Штурман [гол. Stuur + man = руль + человек]
– специалист по вождению кораблей

"Штурмана хоть и холопского звания,
а в навигацких науках сведущи,
а посему их всячески поощрять
и в кают-компанию пущать"
Петр Великий.

Морские навигационные эфемериды

М.Л.Свешников

(ЛАЕ ИПА РАН)

План:

1. Главные задачи астронавигации.

2. Фрагменты истории развития средств мореходной астрономии (до конца XIX века)

3. Развитие отечественной мореходной астрономии

4. Современное состояние морской навигации

5. Морские эфемериды ИПА РАН и их место в современных навигационных технологиях

6. Заключение.

1. Главные задачи навигационных эфемерид:

1.Определение места судна в море

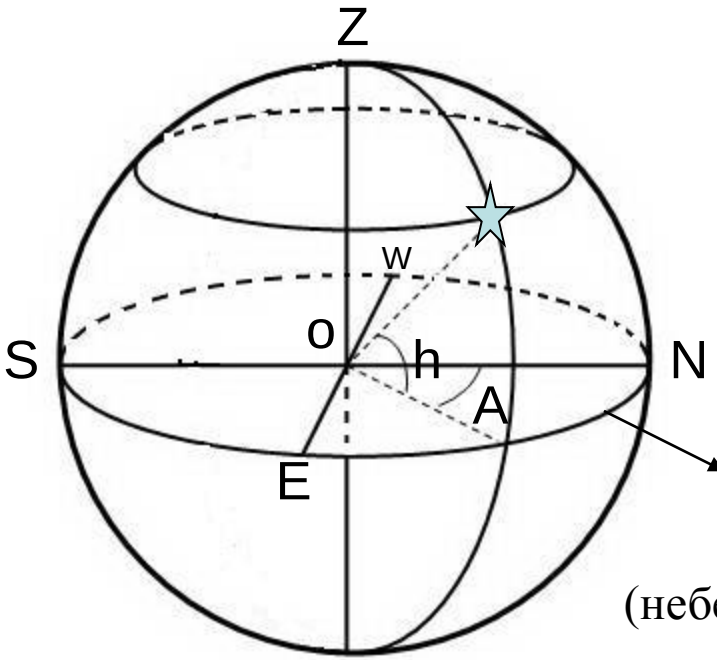
(вопрос: «где сейчас находимся?»)

2. Определение поправки курсоуказателя

(вопрос: «куда, т.е в каком направлении, теперь плыть?»)

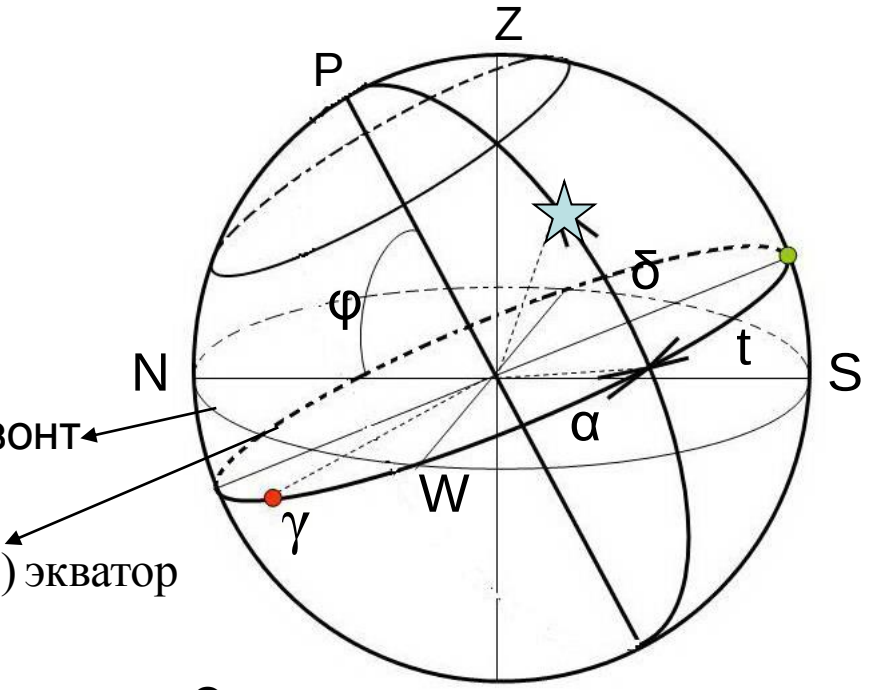
Как они решались (какими приборами и методами)
и с какой точностью
в различные периоды мореплавания ?

(1′ ≈ 1.8 км, 1° ≈ 111 км на экваторе)



Горизонтальная система к-т

$z = 90^o - h$



Экваториальная система к-т

$t = S - \alpha$; $\varphi = h_p$ $S = Sgr + \lambda$

$Sgr = t(\gamma)_{gr}$

$$\sin h = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos t$$

$$\mathrm{ctg}A = \mathrm{tg}\delta \cos\varphi \,\mathrm{cosec}\, t - \sin\varphi \,\mathrm{ctg}t$$

$$\cos A = \sin\delta \sec\varphi \,\mathrm{sec}\, h - \mathrm{tg}\varphi \,\mathrm{tg}h$$

Измеряются: Tc, h, A

Широта места из высоты светила в меридиане

$$\varphi = 90° - h + \delta$$

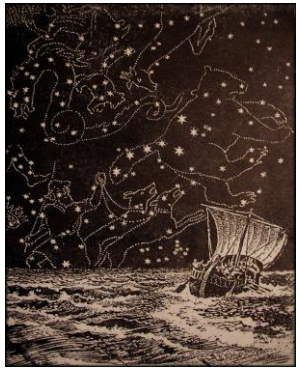
Вычисляются: λc, φc, αc, δc, tc, hc, Ac

Долгота места из часового угла светила

$$\lambda = S - S_{gr} = t + \alpha - S_{gr}$$

2. Фрагменты истории развития средств мореходной астрономии (до конца XIX века)

Древнее мореплавание в подавляющем большинстве было «каботажным», вдоль берегов, и носило «лоцманский» характер. Одним из выдающихся плаваний такого вида было плавание Неарха, командующего флотом А.Македонского, корабли которого в 325-324 гг. д.н.э. прошли от устья Инда до Ефрата (от Индии до Персии). С древнейших времен в мореплавании применялась ориентировка днём по Солнцу, а ночью по Полярной и местам восходов (заходов) созвездий. Вот как, например, Гомер описывает плавание по морю легендарного Одиссея:



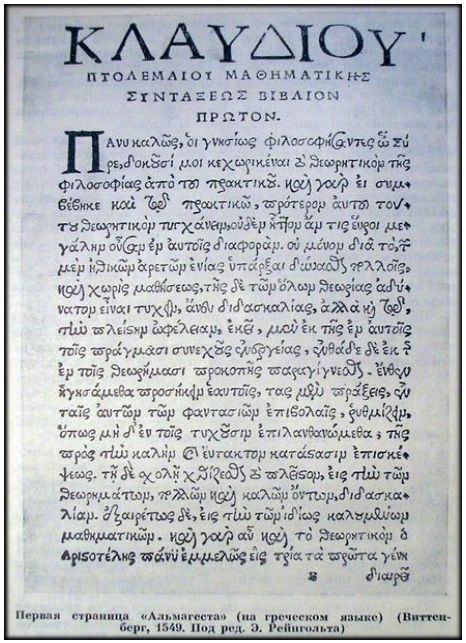
«…сон на него не спускался
Очи, и их не сводил он с Плеяд, с нисходящего поздно
В море Боота, с Медведицы, в людях еще Колесницы
Имя носящей и близ Ориона свершающей вечно
Круг свой, себя никогда не купая в волнах Океана;
С нею богиня богинь повелела ему неусыпно
Путь соглашать свой, её оставляя по левую руку».

(прим.: Боот = Волопас)

Карты (вернее, схемы) были очень грубы, методы были весьма неточны и охранялись как личные секреты капитанов. ***Существует предположение, что первая звёздная карта на корабле появилась у аргонавтов (II тыс. д.н.э.).***

Итогом развития античной астрономии и географии стали труды величайшего астронома древности Клавдия Птолемея (70-140 гг.н.э.). Птолемей известен главным образом своим капитальным трудом «Мэгале синтаксис» (Μεγάλη συνταξιζ) или «Большое (или Великое) построение», которое у арабов стало называться Al Magisti, откуда и произошло название «Альмагест» . Это весьма обширное сочинение из 13 глав, занимающее в английском переводе более 600 страниц. Оно содержит основы сферической астрономии, теории движения Солнца, Луны и планет.

В книгах VII-VIII «Альмагеста», посвященных неподвижным звёздам, содержится каталог из 1025 звёзд, образованный по наблюдениям самого Птолемея и Гиппарха (II в.до н.э.), составившего первый звездный каталог



ΚΛΑΥΔΙΟΥ

ΠΤΟΛΕΜΑΙΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ

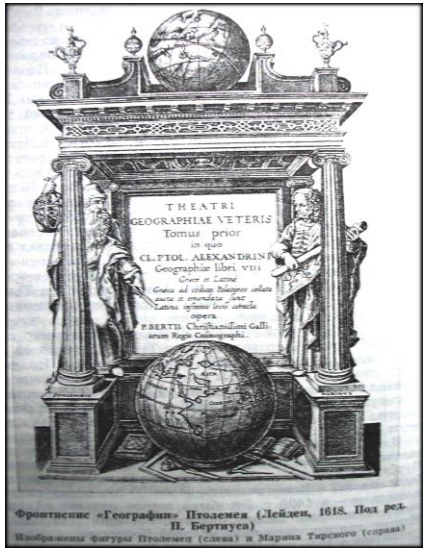
ΣΥΝΤΑΞΕΩΣ ΒΙΒΛΙΟΝ

ΠΡΩΤΟΝ.

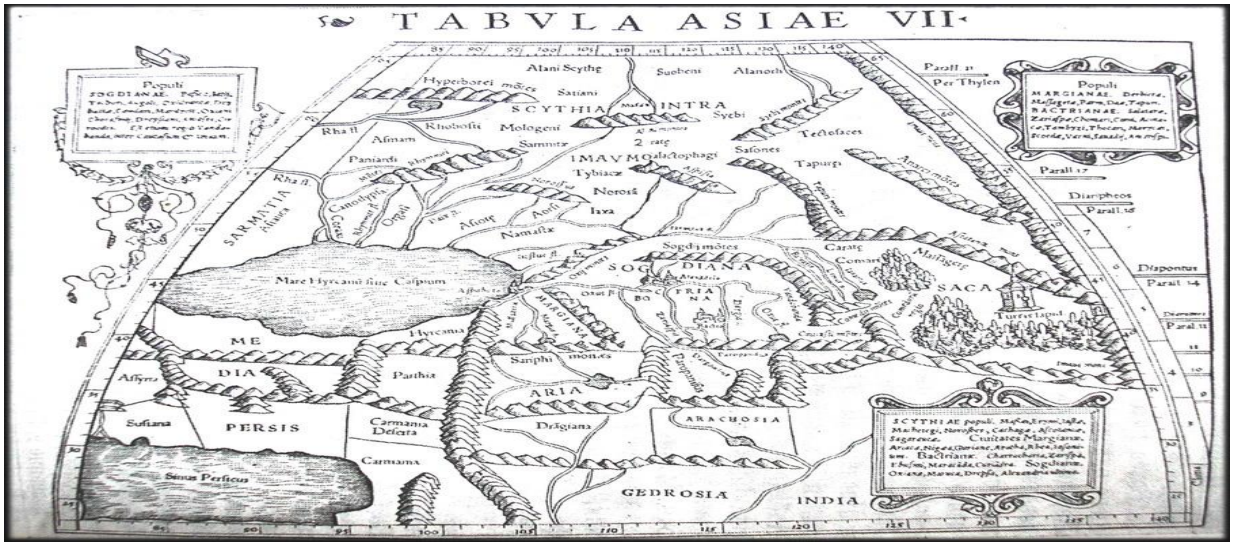
Первая страница «Альмагеста» (на греческом языке) (Виттенберг, 1549. Под ред. Э. Рейнгольта)

