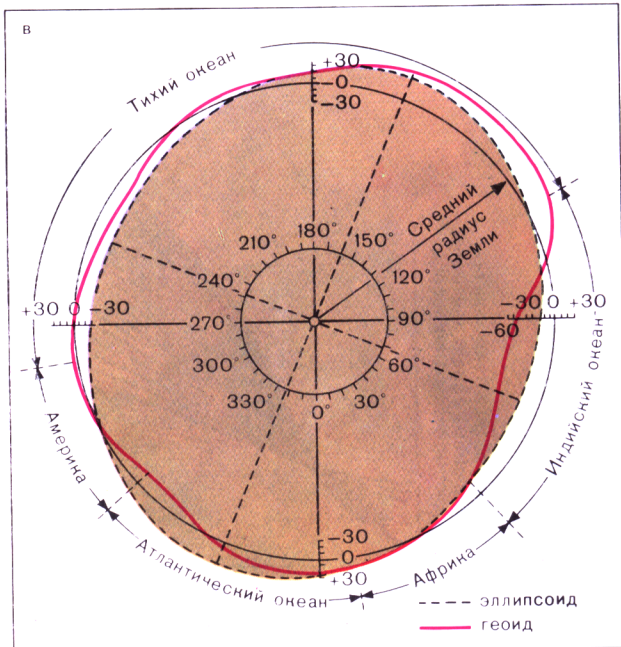
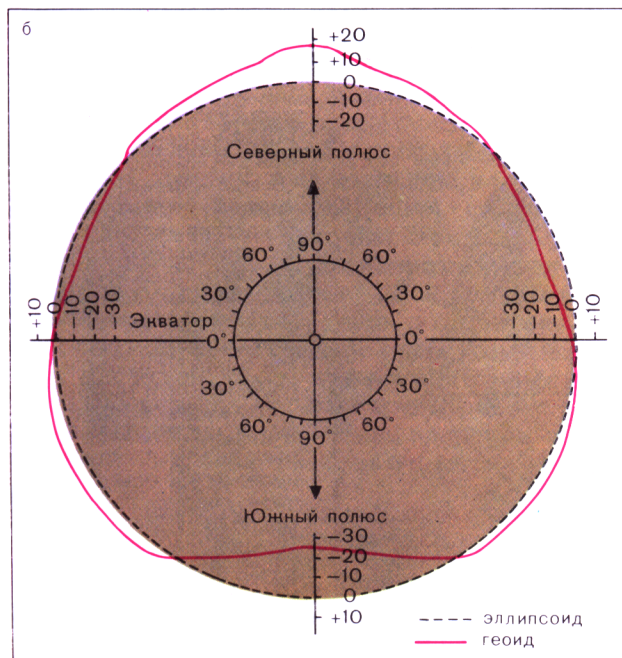
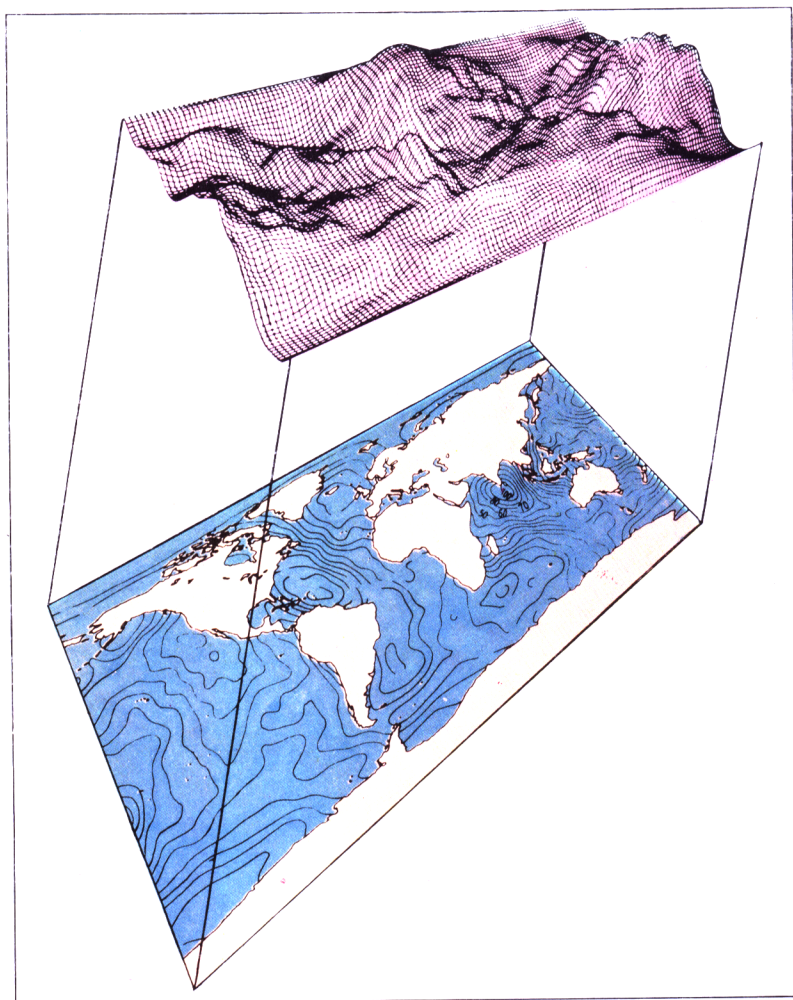


