

Кочин А. В.

## Актуальность

Общая циркуляция атмосферы (ОЦА) влияет на изменчивость явлений погоды на масштабах от недель до месяцев. Соответственно в прогностических моделях необходим учет влияния ОЦА для увеличения оправданности среднесрочного и долгосрочного прогноза погоды. ОЦА представляет собой крупномасштабные процессы со скоростями потоков много меньше скоростей в мезомасштабных процессах. Увидеть потоки в ОЦА в распределении мгновенной скорости воздушных потоков не представляется возможным (рис. 1).

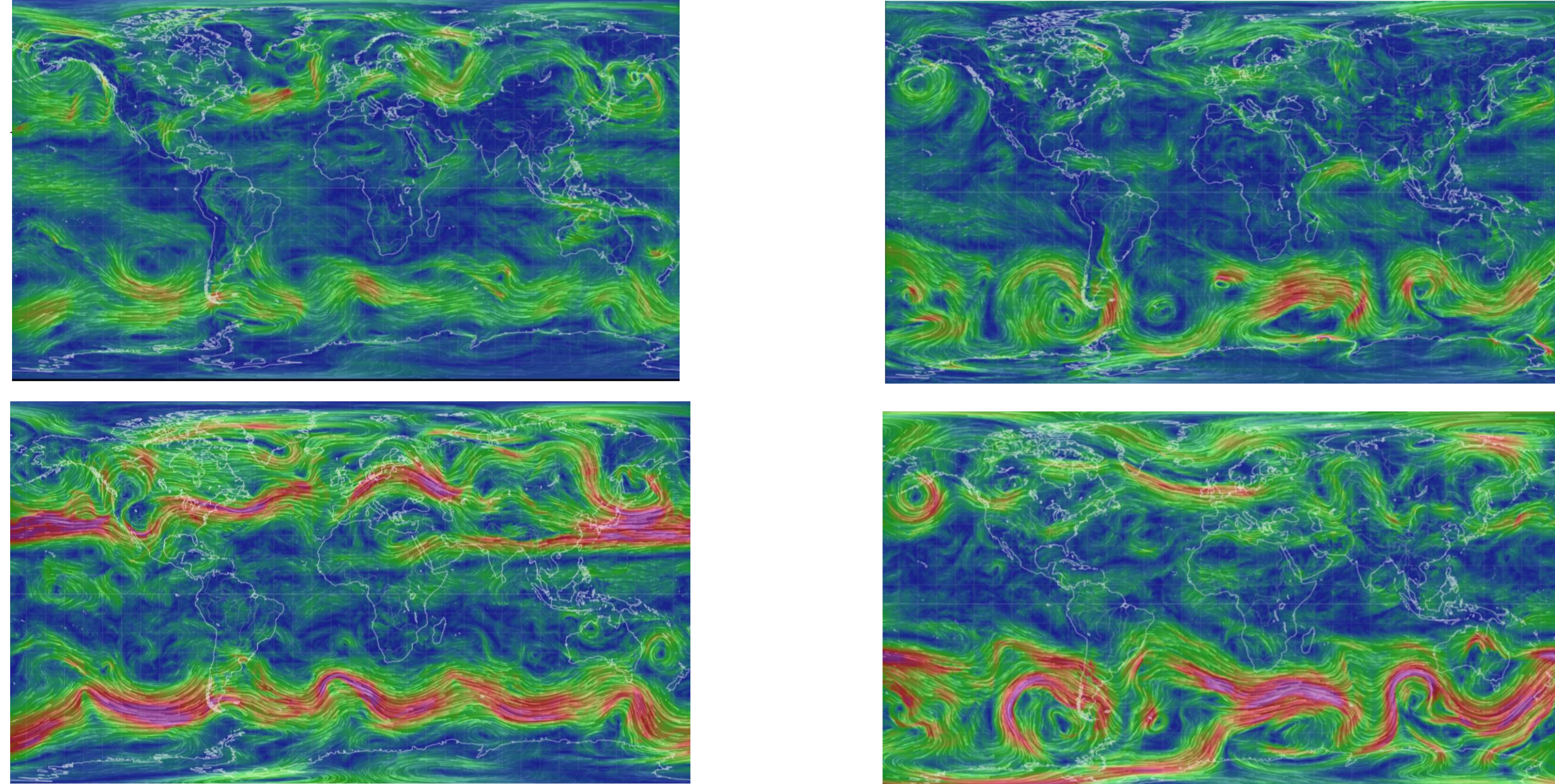


Рис. 1. Примеры распределения мгновенных скоростей воздушных потоков на поверхности 850 мБ (сверху) и 500 мБ (снизу) зимой 02.01.2023 (слева) и летом 02.07.23 (справа) в 13.00 GMT (<https://earth.nullschool.net/ru/>).