«Знаю, что смертен, что век мой не долог, и всё же – когда я
Сложный исследую ход круговращения звёзд,
Мнится, земли не касаюсь ногами, но гостем Зевеса
В небе амвросией я, пищей бессмертных кормлюсь»

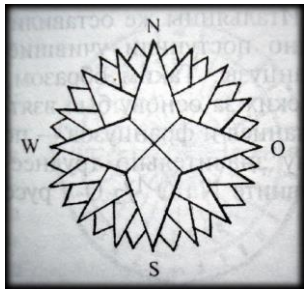
Расцвет античной географии также связан с Птолемеем, опубликовавшим атлас мира («Mappa mundi»), содержащий координаты более 8000 пунктов в конической и стереографической проекции с начальным меридианом вблизи Канарских островов (только 400 из них имели астрономически определенные координаты, остальные – со слов моряков). *Именно Птолемей впервые стал показывать север на картах вверху.*



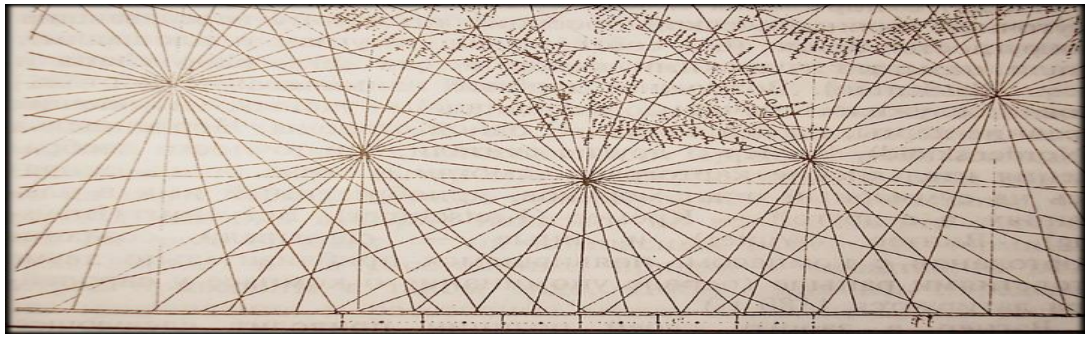
Фронтиспис «Географии» Птолемея (Лейден, 1618. Под ред. П. Бертиуса)



В средние века появился компас, и карты стали снабжаться для ориентации пеленгами



32-румбовая роза ветров (4 румба = 45º)


Портолан, «компасная» карта (ок.1275 г.)

Примерная периодизация методов мореходной астрономии

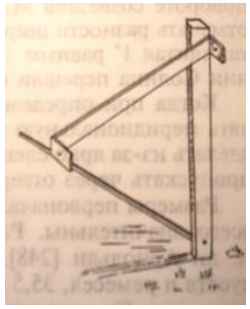
Период	Инструментарий	Метод определения координат	Примечания (1'≈1.8км, 1°≈111км экв.)
до XV в.	Компас, портоланы Песочные часы (склянки) триквертум	Прибрежный («лоцманский») характер	Солнце, Полярная, места восходов и заходов созвездий (очень грубо)
XV в.— сер. XVIII	Квадрант (ок. 1460 г.), астролябия (ок. 1480 г.), градшток (сер. XVI в.), Ноктурнал (зв.часы) Звездный глобус (с XVI в.), Карты Меркартора (1569) **Появление ежегодника (Connaissance des Temps, 1678, Пикар)** Магницкий (1703)	Широта по Полярной (первое определение 1462 г.) и Солнцу (1484) **Долгота по счислению**	Колумб: $\Delta\varphi \approx 2^o$-$3^o$ $\Delta\lambda \approx 10^o$-$12^o$ XVII в.: $\Delta\varphi \approx \pm 30'$ сер. XVIII: $\Delta\varphi \approx \pm 15'$ Max. точность измерения 8'-10' **Плавание «по параллелям»**
сер.XVIII — сер.XIX	**Секстан** (1730 г.Гадлей, Годфрей) **Хронометр** (1735 г. Гаррисон) **«Морской месяцеслов» (1814, Шуберт)**	**Разновременное определение координат** Широта: высоты светил Долгота: хронометр или лунные расстояния	Широта: $\Delta\varphi \approx 6'$ Долгота: Lunar: $\Delta d = 1' \rightarrow \Delta\lambda \approx 30'$ (в среднем 1°-1.5^o) Хронометр: $\Delta\lambda \approx 15'$-$30'$

$$\varphi = 90° - h + \delta \qquad \lambda = S - S_{gr} = t + \alpha - S_{gr}$$

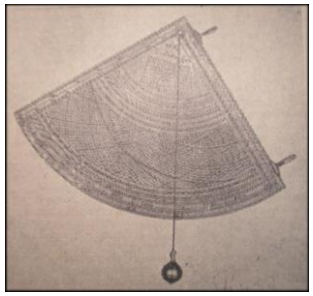
Что требуется для применения этих методов?

1. Прибор для измерения высоты h
2. Часы для измерения времени T или S (хранения Tgr или Sgr)
3. Эфемериды звезд (α, t, δ) на момент наблюдения
4. Редукционные таблицы для перевода значений (α,t, δ) ➔ (h, A)

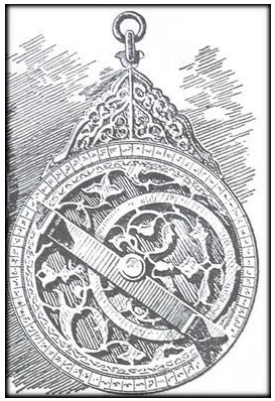
1. Приборы для измерения высоты светила
(или широты при раздельном определении координат)



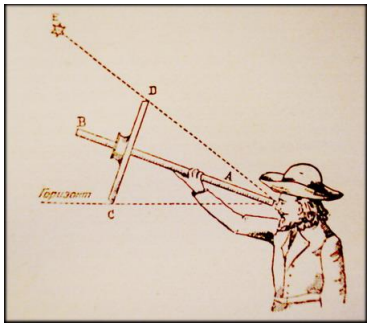
Триквертум,
драйштаб,
тройной жезл



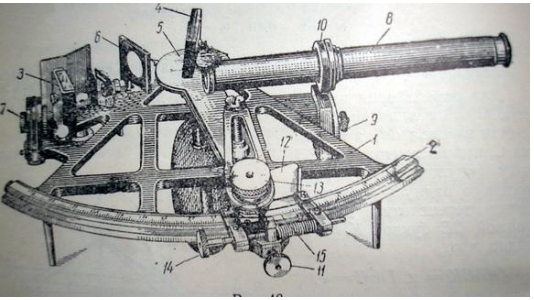
Квадрант
(ок. 1460 г.)
Δh ≈ 2°-3°



Астролябия
(ок. 1480 г.)
Δh ≈ 30′-1°



Градшток,
«посох Якоба»
(сер. XVI в. - XVIII в.)
Δh ≈ 30′ Δh ≈ 8′



Секстан
(ок. 1730 г., Гадлей, Годфрей)
при первых испытаниях Δh ≈ 2′-4′

Определение широты по
высоте в меридиане
$\varphi = 90° - h + \delta$

Точность одного измерения:
Солнце Δh ≈ 0.′4-0.′7
Звезда Δh ≈ 1.′0-1.′3

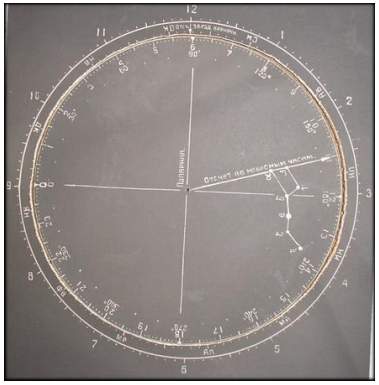
2. Приборы для измерения времени

(или определении долготы при раздельном определении координат)

(молитвы, стандартные фразы !!)

Песочные часы (склянки)

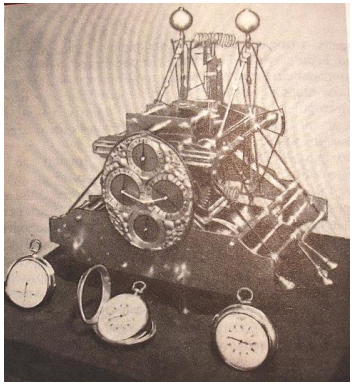
Ноктурнал (звёздные часы, XVI в.)



До XVII в. долгота по счислению $S=V\cdot\Delta T$

До конца XIX вв. определение долготы по «лунным расстояниям»

«Долготный безумец».



Хронометры Дж. Гаррисона: H2 (1739 г.) - высота 1.5 м, 50 кг., ΔT=5 сек за 81 день

Современный морской хронометр

Определение долготы по разности местного и гринвичского часового угла наблюдаемого светила

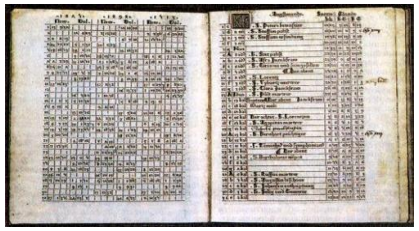
$$\lambda = t_m - t_{gr} = S_m - S_{gr}$$

Точность фиксации момента:

$\Delta T \approx$ 0.3-0.5 сек

3. Таблицы эфемерид навигационных светил

1. А.Закуто «Вечный альманах» (1473) (по Птолемею, использовал Колумб)
2. Таблицы Регионтана (1475) (по Птолемею)
3. И. Кеплер «Рудольфовых таблиц» (1627 г.) (по Копернику)
5. Ж. Пикар «Connaissance des Temps» (France, 1678) первый астр. Ежегодник (±1')
6. «The Nautical Almanac» (UK, 1714)



Регионтан и страница из его таблиц

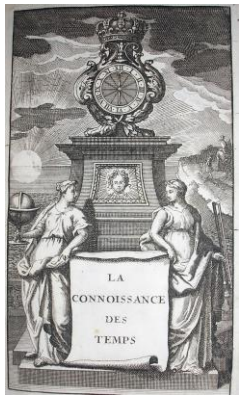
Коперник за наблюдениями

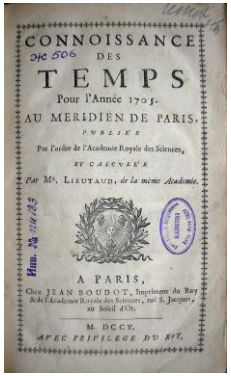
Кеплер и фронтиспис «Рудольфовых таблиц»

«Предсказательная» способность системы Коперника ниже птолемеевской. Напротив, сравнение системы Птолемея с теорией Ньюкома (1896) показало хорошее согласие

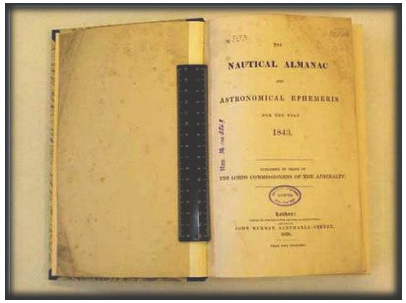
И.Кеплер, составил в 1627 г. новые таблицы с применением двух открытых им законов («Рудольфовые таблицы») по своей точности далеко превзошедшие все прежние таблицы, и ими пользовались вплоть до XVIII века.

Jean-Felix Picard





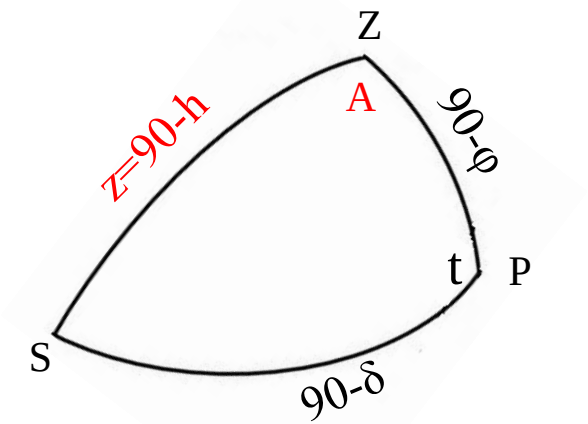
«Connoissance des Temps»



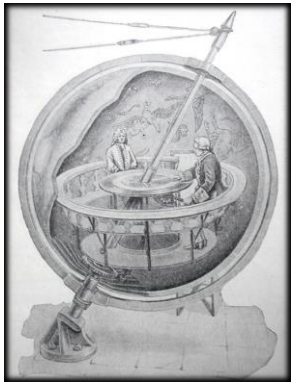
«The Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris».

