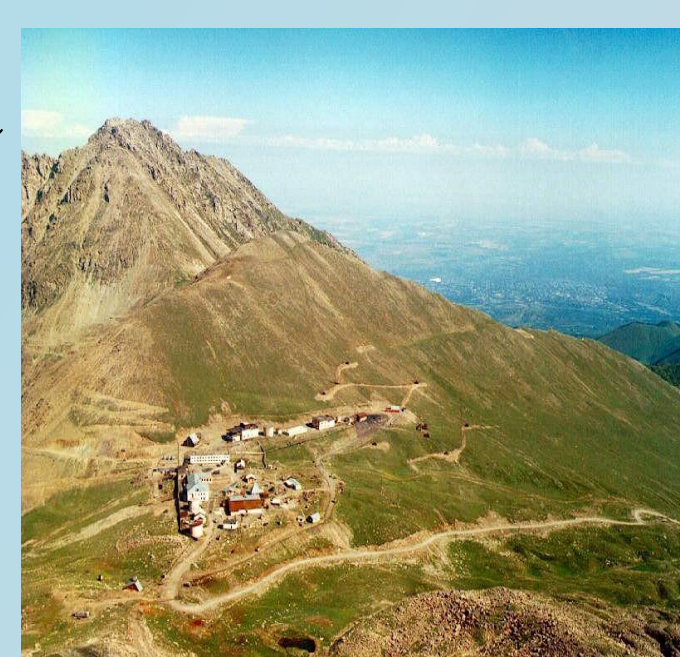


Влияние спорадических проявлений солнечной активности на динамику атмосферного давления в высокогорных условиях

Антонова В.П., Крюков С.В.

Институт ионосферы Национального Центра Космических Исследований и Технологий,

Алматы, Казахстан



1. Введение. За последние десятилетия наши знания продвинулись далеко вперед в понимании проблемы связи возмущений в нижней атмосфере с состоянием ближнего космоса, с солнечной активностью и вариациями потока космических лучей [1-2]. Предложены различные механизмы передачи и трансформации энергии от Солнца к атмосфере Земли: динамический, электрический, оптический (электромагнитное излучение и изменение прозрачности атмосферы), конденсационный [3-8]. Получены также статистические связи параметров нижней атмосферы с геомагнитными бурями [9-10]. Однако до сих пор ни один механизм не признан всеобъемлющим, объясняющим все многообразие экспериментальных данных. Не получено универсальных зависимостей атмосферных параметров от космофизических факторов, региональных условий, орографии. Поэтому продолжение исследований в этом направлении представляет несомненный научный интерес и имеет практическую значимость, поскольку конечным результатом является возможность прогнозирования погоды с целью предупреждения ее негативных последствий.

2. Экспериментальные данные, результаты исследования

В этой работе мы использовали экспериментальные данные межпланетного магнитного поля (IMF) из архивов NASA (Space Physics data facility), космических лучей (CR, нейтронная компонента, исправленная на давление), атмосферного давления (P), геомагнитного поля (GMF) в течение 23-го и текущего циклов солнечной активности (СА) из базы данных высокогорной станции и геомагнитной обсерватории Института ионосферы.

2.1 Форбуш эффекты и солнечные вспышки. Основным критерием отбора событий для исследования воздействия спорадических проявлений солнечной активности на динамику атмосферного давления на Тянь-Шаньской высокогорной станции космических лучей являлось наличие форбуш-эффекта (ФЭ) с величиной понижения $\geq 3\%$. Таких событий было зафиксировано 62 в 23-м цикле СА и значительно меньше в текущем. Установлено, что 80% форбуш эффектов с задержкой от нескольких часов до 3-х дней сопровождаются устойчивым снижением атмосферного давления на станции. На рисунке 1 представлены события в ноябре 1997 г и в октябре-ноябре 2003 г. После выброса корональных масс во второй половине ноября 1997 г наблюдаются возмущение межпланетного магнитного поля, геомагнитная буря и форбуш-эффект (левая панель). На фоне медленного уменьшения интенсивности космических лучей происходит ее резкий спад 22-го ноября. Вариации атмосферного давления имеют положительную корреляцию с интенсивностью космических лучей. Минимум в давлении запаздывает относительно минимума в космических лучах на 12 часов. Величина падения давления за двое суток составила 14мб. После самой значительной серии форбуш-эффектов в 23-м солнечном цикле, включающей гигантский эффект 29 октября 2003 г, в атмосферном давлении на высокогорной станции наблюдается устойчивое понижение с 686 мб до 676мб и ниже (правая панель рисунка 1). Столь значительные изменения атмосферного давления сравнимы с мощными тропосферными процессами.