Однако оценить степень влияния ОЦА на атмосферные процессы можно на примере годового количества осадков (рис.2).

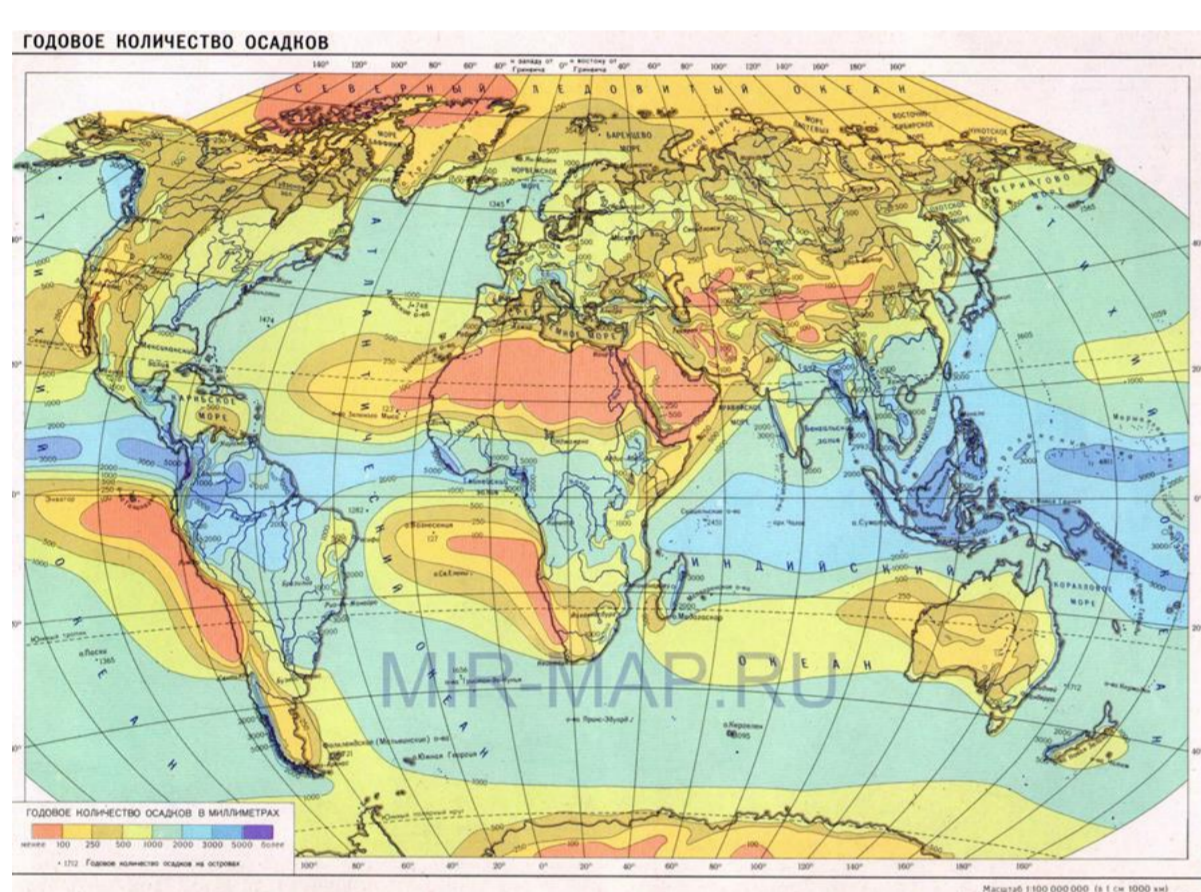


Рис. 2. Распределение годового количества осадков

Зоны с низкой интенсивностью осадков выделены желтым и светло-коричневым цветом на рис.2. Для сравнения на рис.3 приведена структура атмосферных потоков в ОЦА. В области ячейки Хадлея (область пассатных ветров в ОЦА) конфигурация областей с низкой интенсивностью осадков идентична структуре воздушных потоков в ОЦА. Это вызвано тем, что появление засушливых зон связано с эффектом горного барьера. Господствующие ветра при натекании на горный массив вызывают выпадение осадков на наветренной стороне массива, поэтому на подветренной стороне в воздухе низкое содержание водяного пара, что вызывает появление пустынь. В соответствии с рис.2 господствующими ветрами являются пассаты вследствие ОЦА в ячейке Хадлея, несмотря на ветры мезомасштабных процессов, которые значительно интенсивней в соответствии с рис.1. Иначе говоря характер долговременных процессов определяет общая циркуляция атмосферы. Сейчас максимальный прогнозируемый период оценивается в 10-17 дней. Это ограничение может быть вызвано наличием процесса с временным масштабом более 10-17 дней, данные о котором отсутствуют или искажены в исходных данных. Подобным процессом может быть общая циркуляция атмосферы (ОЦА) с характерной меридиональной скоростью порядка 1 м/с (Кочин, 2023). Непосредственное измерение скорости потока воздуха подобной величины существующими приборами и методами встречает заметные трудности, поэтому вопрос о том, насколько информация о потоках в ОЦА корректно отображается в данных наблюдений требует дополнительного анализа.

## Измерение скорости ветра



Рис.4. Вид на метеостанцию ВДНХ (Москва) 7 июля 2019 г. (направление съемки - юго-восток). Оборудование для измерения ветра установлено на мачте высотой 10 метров.

