

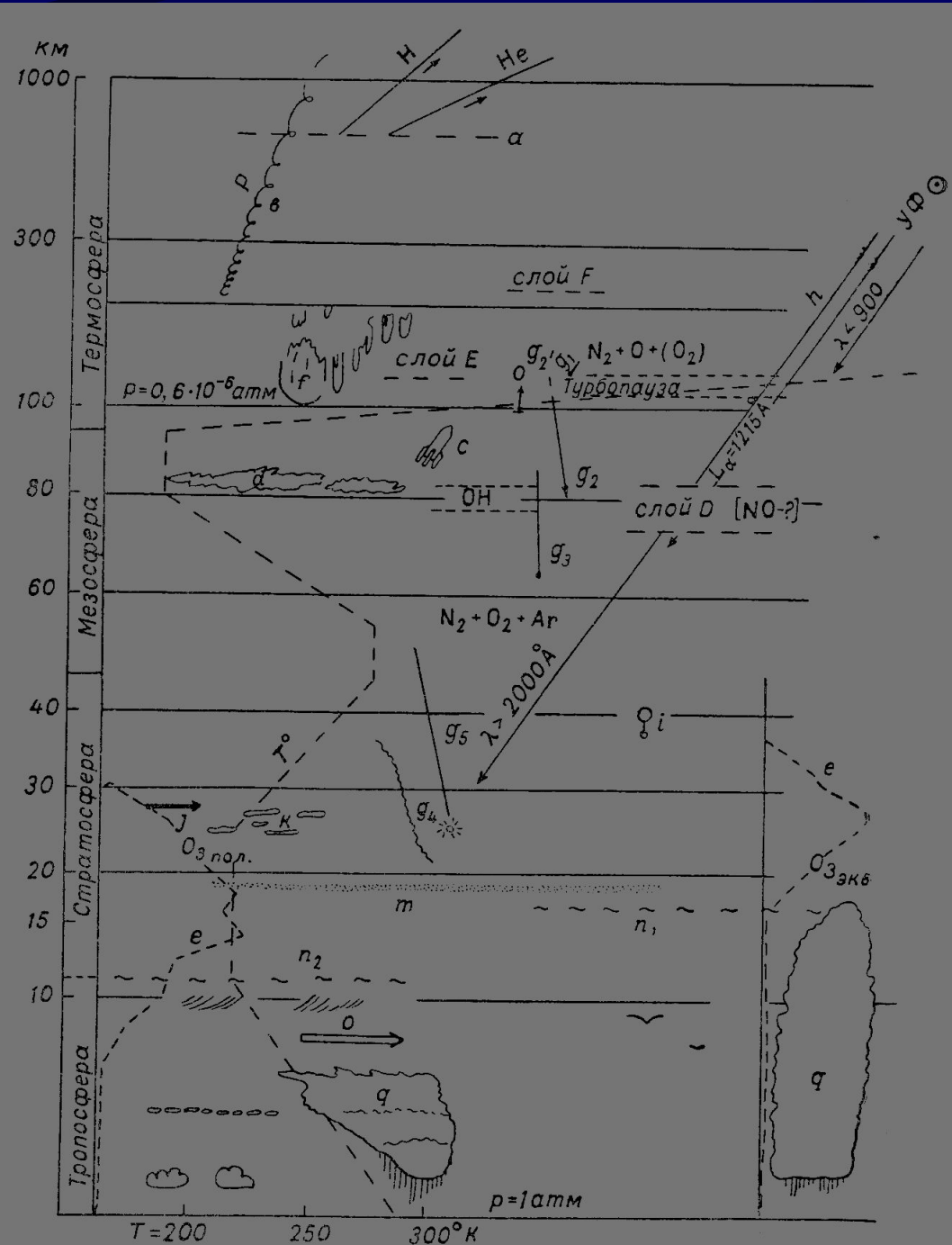
# Атмосфера Земли и точность глобального позиционирования

Панчук В.Е., Витковский В.В., Юшкин М.В.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН,  
Ставропольский государственный университет

# Строение атмосферы

- Гравитация, химический состав и поток облучения определяют распределение плотности и температуры. Два температурных минимума: в стратосфере и на границе мезосферы и термосферы.



# История

- Существовавшая в СССР система наземного сбора данных об атмосфере, за четверть века сократилась в десятки раз. Обоснованием такого сокращения являлись ссылки на перспективные спутниковые исследования.
- Техника наземных исследований атмосферы почти не развивалась, исключение составляют лидарные методы активного зондирования.
- Наземные астрофизические методы, наоборот, активно развивались. За этот же период квантовый выход оптических систем возрос, по крайней мере, на порядок.

# При чем тут астрономы?

- Земная атмосфера – помехи для наблюдений.
- Современные астрономические обсерватории являются пассивными накопителями информации о состоянии земной атмосферы. Развитая инфраструктура таких обсерваторий, уровень автоматизации спектроскопического эксперимента, доступ к архивам - открывают возможность проводить некоторые исследования оптических свойств атмосферы (как с использованием существующих средств наблюдений, так и с разработкой дополнительных).

# Обоснование

- В системах космической геодезии сигнал проходит сквозь ионосферу и тропосферу. Из-за задержки микроволн на повышенном коэффициенте рефракции расстояния завышаются.
- Ионосферные процессы и GPS. Лаборатория экспериментальных радиофизических исследований ИСЗФ СО РАН. Концентрация свободных электронов определяется по измерениям на двух частотах.
- Тропосферная задержка разделяется на две части («сухую» и «влажную»). «Сухую» можно вычислить, зная атмосферное давление. «Влажная» не вычисляется, ее необходимо измерять.