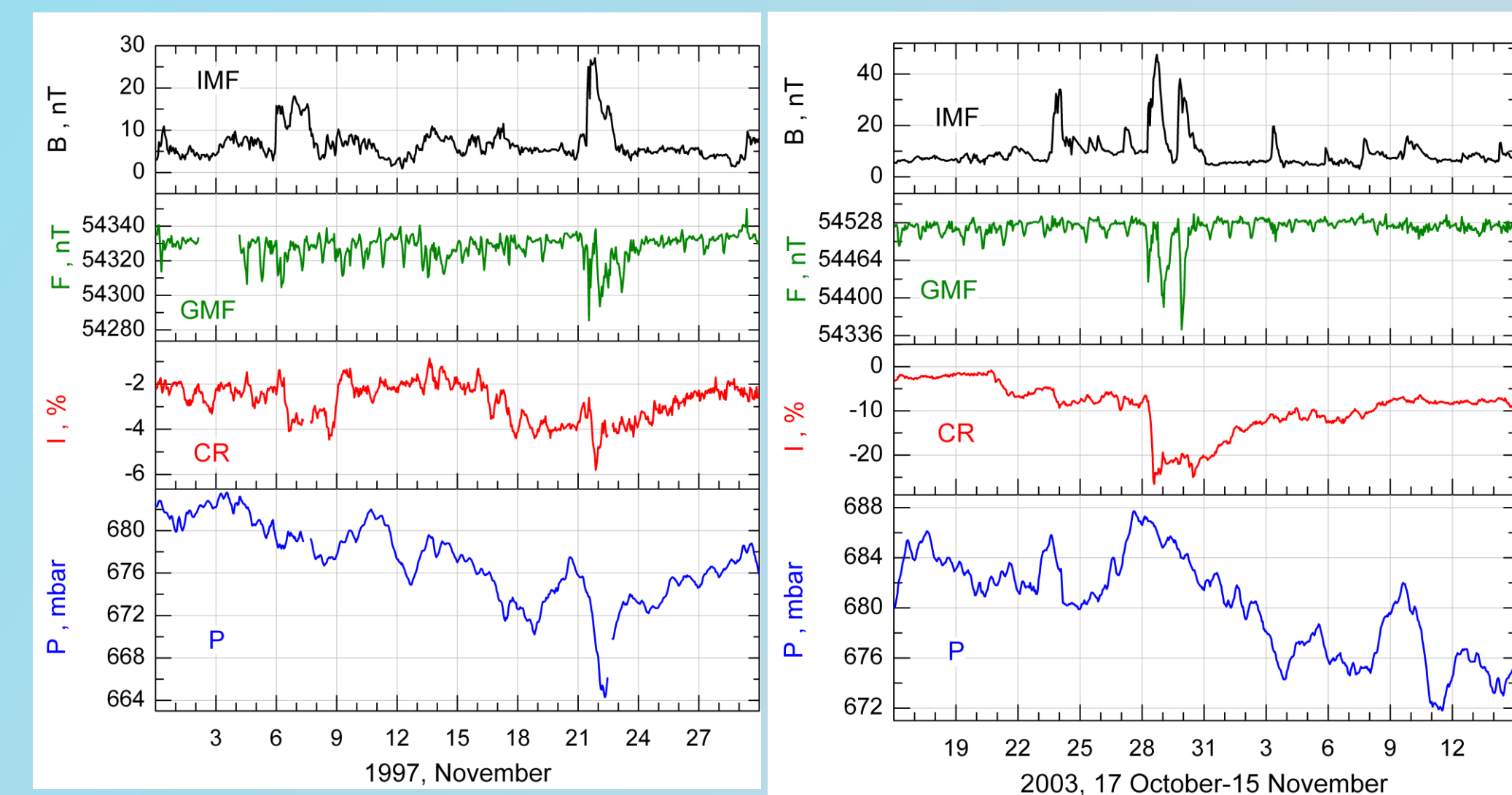


Рисунок 1. Значения межпланетного и геомагнитного полей, интенсивности нейтронной компоненты космических лучей, атмосферного давления

Наглядно демонстрирует *положительную корреляцию* с космическими лучами атмосферное давление на рисунке 2. После значительного увеличения потока космических лучей, обусловленного уникальной солнечной вспышкой 29.09.1989, следует устойчивое повышение атмосферного давления, а после форбуш-эффекта 20.10.1989 следует устойчивое понижение атмосферного давления.