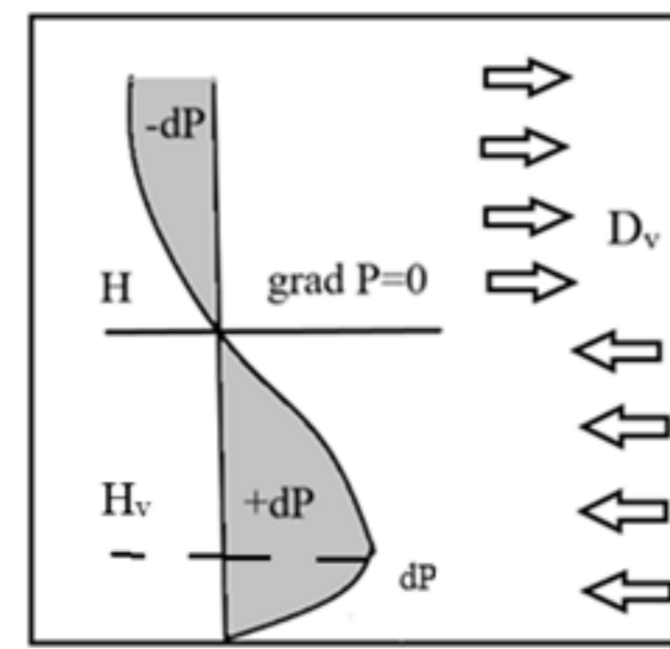
При наблюдаемом постоянном приземном давлении скорость потока в ОЦА на поверхности Земли (нижняя часть слоя Экмана) практически равна нулю. Скорость воздушного потока измеряется на метеостанциях на высоте около 10 метров над поверхностью, поэтому скорость потока в ОЦА не может быть измерена на основе наземных метеорологических наблюдений.



Аэрологическое зондирование не обеспечивает необходимой точности измерения направления ветра при скорости потока менее 2 м/с. Дистанционные спутниковые методы оценивают скорость ветра по смещению неоднородностей (облачности, водяного пара, аэрозолей и подобных неоднородностей). Эти неоднородности возникают из-за мезомасштабных процессов и также перемещаются вместе с ними. Мезомасштабные процессы имеют свою собственную скорость движения, которая, в общем случае, не соответствует движению воздуха в ОЦА.

Таким образом существующие методы либо не измеряют скорость потоков в ОЦА (наземная сеть), либо их информация искажена за счет скорости движения мезомасштабных процессов, которая на порядок величины больше и имеет собственное (несимметричное в общем случае) распределение направления потоков.

## Высота раздела меридиональных потоков



ОЦА представляет собой противоположно направленные потоки вдоль меридиана. Между этими потоками должны существовать поверхность раздела. Определить реальную высоту раздела можно по наблюдаемому при зондировании атмосферы профилю ветра. Воздух ниже высоты раздела смещается в сторону экватора, поэтому сила Кориолиса заставит воздух двигаться на запад. выше высоты раздела смещается в сторону полюса, поэтому возникает движение на восток (западный перенос). На границе раздела будет наблюдаться резкий поворот ветра.