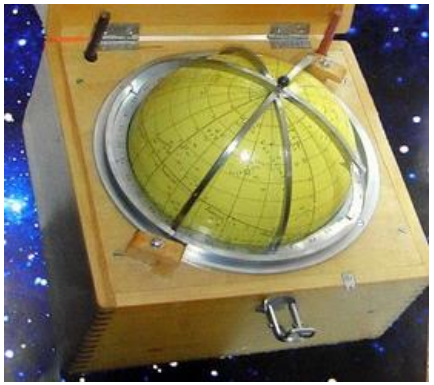
4. Прибор для пересчета (α, t, δ) ➔ (h, A)

Появление звездных глобусов приписывают Фалесу (624-548 гг. до н.э.). Старейший дошедший до нас звездный глобус изготовлен арабами в Валенсии (ок. 1070 г.) и хранится во Флоренции. Его размер 7.8 дюйма, на нем изображено 47 созвездий. Глобусы были популярны среди моряков, так как позволяли легко и наглядно решать различные навигационные задачи, в том числе решение параллактического треугольника. Также в XIX-XX вв. использовалась стереографическая сетка Вульфа.



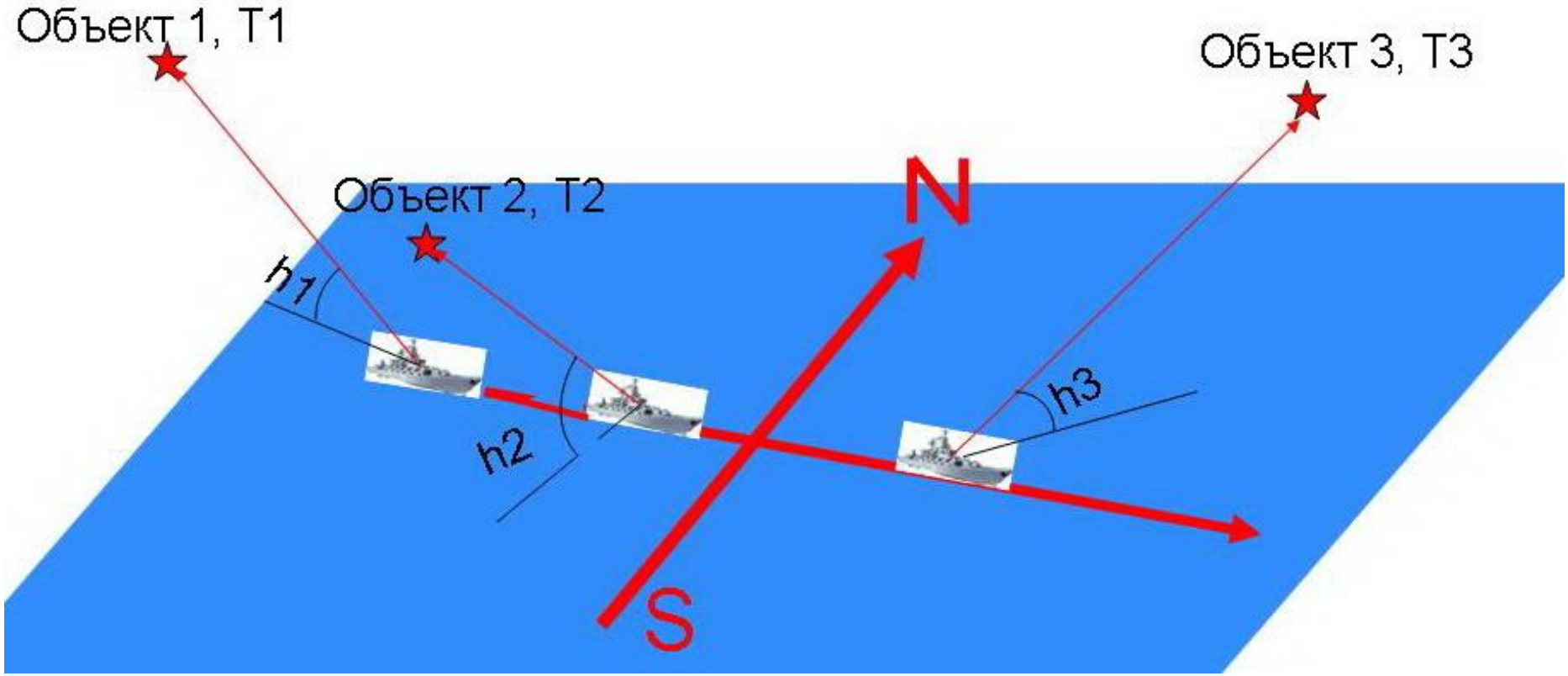
Параллактический треугольник





Одним из самых известных является уникальный готторпский глобус-планетарий, изготовленный в 1654-1664 гг. Адамом Олеария (Голштиния) по заказу Фридриха III. Он был подарен Петру I и с 1726 г. находится в Кунсткамере. Диаметр глобуса 3.11 м, вес − 3.5 тонны. Внутри него размещаются 12 человек. На внутренней поверхности нанесены рисунки созвездий.

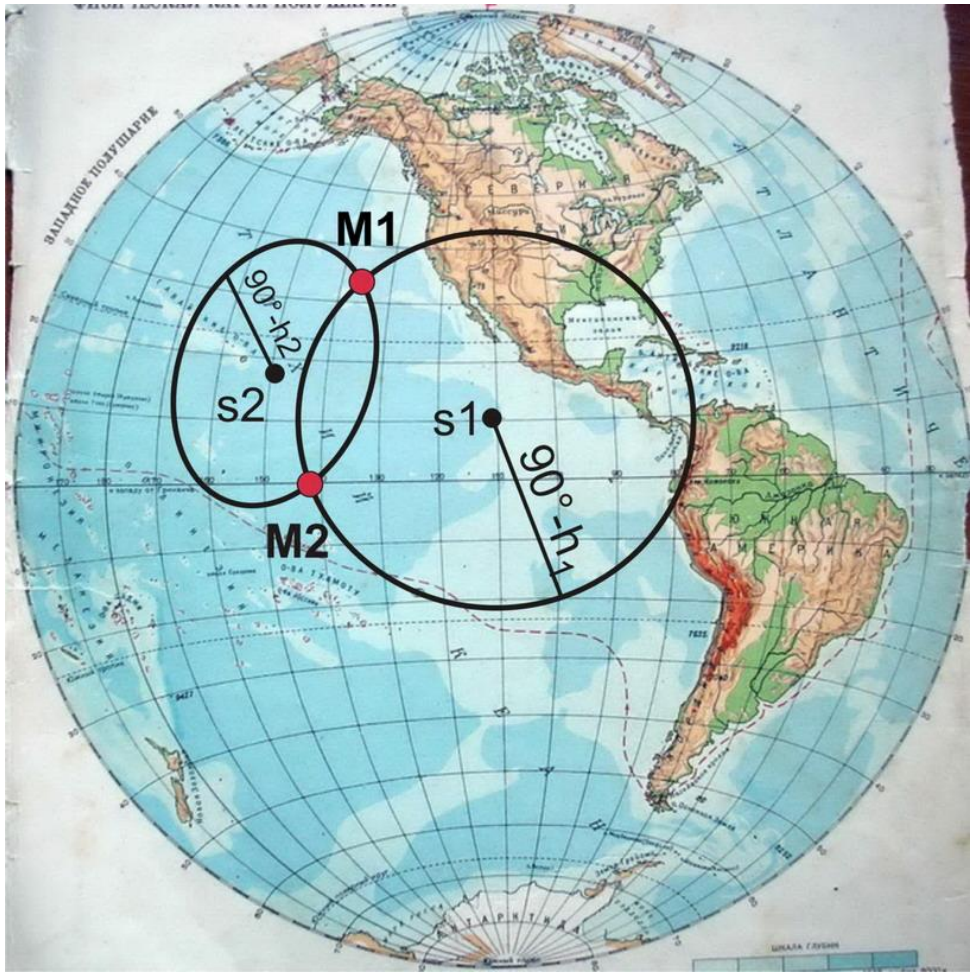
После изобретения логарифмов (XVII в.), существенно упростивших решение сферических треугольников глобусы используют лишь в справочных или демонстрационных целях (для подготовки наблюдений).



Определение местоположения при движении судна

Метод Томаса Сомнера (1843)

одновременного определения долготы и широты судна по высотам двух светил



Пусть наблюденная (обсервованная) высота светила s1 (α,δ) равна h1. Географические координаты точки на земной поверхности, где в этот момент светило находилось в зените, будут: ($\lambda 1 = \alpha - S_{GR}$, $\varphi 1 = \delta$, S_{GR} – звездное время Гринвича). Геометрическое место точек, где зенитное расстояние светила равно z1=90-h1, представляет собой малый круг радиусом z1 и с центром в (λ1, φ1).

Аналогичное построение выполняем для светила s2. Точки M1 и M2 являются возможными положениями судна.

Из них достаточно просто выбрать необходимое решение.

Определение места судна
по методу высотных линий положения, ВЛП)
(дифференциальная форма метода Сомнера)

$$\sin h = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t \qquad (t = t_{gr} + \lambda)$$

$$\cos h\, \Delta h = (\cos\varphi \sin\delta - \sin\varphi \cos\delta \cos t)\, \Delta\varphi - \cos\varphi \cos\delta \sin t\, \Delta t + (\sin\varphi \cos\delta - \cos\varphi \sin\delta \cos t)\, \Delta\delta$$

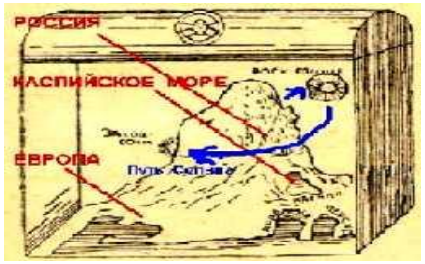
$$(\Delta t = \Delta\lambda, \text{ т.к. } \Delta t = \Delta S_{gr} + \Delta\lambda - \Delta\alpha)$$

$$\cos h\, \Delta h = \cos h \cos A\, \Delta\varphi - \cos\varphi \cos h \sin A\, \Delta\lambda + \cos h \cos q\, \Delta\delta$$