# Потеря точности

- Вариации содержания водяного пара в процессе спутниковых геодезических измерений приводят к существенным ошибкам (в десятки см) определения координат.
- Геометрия наблюдений такова, что тропосферная задержка втрое понижает точность измерения вертикальной компоненты (по сравнению с горизонтальной компонентой). Т.о., для тех, кто интересуется только координатами  $X$  и  $Y$ , проблема ошибок по  $Z$  не является основной.

# Методы измерения

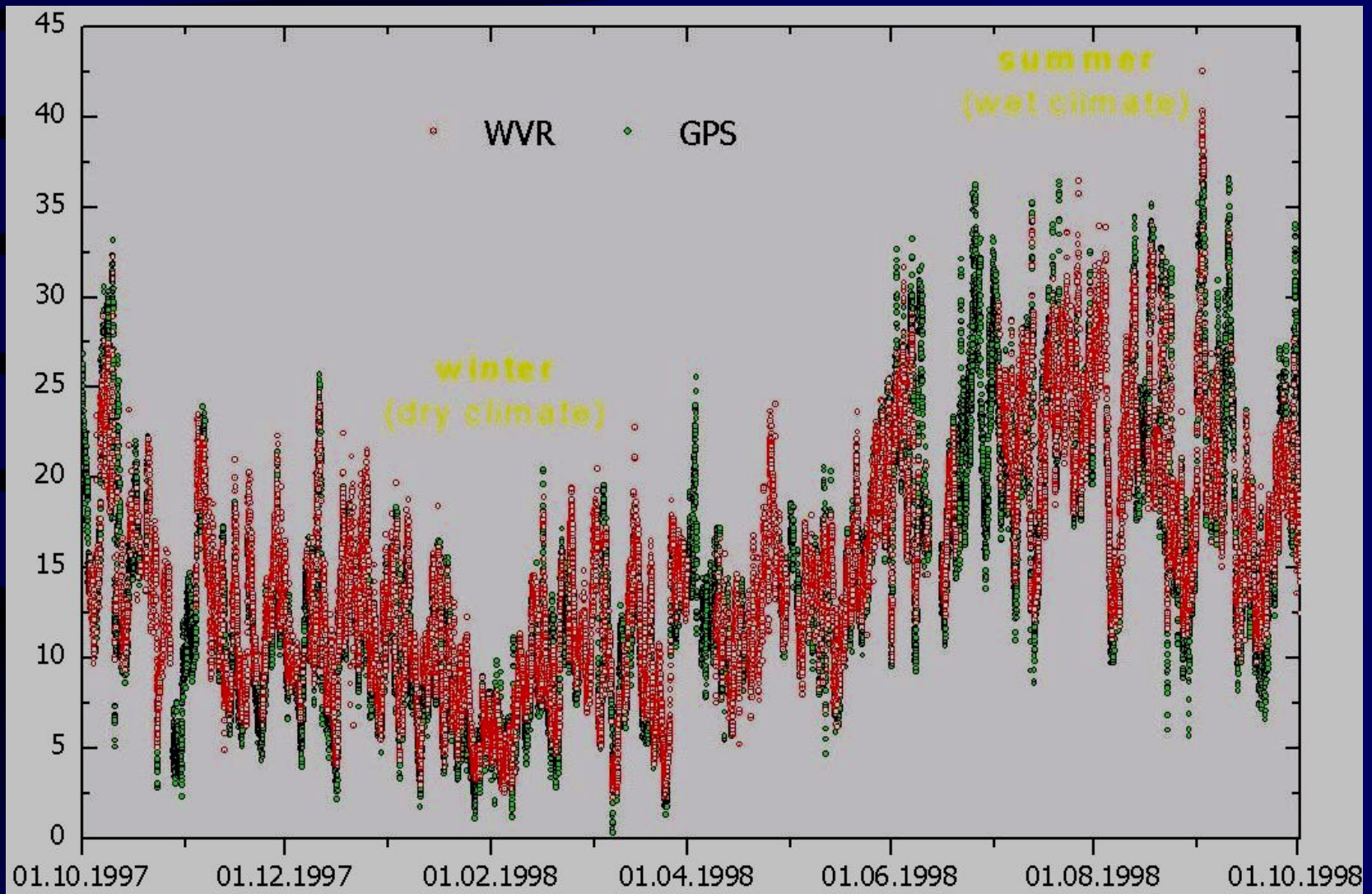
- Возрастающие требования к точности глобального позиционирования и ограниченные возможности метеорологического моделирования по данным наземных измерений, – заставляют искать способы измерения вариаций влажной компоненты в атмосфере – содержания осажденной воды (W).
- Используются радиометры водяного пара (WVR), солнечные спектрометры (SS), солнечные фотометры (SPh), радиозонды (RZ) и лидары (L).

# Калибровки

- Работа наземных радиометров водяного пара (WVR) основана на том обстоятельстве, что основная часть солнечного ИК-излучения поглощается парами воды. Интегральный метод.
- Вертикальное аэрологическое зондирование позволяет непосредственно измерить распределение водяных паров. Но: сложная траектория подъема метеозонда.
- Лидар – подсвечивание атмосферы в узком диапазоне длин волн, с последующим приемом и экспресс-анализом рассеянного излучения.