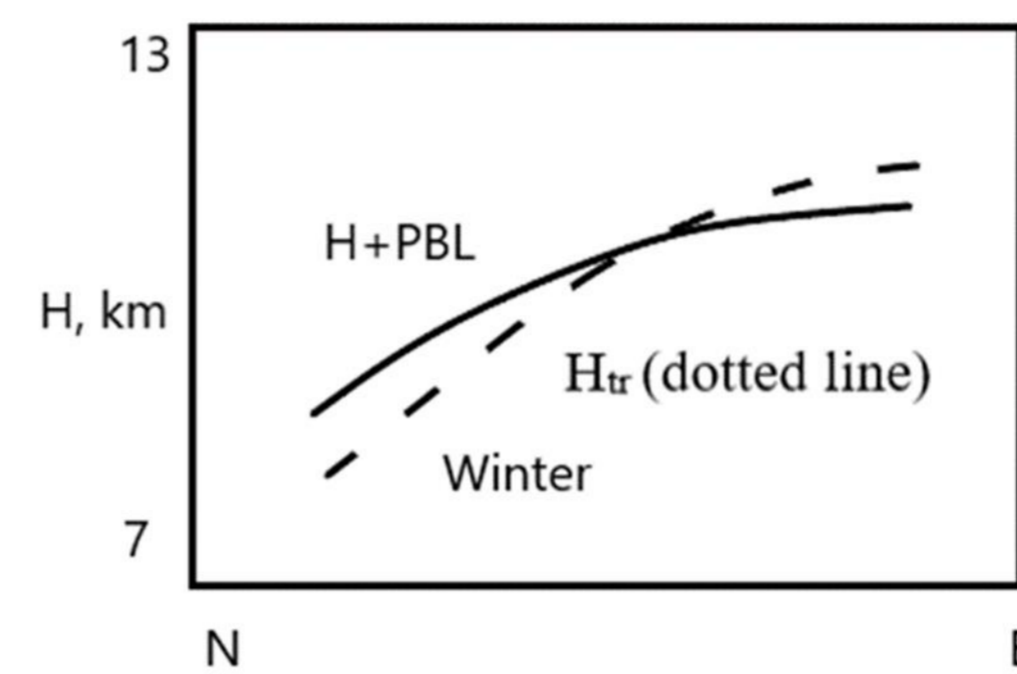


Рис.5. Высота раздела (Кочин 2020) и высота полярной тропопаузы зимой в Северном полушарии

Оценка высоты раздела потоков для статического состояния в изотермической атмосфере выполнена в работе (Кочин 2020) и соответствует масштабу высоты в атмосфере  $H=RT/Mg$ . В зависимости от температуры масштаб высоты меняется от 7 до 9 км. Для динамического равновесия высота увеличится, как минимум, на высоту пограничного слоя атмосферы. В качестве иллюстрации на рис.5 пунктирной линией показана высота тропопаузы зимой в Северном полушарии (Гаврилова 1982) и масштаб высоты  $H$ , увеличенный на высоту пограничного слоя (PBL ~ 1,5 км). Таким образом для оценки высоты полярной тропопаузы можно использовать сумму масштаба высоты  $H$  и высоты пограничного слоя PBL.