Рис. 16. Влияние солнечной активности на верхнюю атмосферу Земли. 27-дневный цикл интенсивности солнечного радиоизлучения (S) на волне 10,7 см хорошо соответствует вариациям плотности (ρ)

верхней атмосферы (высота — 800 км), вычисленным по изменениям орбитального периода (P) американского спутника «Эхо-1». Пунктирная линия (верхний график) повторно воспроизводит один из

циклов солнечной активности (конец января — начало февраля). Если сравнить эту пунктирную линию с непрерывной, т. е. фактической кривой радиоизлучения Солнца, то видно, что во второй

половине апреля радиоизлучение не показывает 27-дневный максимум, а на кривой плотности ρ он виден. Этот факт показывает, что радиоизлучение Солнца не всегда хорошо характеризует 27-дневный цикл солнечной активности и 27-дневный эффект изменения плотности верхней атмосферы Земли (по работам венгерских ученых I. Almár, A. Horváth, E. Illés)

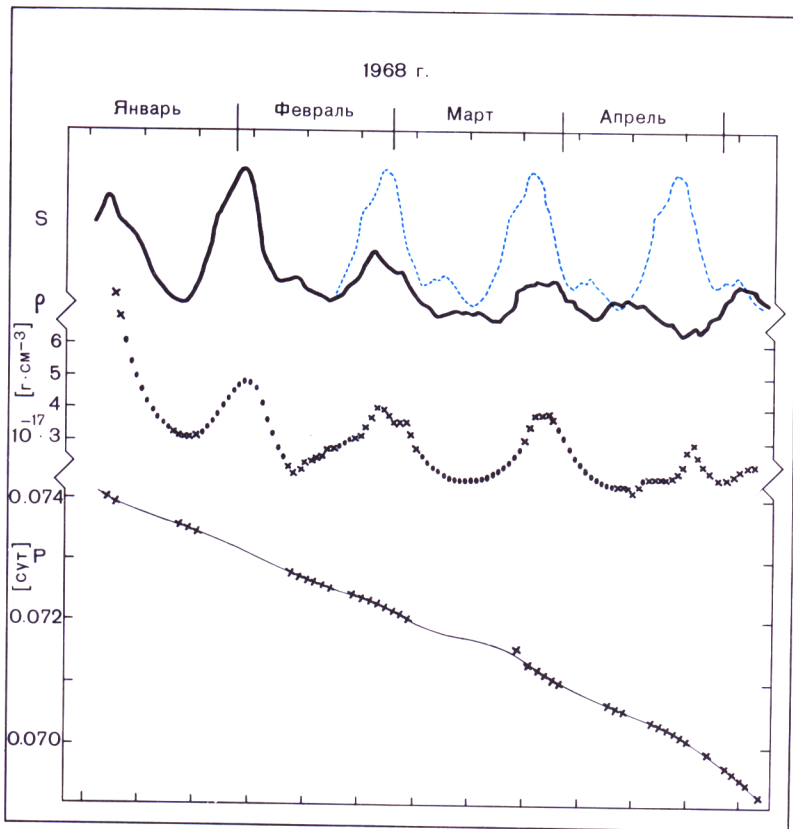