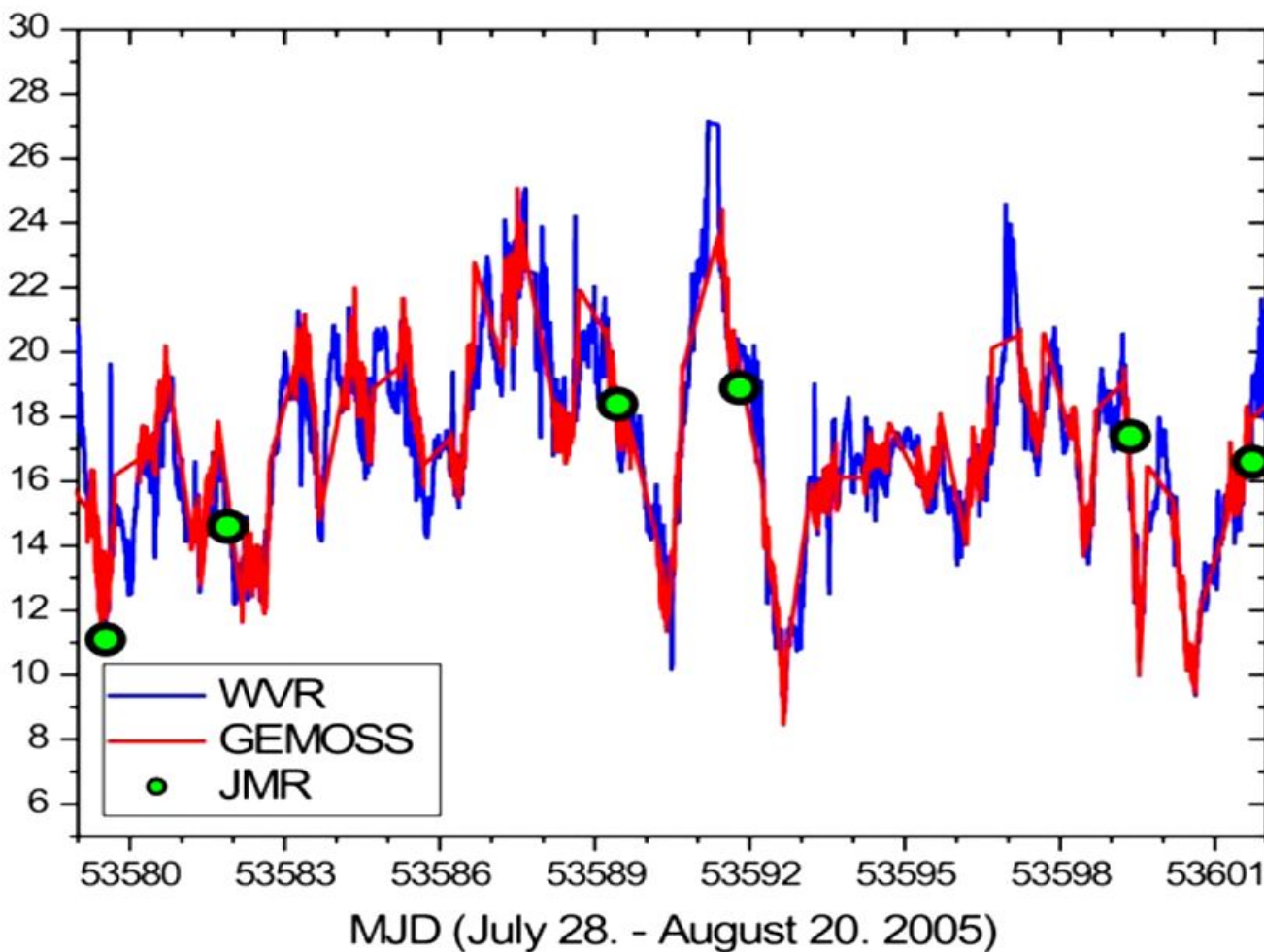


# Осажденный пар: WVR и GPS



- Сезонные изменения осажденной воды в атмосфере (мм)

# Вариации задержки в зените (влажный компонент, в см), три метода



# Геодинамика

- Измерения сдвига тектонических плит должны выполняться с точностью в несколько мм. Здесь необходима наиболее точная коррекция за тропосферу. Ослабление влияния поправок за счет длительных рядов наблюдений.
- Микроволновой радиометр–высотомер (AMR) измеряет содержание водяного пара. Но этот высотомер нуждается в независимой калибровке.

# Новое направление: GPS-метеорология

- Точность полуавтоматического определения содержания осажденной воды  $W$  по данным GPS-мониторинга составляет около 1-2 мм. Это предельная точность, которую можно получить методом задержки сигнала. Точность, достаточная для нужд метеорологии.
- Чтобы определить поправки геодезического позиционирования, следует определить количество осажденной воды  $W$  в атмосфере точнее, чем это может дать сама система позиционирования.