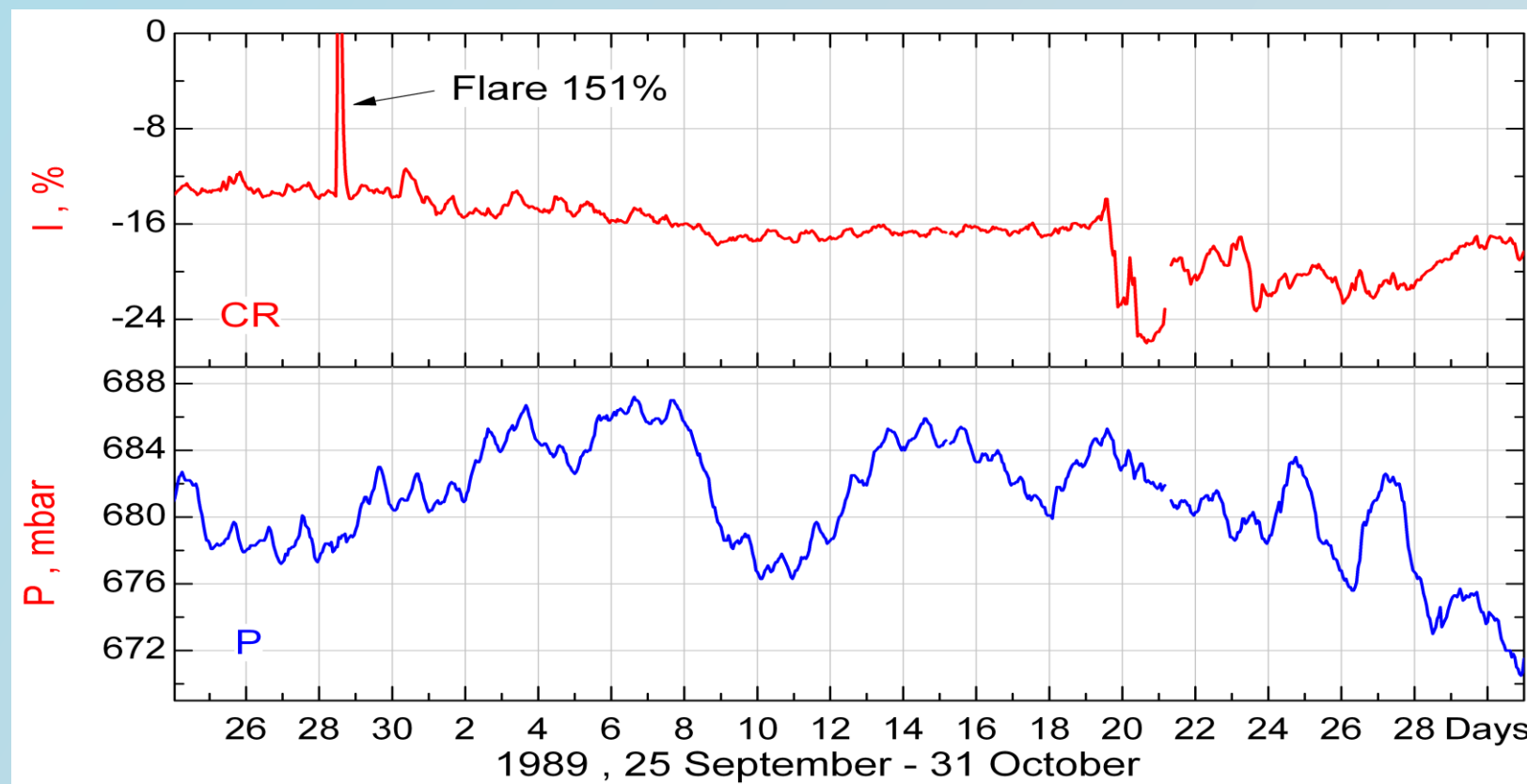


Рисунок 2. Интенсивность нейтронной компоненты космических лучей и динамика атмосферного давления в сентябре-октябре 1989 г

2.2 Геомагнитные бури.