Рис. 17. Вследствие солнечного нагрева в верхней атмосфере Земли получается горб, поэтому спутник, летающий на круговой орбите, пересекает разные плотностные слои атмосферы

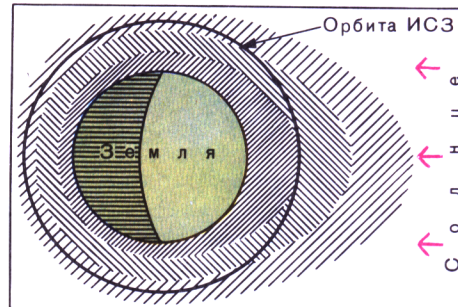
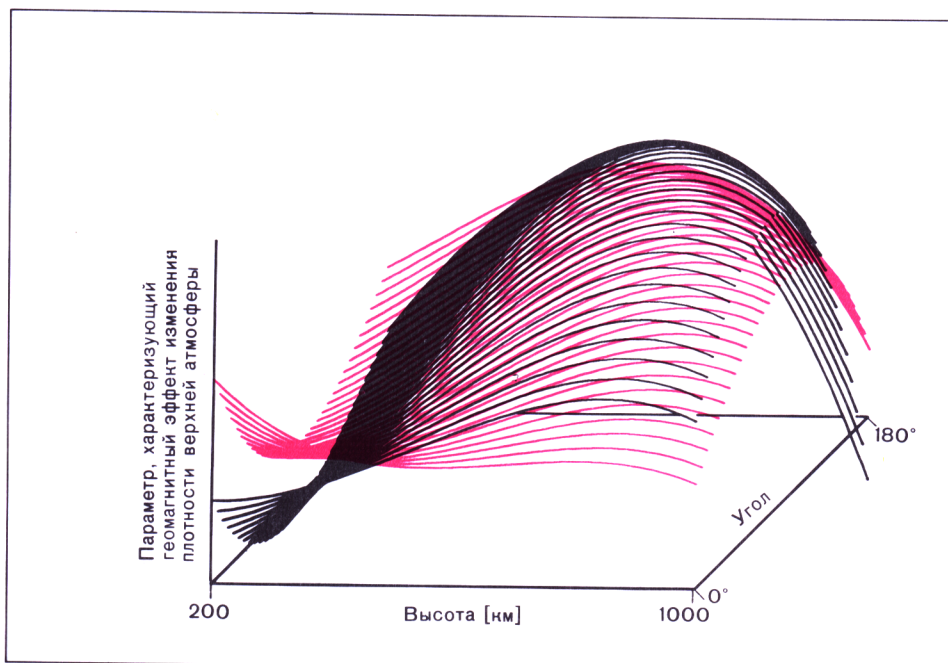


Рис. 18. Расхождение экспериментальных данных и модельных расчетов для геомагнитного эффекта изменения плотности верхней атмосферы. Во время геомагнитных бурь плотность верхней атмосферы меняется в зависимости от геомагнитной интенсивности и высоты. Однако бури не являются непосредственной причиной повышения плотности: оба эти явления — и геомагнитные бури, и повышение плотности — следствие экстремальных корпускулярных и электромагнитных излучений от солнечных вспышек. Показана зависимость относительного параметра, характеризующего геомагнитный эффект изменения плотности верхней атмосферы, от высоты и угла, отсчитываемого от проходящего через горб направления, в модели «Яккия-71» (Jacchia) (черный цвет) и по спутниковым наблюдениям (красный цвет) (по работам I. Almár, A. Horváth, E. Illés)