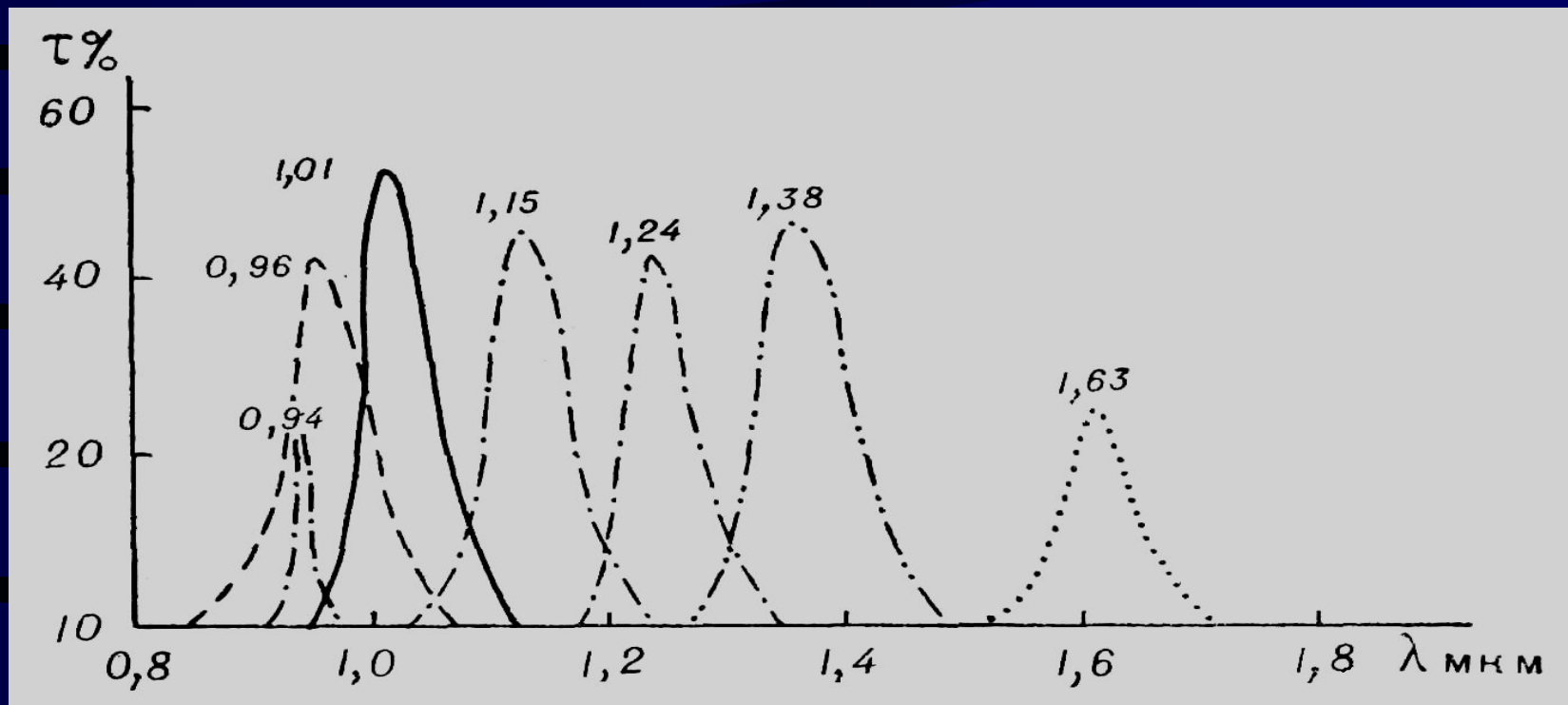
# Видимый и ближний ИК-диапазоны

- Центры полос водяного пара: 0.54, 0.57, 0.59, 0.63, 0.66, 0.69, 0.70, 0.72, 0.73, 0.79, 0.81, 0.82, 0.85, 0.91, 0.92, 0.94, 0.97, 1.01, 1.11, 1.13, 1.14, 1.20, 1.34, 1.37, 1.38, 1.45, 1.47, 1.87, 1.91, 2.14 мкм.
- Некоторые окна прозрачности: 0.88, 1.05 мкм.
- Решение проблемы методами низкого спектрального разрешения возможно в ближнем инфракрасном диапазоне.
- Полосы видимого диапазона слабее инфракрасных, их можно исследовать только с высоким спектральным разрешением.

# При чем здесь САО?

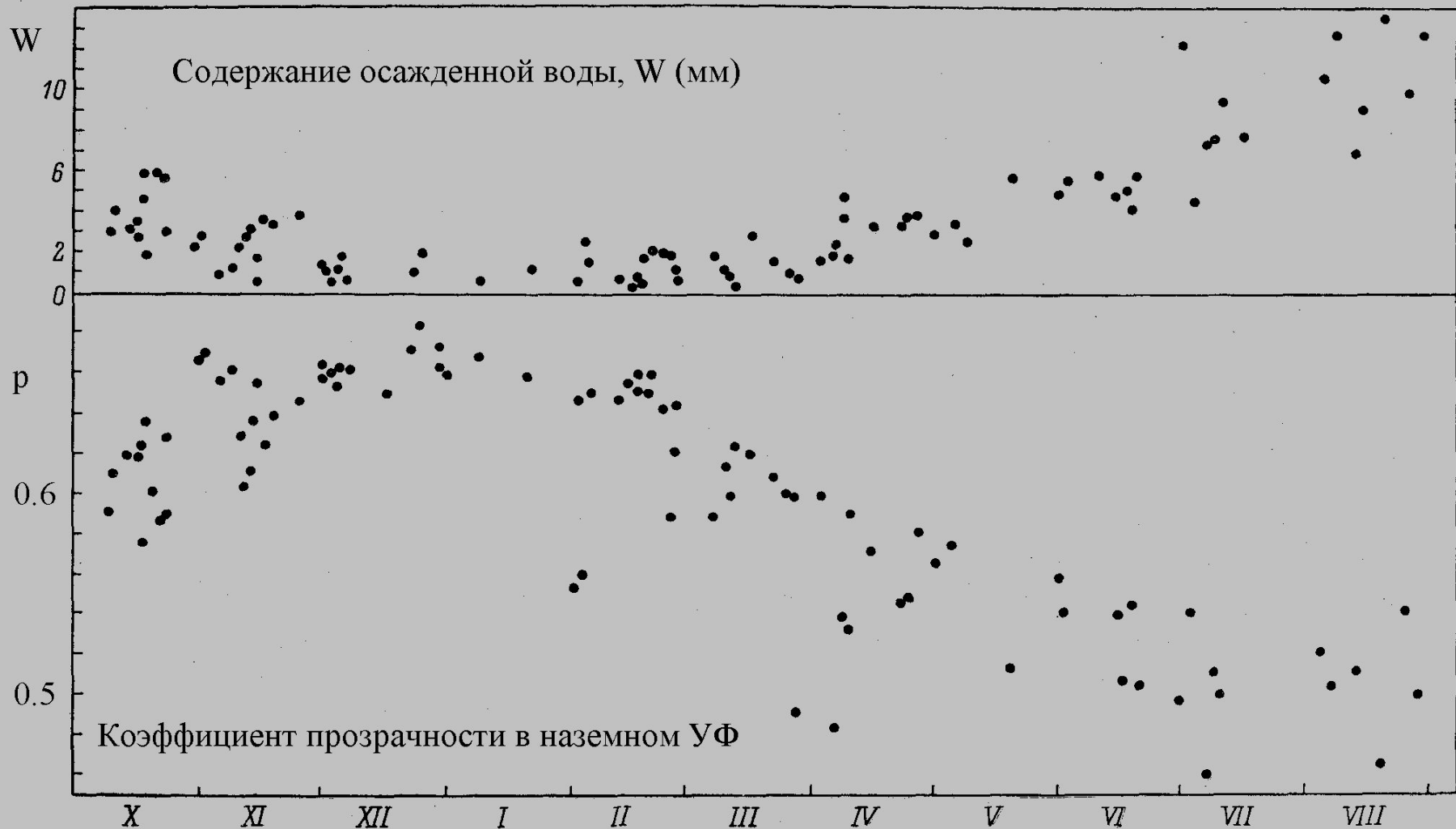
- Точность в десятые доли мм осажденной воды была получена нами более 30 лет назад, в Специальной астрофизической обсерватории, методом фотометрии в интерференционных фильтрах, центрированных на полосы поглощения в ближнем инфракрасном диапазоне. Это внутренняя точность метода.
- В течение года был проведен мониторинг (в каждый ясный и частично ясный день), влагосодержания и прозрачности дневной атмосферы в месте установки БТА.