## Данные о вертикальном профиле ветра.

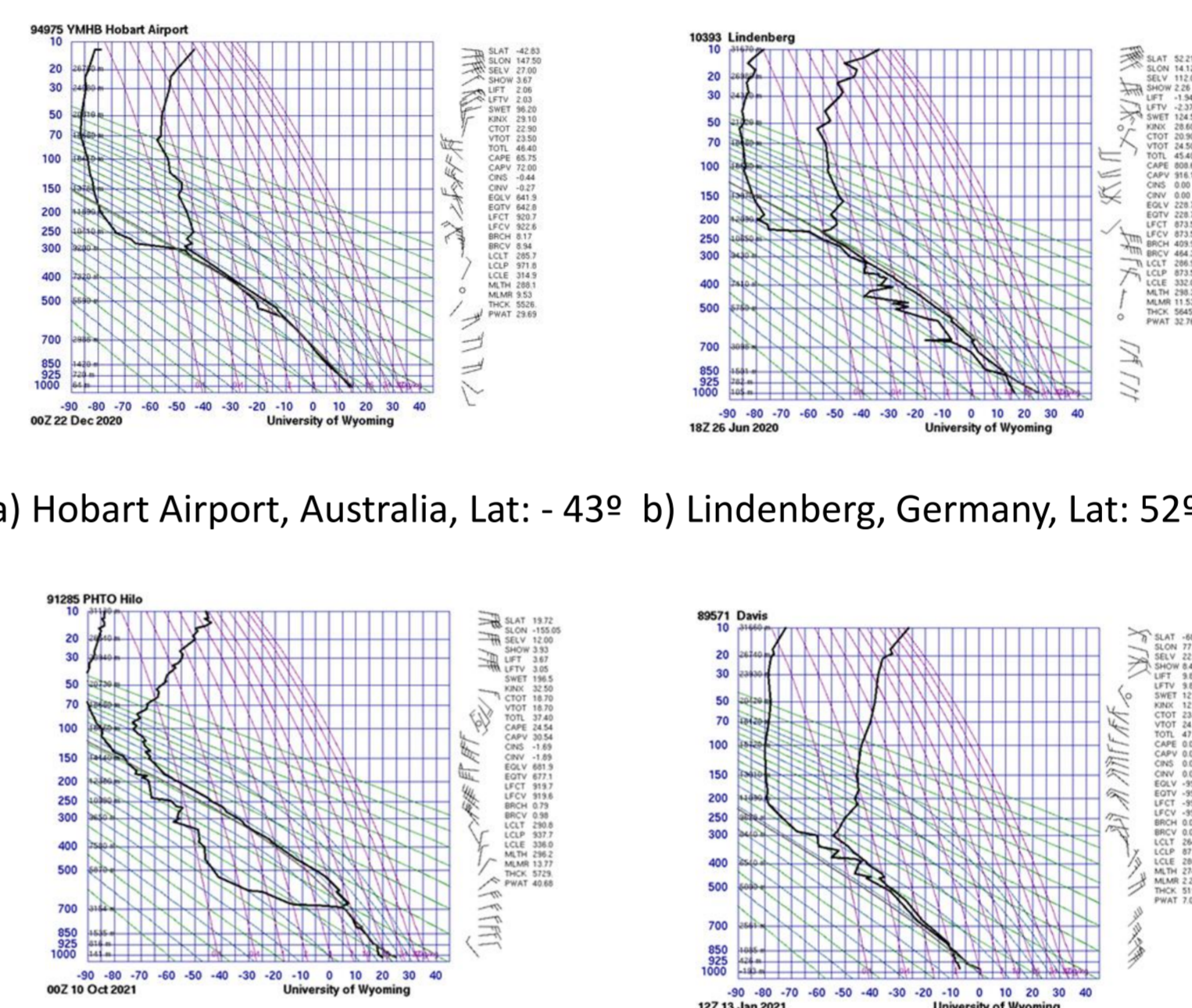


Рис.6. Результаты аэрологического зондирования, отобранные по наличию резкой смены направления ветра вблизи тропопаузы. Направление ветра показано стрелками справа от диаграмм. Стрелка указывает откуда дует ветер. Температура воздуха показана линией ближе к центру диаграммы. Линия слева температура точки росы. По вертикальной оси показана высота (м) и давление (hPa), по горизонтальной оси температура (С°). Названия станций и их широта указаны под диаграммами (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>).

От поверхности Земли до тропопаузы воздух движется с востока на запад (восточный перенос). Между полярной и тропической тропопаузами поток движется с запада на восток (западный перенос). Выше тропической тропопаузы воздух движется с востока на запад (восточный перенос).

## Колебания Маддена-Джулиана

Колебание Маддена-Джулиана (КМД) является одной из наиболее важных компонент внутри сезонной изменчивости в тропиках и представляет собой чередование областей усиленной и подавленной конвекции, которое распространяется в восточном направлении со скоростью около 5 м/с в Восточном полушарии и 10-15 м/с – в Западном. С КМД связано перемещение в восточном направлении возмущений в полях конвективной облачности, осадков, ветра и давления с периодом 30-90 дней. Влияние КМД проявляется не только на погодных режимах в тропиках, но также на характере муссонной циркуляции в Азии и Австралии, изменчивости осадков вдоль западных берегов Северной и Южной Америки, в Африке, на формировании тропических циклонов над Тихим океаном и в Карибском бассейне. Известны связи КМД с приземной температурой воздуха в центральной и восточной частях Северной Америки, и даже в Арктике.