$$(\Delta\lambda \cos\varphi = \Delta\omega)$$

$$\Delta h = h_o - h_c = \cos A\, \Delta\varphi + \sin A\, \Delta\omega$$

3. Развитие отечественной мореходной астрономии



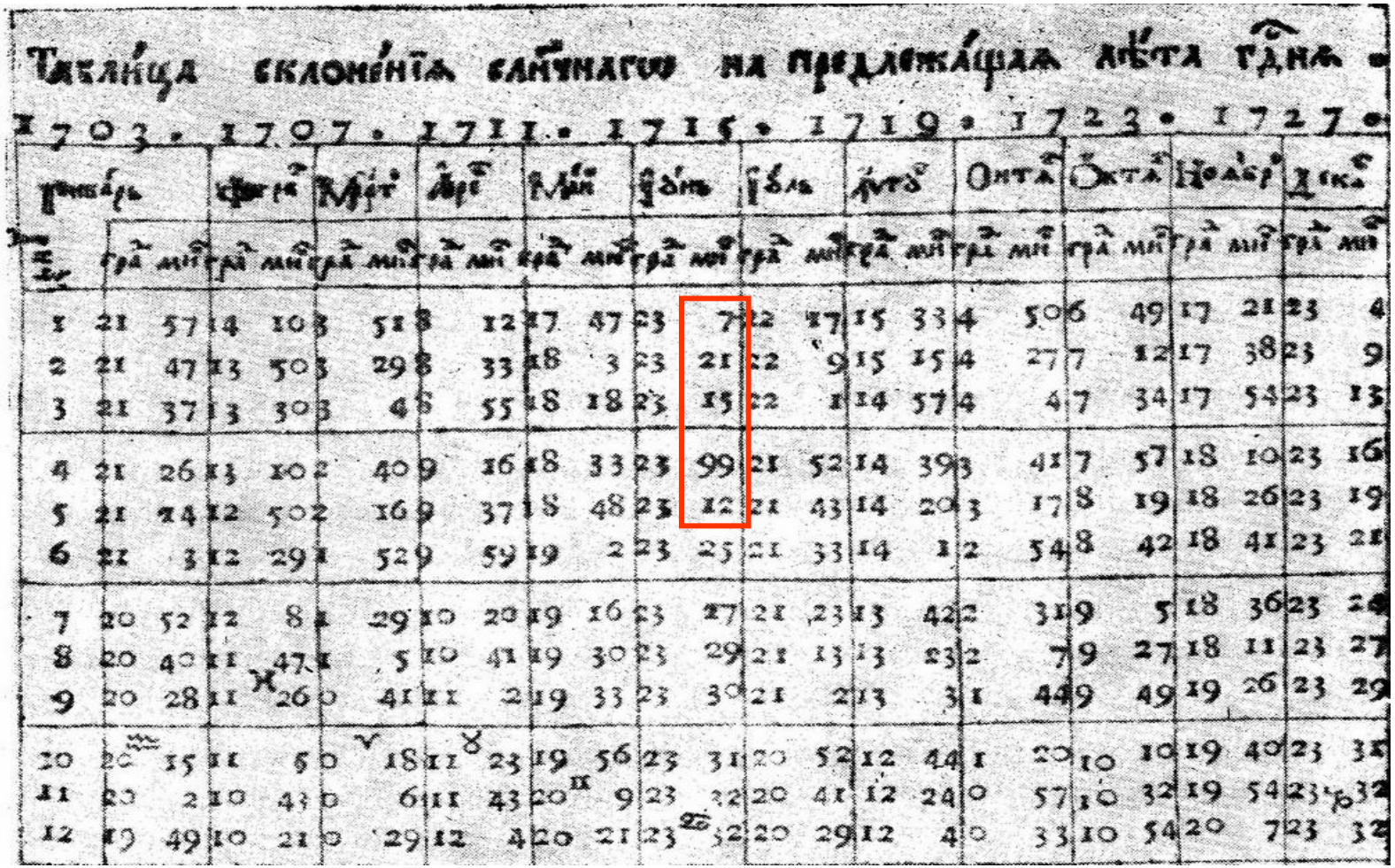
Вселенная по Козьме Индикоплову

Первый русский военный корабль «Орел» (1669 г): длина - 25 м, ширина - 6,3 м, осадка - 1,6 м.
Сожжен Разиным

После успешного участия флота во взятии Азова Петр I издал 20(30) октября 1696 г. указ, утвержденный Боярской думой, в котором было сказано: "Морским судам быть". Этот день и принято считать днем рождения русского регулярного флота.

Москва, 1703 г.
Навигацкая школа
(Сухаревакая башня)

Магницкий Л. Ф.
«Арифметика, сиречь наука числительная. С разных диалектов на словенский язык преведенная, и воедино собрана, и на две книги разделена» (1703, М.)



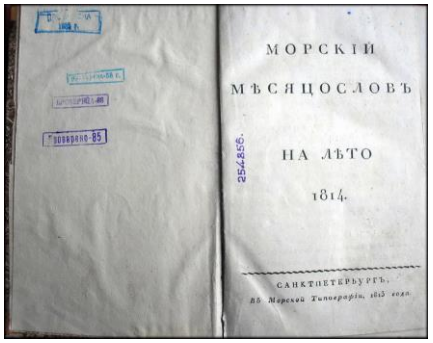
Часть таблицы склонений Солнца

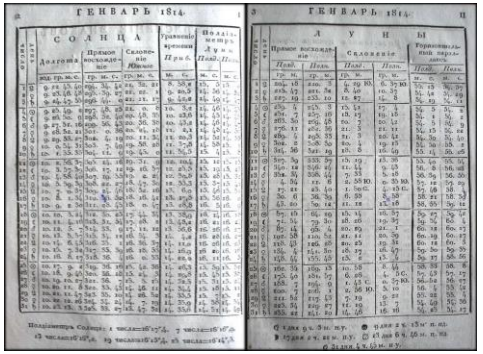
В целом, можно считать «Арифметику» Магницкого первым русским эфемеридным изданием (и одновременно учебником) по мореходной астрономии.

О первом российском «МАЕ»:

С 1814 г. Адмиралтейский департамент начал издавать специальный русский морской астрономический ежегодник в полном смысле этого слова, который носил тогда название «Морской месяцеслов»

Шуберт
Федор Иванович
(Фридрих Теодор)
(1758-1825)





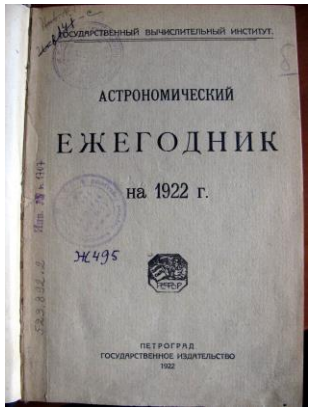
Конец XVI в.	**Начало наблюдений за небесными светилами. Знакомство с системой Коперника**
Начало XVIII в. – 1814 г.	**Л.Ф.Магницкий (первые эфемериды, 1703 г.) Издание отдельных таблиц Солнца и Луны**
1814–1855 гг.	**«Морской месяцеслов» Развитие метода Сомнера и лунных расстояний. Кругосветные плавания**
1856-1917 гг.	**Кризис штурманской службы. Зависимость от иностранных ежегодников. Первые отечественные «Мореходные таблицы». Отказ от метода лунных расстояний.**

Навигационный инструментарий (лаги, секстаны, хронометры) зарубежный!

В начале XX в. стало остро ощущаться отсутствие отечественных морских (и не только морских) астрономических эфемерид. Зависимость великой морской державы от поставок иностранных морских эфемерид была противоестественна. Это особенно ощутимо сказалось в период после 1917 г. В 1919 г. Гидрографическому управлению даже пришлось выпустить специальное руководство об использовании выпусков «Nautical Almanac» прошлых лет. В связи с этим проф. П. М. Горшковым на I Всероссийском астрономическом съезде (Петроград, 6-7 апреля 1917 г.) было внесено предложение об издании в России *«русского астрономического календаря по образцу лучших заграничных»*.

7 октября 1917 г. по решению Петрокомпроса Вычислительный институт приступил к работе со штатом 9 человек.

По решению Наркомпроса (Москва) с 14.01.1920 институт был переименован в Государственный вычислительный институт (ГВИ). Директором назначен астроном-наблюдатель Пулковской обсерватории Борис Васильевич Нумеров.



В декабре 1921 г. ГВИ выпустил в свет «Русский астрономический ежегодник на 1922 год»

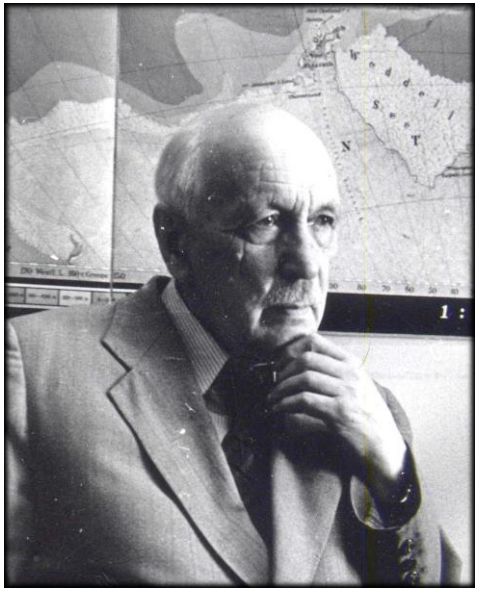
В 1937 г. по обвинению во вредительстве при изучении солнечного затмения 1936 г., в создании фашистской террористической организации и срыв разведки полезных ископаемых было арестовано свыше 100 ученых различных организаций, в том числе директор Пулково Б. П. Герасимович, директор Астрономического института Б. И. Нумеров и проф. ЛГУ, член-корр. АН СССР В. А. Фок. Было арестовано 30 астрономов (при общем числе активно работающих астрономов в стране около 90 человек). На конгрессе МАС в Стокгольме в 1938 г., советская делегация отсутствовала.

Б.В.Нумеров получил 10 лет, но был расстрелян в Орле по команде из Москвы 13 сентября 1941 г. без дополнительного расследования, в связи с угрозой оккупации Орла фашистами.

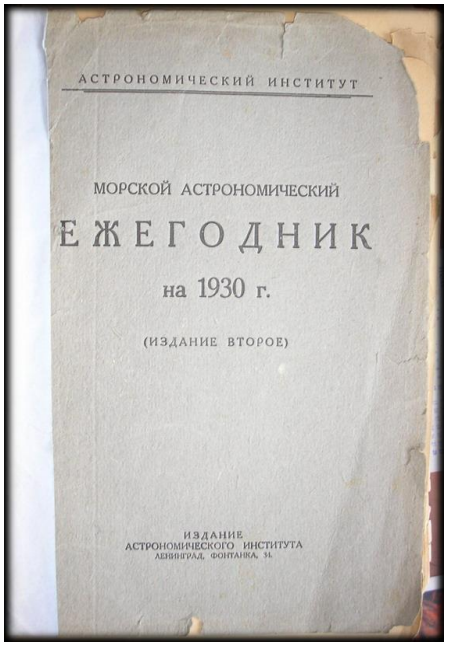
Морские навигационные эфемериды

Н.И.Идельсон
(1885-1951)
(ред. МАЕ 1930-1931)

В 1927 г. после совещания представителей морских ведомств в Астрономическом институте было решено создать специальный морской ежегодник.
(а также авиационный, который существовал с 1930 по 1995 гг.).



И.Д.Жонголович (1892-1982)
(ред. МАЕ 1932-1983,
ред. ААЕ 1930-1983,
ВАС-55, астрографики)



4. Современное состояние морской навигации

(по материалам конференций)

Классификация и периодизация войн.

Поколения войн	Период	Характеристика
I	≈3.5 тыс.лет	Камни, палки, спецсредства: копья, мечи, луки, стрелы, доспехи (холодное оружие, рукопашные схватки)
II	с XII в.	Изобретение пороха и огнестрельного оружия (поражение противника на дистанции)
III	с XVIII в.	Изобретение нарезного многозарядного оружия (контактные войны больших масштабов)
IV	с XIX в.	Автоматическое оружие, танки, самолеты, реактивное оружие, авианосцы, подводные лодки
V	с 1945 г.	Ядерное оружие, ракеты. Ядерное оружие как сдерживающий политический фактор. Стратегические ядерные силы для массированного удара. Т.к. ядерное оружие не эффективно при отражении слабого неядерного противника, опять ориентация на неядерные средства.
VI	начался 20-25 лет назад	Высокоточное ударное безъядерное оружие. Бесконтактные войны при сохранении угрозы ядерной войны. Главный упор на воздушно-космические и морские средства, Интернет, спутниковые навигационные системы (СНС)

Современные средства навигации

1.«Классическая» навигация (секстан + хронометр)

Радиоприем сигналов времени на кварцевый хронометр (точность привязки к эталонному времени 0.03 с)

2. Радиотехнические средства (радары, радиопеленгаторы, радиосекстаны (1-3'), радиоприемоиндикаторы). Использование радиомаяков и систем типа Лоран-С, Сайтак, Чайка.