# Дифференциальный фотометр



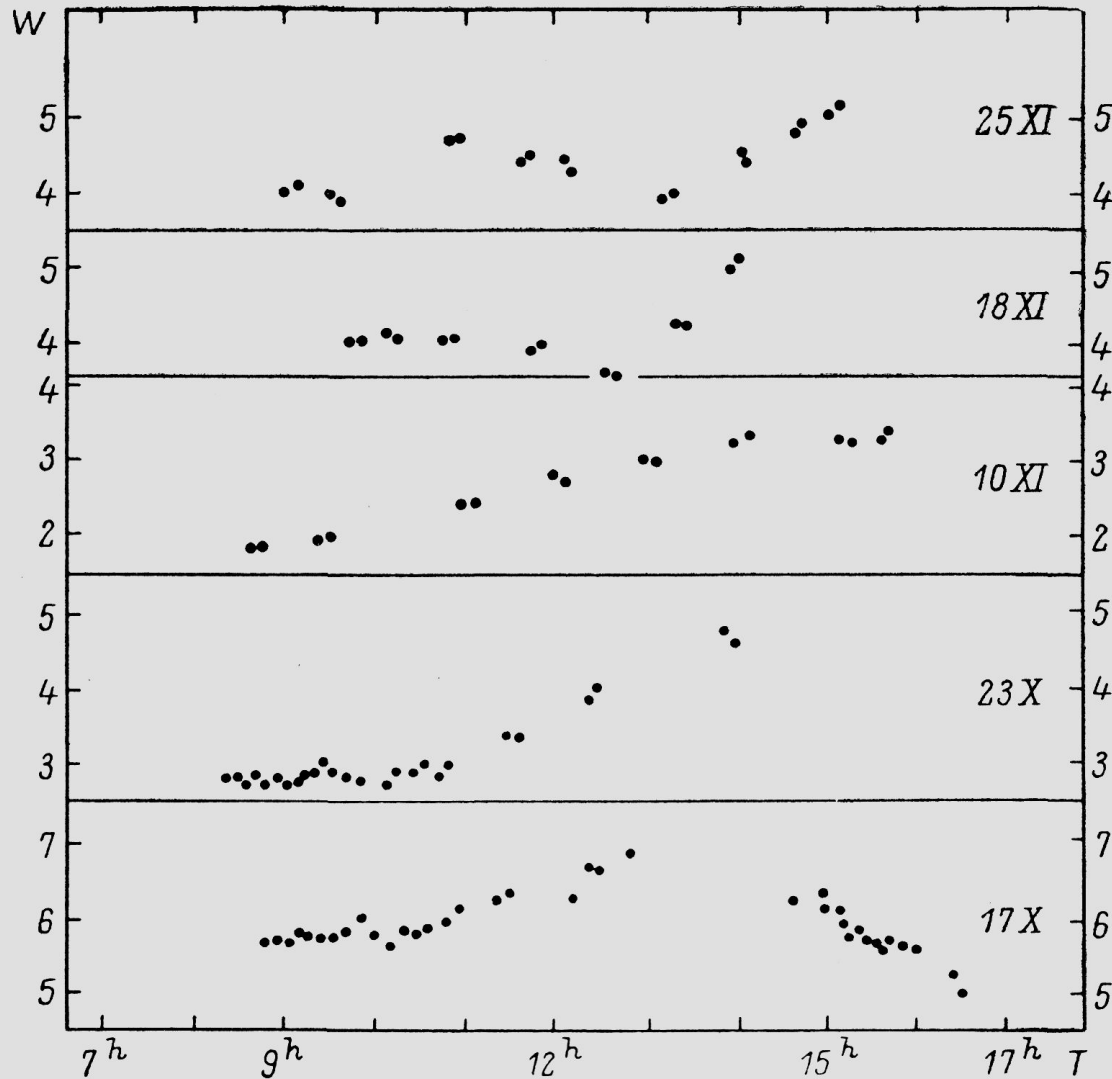
- Использовались пары интерференционных фильтров: один центрирован на колебательно-вращательную полосу воды, другой – на соседний участок непрерывного спектра. Пары 0.94/0.88 и 1.13/1.05 мкм. Калибровка по данным аэрологического зондирования.