Резул
В
прове
помог
годы
между
ных
Широ
преме
дован
ковы
возмо
ний
Прим
ный
ISAG
Бл
огром
ны о
орбит
форм
от эл
ется
время
Земл
подр
симм
посто
она м
было
верж
Др
ванна
изуче
перво
80 км
А сей
набл
тура
3000
сфер
туру,
что в
ный
ние,
актив
от су
верх
вают
торы
напр
27-дн
эффе

* С
«Наук
**
зывает
чество
1975»

Результаты наблюдения ИСЗ

В начале космической эры наблюдения ИСЗ проводили энтузиасты — любители астрономии с помощью маленьких телескопов. За прошедшие годы возникла всемирная сеть сотрудничающих между собой хорошо оборудованных специальных станций для наблюдения ИСЗ (рис. 13). Широкое международное сотрудничество — непременное условие проведения подобных исследований, ибо решение современных задач спутниковых геодезии, геофизики и геодинамики возможно лишь на основе большого числа наблюдений ИСЗ из различных районов земного шара. Пример такого сотрудничества — международный геодезический спутниковый эксперимент *ISAGEX**.

Благодаря совместным усилиям накоплен огромный наблюдательный материал, определены орбиты многих спутников**. Исследования орбит и их изменений дали подробные сведения о форме Земли. Ее форма отличается и от сферы, и от эллипсоида (рис. 14). Этим вопросом занимается спутниковая геодезия, которая в настоящее время уже хорошо описывает реальную форму Земли, т. е. форму геоида. Сейчас уже имеются подробные карты отклонений фигуры Земли от симметричной формы (рис. 15), и речь идет о том, постоянна ли вообще реальная форма геоида или она меняется со временем. Недавно, например, было обнаружено, что сплюснутости Земли подвержены колебаниям с годовым периодом.

Другая большая область исследований, основанная на использовании наблюдений ИСЗ, — изучение верхней атмосферы Земли. До запуска первого спутника об атмосфере Земли выше 80 км мы знали очень мало или вообще ничего. А сейчас главным образом благодаря обработке наблюдений спутников не только известна структура верхней атмосферы Земли до высот порядка 3000 км, но и построены модели верхней атмосферы, которые хорошо описывают и эту структуру, и временные ее изменения. Обнаружено, что верхняя атмосфера не постоянна и что главный параметр, характеризующий ее поведение, — плотность — сильно зависит от солнечной активности (рис. 16), от геомагнитных условий, от суточного эффекта (рис. 17) и т. д. Модели верхней атмосферы в среднем хорошо описывают процессы, происходящие в ней, но для некоторых эффектов, таких, как асимметричность в направлении север — юг, геомагнитный (рис. 18), 27-дневный, полугодовой и одиннадцатилетний эффекты, модельные расчеты не всегда совпа-

дают с измеренными значениями. Поэтому, несомненно, важно дальнейшее регулярное исследование верхней атмосферы, осуществляемое на основе анализа наблюдений ИСЗ.

Стоимость средств наблюдений ИСЗ относительно мала по сравнению со стоимостью самих искусственных космических объектов. Кроме того, такими методами можно изучать орбиты огромного количества спутников для статистических исследований тех явлений, о которых рассказывалось выше. Поэтому методы оптических наблюдений спутников остаются по-прежнему актуальными для уточнения гравитационного поля Земли и ее фигуры, для исследования периодических и случайных вариаций плотности верхней атмосферы Земли, вызываемых солнечной активностью, не говоря уже о практических задачах вычисления положений станций наблюдения на поверхности Земли.

* О нем см. статью Ж. Ковалевского в ежегоднике «Наука и человечество. 1974». — Ред.

** Помимо статьи Ж. Ковалевского, об этом рассказывается, например, в статьях Л. Сехнала («Наука и человечество. 1974») и И. Алмара («Наука и человечество. 1975»). — Ред.