Геомагнитные бури с внезапным началом и форбуш-эффекты являются следствием одних и тех же источников возмущений межпланетной среды – выбросов корональных масс. Поэтому иногда эти явления рассматривают неразрывно друг от друга, возникает неоднозначность в оценке главного звена в механизме воздействия СМЕ на атмосферное давление; **геомагнитные бури или космические лучи.** Есть достаточно много работ, в которых обосновывается связь магнитных бурь и изменений в циркуляции нижней атмосферы [4, 9-10]. Однако известно, что далеко не всегда форбуш-эффекты на земной поверхности сопровождаются геомагнитными бурями [11]. В нашем каталоге только 53% форбуш-эффектов сопровождалось геомагнитными бурями, но 80% – понижением атмосферного давления. Мы рассмотрели динамику атмосферного давления во время и после больших (БМБ) и очень больших магнитных бурь (К-индекс ≥ 6), когда форбуш-эффект отсутствовал, либо его величина была меньше 3%.

Закономерностей, характерных для событий с форбуш-эффектами, в этих выборках не установлено, рисунок 3. Вертикальные пунктирные линии соответствуют началу и концу магнитных бурь. В начале октября 2000 г была БМБ с $K=7$, 19-20 марта 2001 г – ОБМБ, $K=8$.

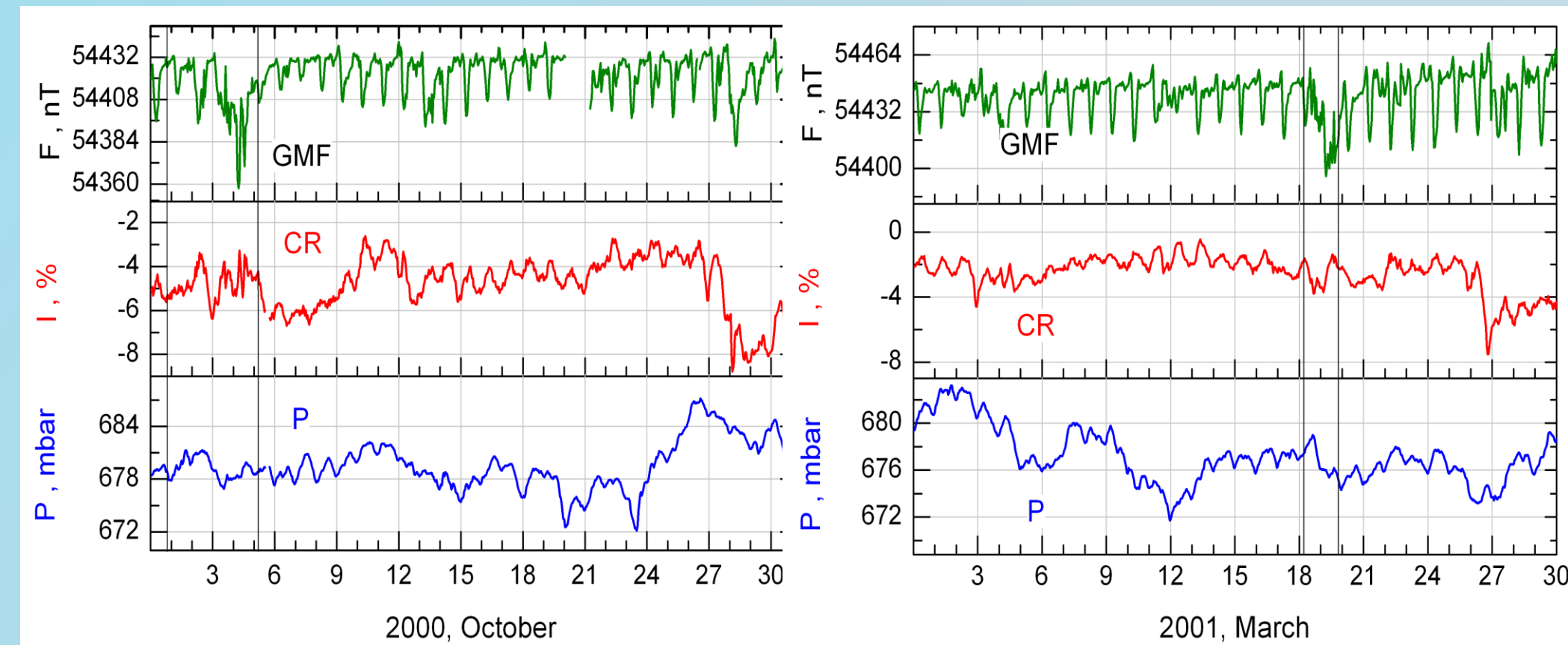


Рисунок 3. Значения геомагнитного поля, интенсивности нейтронов и давления во время и после магнитных бурь в октябре 2000 и марте 2001 гг