# Солнечный фотометр: сезонные вариации над БТА

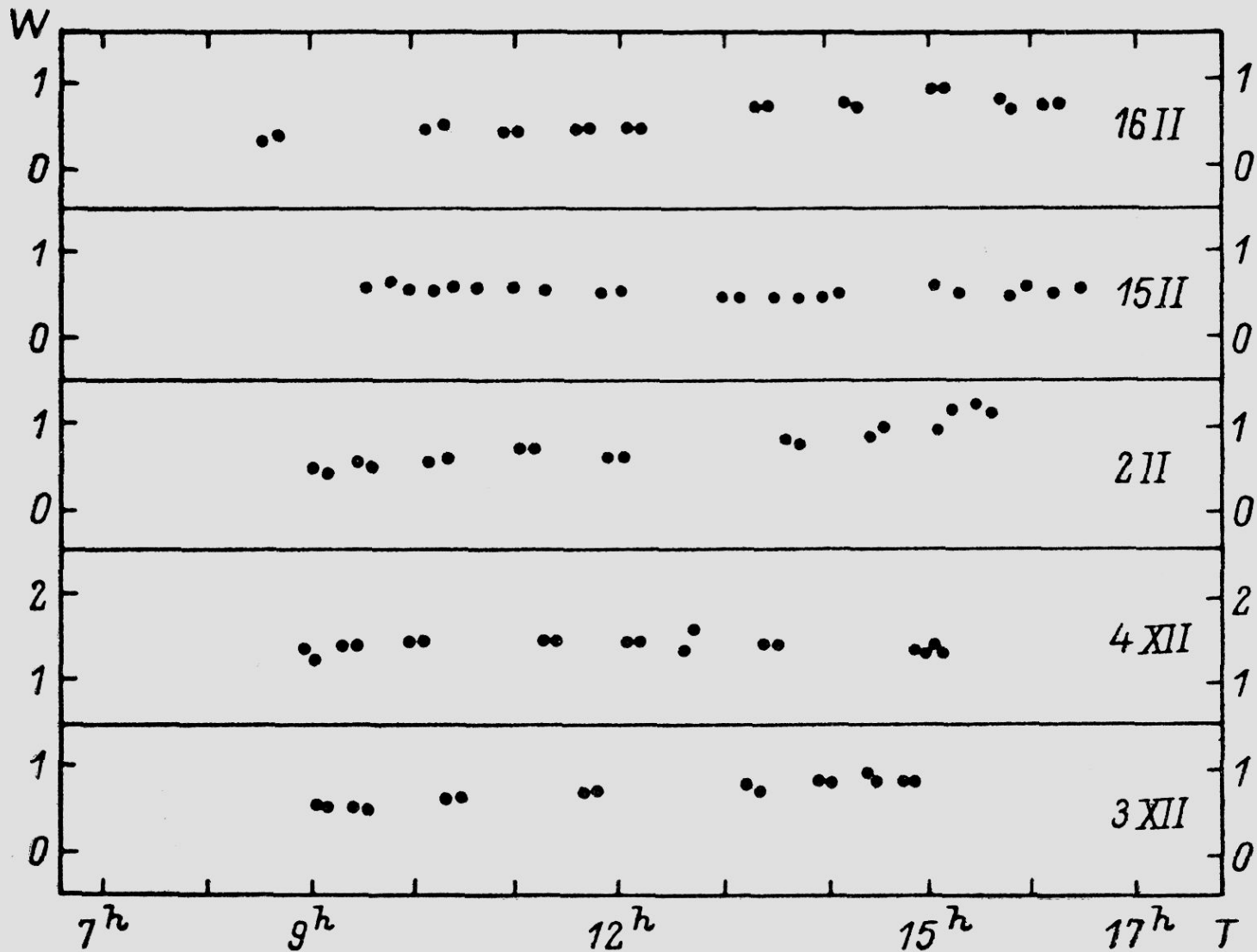




# САО. Волны влагосодержания перед формированием облачности



# САО. Сухая зимняя атмосфера



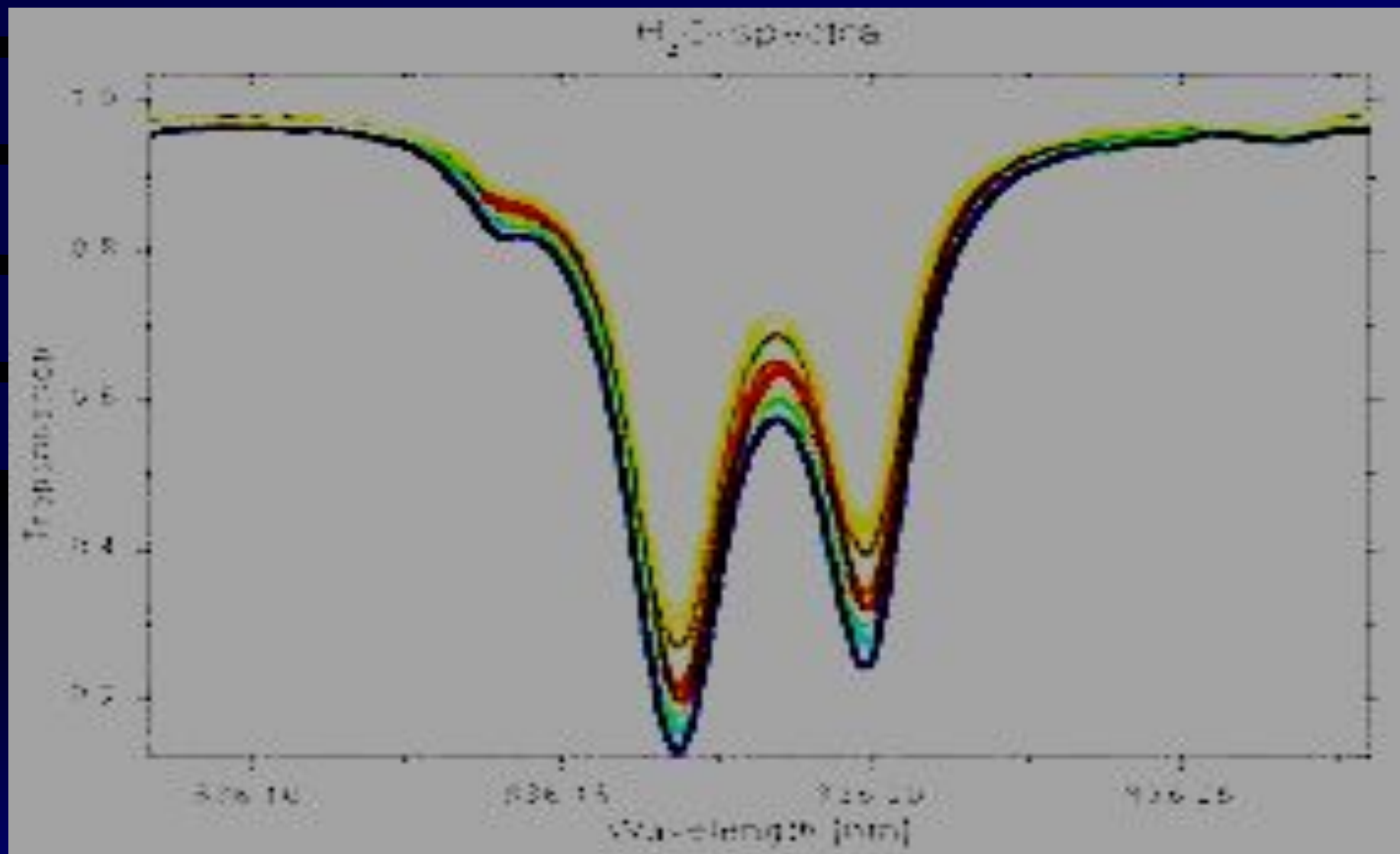
# Низкое и среднее спектральное разрешение