3. Навигационные комплексы

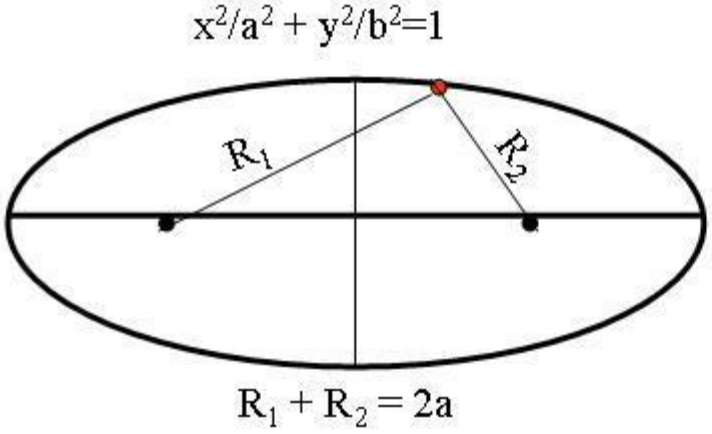
Навигационные комплексы заменяют многочисленные разрозненные средства навигации и управления судном. Конструктивно они выполняются на ходовом мостике в виде нескольких пультов, включающих в себя ЭВМ для обработки и индикации данных и выработки управляющих сигналов. В частности, служат для определения координат судна с ручным и автоматическим вводом данных. Для этой цели они снабжены датчиками навигационной информации (гирокомпас, лаг, эхолот, секстан, радиопеленгатор и т.д.), системами обработки информации и ее отображения, в том числе, и в графическом виде для электронных карт. Навигационные комплексы позволяют решать широкий класс астронавигационных задач

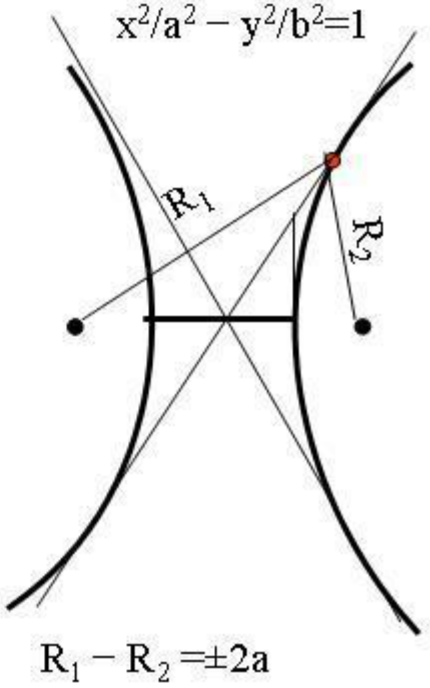
4. Инерциальные навигационные системы (гирокомпасы, акселерометры, интеграторы)

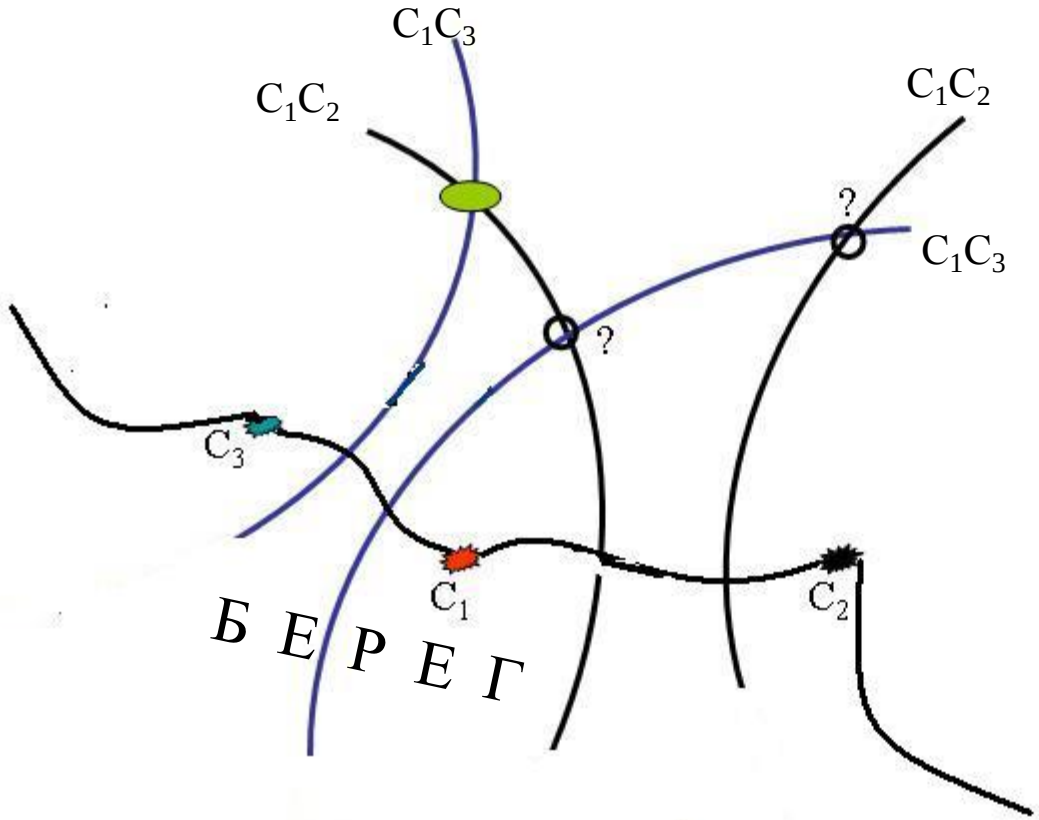
Принцип действия состоит в моделировании поступательного движения объекта по измеренной акселерометром $\underline{\omega}$ величине ускорения и его направления (по гироскопическим устройствам или астростабилизаторам). Уравнение движения воспринимающего элемента в инерциальной системе координат имеет вид: $\underline{\omega} = d^2\underline{r}/dt^2 - \underline{F}(\underline{r})$ где — $\underline{\omega}$ ускорение, измеряемое акселерометром; $\underline{r}$ — радиус-вектор точки М (центра тяжести воспринимающего элемента) в инерциальной системе координат; $\underline{F}$ — сила притяжения единицы массы воспринимающего элемента в точке М (ускорение силы тяжести). Однократное интегрирование дает вектор скорости, двойное- вектор координат места. Точность 1.5-5 км, область применения, в основном, авиация и подводный флот.

5. Спутниковые навигационные системы (СНС):

GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), Galileo (Европа), Китай, MSAS (Япония)







Более точно ОМС осуществляется по приему фаз сигналов

ОМС по сигналам РНС

Дальность действия 100-2000 км
Частота 100 кГц (3000 м)

Точки (?) отбрасываются по порядку прихода сигналов от двух станций

Сравнение навигационных средств

Система	Достоинства	Недостатки
«Классическая» навигация (0.5-2 км)	Полная автономность Независимость от источников питания и др. тех.средств (возможность использования при авариях) Высокая помехоустойчивость Применимость в любой точке Земли Определение поправки курса	Низкая точность Метеозависимость (неустранимо) Низкий темп выдачи координат Ошибки при «ручных» вычислениях Зависимость от опыта штурмана и своевременности поставки эфемерид
Инерциальные системы (1.5-5 км)	Автономность Высокий темп выдачи координат Возможность дублирования Не поддаются подавлению радиосредствами	Длительная начальная калибровка Накопление ошибок Зависимость от гравитационных аномалий Проблема курса у полюсов Механическая уязвимость Сложные, дорогие устройства
Спутниковые системы (GPS) (до 3 м)	Высокая точность Глобальность Малое время готовности	Малая скорость работы (для быстрых объектов) Зависимость от наблюдаемой конфигурации спутников Слабый сигнал и сильная помехоуязвимость (антенны с регулируемой диаграммой направленности) Возможность отключения

Некоторые военные аспекты применения СНС GPS

GPS в военном отношении развиваются для обеспечения действий по концепции «Флот против берега» (70% мирового населения живет в пределах 350 км от береговой черты, а 80% столиц – не далее 500 км).

В 1996 г. начата программа NavWar (Navigation Warfare, «Навигационная война»), цель которой не дать противнику возможность воспользоваться системой над театром военных действий и при этом избежать снижения качества работы за пределами этой зоны.

К 2004 г. в США на вооружении имелось: ВМС − 9100, ВВС − 18800, сухопутные силы − 93500, морская пехота − 4800 GPS-приемников, которые обеспечивали точность определения координат до 3-5 м (для подлодок приём сигналов через буй). В 2004 г. Буш подписал новую версию директивы «Определение местоположения , навигации и синхронизации с использованием космических систем».

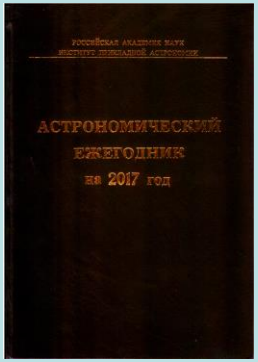
Практическое военное применение СНС (США)

«Буря в пустыне»	1991, Ирак, Кувейт	Опытная эксплуатация системы Transit, выдача координат каждые 70 мин.
«Лиса в пустыне»	1998, Ирак	
«Объединенная сила»	1999, Югославия	Система GPS, над театром действий одновременно 8-12 спутников для управления боевыми средствами (всего задействовано 50 спутников)
«Несгибаемая свобода»	2001, Афганистан	
«Шок и трепет»	2003, Ирак (прообраз войны VI поколения)	Высокоточные точечные удары, вместо «ковровых» бомбардировок (доля управляемого системой оружия ≈95%)
	2008, Осетия	Разведка (?), переключение кода (?)

(Заколодяжный В.П., Алексеев С.П., Комарицын А.А. «Спутниковая навигационная система: применение в вооруженных силах США». 2006, СПб, ЦКП ВМФ, 207 с.)

5. Морские эфемериды ИПА РАН и их место в современных навигационных технологиях.

Печатные издания ЛАЕ ИПА РАН



Программные комплексы

Персональный астрономический ежегодник

(PersAY)

Специализированная астронавигационная система

(Навигатор)

Интерактивная система удаленного доступа

(Штурман)