2.3 Динамика атмосферного давления на разных высотах

Атмосферное давление на высокогорной станции (3340 м над уровнем моря) значительно меньше, чем на уровне города Алматы (805 м над уровнем моря), но крупномасштабные вариации давления подобны. Реакция атмосферного давления на форбуш эффект на высокогорной станции и на уровне города различна. Показательными являются результаты измерений нейтронной компоненты космических лучей и атмосферного давления в январе 2005 года на двух высотах для станций Алматы и Иркутска (<http://cgm.iszf.irk.ru/>), представленные на рисунке 4.

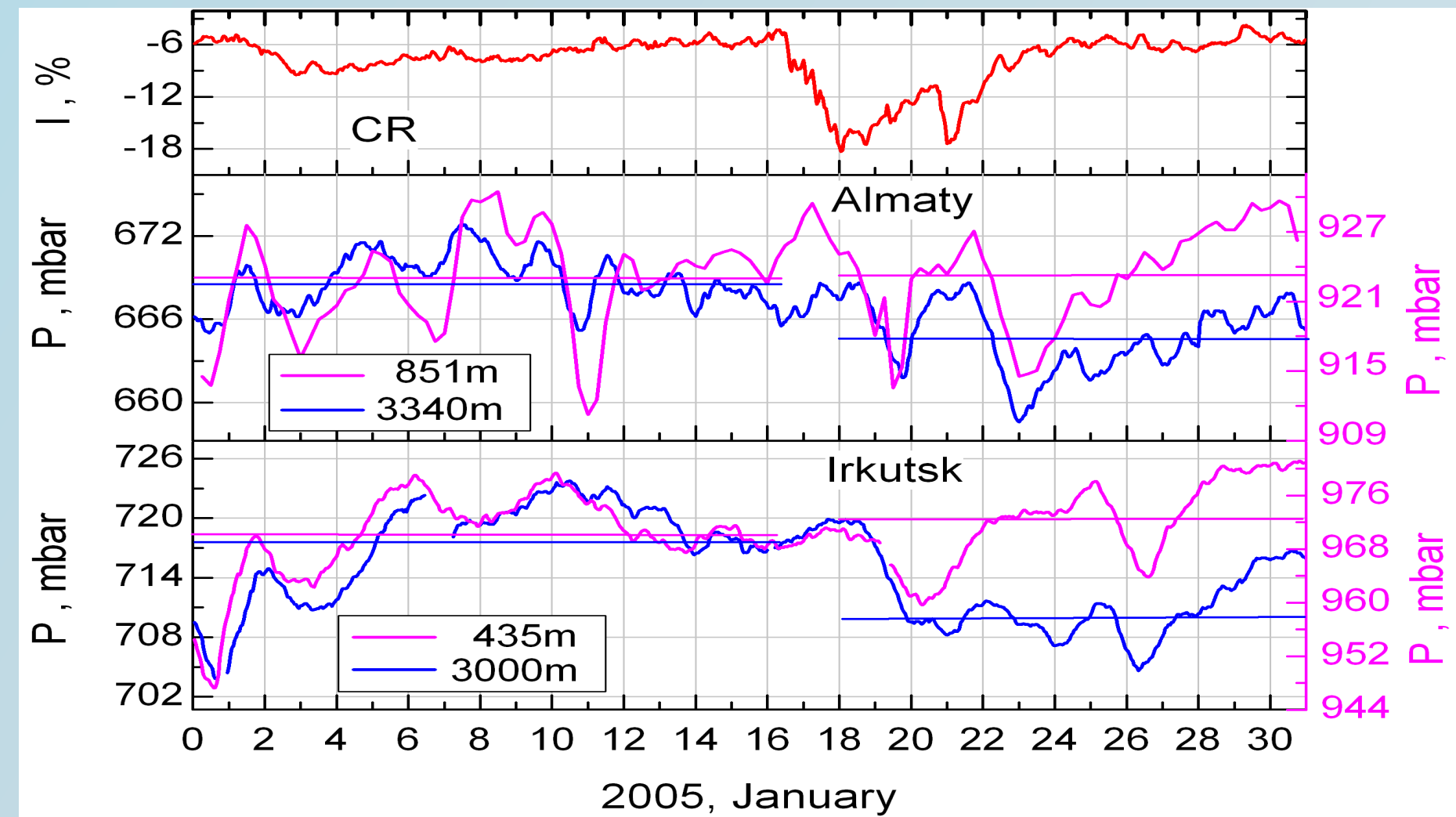


Рисунок 4. Динамика атмосферного давления на разных высотах

Наблюдается большой форбуш эффект с характерными особенностями, которые повторяются в динамике атмосферного давления с запаздыванием на двое суток. Среднее значение давления до ФЭ и во время (восстановительный период) отмечено горизонтальной линией. Можно видеть, что среднее давление для станций на небольших высотах незначительно отличается до ФЭ и в течение его выше). На высокогорных станциях Алматы и Иркутска наблюдается явное различие в динамике; атмосферное давление значительно ниже после ФЭ.

3. Обсуждение

Мы попытались сопоставить результаты исследования с известными в настоящее время механизмами воздействия спорадических проявлений солнечной активности на динамику атмосферного давления, которое соответствовало бы результатам исследования. В разделе 2.2 было установлено, что изменение динамики атмосферного давления не является следствием геомагнитных бурь. Динамический механизм также не эффективен, поскольку далеко не все выбросы корональной массы, которые вызывают форбуш эффекты, сопровождаются мощными вспышками коротковолновой радиации, необходимой для запуска динамического механизма. Максимум корреляционной функции по результатам авторов [6] наблюдается за два дня до эффекта Форбуша, поэтому делается вывод, что ключевым звеном в механизме является электромагнитное излучение вспышек. По результатам наблюдений на Тянь-Шане понижение давления происходит после форбуш эффекта с задержкой на 0,5 ÷ 3 суток. Другой механизм, предложенный для высокогорных условий - конденсационный [8], также не согласуется с результатами, полученными на Тянь-Шане. Обширный комплекс