- Колебательно-вращательные полосы состоят из множества вращательных линий разной интенсивности. Эти линии находятся на различных участках кривой роста и в разной степени чувствительны к изменениям содержания водяного пара. В диапазоне годичных вариаций осажденной воды, некоторые полосы становятся слабо чувствительными к изменениям  $W$ . Тогда необходимо произвести замену пары полос.
- Необходимо измерять отдельные колебательно-вращательные переходы.

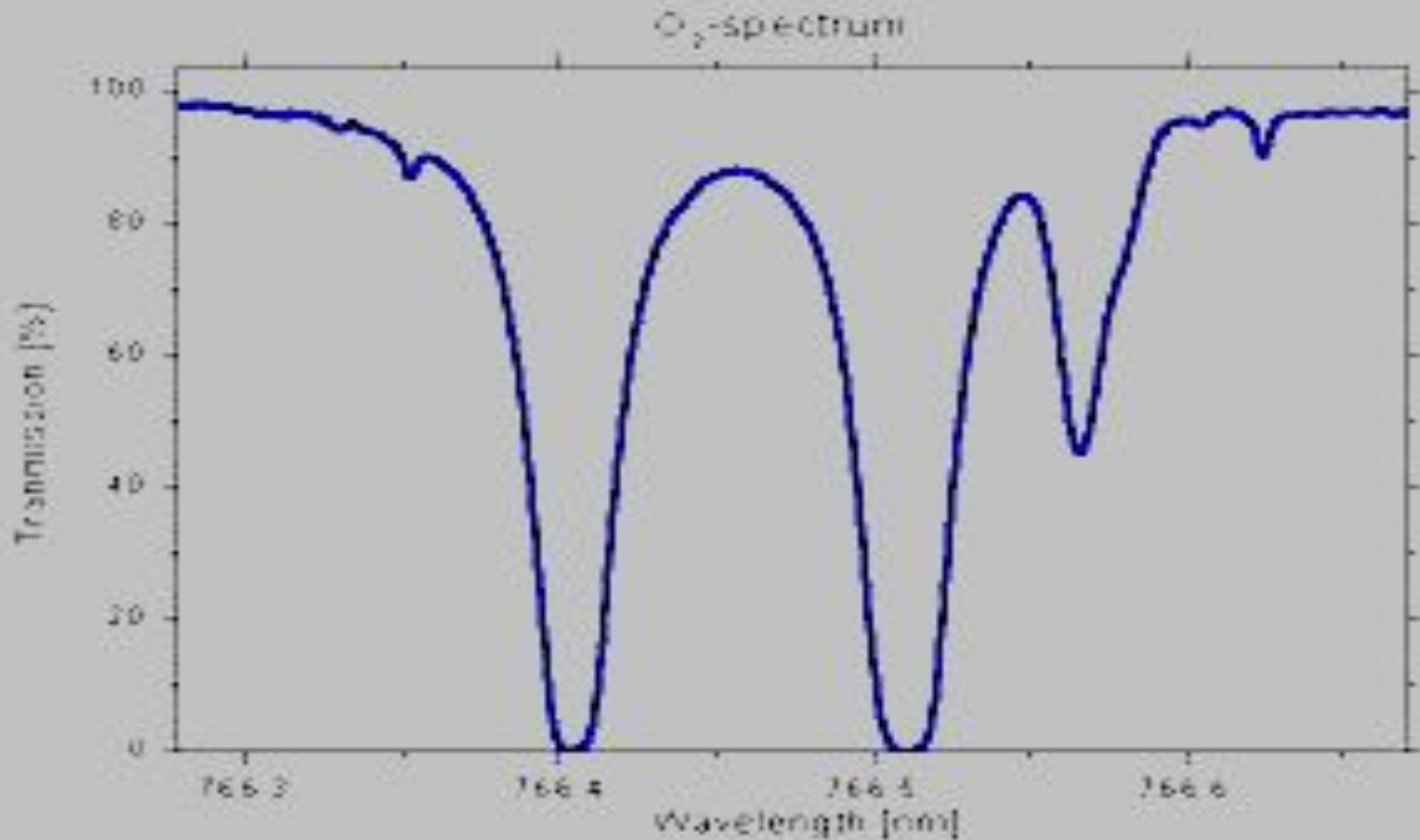
# Спектрограф высокого разрешения, 730-910 нм