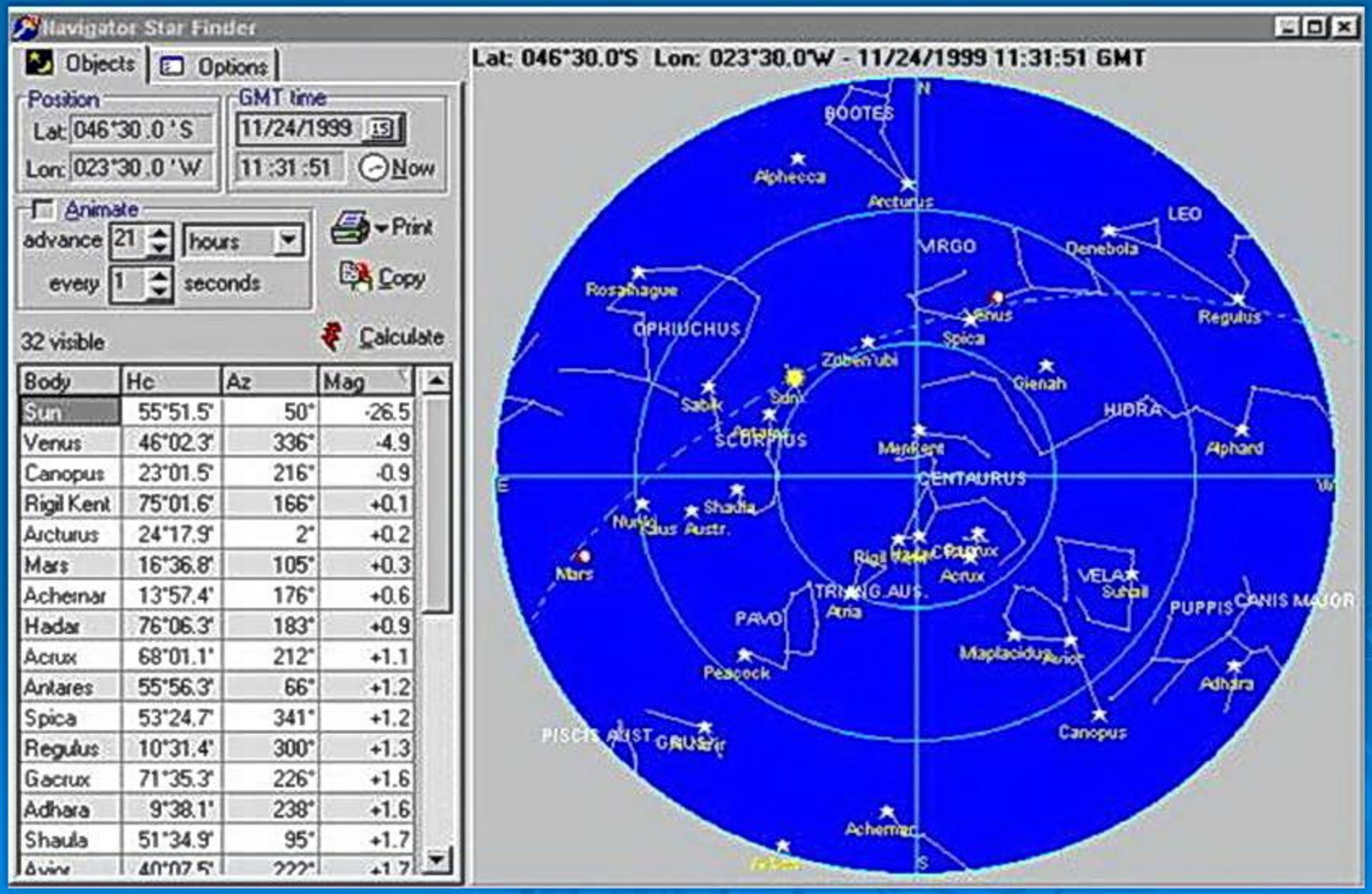
shturman.ipa.nw.ru

Сравнение основных морских альманахов

Параметры пособия	Россия МАЕ-2018 ежегодник	USA+UK NA-2017 ежегодник	Germany NJ-2016 ежегодник	Россия МАА 2017-2018 двухлетний
ОСНОВНЫЕ ТАБЛИЦЫ				
«Ежедневные» таблицы	3 дня на 1 стр.	3 дня на 1 стр.	1 день на 1 стр.	3 дня на 1 стр.
Солнце, Луна	t, δ через 1^h UT1	t, δ через 1^h UT1	t, δ через 1^h UT1	t, δ через 1^h UT1
Венера - Сатурн	t, δ через 1^h UT1	t, δ через 1^h UT1	t, δ через 1^h UT1	t, δ через 5^h UT1
Звёзды в «ежед. табл.»	67 звёзд	57 звёзд	20 звезд	77 звёзд
Восходы, заходы (В МАА Луна –спец.табл.)	Солнце, Луна (φ = 60S - 74N)	Солнце, Луна (φ = 60S - 72N)	Солнце, Луна (φ = 50S - 70N)	Солнце (φ = 60S - 74N)
Сумерки	гражданские, навигационные	гражданские, навигационные	гражданские, навигационные	начало утр. и веч.наблюдений
Кульминации, фазы Луны	Солнце, Луна, планеты	Солнце, Луна, планеты	Солнце, Луна, планеты	Солнце, Луна, планеты
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ТАБЛИЦЫ				
Ежемесячные звезды	160 зв.	173 зв.	80 зв.	160 зв.
Таблицы Полярной	табл. азимута и широты	табл. азимута, широта (полиномы)	табл. азимута и широты	табл. азимута, широта (формула)
Интерполяционные табл.	есть	есть	есть	есть
Табл. высот и азимутов	ТВА-57 (модиф.)	sight reduction table	нет	ТВА-57 (модиф.)
Звёздные карты	вкладка	в тексте	в тексте	в тексте
Видимость планет	таблица	диаграмма	звезд. карта	ежед.табл. +диаграмма
Затмения	краткая информ.	карта затмения	краткая информ.	краткая информ.
Таблица часовых поясов	нет	есть	нет	нет
Объяснение	русский яз.	англ. яз.	немецкий	русский и англ. яз.
Примеры (кол-во)	30	15	6	23

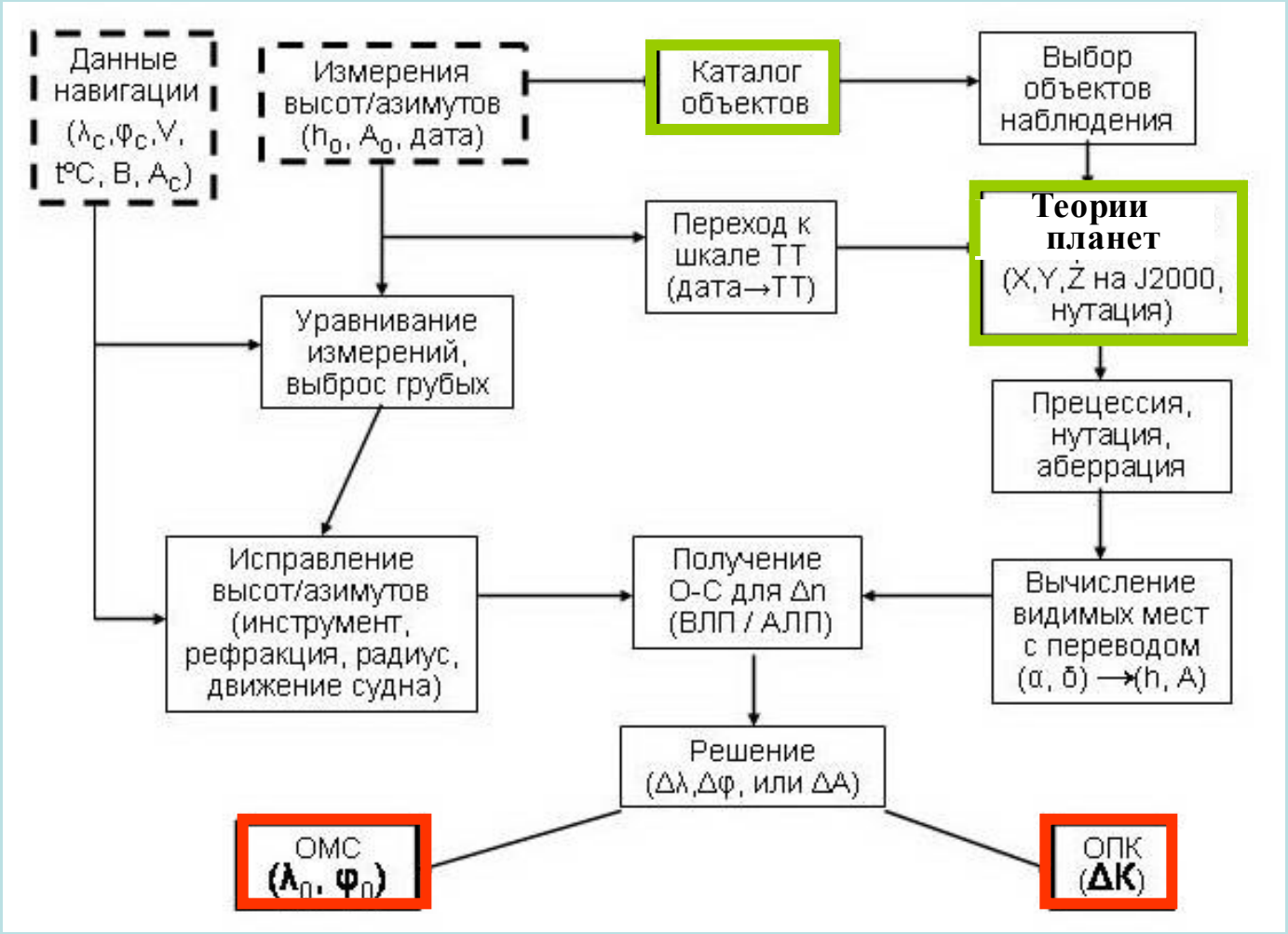
Пример планетария «Navigator»

Необходим для оценки ситуации и выбора навигационных светил



Body	Hc	Az	Mag
Sun	55°51.5'	50°	-26.5
Venus	46°02.3'	336°	-4.9
Canopus	23°01.5'	216°	-0.9
Rigil Kent	75°01.6'	166°	+0.1
Arcturus	24°17.9'	2°	+0.2
Mars	16°36.8'	105°	+0.3
Achernar	13°57.4'	176°	+0.6
Hadar	76°06.3'	183°	+0.9
Acrux	68°01.1'	212°	+1.1
Antares	55°56.3'	66°	+1.2
Spica	53°24.7'	341°	+1.2
Regulus	10°31.4'	300°	+1.3
Gacrux	71°35.3'	226°	+1.6
Adhara	9°38.1'	238°	+1.6
Shaula	51°34.9'	95°	+1.7
Avior	40°07.5'	222°	+1.7