экспериментальных исследований, свидетельствующий об эффективном воздействии потоков космических лучей на атмосферные процессы, выполнен в Научно-исследовательском Институте Физики (Санкт-Петербург) на основе громадного экспериментального материала метеорологических станций [1-3]. В представлении механизма влияния солнечной активности на динамические процессы в нижней атмосфере включены основные факторы, воздействующие на свойства атмосферы. Космические лучи в нем являются принципиальным агентом, влияющим на оптические свойства атмосферы (прозрачность), на облачный покров и глобальную электрическую цепь. Но ими не учитывалась высота станций. Возможно, отличие в характере отклика атмосферного давления на изменение потока космических лучей в представленной работе вызвано расположением станции в высокогорных условиях.

4. Выводы.

Результаты исследований динамики атмосферного давления на высокогорной станции показали, что основным звеном в механизме воздействия солнечной активности на нижние слои атмосферы являются космические лучи. Установлено, что 80% форбуш эффектов с запаздыванием на 1 ÷ 3 суток сопровождаются уменьшением атмосферного давления на горных высотах Северного Тянь-Шаня, независимо от геомагнитных условий. Динамика атмосферного давления на уровне гор (~ 3000 м) после форбуш эффектов и на равнине (ниже 800 м) радикально отличается; наблюдается положительная корреляция с космическими лучами.

References

- [1] Веретенко С.И., Пудовкин М.И. 1993. *Geomagn. and Aeron.* 33. №6. С. 3540
- [2] Пудовкин М.И., Расповов О.М. 1992. *Геомагн. И Аэрон.* 32. №5. С.1-22
- [3] Morozova A, Pudovkin M, Thejll P. 2002. *J. Geomagn. Aeron.* 3 181-189
- [4] Авдюшин С, Данилов А. 2000. *Geomagn. and Aeron.* 40. №5. С. 3-14
- [5] Tinsley B. 1996. *J. Geomagn. Geoelectr.* 48. P. 165
- [6] Расповов О.М., Веретенко С.В. 2009. *Geomagn. and Aeron.* 49. №2. С.147-145
- [7] Богданов М, Сурков А, Федоренко А. 2006. *Geomagn. and Aeron.* 46. №2. С. 268-274
- [8] Тимофеев В, Григорьев В, Морозова Е и др. 2003. *Geomagn. and Aeron.* 43. 683-687
- [9] Авдюшин С, Михневич В, Смирнов Р. 1984. *Гидрометеоздат.* 138 С
- [10] Danilov A, Lastovichka J. 2000. *J. Geomag. And Aeron.* 2. №3
- [11] Belov A, Eroshenko E, Oleneva V, et al. V 2001 *Izv. RAN, Ser. Phys.* 65. 373–376.