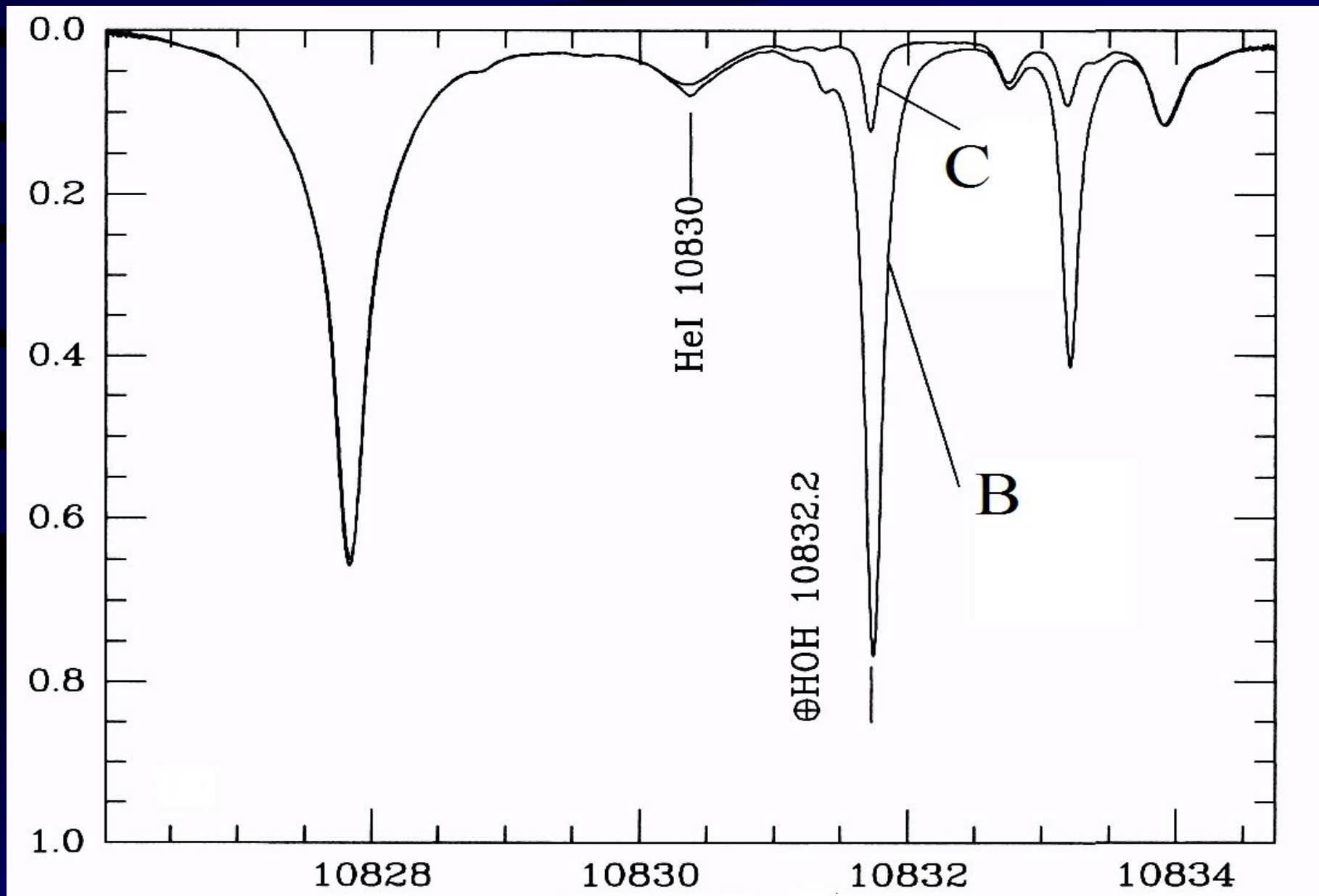
# Изменение контура линии с изменением воздушной массы



# Спектр молекулярного кислорода: распределение температуры в атмосфере



# Вариации содержания водяного пара



# Требования к методу. I.

- Не создавать помех в деятельности астрономов.
- Внутренняя точность методов спектроскопического определения содержания осажденного водяного пара  $W$  должна быть доведена до 0.1мм, что достаточно для решения ряда фундаментальных и прикладных задач.
- Спутниковые измерения: величина геодезической поправки может изменяться со скоростью 30 см за 20 минут. Светосила.
- Дневная и ночная атмосфера – «две большие разницы». Необходимы разные методы.



# Требования к методу. II.

- Возможность оперативного получения результата.
- Возможность независимого анализа.
- Использование ночного инструмента (спектрографа высокого разрешения) днем.
- Оптоволоконные технологии.
- Использование вспомогательной оптики астрономических инструментов и обсерваторий.
- Использование автоматических метеостанций.
- Использование сетевых технологий.

# Пути выполнения требований

- Создание спектрографа высокого разрешения, подсоединенного при помощи оптического волокна к дневному (солнечному), и ночному (работающему по яркой звезде), телескопам.
- НИР по фильтрам, изготавливаемым по технологии решеток с объемным фазированием.
- Разработка портативного метода, сравнимого по стоимости с GPS-приемником.
- Сравнение измерений, выполненных на разной высоте.
- Изучение пространственных вариаций  $W$ .

# Благодарности

- Наша заявка 08-07-12033-офи «Сеть мониторинга водяного пара и оперативные поправки глобального позиционирования (ГЛОНАСС)» поддержана РФФИ.
- Работа выполняется в лаборатории астроспектроскопии и в отделе информатики в инициативном порядке.
- Благодарим за внимание.

не

<http://panchuk.narod.ru>