Общая структура решения астронавигационных задач

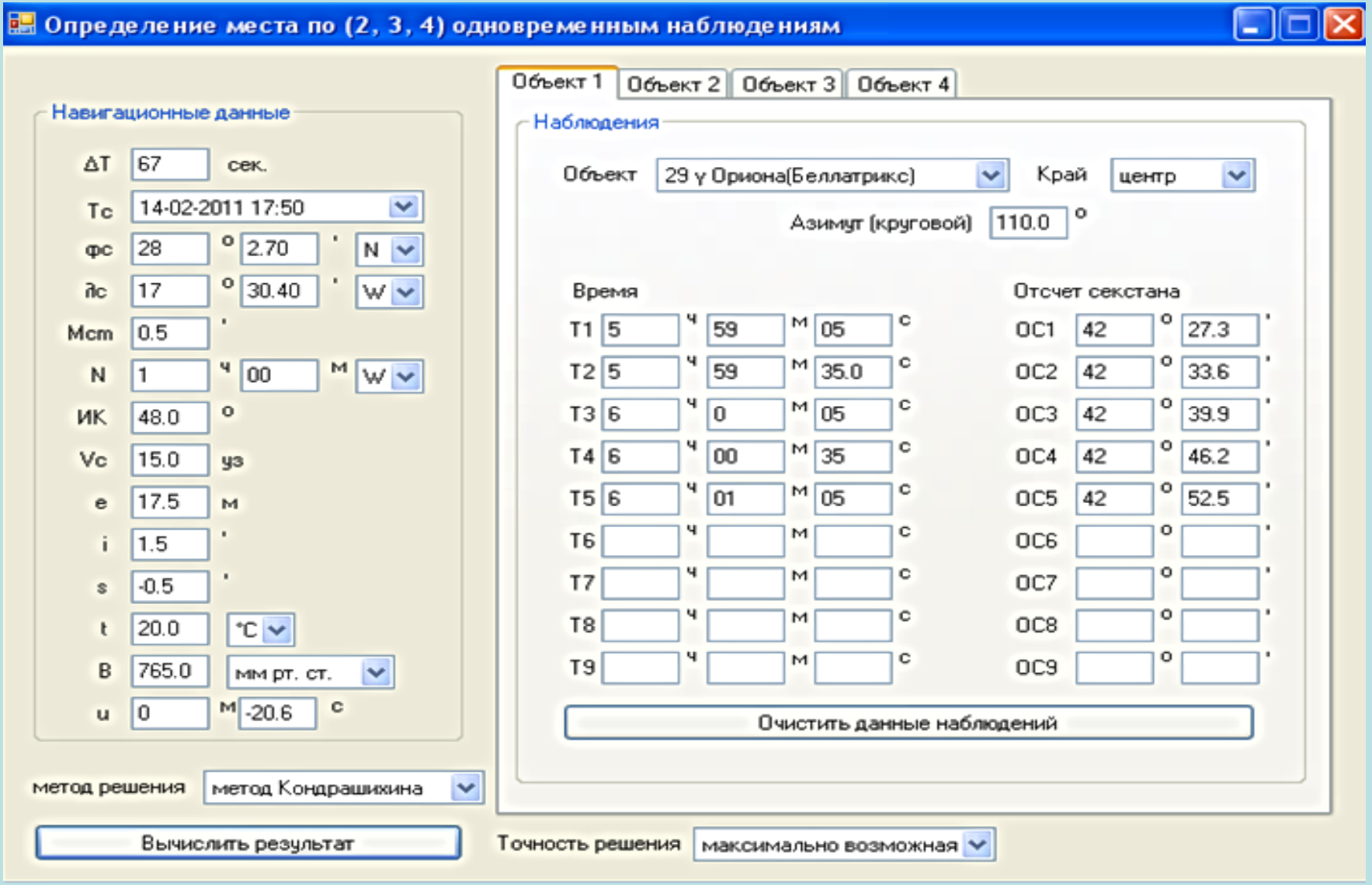


-- навигационные данные и измерения

-- опорные эфемеридные данные

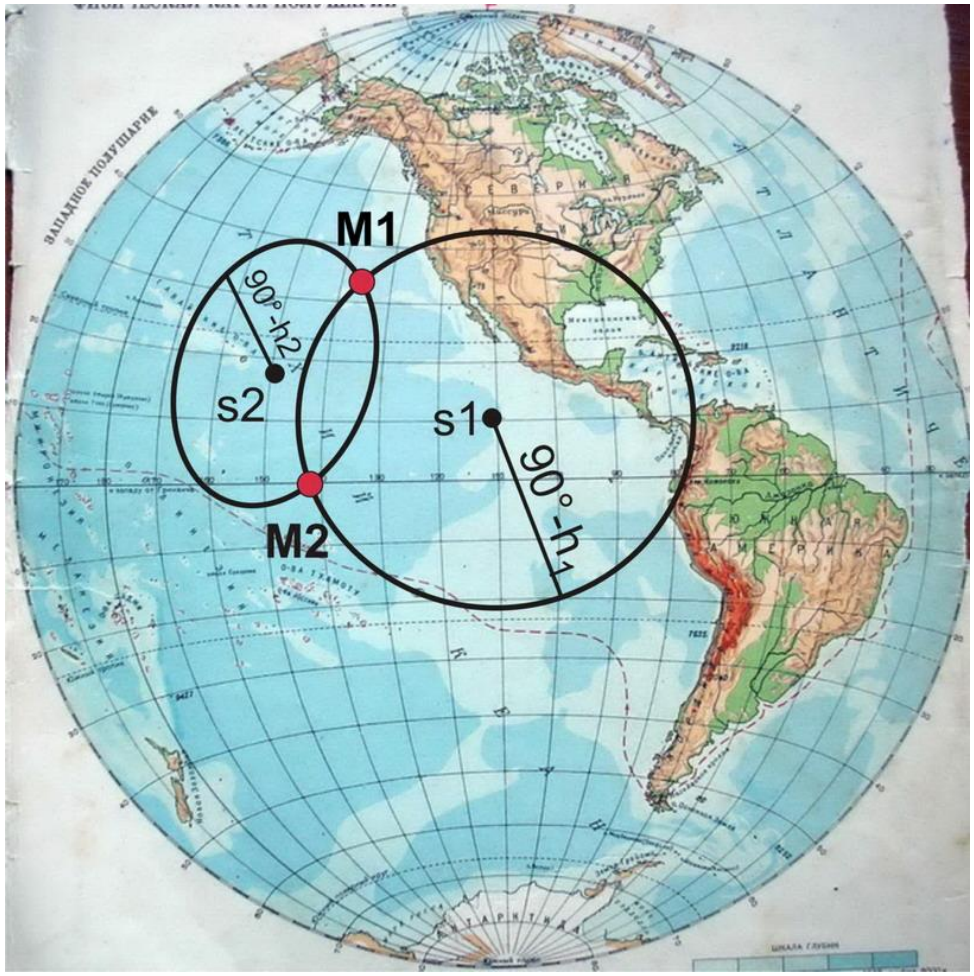
-- решение (ОМС/ОПК)

Пример панели входных данных для ОМС по 2-4 светилам



Метод Томаса Сомнера (1843)

одновременного определения долготы и широты судна по высотам двух светил



Пусть наблюденная (обсервованная) высота светила s1 (α,δ) равна h1. Географические координаты точки на земной поверхности, где в этот момент светило находилось в зените, будут: ($\lambda 1 = \alpha - S_{GR}$, $\varphi 1 = \delta$, S_{GR} – звездное время Гринвича). Геометрическое место точек, где зенитное расстояние светила равно z1=90-h1, представляет собой малый круг радиусом z1 и с центром в (λ1, φ1).

Аналогичное построение выполняем для светила s2. Точки M1 и M2 являются возможными положениями судна.

Из них достаточно просто выбрать необходимое решение.

Определение места судна по методу высотных линий положения, ВЛП)

(дифференциальная версия метода Сомнера)

$$\sin h = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t \qquad (t = t_{gr} + \lambda)$$

$$\cos h\, \Delta h = (\cos\varphi \sin\delta - \sin\varphi \cos\delta \cos t)\, \Delta\varphi - \cos\varphi \cos\delta \sin t\, \Delta t + (\sin\varphi \cos\delta - \cos\varphi \sin\delta \cos t)\, \Delta\delta$$

$$(\Delta t = \Delta\lambda, \text{ т.к. } \Delta t = \Delta SHgr + \Delta\lambda - \Delta\alpha)$$

$$\cos h\, \Delta h = \cos h \cos A\, \Delta\varphi - \cos\varphi \cos h \sin A\, \Delta\lambda + \cos h \cos q\, \Delta\delta$$

$$(\Delta\lambda \cos\varphi = \Delta\omega)$$

$$\Delta h = h_o - h_c = \cos A\, \Delta\varphi + \sin A\, \Delta\omega$$

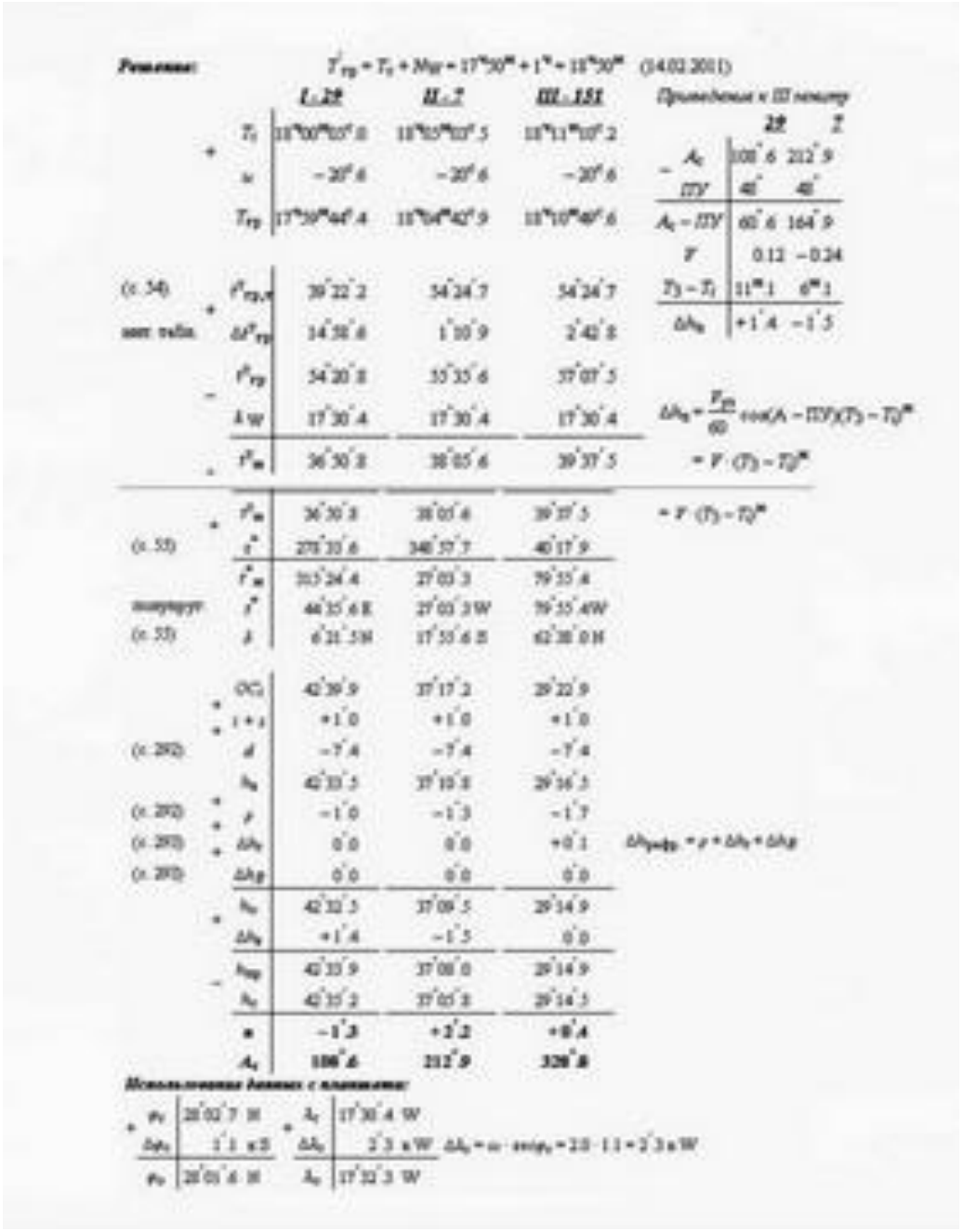


Схема решения ОМС по 3 звездам

Эфемериды (t, δ, Sgr) берутся из МАЕ или МАА-2 с точностью 0.1’.

При редукции используются специальные таблицы:

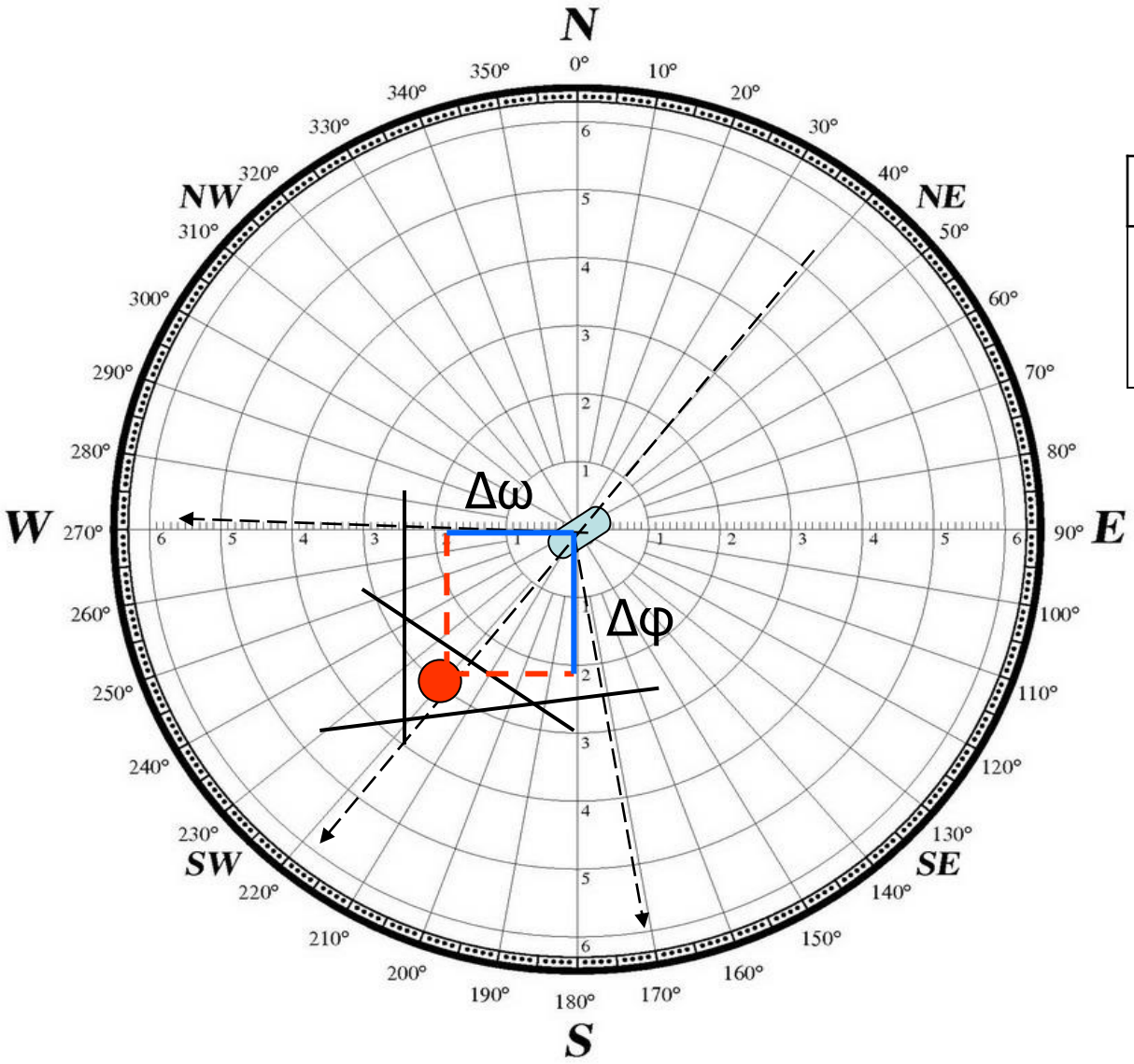
- Наклонение горизонта (0.1’)
- Рефракция (0.1-0.2’)
- Приведение высот (0.1’)
- Интерполяционные табл. (0.1’)
- ТВА-57 (0.1-0.3’)

В среднем время расчета вручную 30-40 мин.