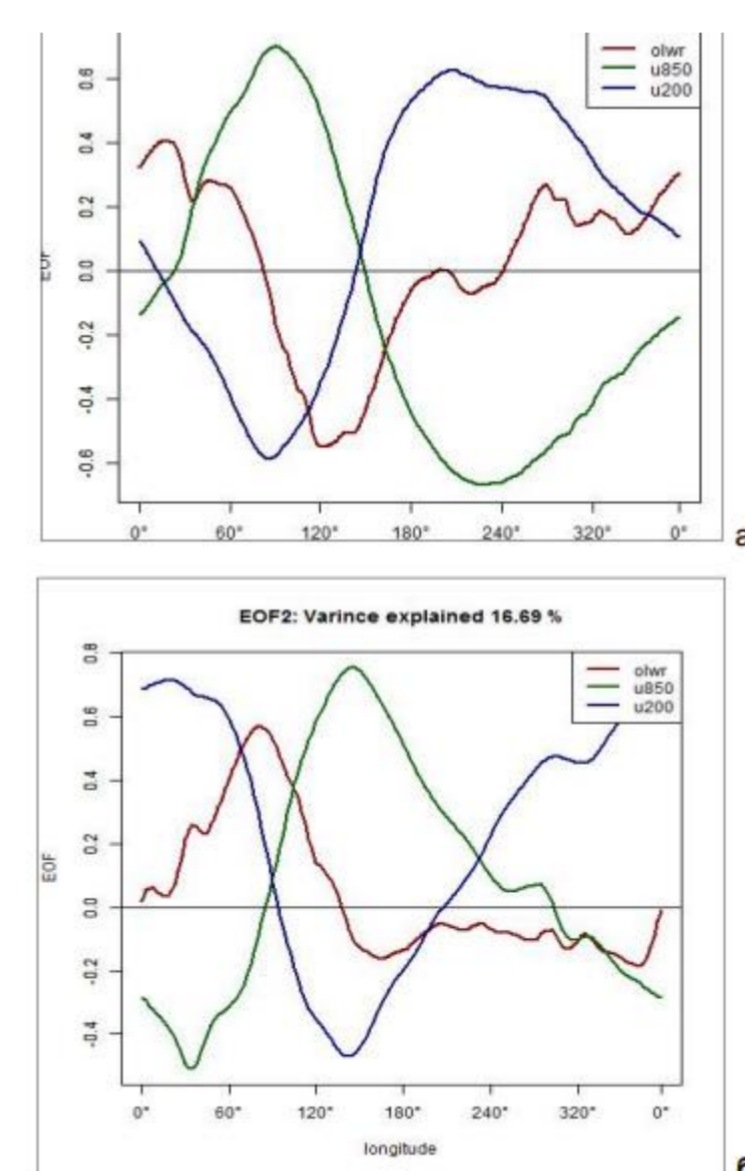


Рис.7. Факторы для расчета КМД. Красная кривая – уходящее длинноволновое излучение, синяя – зональная составляющая ветра на уровне поверхности 850 гПа, зеленая – зональная составляющая ветра на уровне поверхности 200 гПа. Набокова Е. «Основные особенности и характеристики колебания Маддена-Джулиана по данным реанализа ERA5. DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-4-6-19>»

По аналогии с обнаружением КМД для регулярного получения информации о скорости потоков ветра в ОЦА можно использовать алгоритм определения профиля ветра по разнице зональных составляющих в области тропопаузы. Существующие алгоритмы не учитывают высоту тропопаузы при расчете скорости ветра, поэтому дают некую интегральную оценку разницы зональных составляющих. Исключение данных о ветре на уровне тропопаузы потенциально способно оценить скорость потоков ветра в ОЦА, что важно для повышения достоверности долгосрочного прогноза погоды.

## Выводы

1. Измерения на наземной сети малоинформативны для оценки потоков в ОЦА, а информация аэрологических и дистанционных измерений искажена (зашумлена) за счет скорости движения мезомасштабных процессов, которая на порядок величины больше и имеет собственное (несимметричное в общем случае) распределение направления потоков.
2. По аналогии с обнаружением колебаний Маддена-Джулиана (КМД) для оценки скорости потоков в ОЦА целесообразно разработать похожий алгоритм на основе разницы зональных составляющих ветра под тропопаузой и над ней.

## Литература:

1. Кочин А. Определение высоты раздела меридиональных потоков в общей циркуляции атмосферы по профилю зонального ветра. Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии». Минск. Октябрь 2023.
2. Кочин А. Формирование тропопаузы за счет общей циркуляции атмосферы. Конференция ТУРБУЛЕНТНОСТЬ, ДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА. Москва 2020.
3. Гаврилова Л. А. Аэроклиматология. ЛГМИ. 1982. Гидрометиздат.
4. Набокова Е. Основные особенности и характеристики колебания Маддена-Джулиана по данным реанализа ERA5. DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-4-6-19>. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2022 № 4