Вероятность ошибки при ручном счете до 20%.

Точность решения 0.1-0.5’, т.е. 200 – 900 м.

Пример определения места судна по трём звездам



исходные к-ты:

$(\lambda_o, \varphi_o) = (0,0)$

Obs.			Calc		O-C
T_1	$star_1$	h_1^O	h_1^C	A_1^C	Δh_1
T_2	$star_2$	h_2^O	h_2^C	A_2^C	Δh_2
T_3	$star_3$	h_3^O	h_3^C	A_3^C	Δh_3

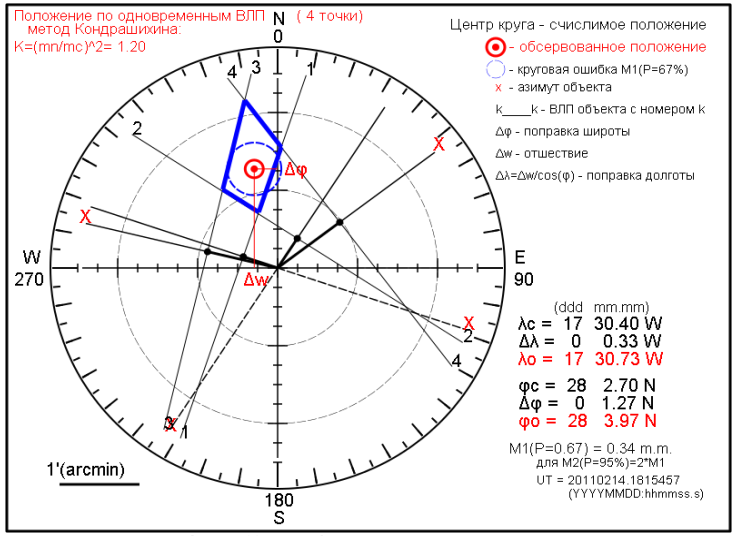
Поправки:

$\Delta \varphi = -2.0'$

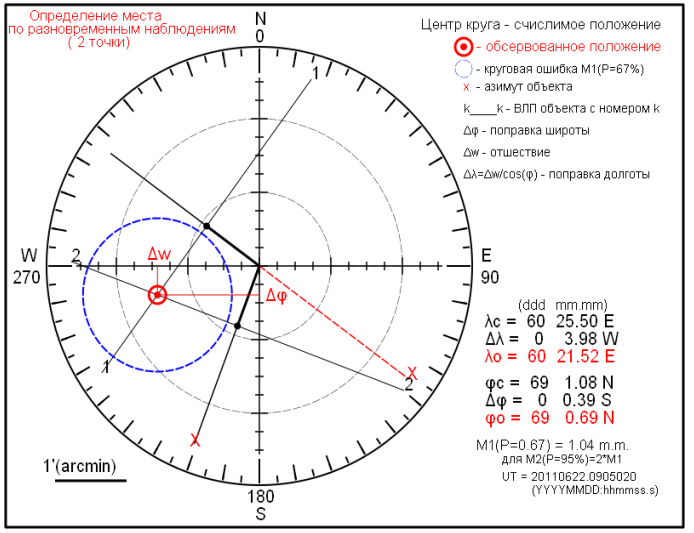
$\Delta \omega = -2.4'$

$\Delta \lambda = \Delta\omega / \cos \varphi$

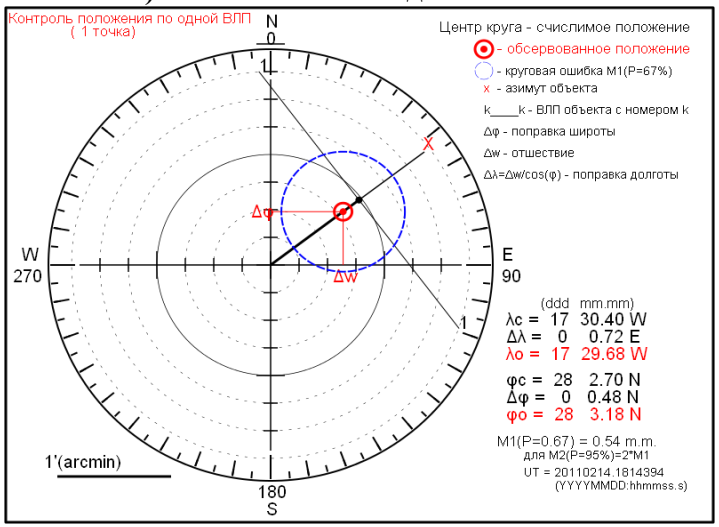
Примеры решения (планшеты) некоторых задач



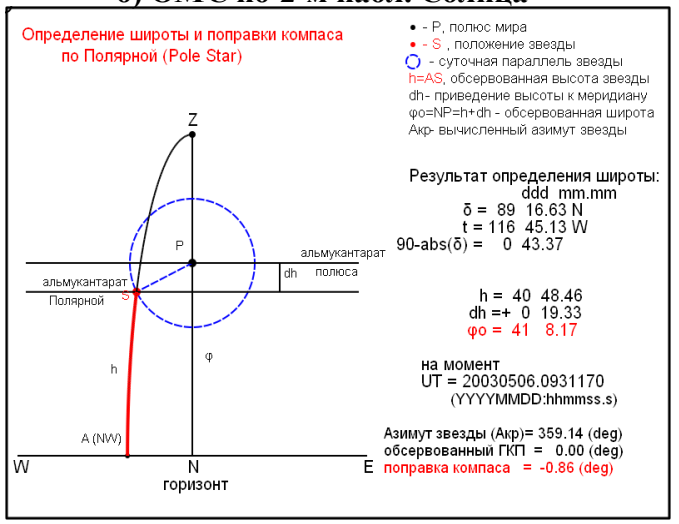
а) ОМС по 4-м звездам



б) ОМС по 2-м набл. Солнца

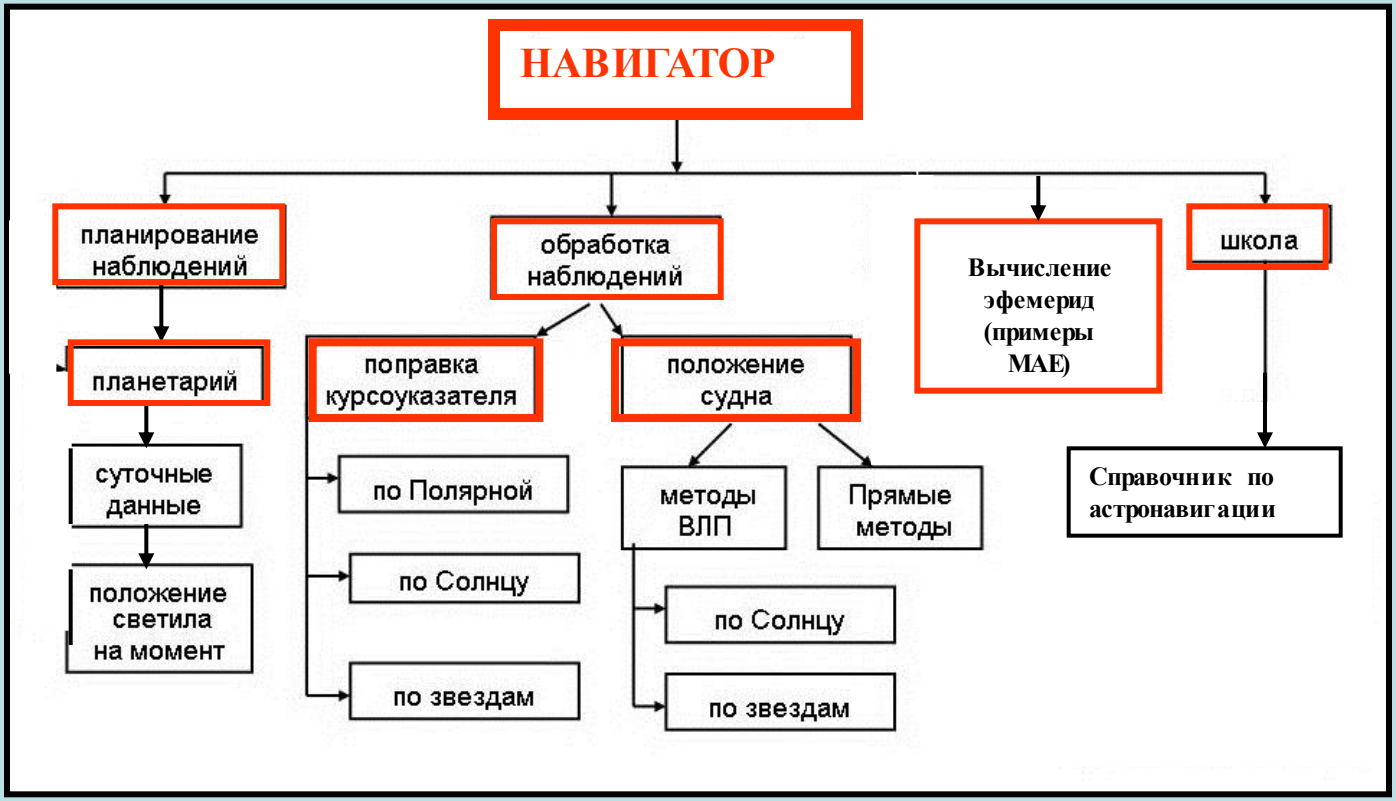


в) контроль ОМС по 1-ой ВЛП



г) широта и ΔГКП по Полярной

Планируемая общая схема системы Навигатор



1. Создание интерфейса пользователя

2. Окончание работы по планетарию

3. Подключение процедур по вычислению эфемеридных задач-примеров из МАЕ и МАА-2 (для «раздела МАЕ»)

4. Расширение списка методов ОМС и ОПК: высотно-азимутальный, высотно-разностно-азимутальные, спецметоды для высоких и низких широт, прямые (итерационные) методы.

5. Подключение функции перехода между референц-эллипсоидами (PZ90 (-2,-11), WGS-84, СК-95).

6. Создание глоссария и списка алгоритмов (раздел «Школа»)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Состояние печатной версии МАЕ соответствует современному уровню, но требуется обеспечить выпуск на два-три года вперед.

2. Создание специализированных электронных версий морских астрономических эфемерид является первоочередной задачей. Их цель — обеспечить облегченный доступ к эфемеридам, в том числе и для ввода эфемерид и данных наблюдений в автоматизированные вычислительные средства для ОМС и ОПК.

3. Появление электронных версий не будет означать завершения издания бумажных носителей эфемеридной морской астронавигационной информации.

4. Необходимо создание корректного руководства по вычислению морских эфемерид.

Круг проблем, которые предстоит решить в ближайшие годы для улучшения эфемерид морской астронавигации, очень широк.
Надеемся, что совместные усилия разработчиков и потребителей морских эфемерид позволят повысить не только практический уровень, но и значимость отечественных морских астронавигационных эфемерид — МАЕ и МАА-2.

СПАСИБО

ЗА

ВНИМАНИЕ